

Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Estudio Comparativo de las Tuberías Perfiladas de PVC, y sus
Aplicaciones en la Construcción.

Tesis para optar al título
de Constructor civil.

Profesor patrocinante :
Prof. Sr. Carlos Vergara.

Juan Carlos. Skillmann Paillamilla

2003

Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado; en primer lugar a mis padres Ana y Heriberto por el constante apoyo e infinita paciencia, que tuvieron, a lo largo de estos años. A mis hermanos Kim y Beto por ser los mejores hermanos, dándome cariño y apoyo para continuar este largo camino. A Myriam, por su amor incondicional que sin duda me dio ánimo en los momentos difíciles. A Mariana y Daniel, mis más queridos y leales amigos, quienes complementan mi vida.

A todos ellos les dedico este trabajo y les doy mis más sinceros agradecimientos.

Agradecimientos.

Quisiera agradecer a las siguientes personas por su cooperación desinteresada, para la realización de este estudio:

Al Sr. Carlos Balbiani, representante en Valdivia de San Isidro S.A., el cual, aportó información crucial sobre la objeto de estudio.

A Mariana Valenzuela, por su importante ayuda en la recolección de antecedentes.

A mi profesor guía, Sr. Carlos Vergara, por su entusiasta apoyo y disposición.

Resumen

En la presente tesis, se analiza una nueva tubería perfilada de poli(cloruro) de vinilo no plastificado. La cual está destinada a reemplazar las tuberías de uso común en obras hidráulicas y viales.

Estudia tanto la factibilidad técnica, como económica, para la utilización de este tipo de tubos en obras de construcción.

Los distintos aspectos se han agrupado y analizado en cuatro tópicos permitiendo su fácil lectura y comprensión por quien se desenvuelve en el área de la construcción.

Summary.

This thesis analyse a new kind of pipe called unplastized poly(vinyl chloride) profiled pipe, to replace common use pipes on hydraulic and road works.

It studies the technical as well as economic feasibilities to use that pipe on construction work.

The different aspects were grouped and analized in four topics to make easy to learn by persons who works at the construction area.

Indice

Capítulo I: Introducción.

1.1 Planteamiento del Problema.....	5
1.2 Objetivos de la Tesis.....	5
1.3 Metodología de Trabajo.....	6
1.4 Estructura de la tesis.....	7

Capítulo II: Estudio del producto y su factibilidad técnica

2.1 El PVC. Material base de las tuberías perfiladas.....	10
2.1.1 Propiedades del PVC.....	10
2.1.2 PVC, duradero y reciclable.....	11
2.2 Diseño y funcionalidad de las tuberías perfiladas de PVC.....	13
2.2.1. Cargas sobre tuberías flexibles.....	14
2.2.1.1. Las cargas Muertas (Wm).....	14
2.2.1.2. Las cargas vivas (Wv).....	17
2.3 Límites de comportamiento para el diseño.....	20
2.3.1 Primer límite: La Deflexión.....	21
2.3.1.1 La carga debido al relleno y las cargas superpuestas.....	21
2.3.1.2 La rigidez del suelo.....	21
2.3.1.3 La Rigidez de la Tubería.....	24
2.3.1.4 La Deflexión, en zanjas, en terrenos de mala calidad.....	27
2.3.2 Segundo límite: el abollamiento o pandeo (Buckling).....	29
2.3.2.1 Cálculo de la presión crítica de colapso.....	29
2.3.2.2 Acción del nivel freático en tuberías flexibles enterradas.....	33
2.3.2.3 Acción combinada de la Presión del suelo y la Presión Hidrostática.....	36
2.3.3 Tercer límite: Rotura de la pared (Wall Crushing).....	37
2.3.3.1 La Compresión anular en tuberías flexibles.....	37
2.4 Características y propiedades de las tuberías perfiladas de PVC flexible Superpipe.....	38
2.5 Aplicaciones de la tubería flexible de PVC perfilado.....	40
2.5.1 Campo de Aplicación.....	40
2.5.2 Idoneidad del tubo para casos especiales.....	41
2.5.3 Otras Aplicaciones.....	41
2.6 Especificaciones técnicas: Tubería Superpipe.....	42
2.6.1 Materiales: Longitudes de tubo y tolerancias.....	42
2.6.2 Transporte, recepción y almacenamiento.....	43
2.6.3 Almacenamiento en obra.....	44
2.6.4 Instalación de tuberías.....	44
2.7 Conclusiones del capitulo.....	49

Capítulo III: Estudio de la normativa para la aplicación de tuberías.

3.1 Dimensiones y Requisitos Generales de los Tubos de PVC.....	51
3.1.1 Tubos termoplásticos para conducción de fluidos. Diámetros exteriores y presiones nominales (NCh 397 of 77).....	51
3.1.2 Tubos de Poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para conducción de fluidos a presión – Requisitos (NCh 399 of. 94).....	53
3.1.3 Tubos plásticos – Medición de dimensiones (NCh 1294 of 78).....	61
3.1.4 Tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para instalaciones sanitarias de alcantarillado público – Requisitos (NCh 2252 of 86).....	62
3.2 Condiciones y Requisitos de Ensayo para Tubos de PVC.....	66
3.2.1 Plásticos – Atmósferas normales de acondicionamiento y de ensayo (NCh 740 of 81)...	66
3.2.2 Tubos de poli(cloruro de vinilo) rígido – Métodos de ensayo (NCh 815 of 95).....	70
3.2.3 Tubos plásticos – Determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor (NCh 1649 of 96).....	74
3.2.4 Accesorios para tubos plásticos para conducción de fluidos a presión – Ensayo de estanqueidad bajo presión hidráulica externa (NCh 1755 of 80).....	79
3.2.5 Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) rígido – Ensayo de estanqueidad de uniones (NCh 1787 of 80).....	82
3.3 Abreviación y Rotulado de los Tubos de PVC.....	84
3.3.1 Plásticos – Abreviaturas de uso corriente (NCh 770 of 1999).....	84
3.3.2 Producto plástico – Rotulación (NCh 1997 Of 87).....	87
3.4 Conclusiones del capítulo.....	88

Capítulo IV: Analisis comparativo entre la tubería tradicional y la tubería perfilada de PVC.

4.1 Tubos rígidos; de hormigón simple y reforzados de base plana.....	91
4.1.1 Tubos de hormigón simple.....	91
4.1.1.1 Materiales.....	91
4.1.1.2 Requisitos generales.....	92
4.1.1.3 Ensayos.....	92
4.1.1.4 Referencias técnicas.....	93
4.1.2 Tubos de hormigón reforzado de base plana.....	95
4.1.2.1 Referencias técnicas.....	96
4.1.3 Desventajas comparativas en la utilización de tubos rígidos de hormigón simple.....	99
4.2 Tubos de metal corrugado para alcantarillas.....	100
4.2.1 Requisitos generales.....	100
4.2.2 Referencias técnicas.....	104
4.2.2.1 Revestimiento tipo barrera.....	105
4.2.2.2 Radier de protección.....	106
4.2.3 Desventajas comparativas en la utilización de tubos de metal corrugado.....	109
4.3 Análisis final estudio comparativo.....	109
4.4 Conclusiones del capítulo.....	111

Capítulo V: Evaluación costo / beneficio en la utilización de tubería perfilada de PVC.

5.1 Beneficios derivados de la utilización de tubería perfilada de PVC.....	113
5.1.1 Beneficios derivados del mejoramiento o la construcción de obras viales.....	113
5.1.2 Estudio de factibilidad de los proyectos viales.....	114
5.1.3 Criterios de evaluación para la construcción de un camino.....	114
5.1.3.1 Criterio de Superficie.....	114
5.1.3.2 Criterio de rentabilidad.....	114
5.1.3.3. Criterio de Productividad.....	114
5.1.3.4 Criterio de Beneficio de prevención.....	114
5.1.4 Beneficios derivados de la utilización de tubería perfilada tipo Superpipe.....	115
5.1.4.1 Beneficios derivados de la reducción de los recursos empleados.....	115
5.2 Costos derivados de la utilización de tubería perfilada tipo Superpipe.....	116
5.2.1 Análisis de costos unitarios.....	116
5.2.2 Análisis de resultados.....	126
5.3 Conclusiones del capítulo.....	127

Capítulo VI: Conclusiones.	128
-----------------------------------	-----

Bibliografía.....	132
-------------------	-----

Documentos Anexos

Anexo N°1 Aplicaiones Prácticas.....	134
Anexo N°2 Clasificación de suelos.....	142
Anexo N°3 Alturas máximas de relleno.....	143
Anexo N°4 Cotizaciones y listados de precios.....	145
Anexo N°5 Catálogos.....	150
Anexo N°6 Informe de ensayos.....	158

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del Problema.

La conducción de aguas, de diferentes propiedades y orígenes, por distintas causas, o como la solución a distintas necesidades, puede resultar para muchos la más antigua de las obras de ingeniería. Si nos remontamos a los antecedentes históricos podemos encontrar en antiguas civilizaciones este tipo de obras, y cómo cada una de estas dio solución a un problema que es inherente a la actividad humana. Los romanos con sus monumentales acueductos, los incas con sus laberintos de canales en la ciudad antigua de Machu-Pichu; son algunas muestras de como afrontaron y dieron solución a esta necesidad, la de proveer un suministro continuo de agua, para sus múltiples usos, y la eliminación de aguas residuales y afluentes de tipo estacionario.

Al igual que ayer, hoy este sigue siendo un aspecto fundamental en la ejecución de obras urbanísticas e ingenieriles. Continuamente vemos como los distintos factores que intervienen en la ejecución van sufriendo cambios. La técnica, como los materiales van cambiando y a menudo comprobamos la aparición de materiales y productos sustitutos, los cuales, están orientados a optimizar los recursos; ya sea en el tiempo empleado en la realización de los trabajos, como en el ahorro de materiales, y en resumen, de los factores que participan en el proceso constructivo de este tipo de obras.

Actualmente los materiales utilizados en la construcción de alcantarillas y redes de tuberías, para la conducción de fluidos a presión ambiental, son: el cemento comprimido y el acero corrugado revestido. Ambos materiales son utilizados ampliamente, teniendo cada uno sus particularidades que los hace idóneos para determinados tipos de trabajo. Por ejemplo, las tuberías de cemento comprimido son utilizadas en la construcción de caminos secundarios de tipo transversal; las tuberías de acero corrugado, en cambio, son utilizadas tanto en la construcción de caminos vecinales, como en obras de reparación y mantenimiento.

La aparición de los tubos plásticos corrugados (polietileno, PVC) tiene como finalidad optimizar los recursos mediante propiedades físico- mecánicas mejoradas, y que en comparación con los materiales tradicionales representen una opción viable.

1.2 Objetivos de la Tesis.

La presente tesis, tiene como propósito entregar un estudio minucioso de un nuevo producto en el mercado, como son las Tuberías Perfiladas de PVC para la conducción de

líquidos por gravedad. Las cuales, están siendo cada vez mas utilizadas, gracias a sus ventajas comparativas.

Los objetivos de la tesis son: realizar un estudio comparativo entre las tuberías perfiladas de PVC y las tuberías de uso tradicional en la construcción. Analizaremos tanto las aplicaciones tradicionales, como las alternativas, de este producto relativamente nuevo en el mercado. Haremos una revisión exhaustiva de las normas que rigen la utilización de tuberías en sus distintas aplicaciones.

Finalmente haremos una evaluación costo/beneficio entre la utilización de tubería tradicional y la tubería perfilada de PVC.

1.3 Metodología de Trabajo.

El análisis técnico del producto en estudio, se realizó mediante una asesoría por parte de la empresa San Isidro S.A. y su representante en Valdivia, Sr. Carlos Balbiani.

Se hizo una revisión completa de la normativa para la utilización de tubos en obras de construcción. También se llevó a cabo una revisión de las exigencias mínimas hechas por los distintos servicios, tanto públicos, como privados.

El análisis comparativo se realizó mediante un estudio paralelo de la tubería perfilada de PVC y algunas de las tuberías de mayor utilización en trabajos tan diversos como: alcantarillado, conducción y transporte de agua y residuos líquidos, sistemas de riego, sistemas de drenajes, recolección y conducción de aguas lluvias, grandes colectores de alcantarillado domiciliario, conducción de RILES, etc.

Para la evaluación de los costos asociados a la ejecución de trabajos que involucran la utilización de tuberías, se hizo un análisis de costos unitarios para diferentes tuberías y su incidencia en los costos asignados para este tipo de partidas.

Lo anterior, tiene como fin, responder una serie de interrogantes que saltan a la vista con la aparición de un producto nuevo con proyecciones de convertirse en una solución de menor costo y mayor durabilidad; confirmar la idoneidad de su aplicación en la construcción, su factibilidad tanto técnica como económica.

1.4 Estructura de la tesis.

El capítulo II, está orientado hacia el estudio del producto y su factibilidad técnica, mediante la asesoría por la empresa de rubro San Isidro S.A. Este capítulo contempla el estudio del producto; analizando desde la idoneidad del material, su estructura, las tensiones de trabajo, sus propiedades físico - químicas, regímenes de trabajos más desfavorables, etc. Los antecedentes presentados en este capítulo, salvo que se indique lo contrario, fueron aportados por la empresa San Isidro S.A. por medio de su representante, para Superpipe en la zona sur, Sr. Carlos Balbiani.

El capítulo III, se presenta un estudio de la normativa para la aplicación de tuberías plásticas para la conducción de fluidos; para lo cual, se hizo un catastro de todas las normas chilenas que guardan relación con el tipo de tubería en estudio.

Todos los antecedentes presentados en este capítulo, fueron obtenidos de la biblioteca del Instituto Nacional de Normalización, ubicado en Matías Cousiño # 64, piso 5, Santiago.

En el capítulo IV, se hace un análisis de las tuberías de uso tradicional en obras de construcción de alcantarillado y redes de conducción de agua y residuos líquidos. El análisis incluye las tuberías hormigón simple y reforzado; y las de metal corrugado. Por ser las de mayor uso en la actualidad.

No es menor, el atractivo que puede presentar la incorporación de un producto, que en la práctica signifique un abaratamiento sustancial de los recursos destinados a las obras de alcantarillado o redes de tubería. El capítulo V, contempla la evaluación de los costos que involucran la utilización de tubería perfilada de PVC, en comparación con las de uso tradicional. De aquí se podrá concluir, los posibles beneficios de la utilización de este producto.

Cabe señalar, en este punto, que la presente evaluación se ha realizado orientándola principalmente a las obras de tipo vial, debido al amplio uso que se le da a este tipo de material en dichos proyectos, y por consiguiente resulta más fácil cuantificar su impacto. Lo anterior no es excluyente al uso de las tuberías de PVC perfilado, en otro tipo de obras, la evaluación de la conveniencia de su utilización deberá ser estudiada considerando las particularidades de cada una.

Por último, el capítulo VI entrega las conclusiones obtenidas, a la luz de los antecedentes recopilados, aportando una visión amplia de la factibilidad en el uso de la tubería perfilada de PVC no plastificado tipo Superpipe.

Se espera que esto sea una herramienta útil, para quienes proyecten o construyan obras que involucren el uso de tubería para la conducción de fluidos por gravedad.

CAPITULO II

ESTUDIO DEL PRODUCTO Y SU FACTIBILIDAD TECNICA

2.1 El PVC. Material base de las tuberías perfiladas.

El PVC (abreviatura de la sustancia denominada Cloruro de Polivinilo), pertenece a la familia de los polímeros; siendo este el único que no es un 100% derivado del petróleo. En efecto el PVC contiene un 57% de cloro y 43% de etileno (derivado del petróleo).

El Cloro se obtiene a partir de la sal (clorato de sodio - sal de cocina), mediante el proceso de electrólisis¹. Por otra parte, el Etileno sigue un proceso mucho mas complejo. El primer paso, es la destilación del crudo de petróleo, del cual, se obtiene la Nafta Leve. Esta sustancia luego pasa por el proceso de craqueamiento catalítico², generándose el Etileno.

Tanto el Cloro, como el Etileno se encuentran en su fase gaseosa reaccionando entre sí y produciendo DCE (dicloro etano).

A partir del DCE, se obtiene MVC (mono cloruro de vinilo, unidad básica del polímero). Las moléculas de MVC se polimerizan, es decir, se ligan entre sí conformando moléculas mucho mayores conocidas como PVC; polvo muy fino, de color blanco y totalmente inerte.

2.1.1 Propiedades del PVC.

Algunas de las principales propiedades del PVC son:

- Color blanco.
- Coeficiente de Fricción menor que otros productos ($n = 0.009$).
- Bajo peso específico (1.4 g/cm^3), lo que facilita su transporte y manipulación.
- Conductividad Térmica de un 0.13 Kcal/cm .
- Coeficiente de Dilatación de $0.08 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$.
- Módulo de Elasticidad (2750 Mpa , ASTM D2487).
- Resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos, roedores.
- Resistente a una gran variedad de agentes químicos.
- Buena aislamiento acústica, térmica, eléctrica.
- Resistente a los impactos.
- Impermeable.

¹ La electrólisis es la reacción química resultante del paso de una corriente eléctrica por agua salada(salmuera).

² El craqueamiento Catalítico es un proceso, en el cual, las moléculas grandes son divididas en moléculas menores, mediante la acción de catalizadores que aceleran el proceso

- Resistente a la intemperie.
- Durable
- Inflamabilidad baja. Tiende a auto – extinguirse.
- No contaminante.
- Reciclable.
- Bajo consumo de energía en su elaboración.

2.1.2 PVC, duradero y reciclable.

El PVC, ha demostrado ser un material no agresivo hacia el medio ambiente, debido a su naturaleza inerte; no reacciona al entrar en interacción con otras sustancias.

Por otra parte, es una de las sustancias más económicas, en términos de consumo de energía derivado de su producción.

Su durabilidad asciende en promedio a mas de 50 años, lo que lo sitúa como un material consolidado dentro de la industria de la construcción, gracias a sus propiedades antes mencionadas.

El reciclaje para su reutilización, también se presenta como una cualidad importante, sobre todo cuando el tema de los desechos de tipo industrial y de post-consumo son un tema emergente, por la complejidad que presenta la disposición final de estos. El proceso de reciclaje de los plásticos constituye parte importante del ciclo de transformación de los residuos sólidos. Las técnicas utilizadas en el reciclaje del PVC, son:

- **Reciclaje Mecánico:** Método de transformación de residuos plásticos en gránulos para la fabricación de nuevos productos.
- **Reciclaje Energético:** Recuperación de energía térmica, residuos plásticos.
- **Reciclaje Químico:** Conversión de residuos plásticos en materia-primas petroquímicas básicas.

La etapa inicial de todo proceso de reciclaje es la selección, la cual, se puede realizar en el sitio de acopio, en el punto mismo donde se generan los residuos (recolección selectiva), o en usinas construidas para esta finalidad.

La figura 1, corresponde a las actividades propias de todo proceso de recolección y selección de desechos³.

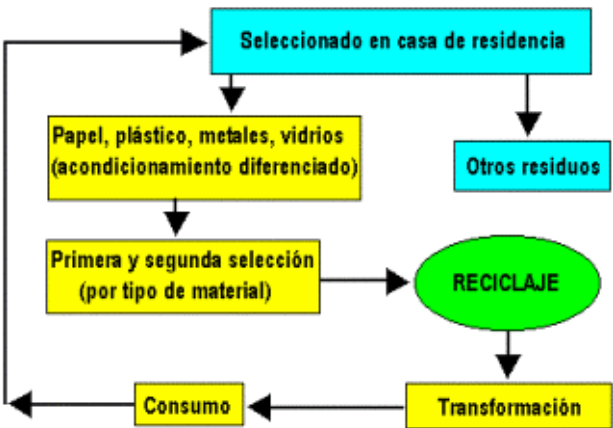


Figura 1. Actividades asociadas a la recolección y selección de desechos.

Para identificar los receptáculos destinados al acopio de PVC, se utiliza un símbolo de uso internacional (Figura 2), que lo individualiza dentro de la gama de desechos reciclables.



Figura 2. Símbolo de individualización para el reciclaje de PVC.

La transformación del PVC reciclado, para su reutilización no representa un problema complejo. La figura 3, muestra un flujo esquemático del reciclaje mecánico del PVC.

La inclusión en este trabajo de esta mención sobre el PVC, como materia prima para la producción industrial de productos tan diversos como los existentes, no es otra que mostrar la idoneidad de este, tanto desde el punto de vista de su desempeño durante su larga vida útil, como además de ser un material reciclable, con los consiguientes ahorros de costos y minimización de los desechos resultantes; resultando esto en un bajo impacto medioambiental.

³ La información referente al PVC, composición, propiedades, y técnicas de reciclaje; fue obtenida de la página Web: www.institutodopvc.org.



Figura 3. Esquema reciclaje mecánico del PVC.

2.2 Diseño y funcionalidad de las tuberías perfiladas de PVC.

Las tuberías perfiladas de cloruro de polivinilo poseen la particularidad de poseer una pared plegada (ver figura 4), la cual, de acuerdo a su geometría aumentan significativamente el momento de inercia⁴ y su rigidez angular, sin resultar esto en un aumento importante del peso por unidad de longitud.

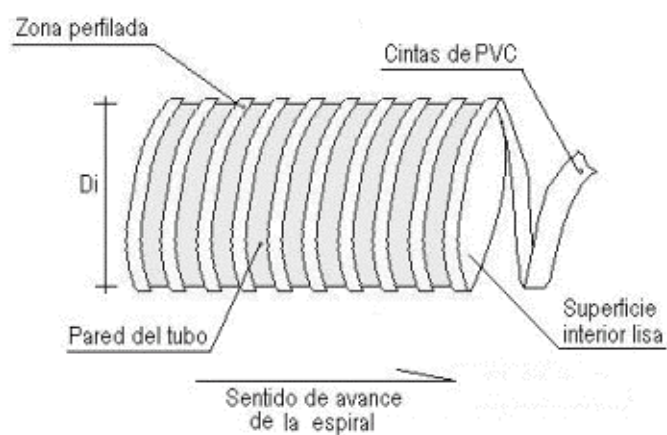


Figura 4. Esquema tubería perfilada de PVC no plastificado.

Al igual que al modelar una viga debemos buscar el diseño óptimo, hacerlo lo más resistente posible, con el mínimo de recursos (material y trabajo) empleado. Debemos tener siempre presente que el fin de todo material empleado es: ser un elemento constituyente capaz de asegurar un correcto desempeño como elemento estructural.

⁴ El momento de inercia para una forma rectangular se define como: $\bar{I} = \frac{bh^3}{12}$

En la figura 5, se muestra un elemento típico de la pared de una tubería perfilada⁵, que resulta mucho más eficiente que una forma rectangular tradicional.

El principio de funcionamiento óptimo, se basa en diseñar una pared tal, que posea un valor elevado en el momento de inercia de sus elementos, tal como se hace para diseñar una viga, para ganar resistencia con el mínimo de aumento en el peso (San Isidro S.A., 2000).

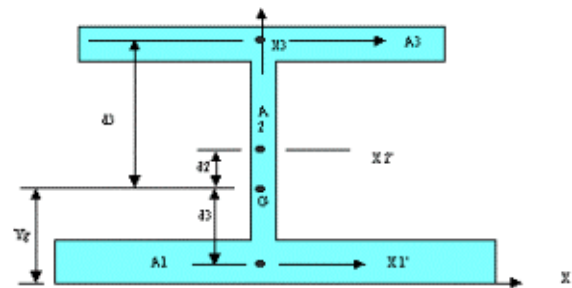


Figura 5. Elemento estructural del perfil.

2.2.1. Cargas sobre tuberías flexibles.

Se podría pensar que al analizar una tubería, sujeta a un régimen de carga particular, basta con incluir en dicho análisis las cargas que inciden sobre ella producto del peso del relleno (cargas muertas), y las producidas por uso que son de tipo dinámicas (cargas vivas); eso sería un grave error, pues como veremos a continuación: las tuberías, el relleno, la densificación lateral (producto de la compactación), la rigidez natural del muro, el encamado; son variables a considerar a la hora de modelar el caso en particular.

2.2.1.1. Las cargas Muertas (Wm).

Las tuberías rígidas y flexibles poseen un comportamiento muy distinto ante las cargas producto del peso del relleno; las primeras debido a su naturaleza (hormigón vibrado, hierro zincado) no permiten una deformación sin que ocurran agrietamientos en sus paredes, lo que conlleva a que la totalidad de los esfuerzos sean absorbidos por la estructura en sí, por otro lado tenemos las tuberías flexibles que si pueden deformarse sin sufrir daños en su estructura lo que resulta en una transmisión de cargas tanto, hacia el fondo de apoyo (encamado), como

⁵ La inercia de un elemento compuesto se obtiene aplicando el Teorema de los Ejes Paralelos

$$I_x = \sum_i (I_{xi} + A_i d_i^2)$$

hacia las zonas laterales, como también un esfuerzo cortante entre la carga vertical producto del relleno y el muro de la zanja (en este caso), como se observa en la figura 6.

Si bien es cierto, la deformación del relleno lo que hace es aumentar los esfuerzos cortantes, lo cual, da como resultado que: la carga transmitida a una tubería flexible es menor a una misma altura HR. Para efectos de diseño y cálculo, cuando se trabaja con tubería flexible, resulta conveniente modelar el problema considerando la carga prisma.

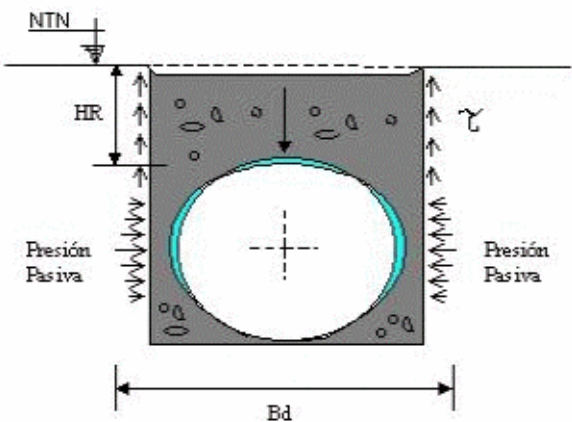


Figura 6. Tubería flexible enterrada en zanja.

La ventaja de utilizar la carga prisma (ecuación 1) es que no se considera el ancho de la zanja. La Teoría de la Carga de Martson (ecuación 2), en cambio, se basa en el caso en que el tubo y el relleno alrededor de este, tengan igual rigidez, por lo que la proporción de carga sobre el tubo se puede asignar al ancho de la excavación.

Finalmente, para concluir la referencia a Martson, se puede señalar, que al aplicar la teoría de la carga prisma y la teoría de Martson (ver figura 7) a situaciones prácticas; se obtienen valores disímiles, donde la carga obtenida mediante Martson representa un 70% de la carga obtenida por el método de la carga prisma. Experimentos realizados han demostrado que el valor de la carga sobre la tubería se encuentra en algún punto intermedio de estos dos valores. Es por lo tanto, conveniente utilizar la carga prisma por ser mas realista, ya que con el tiempo la carga tiende a alcanzar su máximo, lo cual nos lleva a ser conservadores.

Carga prisma.

$$P=g \cdot HR \tag{1}$$

Donde,

P: presión debida al peso del suelo a la profundidad HR.

γ : peso volumétrico total del suelo.

HR : profundidad del relleno sobre la corona del tubo.

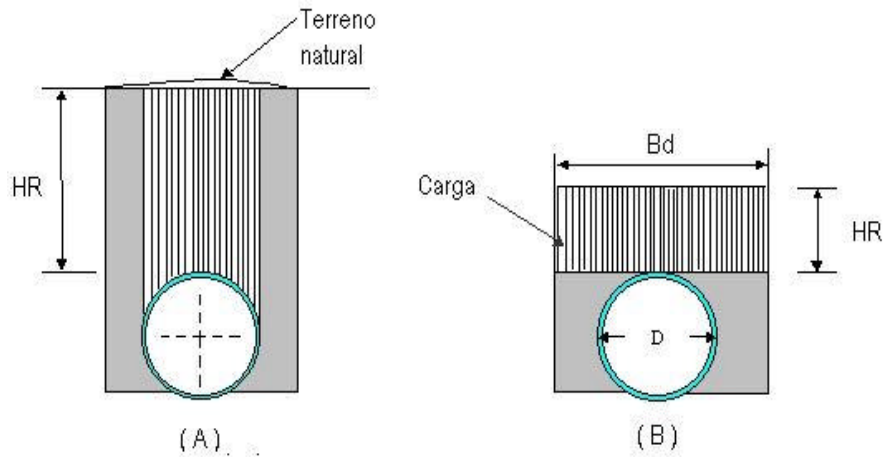


Figura 7. (A) Carga prisma sobre tubería. (B) Proporcionalidad de la carga (Martson)

Carga de Martson.

$$W_c = \frac{C_d \gamma B_d^2}{B_d} = C_d \gamma D B_d \quad (2)$$

Donde,

W_c : carga muerta en tubo flexible por unidad de longitud (Kg. /m)

C_d : coeficiente de carga (Ec.3)

B_d : ancho de la zanja encima de la corona del tubo (m)

D : diámetro externo del tubo (m)

γ : peso volumétrico total del relleno (kg/m^3)

Coeficiente de carga

$$C_d = \frac{1 - e^{-2 k m (HR/B_d)}}{2 k m} \quad (3)$$

Donde,

e : base de los logaritmos naturales.

k : coeficiente de empuje activo de Rankine (ver tabla 1)

μ : coeficiente de fricción de relleno (ver tabla 1)

HR: altura de relleno sobre la corona del tubo (m)

B_d : ancho de la zanja (m)

Tipo de suelo	(kg/m3)	Coefficiente activo Rankine (k)	Coefficiente de fricción (m)
Suelo suelto	1445	0.33	0.50
Suelo saturado	1776	0.37	0.40
Arcilla parcialmente compactada	1605	0.33	0.40
Arcilla saturada	1926	0.37	0.30
Arena seca	1605	0.33	0.50
Arena húmeda	1926	0.33	0.50

Tabla 1. Valores para 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.

2.2.1.2. Las cargas vivas (Wv).

Otro tipo de esfuerzos que inciden sobre las tuberías son las provenientes de las cargas de uso que pueden ser estáticas, dinámicas, ó superposiciones de cargas. También se les conoce como cargas vivas, por tratarse de cargas no permanentes pero que deben considerarse como tales para fines de cálculo.

Las cargas vivas relacionadas con tuberías generalmente son las provenientes del tráfico de vehículos; no son las únicas pero son las que para efecto de cálculo resultan ser las más exigentes.

Para el análisis del traspaso de carga debido al tráfico vehicular se deben considerar: el área de contacto del vehículo y el pavimento (rectángulo de dimensiones BxL), las cargas máximas permitidas por eje (Ver Tabla 2), y la presión de inflado de los neumáticos.

De experiencias realizadas se ha llegado a las siguientes expresiones:

$$B = \sqrt{\frac{P}{Pt}} \tag{4}$$

$$L = \frac{B}{\sqrt{2}} \tag{5}$$

- Donde,
- P : peso por eje, Kg.
 - Pt : presión de inflado de las llantas, (kg/ m²)
 - B : ancho de la superficie de apoyo de las llantas
 - L : largo de la superficie de apoyo de las llantas, cm

CONFIGURACIÓN	PESO (kN)
Eje Simple, rueda doble	110
Eje Tandem, rueda simple	140
Eje Tandem, rueda doble	250

Fuente: AASHTO. Guide for Design of Pavement Structure, Washington, 1993.

Tabla 2. Pesos máximos permitidos para diferentes configuraciones de ejes.

Cargas de Eje Simple.

Una vez establecida el área de contacto de la rodadura (utilizando Ec. 4 y 5), resulta interesante determinar las presiones originadas a distintas profundidades de enterramiento, para así determinar el régimen de carga más desfavorable al que se podría ver enfrentada la tubería. Para esto existen dos grandes métodos: el de Boussinesq, que calcula la distribución de esfuerzos en un medio semi – elástico debido a la acción de una carga ubicada en la superficie; para ello se asume un medio elástico, isotrópico y homogéneo, lo cual, no resulta muy conveniente cuando hablamos de un suelo. El método del tronco de pirámide por otro lado arroja resultados más conservadores, ya que no considera elasticidad alguna del medio.

En la figura 8, consideramos un tronco de pirámide cuyas caras laterales forman un ángulo α con la vertical, de modo que $\tan \alpha = 0.60$. La carga está aplicada a la superficie en un área $L \times B$ (zona de contacto de la rodadura). Se requiere determinar la presión que se ejerce sobre una tubería ubicada en el plano MN a una profundidad HR.

Del análisis del modelo planteado se ha llegado a la ecuación 6, con la cual se obtienen las presiones resultantes para diferentes profundidades HR.

$$Po = \frac{P / 2}{(B + 1.2 \cdot HR)(L + 1.2 \cdot HR)} \tag{6}$$

Donde,

Po: presión (kg/cm²) que actúa sobre la superficie que se encuentra a la profundidad de HR.

P : carga por eje (kg)

B y L: están definidos en la ecuación 7, (cm)

HR: profundidad a considerar (cm)

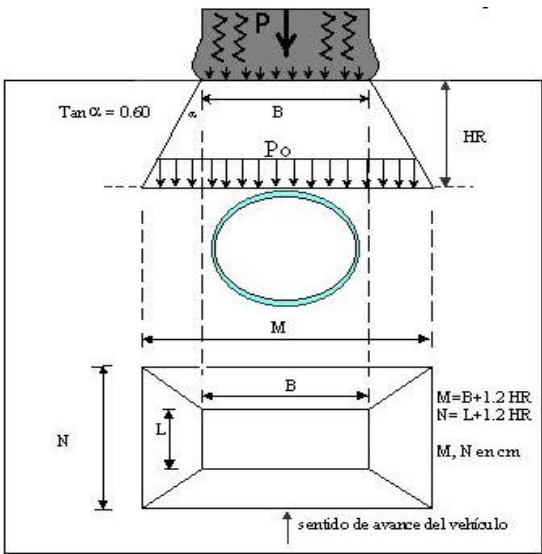


Figura 8. Carga vehicular, de eje simple, superpuesta sobre tubo flexible.

Para entender cómo funciona el método, se recomienda ver el Anexo N°1 “Aplicaciones Prácticas”, en el cual, se presenta el Ejemplo 1, que muestra en forma práctica cómo obtener las presiones ejercidas por la carga sobre la tubería.

Cargas de eje doble o Tandem.

Las cargas ejercidas, sobre la tubería, por un tandem son menores en comparación con el caso del eje simple (carga máxima para eje de tandem de rueda simple es de 14 toneladas), pues el tandem se compone de dos ejes separados 1.2 m aproximadamente, no obstante se produce la particularidad de que ha una cierta profundidad se produce un traslape de los esfuerzos en sentido del avance del vehículo (ver figura 9).

Al observar la figura, se aprecia el traslape de las cargas de un Tandem. Para una profundidad mayor a 90 cm., la carga es el doble que la obtenida para el caso de eje simple. Esto es muy importante a la hora de calcular losas de hormigón para la protección de tuberías flexibles instaladas con recubrimientos mínimos.

De la tabla 3, se desprende que: para alturas menores a un metro, las cargas vivas deben ser ponderadas por el factor de impacto. Por lo tanto, la ecuación de la carga viva, incluyendo el factor de impacto, queda de la siguiente manera:

$$W_v = P_o \times i_f \quad (7)$$

Donde,

Wv : carga viva, kg/cm ²

Po : presión sobre la superficie que se encuentra a la profundidad HR, kg/cm ²

If : factor de impacto (ver Tabla 3).

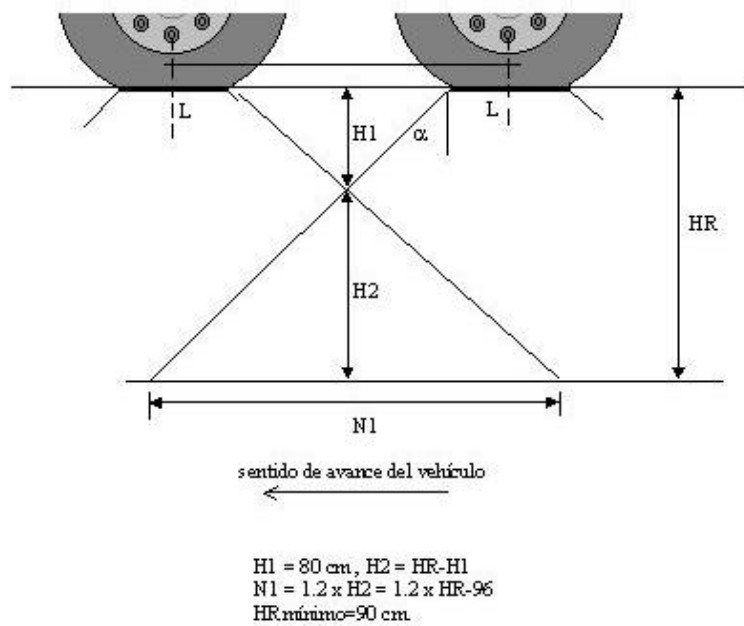


Figura 9. Superposición de Cargas para Tandem.

Altura Recubrimiento HR (m)	Factor de Impacto
0 - 0.30	1.5
0.30 – 0.60	1.35
0.60 –1.00	1.15
sobre 1.00	1.00

Tabla 3. Factor de Impacto v/s Altura de Recubrimiento.

2.3 Límites de comportamiento para el diseño.

Toda obra de instalación de tuberías, flexibles enterradas, debe ser ejecutada de acuerdo a ciertos criterios que aseguren un correcto funcionamiento y durabilidad. Dichos criterios corresponden a los límites de diseño; cuyo fin es asegurar la serviciabilidad óptima.

2.3.1 Primer límite: La Deflexión.

Para determinar la deflexión en una tubería flexible es necesario considerar tres factores esenciales en el diseño de cualquier proyecto.

- 1.- La carga debida al relleno y a las cargas superpuestas.
- 2.- La rigidez del suelo al rededor del tubo.
- 3.- La rigidez propia de la tubería.

2.3.1.1 La carga debido al relleno y las cargas superpuestas.

La carga debido al relleno y a las cargas superpuestas son fáciles de obtener de acuerdo al análisis anteriormente presentado. Como se dijo con anterioridad, el tiempo de consolidación del suelo en los lados del tubo es limitado, por lo tanto, a mayor densidad del suelo alrededor del tubo: menor será el tiempo durante el cual la tubería seguirá deformándose, como menor será la deflexión como respuesta a la carga máxima. Por el contrario, si el suelo es de baja densidad, el periodo en que la tubería se deformará será mayor, como mayor también, será la deformación final.

Una vez que el suelo alcance la densidad necesaria para soportar la carga máxima, la tubería no deflechará más. ASTM D3034 establece medir deflexiones no antes de 30 días después de la instalación de la tubería y llenado de la zanja.

2.3.1.2 La rigidez del suelo.

Lo importante de este parámetro es que considera, además del suelo que rodea al tubo, el muro de la excavación (suelo natural) y como estos se combinan para soportar las cargas horizontales de empuje pasivo. La rigidez combinada del suelo puede obtenerse en forma experimental⁶.

La Fórmula de Spangler.

Esta fórmula se conoce como “Fórmula de Iowa”, y fue desarrollada por M. G. Spangler, en esta se establece como base la baja rigidez que poseen las tuberías flexibles en

⁶ Numerosos ensayos fueron realizados por el Profesor Amster K. Howard de United States Boreau of Reclamación.

comparación con las tuberías rígidas, sin embargo, combinadas con el suelo se comportan notablemente bien. Lo más importante de sus estudios fue determinar la relación que existía entre el suelo alrededor del tubo y la deflexión de esta. Esto se logró asumiendo que la carga de Martson era aplicable y que esta era uniformemente distribuida en el plano que se encontraba sobre la corona del tubo. También se asumió una presión uniforme como respuesta proveniente del fondo de la zanja y que esta dependía directamente del ángulo de encamado θ (ver figura 11). Por otra parte asumió que la presión horizontal h en cada lado será proporcional a la deflexión del tubo dentro del suelo. La constante de proporcionalidad se conoce como **Módulo de Resistencia Pasiva del Suelo**, la cual se denominará como E_2 (ver figura 10).

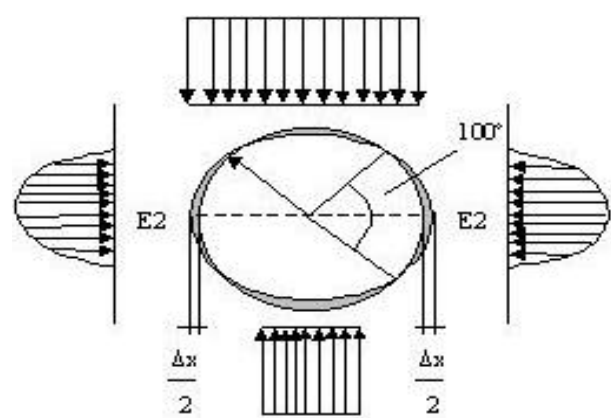


Figura 10. Base de la derivación de la fórmula de Iowa.

Fórmula de Iowa

$$\Delta x = \frac{DL \quad k \quad Wc \quad r^3}{E \quad I + 0.061 E_2 \quad r^4} \quad (8)$$

Donde,

DL : factor de retardo en la deflexión

k : constante de encamado (Tabla 4)

Wc: carga de Marston por unidad de longitud de tubería

r : radio medio de la tubería

E : módulo de elasticidad del material del tubo

I : momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud.

E_2 : módulo de resistencia pasiva del material a los lados del tubo

Δx : deflexión horizontal o cambio de diámetro.

La constante de encamado **k** esta relacionada con la fuerza de reacción que presenta la cama sobre la cual descansa la tubería, esta varía en relación, al ángulo de encamado

θ (ver figura 11) y que es multiplicativo de la carga total sobre el tubo. En la tabla 4, se observan los valores de **k**, en relación, al ángulo de encamado.

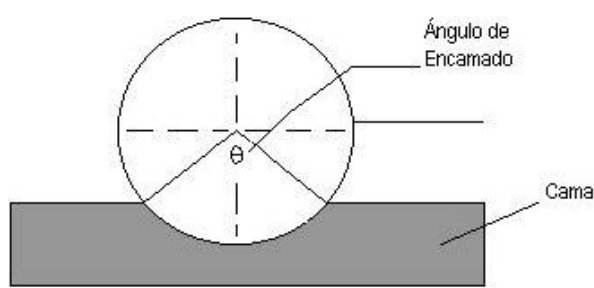


Figura 11. Ángulo de Encamado θ .

Angulo de encamado	K
0°	0.110
30°	0.108
45°	0.105
60°	0.102
90°	0.096
120°	0.090
180°	0.083

Tabla 4. Valores de K con relación al Angulo de Encamado.

Estudios posteriores⁷, concluyeron que el módulo de resistencia pasiva **E2** no correspondía a una propiedad verdadera del suelo, como resultado de estos esfuerzos se definió un nuevo parámetro conocido como **“Módulo de Reacción del Suelo”**, **E'**. La fórmula (Ec. 9) entonces debió ser redefinida conociéndose como **“Fórmula de Iowa Modificada”**.

$$\Delta X = \frac{DL \; k \; Wc \; r^3}{E \; I + 0.061E' \; r^3} \quad (9)$$

Otro parámetro utilizado en la Fórmula de Iowa, es el factor de retardo de la deflexión, **DL**. Como la deflexión final se alcanza cuando el suelo está totalmente consolidado, es decir alcanza la carga prisma, al utilizar la carga de Martson se sugiere que el factor de retardo sea igual a 1.5. Por el contrario si se utiliza la carga prisma **DL = 1**, para efectos de diseño.

⁷ Estudios realizados en el año 1958, por Reynold K. Watkins.

Por último, el módulo de reacción del suelo se encuentra tabulado de acuerdo al tipo de suelo y su grado de compactación, esto fue posible mediante la generación de datos tanto de laboratorio, como de campo⁸ (Ver Anexo N° 2, "Tabla de clasificación de suelos y valores del E2").

Los datos entregados en la tabla del Anexo N°2, están limitados a profundidades de relleno que no excedan los 15 m. Por otro lado, la utilización de estos como referencias de diseño no libran de la necesidad de aplicar factores de seguridad.

2.3.1.3 La Rigidez de la Tubería.

En general, las tuberías flexibles enterradas se ven enfrentadas a un régimen de carga que produce una deformación tal, que las lleva a adoptar una forma elíptica. En efecto, al ver el modelo de la figura 12, vemos como la carga P, aplicada en sentido vertical, produce un acortamiento del diámetro en el sentido de la carga, y por el contrario un alargamiento en el diámetro horizontal; esto es lo fundamental en el análisis de las tuberías flexibles.

Las deformaciones horizontales y verticales se pueden considerar iguales para deformaciones pequeñas.

Debido a que la mayoría de las tuberías de PVC se describen, ya sea por su rigidez ($F/\Delta Y$), o bien por su SDR (rigidez teórica), es posible expresar la Fórmula Modificada de Iowa de la forma que muestra la ecuación 10.

$$\% \frac{\Delta Y}{D} = \frac{DL \cdot k \cdot W \cdot 100}{0.149 \frac{F}{\Delta Y} + 0.061 E'} \quad (10)$$

La rigidez del tubo se define como la relación entre la fuerza aplicada y el acortamiento producido en el diámetro, según muestra la figura, este modelo ha sido elegido, puesto que coincide con el utilizado en el ensaye establecido en la Norma DIN 16961, para la determinación de la rigidez en los tubos de PVC.

⁸ Los estudios fueron realizados por el Profesor Amster K. Howard, el cual, determinó el módulo de reacción para diferentes tipos de suelos y densidades. Las diferencias entre sus experimentos y valores teóricos son del orden de un 2%, por lo que los valores de la tabla V son absolutamente confiables.

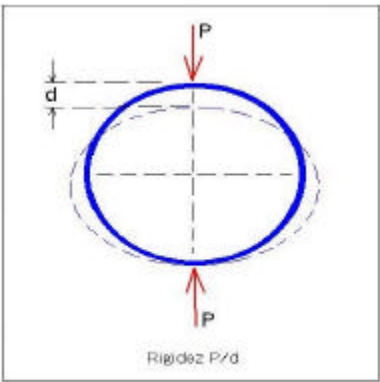


Figura 12. Modelo para la determinación de la rigidez de un tubo flexible.

Al aplicar la teoría de la resistencia de materiales y tomando como base el modelo observado en la figura 12, es posible de obtener variaciones del diámetro horizontal (figura 13).

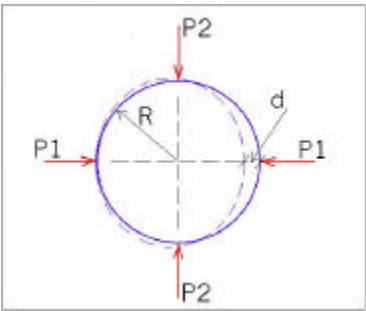


Figura 13. Modelo para la variación del diámetro horizontal.

$$d = \frac{R^3}{EI} \frac{(2(4 - p)P_2 - (p^2 - 8)P_1)}{4p} \tag{11}$$

Haciendo $P_2 = 0$ y $P_1 = P$, se obtiene el modelo de la figura 13.

$$d = \frac{R^3}{EI} \frac{-(p^2 - 8)P}{4p}$$

Correspondiendo el signo negativo al acortamiento.

Siendo $\frac{(p^2 - 8)}{4p} = 0.149$, con lo que obtiene:

$$SRT = \frac{P}{d} = \frac{EI \times 10^3}{0.149 R^3} \quad (12)$$

Donde,

SRT: rigidez teórica del tubo (KN / m²). Ver Tabla 8.

R : el radio a la fibra neutra de la pared (m), del centro del círculo hasta la fibra que contiene el centroide.

E : módulo de elasticidad del PVC (2750 Mpa, ASTM D2487)

I : momento de inercia de la pared del tubo (m⁴ / m) (Ver Tabla 8).

Integrando todos los conceptos anteriores se obtiene la ecuación 13, que se utiliza para el cálculo de las deflexiones en las tuberías flexibles.

$$\Delta\% = \frac{0.1 \times 1 (\gamma \cdot HR \times 10^{-4} + W_v) 100}{(SRT \cdot 0.0102 \times 0.149 + 0.061 E_2 \text{ zeta})} \quad (13)$$

Donde,

Δ%: porcentaje de deflexión con respecto al diámetro interno (7.5% a los 30 días según ASTM D3034, X2.1)

γ: peso volumétrico total del suelo de relleno (kg/m³)

HR: altura de relleno sobre la corona del tubo (m.)

Wv: carga viva (ec.7). Usar ecuación 6 para Eje Simple (para tandem aplicar superposición si corresponde (kg/m²))

SRT: Rigidez Anular del tubo (ec. 12) (KN / m²) (ver Tabla 8).

E₂ : módulo de rigidez del material alrededor del tubo (kg/m²)

zeta: factor de correlación entre rigidez del material alrededor del tubo (E₂) y la rigidez del muro de excavación (E₃), según el método de ATV. (Ecuación 14).

El factor de correlación, zeta, surge del método aplicado por la ATV (Asociación de Ingenieros de Drenaje de Alemania), el cual, conjuga la rigidez del relleno alrededor del tubo, el cual es posible manipular; con la rigidez natural del muro. De las experiencias realizadas en esos estudios, se concluyó que la rigidez del material alrededor del tubo se ve afectada por la rigidez del suelo natural del muro.

$$\text{zeta} = \frac{1.44}{f_z + (1.44 - f_z) \frac{E_2}{E_3}} \quad (14)$$

$$F_z = \frac{\frac{b}{da} - 1}{1.154 + 0.444 \left(\frac{b}{da} - 1 \right)} \quad (15)$$

Una de las formas de neutralizar la correlación que existe entre E2 y E3, es utilizando el mismo material extraído de la excavación, eliminando las partículas gruesas, como material alrededor del tubo de esta forma $\text{zeta} = 1$. Claro está dicha reutilización sólo es posible si el material reúne las características apropiadas.

Para entender de mejor forma como debe ser tratado este criterio de diseño (puesto que debe ser considerado en el diseño), se incluye en el Anexo N°1 el Ejemplo 2, el cual, describe los pasos a seguir para determinar la deflexión en las tuberías.

2.3.1.4 La Deflexión, en zanjas, en terrenos de mala calidad.

Se ha hecho referencia a la deflexión propiamente tal, como resultado del sometimiento de la tubería flexible a un régimen de carga, que en teoría, se asemeja al que sufren en la práctica. Para esto se han hecho una serie de hipótesis respaldadas por estudios de campo, sin embargo existen aún varias interrogantes, como por ejemplo: ¿Cómo se comportan las tuberías flexibles en terrenos: saturados, inestables, o suelos pobres con un bajo E_3 ? Otra interrogante que se desprende de esto es: ¿Cuánto material selecto alrededor del tubo es necesario para contrarrestar los esfuerzos cortantes en el suelo producto de la deformación de este?

De estudios realizados⁹ se concluyó: “ Si la zanja posee muros de excavación rígidos, o al menos de igual rigidez que el material de relleno selecto, entonces el espesor de material selecto será el mínimo tal que pueda compactarse sin problema”.

Por el contrario si las paredes de la excavación son de material pobre (plásticos), el espesor deberá ser suficiente de manera tal que la cuña de esfuerzo descrita por los esfuerzos cortantes no sobrepase en extensión mas allá del material selecto, como se aprecia

⁹ Estudios de laboratorios realizados por el Prof. Reynold Watkins en el año 1977, los cuales se encuentran resumidos en su publicación “Structural Performance of Buried Corrugated Plastic Tubing”, ASAE, 1980.

en la figura 14. Para lograr esto es necesario seleccionar un material cuyo ángulo de fricción interna sea superior a 30° , de este modo el plano de falla describe un ángulo de 30° en la dirección de la deformación. Como se aprecia en la figura 13, $D/2$ es el espesor mínimo de relleno que contiene en su totalidad a la cuña desarrollada en el material selecto alrededor del tubo. Se puede incluir un factor de seguridad adicional si el material de las paredes es demasiado pobre. No obstante si se obtiene un material con un ángulo de fricción interna mayor a 30° es posible reducir la separación entre el tubo y el muro de la excavación.

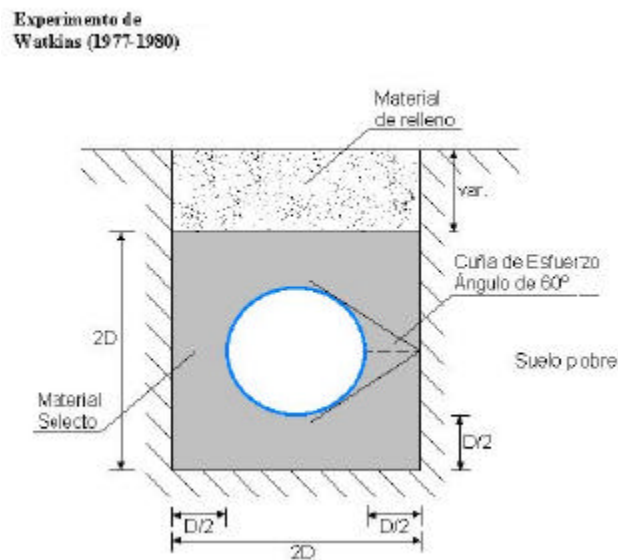


Figura 14. Cuña de Esfuerzo.

Puede suceder que el suelo sea de muy mala calidad, que ni siquiera pudiese mantenerse estable después del corte, en este caso el material deberá formar un montículo en la parte superior del material selecto como muestra la figura 15.

En conclusión, se puede afirmar que aún en las condiciones más desfavorables, con ayuda de un buen material selecto se puede lograr una instalación segura de las tuberías; incluso la regla de los dos y medios diámetros es obsoleta, por no tener soporte técnico, esta regla resulta ser demasiado conservadora; lo que conlleva un incremento importante en los costos asociados a su ejecución. Contrariamente a lo que ocurre con las tuberías rígidas, una zanja ancha mejora el comportamiento de la deflexión de un tubo flexible, por esto no hay necesidad de preocuparse por la sobre-excavación lateral producida por el tamaño de la maquinaria.

Para entender mejor el concepto de la “Cuña de Esfuerzo de Watkins”, es necesario analizar el Ejemplo 3 del Anexo N°1, que muestra una situación en la que es posible aplicar dicho concepto.

Por otra parte, la interrogante sobre el desempeño de las tuberías flexibles en terrenos saturados, será resuelta en el siguiente punto, donde se revisará el segundo límite (el abollamiento).

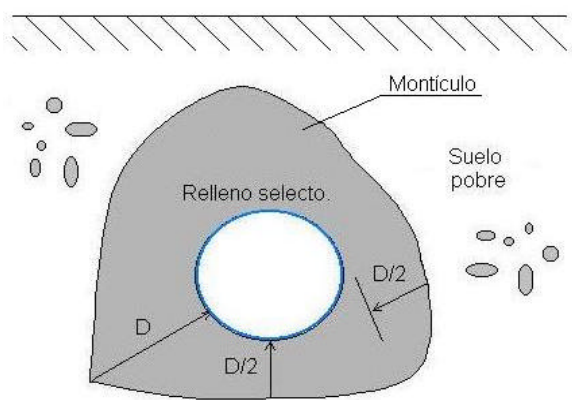


Figura 15. Instalación en suelo pobre.

2.3.2 Segundo límite: el abollamiento o pandeo (Buckling).

Los tubos flexibles al ser sometidos a una carga crítica, sufren el abollamiento o aplastamiento de la parte superior de su estructura (ver figura 16). Debido a esto, es necesario realizar una comprobación de la estabilidad dimensional, esto consiste en determinar el margen de seguridad, teniendo en cuenta las presiones del terreno, como la presión exterior del agua (subterráneas), y la superposición de ambas presiones.

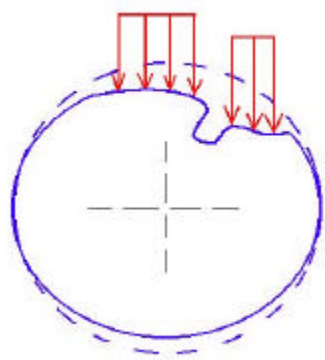


Figura 16. Abolladura localizada.

2.3.2.1 Cálculo de la presión crítica de colapso.

Para realizar el cálculo de la presión de colapso, es necesario tener presente la teoría de resistencia de materiales. Para entender mejor el comportamiento de las tuberías flexibles debe hacerse un análisis bidimensional de la estructura, sin olvidar que se trata de un

elemento tridimensional y que trabaja como tal. La ecuación 16, define la tensión crítica de aplastamiento (P_{cr}), para un anillo circular, sujeto a una presión uniforme externa. Para el caso de líneas de tuberías, el módulo de elasticidad E se reemplaza por $E/(1-\nu^2)$, donde ν es el coeficiente de Poisson¹⁰

$$P_{cr} = \frac{3EI}{(1 - \nu^2)r^3} \quad (16)$$

Donde:

r : radio interno del tubo (m)

I : momento de inercia de la pared del tubo (m^4/m) (ver tabla 6)

E : módulo de elasticidad de la pared del tubo (kg/m^2)

P_{cr} : presión crítica de aplastamiento (kg/m^2)

ν : 0.38 para PVC

Además, a las tuberías que al instalarse presenten un ovalado horizontal, deberá aplicarse un coeficiente de reducción “C”, debido a que presentan una menor resistencia que las que presentan una forma circular.

El factor de reducción fue obtenido mediante regresión, este está determinado por la ecuación 17. Esto da origen a una nueva expresión, la ecuación 18, en la cual se ha incorporado el factor de reducción.

$$C = 0.98664 e^{(-0.081 \Delta)} \quad (17)$$

Donde,

e : base de los logaritmos naturales = 2.718

Δ : porcentaje de deflexión (e.g. 3%)

$$P_{cr} = \frac{0.98664 e^{(-0.081 \Delta)} (3E_{PVC} \times 10^3 I \times 10^{-9})}{0.86r^3} \quad (18)$$

Donde,

P_{cr} : presión crítica de aplastamiento (kN/m^2)

E_{PVC} : módulo de elasticidad del PVC = 2750 Mpa

¹⁰ ν : Coeficiente de Poisson = contracción unitaria / elongación unitaria axial.

r : radio interno (m)
I: momento de inercia de la pared del tubo (mm⁴/mm)

Para contrarrestar la disminución de la resistencia de la tubería, debido al ovalado horizontal; es aconsejable provocar un ovalado vertical de alrededor de un 3%, utilizando para esto la compactación lateral. Con esto la deflexión final será prácticamente nula y el coeficiente de reducción será aproximadamente igual a 1, producto del pre-forzado del tubo y una vez alcanzada la consolidación del suelo.

En el gráfico 1, vemos la representación de la curva de “C”, vemos que existe una relación exponencial que existe entre la deflexión en el tubo y la reducción de la resistencia de diseño.

Como se aprecia en la Tabla VI, los valores de “C”, están dados para una deflexión máxima de un 10%. Es necesario recordar que ASTM D-3034 recomienda un límite de deflexión del 7.5%, cualquier deflexión mas allá corre el riesgo de sufrir un falla estructural. Si bien es cierto, el límite a la deflexión posee un coeficiente de seguridad de 4 aproximadamente, siempre quedan variables difíciles de controlar, lo que podría redundar en un aumento de la presión a que están expuestas las tuberías; como por ejemplo deficiencias en la compactación lateral, solicitudes mayores a las de diseño, etc.

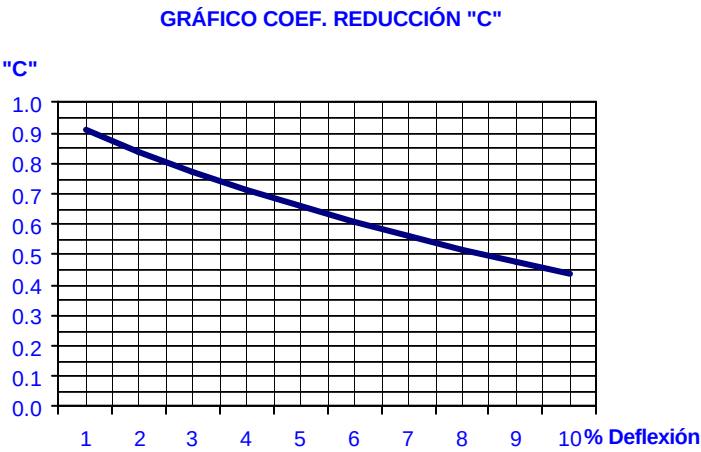


Gráfico 1. Coeficiente “C”, para el cálculo de la presión crítica de aplastamiento.

La presión de abollamiento (Buckling pressure) es otra variable que se debe analizar en el cálculo de este límite. Este surge del hecho de que el material que rodea las tuberías flexibles, en la mayoría de los casos provee alguna resistencia a las deformaciones del

tubo. De estudios realizados en los países escandinavos se llegó a la siguiente expresión para el cálculo de la presión de abollamiento.

$$P_b = 1.15 \sqrt{P_{cr} E'}$$

Como se dijo anteriormente E' está condicionado por la influencia de E_3 del suelo natural del muro de la excavación y por el parámetro *zeta*. El resultado de esto, considerando todos los aspectos, es la ecuación 19.

$$P_b = 1.15 \sqrt{P_{cr}(E_2/0.0102)zeta} \quad (19)$$

Donde,

P_b : presión de abollamiento en un suelo dado

E_2 : es el módulo de reacción del suelo alrededor del tubo.

P_{cr} : Presión crítica de aplastamiento.

El cálculo de la presión de abollamiento, así como la carga existente (q_v), son necesarias para llegar a determinar la expresión para el factor de seguridad contra el abollamiento. La carga existente proviene de la superposición de la carga prisma proveniente del relleno, como de las cargas debido al tráfico. La ecuación 20, corresponde a q_v , y esta expresada en kN/m^2 .

$$q_v = (\gamma \text{ HR} 9.81/1000) + (W_v/0.0102) \quad (20)$$

Donde,

HR: profundidad del relleno sobre la corona del tubo

W_v : carga viva

q_v : carga existente

P_b : presión de abollamiento

Por último para finalizar con el análisis del segundo límite de diseño, corresponde definir el factor de seguridad; el cual, como muestra la ecuación 21, es el resultado del cociente entre la presión de abollamiento y la carga existente.

Y el factor de seguridad contra el aplastamiento será:

$$\eta_{bu} = \frac{P_b}{q_v} \quad (21)$$

Donde,

q_v : carga existente

P_b : presión de abollamiento

η_{bu} : factor de seguridad contra el aplastamiento

En el ejemplo 4, del Anexo N°1, se muestra el método a utilizar en el análisis de este límite. Mediante un problema sencillo se aprecia la manera de abordar el diseño en la colocación de una canalización tipo.

2.3.2.2 Acción del nivel freático en tuberías flexibles enterradas

Es común, en este tipo de trabajos, encontrarse con terrenos con presencia de napas subterráneas y niveles freáticos altos. El agua presente puede deberse a distintas razones: ya sea por mantos de agua dulce, o por intrusiones de agua salinas en los sectores cercanos al mar.

En sistemas de tuberías cuyas juntas son herméticas, la presión en el exterior del tubo es uniforme alrededor de la circunferencia, y con dirección al centro de este.

Ahora, al análisis de los tubos flexibles enterrados, se debe agregar la presión hidrostática alrededor del tubo, la cual, no debe exceder la rigidez combinada del sistema Suelo-Tubo, además con un cierto factor de seguridad.

En este caso en particular; como muestra la figura 17, la carga sobre el tubo, es el resultado a la acción de la ya mencionada carga prima, más la carga debida al peso del agua.

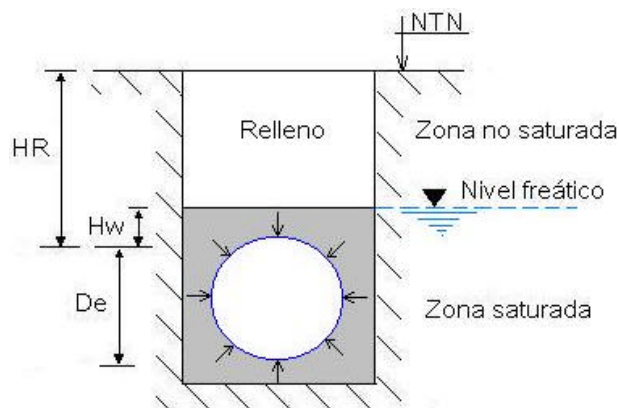


Figura 17. Tubo enterrado bajo la acción de agua subterránea

Si bien es cierto, la presencia de agua contribuye con una carga adicional sobre el tubo, también se produce una reducción en el peso específico del suelo una vez saturado. Por esta razón se debe introducir un factor de flotabilidad R , dado en la ecuación 22, y que corrige la presión efectiva sobre el tubo.

$$R = 1 - 0.33 \left(\frac{H_w + D_e}{HR} \right) \quad (22)$$

Donde,

H_w , HR y D_e en metros.

Al igual que el análisis de la presión crítica de abollamiento (P_{cr}), la presión producida por el agua (presión hidrostática), merece un análisis similar debido a que dicha presión también contribuye al abollamiento de la tubería, cuando esta se encuentra sumergida. La ecuación 23, determina la presión de abollamiento para una tubería sumergida, es decir, con presión hidrostática externa.

$$cripP_w = a_D SRT \quad (23)$$

Donde,

a_D : coeficiente de penetración para el PVC (Gráfico 2, ecuación 26)

SRT : rigidez anular del tubo (kN/m^2), (ecuación 12 o ver Tabla 6)

El coeficiente a_D , está determinado por la relación existente entre la rigidez del tubo y el medio que circunda a este. Dicha relación está determinada por el factor VRB , definido en la ecuación 24.

$$V_{RB} = \frac{S_{RT}}{S_{BH}} \quad (24)$$

Donde,

SRT : rigidez anular en kN/m^2 y S_{BH} : rigidez del medio, define como:

$$S_{BH} = 0.061(E_2/0.0102)\zeta \quad (25)$$

Donde,

S_{bh} : rigidez del medio que circunda el tubo (kN/m^2)

E_2 : módulo de rigidez del material alrededor del Tubo (kg/m^2)

ζ : factor de correlación definido en ecuación 14.

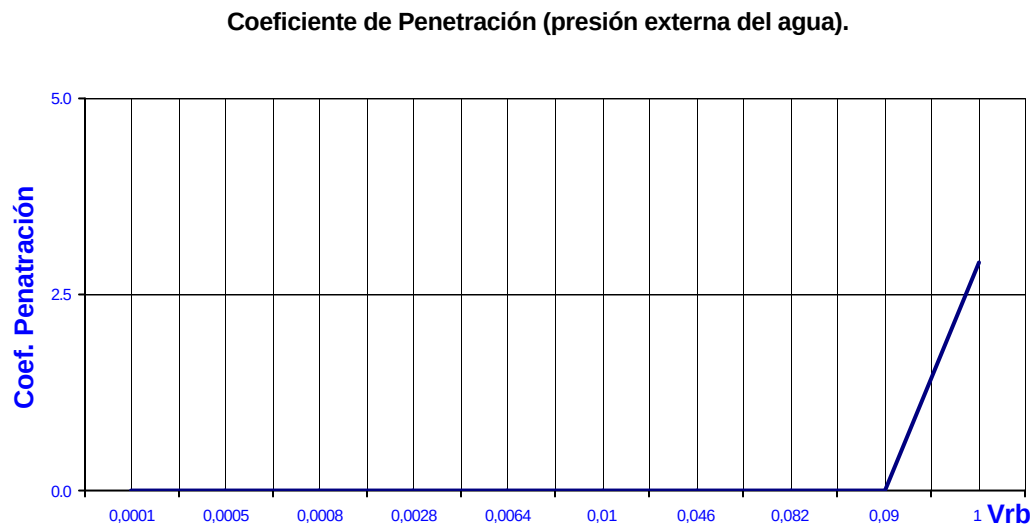


Gráfico 2. Coeficiente de penetración a_D , para el cálculo de la presión hidrostática.

La ecuación 26, corresponde al modelo de mejor ajuste, entrega el coeficiente a_D en función de V_{RB} .

$$a_D = 2.903 \left(V_{RB} \right)^{-0.279} \tag{26}$$

En forma análoga, al tratamiento que se hizo para la carga crítica de aplastamiento, la ecuación 27 determina el factor de seguridad al aplastamiento de un tubo sumergido.

$$\eta_{bw} = \frac{cripP_w}{P_w} \tag{27}$$

La presión externa del agua o presión hidrostática, P_w , referida al eje del tubo se calcula, de acuerdo al modelo de la figura 17, según la ecuación 28.

$$P_w = \gamma_w \left(H_w + \frac{D_e}{2} \right) \tag{28}$$

Donde,

El peso específico del agua $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$.

P_w , en kN/m^2 .

2.3.2.3 Acción combinada de la Presión del suelo y la Presión Hidrostática.

Una vez realizado el análisis, para determinar el efecto que produce la presencia de agua externa y cómo la presión hidrostática se distribuye entorno al tubo, es necesario unificar ambos criterios, con el fin de cuantificar la acción combinada, tanto de la presión producida por el suelo (superposición de las cargas provenientes del relleno y las cargas de tráfico), como por la presión hidrostática debido a la presencia de agua.

En los casos, en los que se espera una elevación del nivel freático, es necesario reformular nuestro modelo para considerar la superposición de ambas cargas. En efecto, al considerar la fuerza boyante en el cálculo de q_v es necesario introducir el factor de flotabilidad R , ya definido (ec. 22), en el cálculo de la carga prisma (ec. 29). Esta será igual a $\gamma_{HR} R + P_w$. Esto nos lleva a su vez a redefinir el factor de seguridad, de acuerdo a la ecuación 30.

$$q_{vw} = \frac{(g_{HR} \times R + P_w)9.81}{1000} + \frac{W_v}{0.0102} \quad (29)$$

$$\eta_w = \frac{1}{\frac{q_{vw}}{P_b} + \frac{P_w}{critP_w}} \quad (30)$$

Donde,

Las unidades de presión en kN/m^2 .

Algunos de los problemas más comunes, con los que se enfrentan los proyectistas, suelen ser: el determinar si una zona presenta niveles freáticos altos de acuerdo a las crecidas estacionales y otro suele ser el determinar el módulo de deformación del suelo cuando no se cuenta con la información necesaria. El primero, se soluciona realizando una inspección acabada del terreno y alrededores, recurriendo a estudios realizados en la zona para otros proyectos, la existencia de pozos en las cercanías, mediante consulta con los lugareños. Para el segundo problema, se plantea la utilización de la tabla 5, según su clasificación y su grado de densidad Proctor (%), de acuerdo a lo establecido por DIN 18196.

- Grupo 1: Suelos no cohesivos (GP, GW, SP, SW)
- Grupo 2: Suelos ligeramente cohesivos (GM, GC, SM, SC)

- Grupo 3: Suelos cohesivos mezclados: limos, (arenas y gravas con cohesión, material rocoso natural cohesivo),(GM-GC, GP-GM, SW-SC, SP-SM)
- Grupo 4: Suelos cohesivos (e.g. arcillas), (CN, CL, MH, ML, OH, OL, T)

Grupo	Ángulo de Fricción Interna	Módulo de Deformación (kg/cm2) según grado de compactación (proctor)					
		85	90	92	95	97	100
G1	35	20	61	92	163	235	408
G2	30	12	31	41	82	112	204
G3	25	8	20	31	51	82	133
G4	20	6	15	20	41	635	102

Tabla 5. Módulo de deformación y ángulo de fricción interna de los suelos, según su grado de compactación Proctor.

El ejemplo 5 del Anexo N°1, muestra el método a seguir en la determinación del factor de seguridad al aplastamiento con la presencia de aguas subterráneas.

2.3.3 Tercer límite: Rotura de la pared (Wall Crushing).

El tercer límite, rotura de la pared del tubo, debe ser considerado en el diseño debido a la posibilidad de falla por pandeo, en efecto; cuando el caudal, a través del tubo, utiliza la totalidad de la capacidad hidráulica de este, es posible que se produzcan vacíos en forma localizada. De lo anterior, se podría suponer que en algún momento el esfuerzo en la pared del tubo podría superar el límite de proporcionalidad del material hasta llegar a la fluencia de este, provocando la falla.

2.3.3.1 La Compresión anular en tuberías flexibles.

Para comprender el fenómeno de la falla en la pared, se debe manejar el concepto de la compresión anular; que es resultado de las cargas, ya sea, debido al relleno como a cargas de tráfico (carga prisma), y que actúan sobre el diámetro del tubo en una longitud unitaria.

El esfuerzo de compresión anular es determinante en el comportamiento de este límite, y está definido por la ecuación 31.

$$\text{Compresión Anular} = \frac{P_v D_e}{2A} \quad (31)$$

Donde,

P_v : presión vertical debida a la carga

D_e : diámetro externo del tubo

A : área de sección de la pared del tubo/ unidad de longitud.

Utilizando la ecuación 1 para calcular la presión máxima del prisma de suelo, se obtiene la ecuación 32 que define el esfuerzo de compresión en la pared.

$$\sigma_c = \frac{(\gamma \times 9.81/1000) \times HR}{2A} D_e \quad (32)$$

Donde,

σ_c : esfuerzo de compresión en la pared del ($\text{kN/m}^2/\text{m}$)

HR : altura de relleno (m)

γ : peso volumétrico total del suelo (kg/m^3)

A : área de sección de la pared del perfil por unidad de longitud: (m^2/m)

Finalmente, el factor de seguridad para la rotura de la pared queda definida de acuerdo a la ecuación

$$\mu_{cru} = \frac{S_{max}}{\frac{(g \times 9.81/1000) \times HR \times D_e}{2A}} \quad (33)$$

Donde,

$Max = C = 325 (\text{kg/cm}^2) (31862 \text{ kN/m}^2)$.

El ejemplo 6 del Anexo N°1, describe el método a seguir, para la determinación del tercer límite: rotura de la pared.

2.4 Características y propiedades de las tuberías perfiladas de PVC flexible Superpipe.

Las características y propiedades de las tuberías perfiladas de PVC flexible Superpipe, se detallan a continuación (tablas 6, 7, 8, 9, 10).

Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)	Área de la pared A (m ² /m)	Momento de Inercia (mm ² /mm)	Rigidez Anular SRT(kN/m ²)
400	402.4	0.0023	31.33	69
500	502.4	0.0023	31.33	36
600	603.86	0.003814	146	94
800	803.86	0.003814	146	40
1000	1003.86	0.003814	146	21
1200	1206.4	0.00618	428.36	35.1
1500	1506.4	0.00618	428.36	18.1

Tabla 6. Magnitudes físicas y propiedades mecánicas de los tubos Superpipe.

Diámetro nominal (mm)	Tapada tránsito Pesado	Tapada tránsito liviano	Tapada bajo Pavimento
400	0.82	0.3	0.25
500	0.83	0.3	0.25
600	0.81	0.3	0.25
800	0.83	0.3	0.25
1000	0.84	0.3	0.3
1200	0.84	0.3	0.3
1500	0.84	0.3	0.3

Tabla 7. Profundidades mínimas de recubrimiento sobre la corona.

Diámetro nominal (mm)	Peso volumétrico total del suelo	
	1700 (kg/m3) profundidades en m/l	1926 (kg/m3) profundidades en m/l
400	12.64	11.15
500	9.71	8.75
600	13	11.5
800	11	9.78
1000	8.59	7.19
1200	10.05	8.95
1500	7.87	6.76

Tabla 8. Profundidades máximas de relleno aconsejables para Superpipe.

Diámetro interno (mm)	Pendiente									
	0,5%	0,8%	1%	1,5%	2%	2,5%	3%	5%	6%	7%
400	0.21	0.26	0.3	0.37	0.43	0.48	0.52	0.67	0.74	0.8
500	0.39	0.47	0.55	0.67	0.77	0.86	0.94	1.22	1.34	1.44
600	0.83	0.77	0.89	1.09	1.25	1.4	1.54	1.98	2.17	2.35
800	1.35	1.85	1.91	2.34	2.7	3.02	3.31	4.27	4.68	5.05
1000	2.45	3.00	3.46	4.24	4.9	5.48	6	7.74	8.48	9.16

Tabla 9. Capacidad Hidráulica (Caudal m3/seg.)

Diámetro (mm)	Largo (ml)	Peso (kg/ml)
400	6 ó 12	5.40
500	6 ó 12	6.75
600	6 ó 12	8.10
800	6	16.60
1000	6	21.65
1200	6	34.50
1500	3	43.00

Tabla 10. Peso por metro lineal y longitudes de los tubos Superpipe.

2.5 Aplicaciones de la tubería flexible de PVC perfilado.

2.5.1 Campo de Aplicación.

Las aplicaciones de las tuberías flexibles perfiladas de PVC, abarcan un amplio espectro dentro de las obras de construcción. Contrariamente a lo que se podría pensar; su aparente fragilidad, debido a su flexibilidad, en comparación con las tuberías de hormigón o las de metal corrugado cincado, presenta una ventaja al conformar un sistema tubo-suelo con resultados óptimos. De lo anterior se desprende, la idoneidad del material en una amplia gama de aplicaciones, tales como:

- Alcantarillado
- Redes de distribución Sanitarias
- Conducciones de agua a baja presión
- Drenaje agrícola sub-superficial
- Sustitución de canales de riego
- Entubamiento de cauces superficiales
- Cámaras de Inspección
- Encofrado perdido.

En la figura 18, es posible apreciar el perfilado, que presenta la tubería Superpipe, en la cara exterior de la pared del tubo.

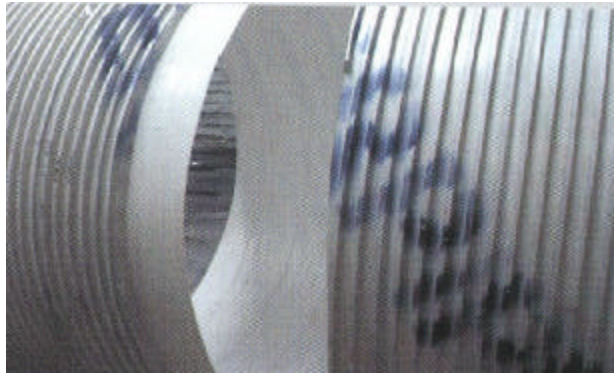


Figura 18. Tubería Perfilada Superpipe.

2.5.2 Idoneidad del tubo para casos especiales

En consideración, de las características que posee el tubo de PVC perfilado, la utilización de este puede dar solución a problemas que no son subsanables con tubos convencionales, entre los cuales podemos nombrar los siguientes casos:

- Obras de difícil acceso (ligereza y manejabilidad del tubo)
- Necesidad de tubos de gran longitud (su sistema de fabricación permite obtener tubos de longitud de 25 m, al pie de la obra)
- Escasez de tiempo para realizar la obra (rendimientos de instalación muy altos)
- Exigencias de tubos de un determinado diámetro (posibilidad de fabricar tubos de diámetros que se ajustan al cálculo)
- Adversas características del terreno (el tubo posee alta resistencia a los productos químicos, que provienen de las malas características de los terrenos)
- Vertido de aguas agresivas (el tubo posee alta resistencia a los productos químicos y a las aguas negras o industriales)
- Pequeñas Pendientes (debido al coeficiente de rugosidad, permite transportar un mismo caudal con menores pendientes que con otros materiales, manteniendo una velocidad adecuada).

2.5.3 Otras Aplicaciones

Otras aplicaciones, para las tuberías perfiladas de PVC, no tradicionales son:

- Aligeramiento de puentes
- Encofrado de pilares que requieren un perfecto acabado
- Encamisados de viejas tuberías sin necesidad de excavar zanjas a cielo abierto

2.6 Especificaciones técnicas: Tubería Superpipe.

2.6.1 Materiales: Longitudes de tubo y tolerancias.

En esta parte del capítulo, se hace referencia a los antecedentes aportados por la empresa San Isidro S. A.; de las características y dimensiones de los materiales, como también de las especificaciones técnicas de instalación, para su producto Superpipe.

La longitud de los tubos podrá ser variable a efectos que se puedan ajustar a las condiciones del terreno. Dicha longitud estará comprendida entre los 3 y 12 metros con tolerancias de $\pm 2\%$. Las longitudes estándar de fabricación son:

6-12 metros para diámetros de 0.400-0.500-0.600.

6 metros para diámetros de 0.800.

6 metros para diámetros de 1.000.

3 metros para diámetros de 1.200 y 1.500.

En la figura 19, se aprecian algunos de los distintos diámetros de tubería, que se encuentran disponibles.

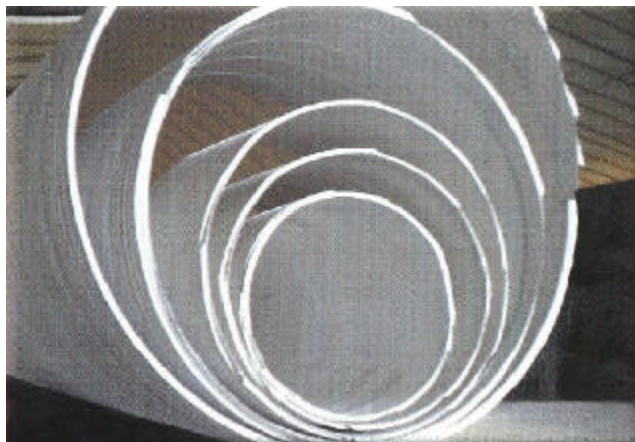


Figura 19. Diferentes diámetros de tubería.

Estas medidas no son excluyentes, habiéndose tomado el parámetro necesario para que el tubo pueda ser fácilmente transportado y manipulado por 2 personas sin ayuda de elemento mecánico alguno.

2.6.2 Transporte, recepción y almacenamiento.

Carga y transporte.

Las tuberías presentan la ventaja de poder ser fabricadas a pie de obra (in situ), requiriendo condiciones mínimas para operar. Lo anterior está condicionado a un mínimo de tubería requerida de 500 m.

En el caso de ser necesario el transporte de la tubería, se deberá tener presente las siguientes recomendaciones:

1. La carga de los vehículos de transporte se debe realizar de modo que no se produzcan daños ni deformaciones de los tubos (ver figura 20). Los tubos deben quedar apoyados uniformemente en toda su longitud. El piso de los vehículos de transporte debe estar limpio y liso, sin partes sobresalientes. Si no se pudiera apoyar los tubos en forma uniforme en toda su longitud, se deben colocar apoyos de madera de al menos 100 mm de ancho y a no mas de un metro de distancia entre ellos.
2. Al descargar los tubos, estos no deben dejarse caer al suelo desde el vehículo de transporte, sino ser descargados a mano y recurriendo a la ayuda de tablones y cuerdas para la manipulación de las tuberías de mayores diámetros.
3. Mientras se está descargando un tubo, los otros tubos en el camión deberán sujetarse de manera de prevenir desplazamientos.
4. Los tubos deben manipularse cuidadosamente; no deben ser arrastrados sobre el terreno sino que deben sostenerse completamente en el aire. No deben ser dejados caer ni arrojados al suelo ni ser golpeados, en especial con bajas temperaturas.

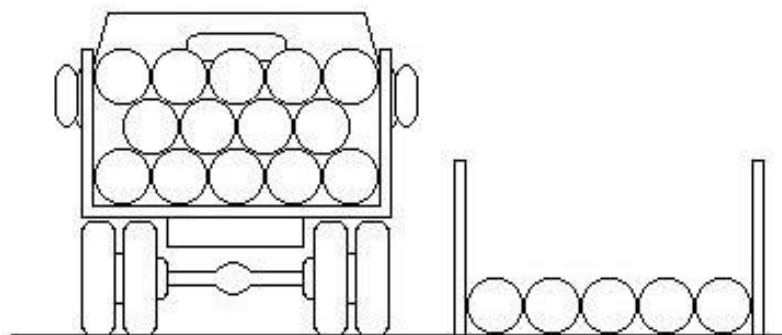


Figura 20. Transporte y acopio de las tuberías.

Inspección en la recepción.

Al llegar la tubería a Obra y durante o después de la descarga y antes que comience el apilado, todos los tubos deben ser inspeccionados individualmente, previo a la firma de la Guía de Despacho, para asegurarse que el material recibido está en buenas condiciones y no ha sufrido daño durante el transporte.

2.6.3 Almacenamiento en obra.

Cuando los tubos se van a almacenar en obra en una bodega, es fundamental que el área de acopio esté lo más nivelada posible y limpia de piedras u otros elementos que puedan dañar a los tubos.

Los tubos deben agruparse según sus diámetros en forma separada para evitar confusiones posteriores en el traslado a la zanja. Se deben colocar tablones de 2"x 6", a un metro de distancia entre ellos, bajo cada pila, para evitar cargas puntuales. El número de capas en una pila depende del diámetro, considerando que no deben alcanzarse alturas superiores a 1.5 m. Debe levantarse además postes de madera sobre el terreno para estabilizar las pilas.

La tubería debe protegerse del sol con capas o toldos con una adecuada circulación del aire. Si el almacenamiento es mayor de un período, los materiales deberán ser almacenados bajo techo.

2.6.4 Instalación de tuberías.

Excavación de la zanja.

La zanja debe ejecutarse de manera tal que la alineación, pendientes, cotas, el tipo de encamado, el relleno y las dimensiones indicadas en los planos y especificaciones sean estrictamente cumplidas. Así mismo deben tomarse todas las precauciones, tanto legales como las exigidas por las circunstancias reales para garantizar la seguridad del público y del personal de la obra.

Se debe evitar sobre-excavaciones que pudieran repercutir en un aumento de costos; debido a la necesidad de agotar napas, mayores volúmenes de relleno.

La profundidad de las zanjas deberá cumplir con las tapadas mínimas mencionadas anteriormente en la tabla 9.

Ancho de la zanja.

El ancho mínima de la zanja será igual al diámetro del tubo + 0.5 metros cuando el relleno sea igual o menor a 3.00 metros de la corona a la rasante terminada. Cuando los suelos de Excavación sean muy flojos y tengan profundidad de relleno mayor a la señalada el ancho mínimo de la zanja será igual a 2 veces el diámetro.

Profundidad de la zanja.

La profundidad de la zanja deberá ser tal; que consideré el mejoramiento, el encamado, el tubo, y la tapada mínima sobre la corona.

- Cuando no hay tráfico vehicular.

En lugares sin tráfico vehicular la profundidad mínima será de 0.30 metros del nivel del terreno a la corona del tubo (tapada 0.30).

- Con tráfico vehicular.

Las profundidades mínimas de la rasante a la corona del tubo serán según la tabla 7.

Cuando por razones de topografía, pendiente, u otra causa sea necesaria la instalación con profundidades menores a las indicadas, debe efectuarse un recubrimiento de concreto que estará sujeto a cargas vehiculares.

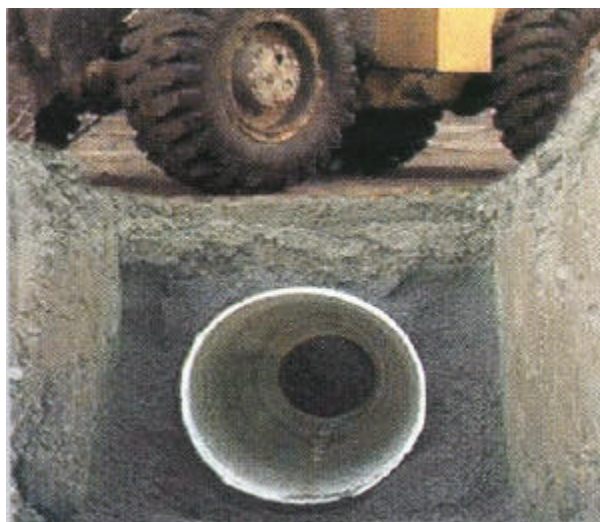


Figura 21. Tubería bajo pavimento.

- Bajo pavimento.

Sólo 0.20 - 0.30 cm cuando se instala bajo pavimento o carpeta de rodaje rígida o semi-elástica (asfalto). En la figura 21, se aprecia la instalación de una tubería bajo pavimento.

Colocado de tuberías Superpipe.

Se debe inspeccionar cada tubo individualmente una vez más antes del tendido, para asegurar que no sean instalados tubos dañados en la línea. Los elementos dañados serán aparatos, puestos a un lado y almacenados separadamente para posibles reparaciones o reemplazos.

Se deben bajar las tuberías al fondo de la zanja sin golpearlas. El eje de la tubería deberá ser una línea recta en planta y perfil y deberá coincidir con la línea de la zanja.

En la figura 22, se observa la colocación de la tubería en zanja. Una de las ventajas que se presenta en este punto de la ejecución es la no utilización de maquinaria para el bajado de las tuberías, ni de mano de obra especializada para realizar las uniones entre tubos.

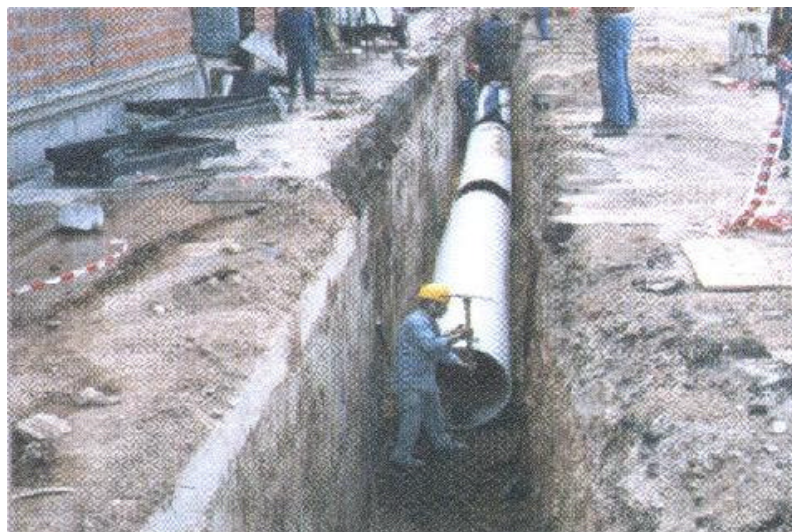


Figura 22. Colocación de tubería en zanja.

Uniones de los tubos Superpipe.

Se unirán entre sí por medio de una copla interior pegada, provista en cada tubo soldado químicamente con cementos solventes del PVC o sellos de caucho o elastoméricos.

Relleno de la Excavación.

El relleno es un aspecto relevante en la instalación de los tubos de PVC, y debe ser cuidadosamente supervisado. Nunca se debe considerar como el simple vaciado del material,- puesto que el material debe proveer de un soporte firme y continuo en todos los puntos alrededor del tubo.

El fondo de la zanja debe estar nivelado para que el tubo apoye en toda su extensión. Se recomienda hacer una cama de 5 cm con arena, libre de piedras. Luego llenar con suelo seleccionado hasta el coronamiento.

En casos especiales donde el fondo natural de la zanja sea de material suave y muy húmedo, la cama conviene hacerla con piedra partida o canto rodado en un espesor 20 cm.

Proceso de Compactación.

Se compacta hasta obtener un proctor del 85% referido al estándar, compactando por capas de 20 o 30 cm con compactadores manuales o mecánicos.

Después de colocado y compactado el material en la zona del tubo, se permitirá una flecha positiva (aumento en el diámetro interno vertical) de hasta un 3% de diámetro original.

Las capas siguientes después de compactar en la zona del tubo serán de 20 a 30 cm, con material limpio de Excavación compactado manual o mecánicamente en sentido longitudinal lo mas cerca posible de la pared de la zanja y luego hacia el centro. A lo largo de las paredes de la zanja el proctor deberá ser un 90% de estándar.

Zonas con dos tuberías

Si en la misma zanja se colocan dos tuberías la separación entre ellas debe ser de 30 cm. Si son de distinto diámetro compactar bien cubriendo completamente la corona de la que esta más cercana de la superficie.

Conexiones.

Dada la factibilidad del corte de Superpipe lo que se logra en obra usando un serrucho de costilla (dientes chicos), una sierra circular eléctrica portátil o una amoladora con disco de sierra para metales de dientes finos o un disco de carborundum, los cortes transversales y/o longitudinales son de extrema facilidad. En la figura 23, se observa en detalle la llegada de la tubería a una cámara.



Figura 23. Llegada de tubo a cámara.

Para hacer agujeros de distinto diámetro se traza el perímetro deseado y se corta con una caladora de madera o con una hoja de sierra para metales.

El pegado de un tubo con otro se efectúa con cualquier pegamento sellante para PVC o con los clásicos adhesivos siliconados, si se requiere.

2.7 Conclusiones del capítulo.

Algunas de las principales características del PVC, son: su bajo consumo energético en la producción del material. bajo peso, bajo coeficiente de rugosidad, resistencia a agentes químicos (ambientes ácidos, yesíferos), baja absorción, impermeable, tendencia a auto-extinguirse, no es agresivo al medio ambiente, durable, etc.

La estructuración de la tubería permite, debido a su funcionalidad, aumentar considerablemente su momento de inercia y rigidez angular; esto conjugado con su capacidad de deformarse, dentro de límites preestablecidos, permite soportar los regímenes de carga de trabajo de una manera eficiente.

Uno de los aspectos importantes radica en la aplicación de los límites de diseño; esto redundará en asegurar la estabilidad y funcionalidad de la estructura. La aplicación de los límites: Deflexión, Pandeo, Rotura; por parte de los proyectistas resulta indispensable para asegurar el correcto desempeño de la tubería.

Las aplicaciones con tubería perfilada tipo “Superpipe” resultan muchas más rápidas de ejecutar, no requieren maquinarias para su colocación debido a su bajo peso, y no requieren mano de obra especializada para ejecutar las uniones. De hecho los tubos pueden ser fabricados en largos de hasta 25 metros, lo que suprime las uniones para largos menores.

Desde el punto de vista técnico se concluye que una limitación importante son las profundidades máximas posibles de lograr, las cuales no van más allá de los 10,00 metros aproximadamente (dependiendo del diámetro y del peso volumétrico del suelo), desde la clave a la sub-rasante. Otra característica técnica que pudiese ser limitante, son los diámetros en los cuales se encuentra disponible la tubería (diámetros comerciales: 400 a 1500 mm).

De acuerdo a los antecedentes presentados en el Capítulo II “Estudio del producto y su factibilidad técnica”, la tubería perfilada de PVC no plastificado representa una alternativa viable desde el punto de vista técnico, teniendo presente las consideraciones descritas y evaluando su potencial y sus restricciones.

CAPITULO III
ESTUDIO DE LA NORMATIVA
PARA LA APLICACION DE TUBERIAS.

3.1 Dimensiones y Requisitos Generales de los Tubos de PVC.

3.1.1 Tubos termoplásticos para conducción de fluidos. Diámetros exteriores y presiones nominales (NCh 397 of 77).

Introducción.

La presente norma es aplicable a las tuberías de PVC perfilado, en lo que dice relación con la estandarización de los diámetros exteriores. Como se estableció en el Capítulo II, las tuberías no están diseñadas para conducir fluidos a presión, por lo tanto, esta norma es aplicable en forma parcial.

Generalidades.

Esta norma establece los diámetros exteriores nominales (tabla 11) y presiones nominales de tubos de material termoplástico de sección circular para conducción de fluidos, cualquiera sea su método de fabricación, composición y uso.

Esta norma está destinada a servir de guía a los fabricantes y usuarios, y como base para normas específicas de tubos fabricadas a partir de un material plástico dado y/o destinada a aplicación definitiva.

Tolerancias diámetro exterior.

Las desviaciones permisibles de diámetro externo de tubos plásticos serán positivas y de la forma $\begin{matrix} + X \\ O \end{matrix}$

Presiones nominales y presiones de trabajo.

La presión nominal de un tubo es la presión de trabajo de este cuando transporta agua a una temperatura de 20 °C.

La presión de trabajo de un tubo es la presión máxima que este tubo puede soportar en uso continuo.

Diámetros Exteriores Nominales. (valores en mm.)		
2.5	40	250
3	50	280
4	63	315
5	75	355
6	90	400
8	110	450
10	125	500
12	140	560
16	160	630
20	180	710
25	200	800
32	225	900

NOTA: Para dimensiones mayores se utilizará la serie R20 de números preferidos especificada en NCh 20.

Tabla 11. Valores para diámetros exteriores nominales, según NCh 397 of 77.

Formula convencional que relaciona la tensión de carga en la pared del tubo y la presión del fluido contenido por este tubo.

Se admite convencionalmente que la tensión de carga en la pared del tubo se relaciona por la fórmula 34.

$$s = p \frac{(de - e)}{2e}$$

(34)

NOTA: La tensión de carga se expresará en las mismas unidades que la presión del fluido, y el espesor de pared n las mismas unidades que el diámetro exterior del tubo.

Conclusión.

La presente norma, si bien no fue concebida para tuberías flexibles de PVC perfilado, es posible aplicar lo que guarda relación con la determinación de los diámetros exteriores nominales, de modo de homologar los diámetros de las distintas tuberías.

3.1.2 Tubos de Poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para conducción de fluidos a presión – Requisitos (NCh 399 of. 94).

Introducción.

La presente norma, como su nombre lo indica, fija los requisitos que deben cumplir los tubos de PVC para la conducción de fluidos a presión, sin embargo, esta norma es mucho más amplia, y resulta útil aplicarla en lo que guarda relación con: definiciones, clasificación, materiales, dimensiones y tolerancias, etc.

Generalidades.

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para la conducción de fluidos a presión.

Esta norma se aplica a los tubos de PVC rígido que se usan en el transporte de agua potable y otros fluidos no agresivos al material, a temperaturas menores a 60 °C y presión nominal menor o igual que 1,6 MPa (1 MPa = 10 Kgf / cm²).

Terminología.

En esta norma se definen los siguientes conceptos:

Tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido: Conducto cilíndrico, hueco, sin costuras, que pueden conectarse con otros iguales por uniones del mismo o de otro material.

Diámetro exterior nominal: Diámetro exterior del tubo, obtenido de la Tabla 1 de la NCh 397 (tabla 12).

Diámetro exterior medio (dm): Cuociente entre la medida de la circunferencia exterior y 3,142, aproximando al 0,1 mm más cercano.

Diámetro exterior en cualquier punto: Resultado de la medición del diámetro exterior del tubo en cualquier punto, aproximando al 0,1 mm más cercano.

Espesor de pared nominal: Espesor de la pared de tubo calculado con la fórmula dada en el capítulo 6 de la NCh 397, aproximando al 0,1 mm inmediatamente superior, utilizando una tensión mecánica inducida de 10 MPa (100 Kgf / cm²).

Espesor de pared en cualquier punto: Espesor de la pared de tubo en cualquier punto, aproximando al 0,5 mm inmediatamente superior.

Clasificación.

- Según su uso: Los tubos de PVC rígido se clasifican, de acuerdo con su uso, en tres tipos.

TIPO I = Para uso general.

TIPO II = Para agua potable o producto alimenticios.

TIPO III = Para gas (gas corriente, gas natural, y gas licuado de petróleo).

- Según su presión nominal de trabajo: Clasificación según la presión.

Clase	Presión nominal de trabajo	
	Mpa	Kgf/cm²
4	0.4	4
6	0.6	6
10	1.0	10
16	1.6	16

Tabla 12. Presiones nominales de trabajo, según NCh. 399 of 94.

Las máximas presiones de trabajo indicadas en la tabla IX, se basa en la conducción de agua a una temperatura de 20 °C durante un período continuo de 50 años.

Para la conducción de agua a temperaturas mayores que 20°C, o para conducción de otros fluidos, ver las presiones de trabajo en el Anexo A.

Materiales.

Los tubos se deben fabricar de PVC exento de plastificantes y cargas; pero pueden contener lubricantes, pigmentos, estabilizadores y antioxidantes.

Ninguno de estos aditivos deben usarse en cantidades tales que constituyen peligro de toxicidad (tubos tipo II) o que alteren las propiedades físicas y/o mecánica del tubo terminado.

El PVC usado en la fabricación de tubos debe tener una densidad comprendida entre 1,36 y 1,40 g/cm³, ambas inclusive.

Se puede usar PVC recuperado proveniente de la propia producción de tubos del fabricante, sin haber sido utilizado como tubería ni haber estado expuesto a la intemperie, de tal modo que el tubo producido a partir de este material cumple con todos los requisitos especificados.

Aspecto superficial.

- Los tubos de PVC deben ser rectos.
- La superficie exterior e interior deben ser lisas, limpias y exentas de pliegues, ondulaciones, porosidad y grietas.
- Los cortes deben ser rectos y libres de rebanada.
- Los tubos de PVC pueden fabricarse con un extremo espiga y un extremo enchufe o con ambos extremos espiga.

Colores de tubo.

- Los tubos tipo I pueden ser de cualquier color, distintos a los de tipo II y III.
- Los tubos tipo II deben ser de color homogéneo celeste.
- Los tubos tipo III deben ser de color homogéneo amarillo.

Dimensiones y tolerancias.

- Las dimensiones serán según NCh 397.
- Espesor de acuerdo a la tabla 16
- El largo útil de los tubos debe ser 6 metros.

Tolerancias.**Diámetro exterior medio.**

La desviación admisible ($d_m - d_e$) entre el diámetro exterior medio (d_m) y el diámetro exterior nominal (d_e) de un tubo, debe ser positiva y menor o igual al mayor de los dos valores.

- a) 0,3 mm.
- b) 0,003 d_e aproximando al 0,1 mm inmediatamente superior.

Diámetro exterior en cualquier punto (tolerancia de ovalamiento).

La desviación admisible ($d_i - d_e$) es:

- a) 0,5 mm.
- b) 0,012 d_e aproximando al 0,1 mm. inmediatamente superior.

Para tubos con razón e/d_e es menor que 0,035 no se exige este requisito.

Espesor de la pared en cualquier punto.

La desviación admisible ($e_i - e$) debe ser positiva y menor o igual a $0,1e + 0,2$ mm. aproximando al 0,1 mm. inmediatamente superior.

Longitud.

La desviación admisible en el largo de los tubos es igual a $\pm 0,5\%$ a 20 °C.

Excentricidad.

La excentricidad de los tubos de PVC en una sección transversal cualquiera debe ser menor o igual al 12% al calcularse de acuerdo a la fórmula 35.

$$E(\%) = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (35)$$

A y B son los espesores máximos y mínimos respectivamente medidos en una sección transversal cualquiera.

Características físicas, químicas y mecánicas.

Los tubos tipos I, II y III deben cumplir con los siguientes requisitos que se indican a continuación.

Resistencia a la presión hidrostática interior.

- Los tubos de PVC rígido deben resistir un ensayo mayor de presión hidrostática interior sin romperse, agrietarse, deformarse notoriamente o evidenciar pérdidas.
- El ensayo se efectúa según la NCh 814 en las condiciones indicadas en la tabla 13.
- Para control periódico será requisito mínimo las condiciones de los ensayos N°1 y N°2 de la tabla 13.
- Las condiciones de los ensayos N°3 y N°4 de la tabla 13 pueden ser requeridas por especificaciones del comprador.
- La presión hidrostática de ensayo que se aplica para obtener la tensión mecánica inducida que se indica en la tabla 13 se calcula de acuerdo a la fórmula 36, según la NCh 397.

$$p = \frac{2es}{de - e}$$

(36)

Donde,

p = Presión hidrostática de ensayo, en MPa.

e = Espesor de la pared del tubo, en mm.

σ = Tensión mecánica inducida, en MPa.

de = Diámetro exterior nominal, en mm.

Ensayo	Temperatura de ensayo °C	Tiempo de Ensayo Hora	Tensión mecánica inducida	
			MPa	Kgf/cm²
1	20	1	42	420
2	60	1	17	170
3	60	100	12	120
4	60	1000	10	100

Tabla 13. Condiciones para el ensayo de resistencia a la Presión Hidrostática Interior.

Resistencia al aplastamiento.

- Los tubos de PVC rígido deben resistir un ensayo de aplastamiento hasta 0,4 veces el diámetro exterior sin evidencia, a simple vista, trizaduras, grietas o roturas.
- El ensayo se efectúa de acuerdo a NCh 815.

Resistencia al impacto.

- Los tubos de PVC rígidos deben resistir un ensayo de impacto sin presentar trizaduras, grietas o roturas.
- El ensayo se efectúa según NCh 815 a 0 °C.

Calidad de la extrusión.

- Los tubos de PVC rígido deben resistir un ensayo de inmersión en acetona sin presentar abultamiento ni descascararse ni desintegrarse.
- El ensayo se efectúa según NCh 815.

Absorción de agua.

- Los tubos de PVC trígido pueden absorber una cantidad de agua menor o igual a 4 mg/cm².
- El ensayo se efectúa según NCh 769.

Contracción longitudinal por efecto del calor.

- La variación longitudinal máxima en tubos de PVC rígidos sometidos al ensayo de contracción por efecto del calor, debe ser menor o igual que 5%.
- El ensayo se efectúa según NCh 1649 (métodos A o B), en las condiciones que se indican en la tabla 14.

Requisitos de atoxicidad para los tubos tipo II

Los tubos de PVC tipo II, destinados a la conducción d agua potable o productos alimenticios, no deben transmitir a estas sustancias sabor, olor o color, ni incorporarles un contenido de elementos tóxicos mayor que los límites indicados en la tabla 15.

Método	Temperatura °C	Tiempo (MIN)	Espesor nominal (mm)
A	150 ± 2	15	=8
		30	>8
B	151 ± 2	60	=8
		120	>8

Tabla 14. Condiciones para el ensayo de contracción longitudinal.

Elemento tóxico	Contenido máximo ppm	Método de ensayo
Plomo	0.05	NCh 1801
Arsénico	0.05	NCh 425
Cromo	0.05	NCh 1802
Cadmio	0.01	NCh 1803
Dialquil estaño e4 y homologos superiores (medidos como estaño)	0.02	NCh 1804

Tabla 15. Métodos de ensayo.

Los ensayos se realizan según las normas que se indican en la tabla 15, previo acondicionamiento descrito en esta norma.

Certificación.

La certificación de los tubos de PVC rígido pueden efectuarse de acuerdo con una de las alternativas siguientes:

- a) Por lotes, conforme a planes de muestreo por atributos.
- b) Por controles, siguiendo las disposiciones reglamentarias siguientes:
 - Se atiende por lotes el conjunto de tubos del mismo material, de la misma clase y de las mismas dimensiones que, para efectos de inspección, aceptación y rechazo forman un conjunto homogéneo.
 - Para la aceptación o rechazo de los lotes se siguen los criterios indicados en la NCh 44, según acuerdo entre fabricante y comprador.
 - Las muestras se deben extraer al azar según NCh 43.

Díámetro exterior	Díámetro exterior	Espesor de la pared			
Nominal	Medio	Clase 4	Clase 6	Clase 10	Clase 16
10	10	-	-	-	1.0
12	12	-	-	-	1.0
16	16	-	-	-	1.2
20	20	-	-	-	1.5
25	25	-	-	1.5	1.9
32	32	-	-	1.8	2.4
40	40	-	1.8	2.0	3.0
50	50	-	1.8	2.4	3.7
63	63	-	1.9	3.0	4.7
75	75	1.8	2.2	3.6	5.6
90	90	1.8	2.7	4.3	6.7
110	110	2.2	3.2	5.3	8.2
125	125	2.5	3.7	6.0	9.3
140	140	2.8	4.1	6.7	10.4
160	160	3.2	4.7	7.7	11.9
180	180	3.6	5.3	8.6	13.3
200	200	4.0	5.9	9.6	14.7
225	225	4.5	6.6	10.8	16.7
250	250	4.9	7.3	12.0	18.6
280	280	5.5	8.2	13.5	20.8
315	315	6.2	9.2	15.0	23.4
355	355	7.0	10.4	17.0	26.3
400	400	7.9	11.7	19.1	29.7

Tabla 16. Diámetros nominales.

Preparación de las probetas.

- De un tubo entero extraído al azar del lote, se sacan probetas para los ensayos indicados anteriormente.
- El corte de los tubos se realiza con sierra, en forma perpendicular al eje del tubo. Después del corte, se limpian los bordes convenientemente.
- La inspección visual y la medición de dimensiones, se efectúa en tubos completos extraídos al azar del lote.

Marcado.

Los tubos deben marcarse a intervalos no mayores de 3 metros, en forma legible e indeleble, sin alterar el buen uso del tubo. La marca debe incluir, en el siguiente orden.

- a) El nombre del fabricante o su marca registrada.
- b) El símbolo PVC-1 en los tipo I, PVC-PRESIÓN en los tipo II y PVC-GAS en los tipo III.

- c) El diámetro nominal exterior, en milímetros.
- d) La clase del tubo.
- e) El mes y año de fabricación.

Conclusión.

Como se puede apreciar, la presente norma resulta ser bastante completa, ya que abarca una amplia gama de aspectos, si no todos, los diferentes aspectos que reúne una tubería destinada a la conducción de fluidos a presión. Esto, determina la necesidad de ser aplicada a la tubería perfilada de PVC; si bien la norma es para una tubería, de función y naturaleza, distinta; su amplitud la hacen aplicable.

3.1.3 Tubos plásticos – Medición de dimensiones (NCh 1294 of 78).

Introducción.

Lograr la medición de las dimensiones de un tubo no es algo simple de lograr. De esto radica la importancia de la utilización de equipos y procedimientos adecuados, de modo, de garantizar que las mediciones se realizan correctamente.

Esta norma especifica los aparatos y el procedimiento a utilizar para medir las dimensiones de los tubos plásticos. La temperatura de referencia será de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las dimensiones a determinar son las siguientes:

- Espesor de pared en cualquier punto (e_i).
- Diámetro exterior medio (d_m).
- Diámetro exterior en cualquier punto (d_i).

Espesor de la pared.

Precisión requerida será de 0,05 mm.

Se medirá con un micrómetro u otro de igual precisión.

Los resultados se redondeará la menor lectura obtenida al 0,05 mm inmediatamente superior.

Diámetro exterior medio.

Se utilizará una cinta métrica graduada directamente en diámetros u otro de igual precisión. La presión requerida será de 0,1 mm. La cinta deberá cumplir los siguientes requisitos.

- Ser de acero inoxidable o similar.
- Permitir una lectura al 0,05 mm más próximo.
- Estar graduada de tal modo que ni su propio espesor ni el espesor de la graduación tengan alguna influencia sobre el resultado de la medición.

Los resultados: redondear la lectura o el diámetro medio calculado al 0,1 mm más próximo.

Diámetro exterior en cualquier punto (di).

Se utilizará pie de metro que permita una lectura al 0,05 mm. más próximo. La precisión será de 0,05 mm.

Redondear las lectura al 0,1 mm mas cercano y anotar como resultado el mayor y el menor valor medido en la misma sección transversal.

Conclusión.

En esta norma queda establecido los procedimientos y e quipos a utilizar en la medición de los tubos.

Las dimensiones que deben ser medidas son: Espesor de pared en cualquier punto, Diámetro exterior medio, Diámetro exterior en cualquier punto.

3.1.4 Tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para instalaciones sanitarias de alcantarillado público – Requisitos (NCh 2252 of 86).

Introducción.

La tubería de PVC ha reemplazado totalmente la utilización de tubos de cemento comprimidos, material utilizado anteriormente. Esto trajo consigo la necesidad de

contar con una norma que fijara los requisitos mínimos de estos tubos para su utilización en instalaciones sanitarias de alcantarillado público.

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos destinados a desagües y alcantarillado público.

Se aplica a los tubos de PVC rígido destinado a la conducción de aguas servidas y aguas lluvias a temperaturas inferiores a 60 °C.

Materiales.

Se deben fabricar de PVC exento de plastificantes, pero pueden contener lubricantes, pigmentos, estabilizantes y antioxidantes.

Aspecto superficial.

- Deben ser rectos.
- Superficie externa e interna lisas.

Dimensiones y tolerancias.

- Dimensiones nominales.
- Largo útil 6 m.
- Diámetro exterior en cualquier punto.
- Espesor de pared en cualquier punto.
- Excentricidad.

Características físicas, químicas y mecánicas.

- **Resistencia al aplastamiento.**

Debe resistir un aplastamiento hasta 0,4 veces el diámetro exterior sin evidencias, a simple vista, trizaduras, grietas o roturas. El ensayo según NCh 815.

- **Calidad de la extrusión.**

Según NCh 815.

- **Resistencia al impacto.**

Según NCh 815.

- **Absorción de agua.**

Los tubos deben absorber una cantidad de agua menor o igual a 4 mg/cm².
Según NCh 769.

- **Contracción longitudinal por efecto del calor.**

La variación longitudinal máxima, debido al efecto del calor, debe ser menor o igual al 5% y no evidenciar burbujas, ampollas ni grietas.

Según NCh 1649 método A ó B, en las condiciones que indica la tabla XI

METODO	TEMPERATURA °C	TIEMPO (MIN)	ESPESOR NOMINAL (mm)
A	150 ± 2	15	=8
		30	>8
B	151 ± 2	60	=8
		120	>8

Tabla 17. Condiciones para ensayo de contracción longitudinal.

Marcado.

Deben marcarse a intervalos no mayores de 3 metros, en forma legible e indeleble:

- a) Nombre fabricante, o su marca registrada.
- b) El símbolo: PVC COLECTOR ó PVC COL.
- c) Diámetro nominal, en mm.

- d) La clase de tubo.
- e) Mes y año de fabricación.

Ejemplo de marcado

XXXXX PVC COL 180 II 06 96

Certificación.

La certificación de los tubos de PVC rígido pueden efectuarse con una de las alternativas siguientes:

- a) Por lotes, conforme a planes de muestreo por atributos.
- b) Por controles siguiendo las disposiciones reglamentarias vigentes.

Se entiende por lote el conjunto de tubos del mismo material, de la misma clase y de las mismas dimensiones que, para efecto de inspección, aceptación y rechazo forman un conjunto homogéneo.

La aceptación o rechazo de los lotes se siguen los criterios indicados en la NCh 44 según acuerdo entre fabricante y comprador.

Las muestras se deben extraer al azar según la NCh 43.

Conclusión.

En la NCh 2252 of 86, quedan establecidos los requisitos que deben cumplir los tubos destinados a desagües y alcantarillado público.

Esta norma viene a ser un compendio de las normas que guardan relación con los tubos de PVC, pues hace referencia a gran parte de ellas. Por esto norma una amplia gama de aspectos relacionados con las tuberías de PVC y sus aplicaciones; como así también, sus estándares de calidad.

3.2 Condiciones y Requisitos de Ensayo para Tubos de PVC.

3.2.1 Plásticos – Atmosferas normales de acondicionamiento y de ensayo (NCh 740 of 81).

Introducción.

La norma NCh 740 of 81. fija las condiciones ambientales del entorno de la probeta de modo de asegurar que los distintos ensayos a los que son sometidos los materiales plásticos se desarrollen en iguales condiciones.

Generalidades.

Esta norma establece las especificaciones relativas al acondicionamiento y ensayos de todos los plásticos y de todos los tipos de probetas en condiciones próximas a las condiciones ambientales habituales.

No se incluyen en esta norma las atmosferas especiales aplicables a un ensayo o material particular, o correspondiente a condiciones climáticas particulares.

En la preparación de esta norma se tomó en consideración la norma NCh 1401 – ISO 554 “Atmosferas normales para acondicionamiento y/o ensayo – Especificaciones”.

Definiciones.

Atmosfera de acondicionamiento: Atmosfera en la cual se mantiene una muestra o una probeta durante el ensayo (tabla 18).

Atmosfera de ensayo: Atmosfera que rodea a una muestra o probeta durante el ensayo.

NOTA. Ambas atmosferas citadas se definen para valores especificados de temperatura, humedad relativa y presión.

Acondicionamiento: Conjunto de operaciones cuya finalidad es llevar una muestra o probeta a un estado de equilibrio de temperatura y humedad.

El “procedimiento de acondicionamiento” se define por “la atmosfera de acondicionamiento” y “la duración del acondicionamiento”.

Atmósferas normales.

Estas atmósferas solamente se usan si las propiedades de las muestras o de las probetas se ven influenciadas tanto por la temperatura como por la humedad.

Designación	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Presión Kpa	Observaciones
Atmósfera 23/50	23	50	86 a 106	Atmósfera recomendada
Atmósfera 27/65	27	65		Para los países tropicales

Tabla 18. Atmósferas de acondicionamiento.

Si la humedad no tiene influencia en las propiedades estudiadas, la humedad relativa de la atmósfera puede ser cualquiera. Las dos atmósferas correspondientes se designan respectivamente por “atmósfera 23” y “atmósfera 27”.

Si la temperatura y la humedad no tienen ninguna influencia en las propiedades estudiadas, la temperatura y la humedad relativa pueden ser cualesquiera. En este caso la atmósfera se denomina “atmósfera ambiente”.

NOTA. En el caso especial en que el plástico es, o debe ser usado simultáneamente con otros materiales, puede admitirse, después de un acuerdo entre las partes o si se especifica expresamente la utilización de la atmósfera 20 °C / 65% de humedad relativa.

Tolerancias.

Tolerancias	Temperatura °C	Humedad relativa %
Normales	± 2	± 5
Reducidas	± 3	± 2

Tabla 19. Tolerancias para temperatura y humedad relativa.

NOTA.

- 1) Las tolerancias normales se asocian por parejas, es decir, las tolerancias normales (o reducidas) tanto para temperatura y humedad relativa.

- 2) Estas tolerancias se aplican al volumen útil del recinto de ensayo o acondicionamiento e incluyen las variaciones de posición en el recinto y las variaciones en el tiempo.

Acondicionamiento.

La duración del acondicionamiento debe establecerse en las especificaciones relativas a los materiales.

NOTA.

- 1) Cuando las duraciones no se establecen en las normas apropiadas, deben adoptarse los valores siguientes:
 - a) Un mínimo de 88 h para las atmósferas 23/50 y 27/65.
 - b) Un mínimo de 4 h para las atmósferas 23 y 27.
- 2) Para ciertos ensayos así como para ciertos plásticos o probetas, que se sabe tardan mas o menos en alcanzar el estado de equilibrio de temperatura y humedad, se pueden especificar periodos de acondicionamiento menores o mayores a los indicados en la norma apropiada (ver Anexo Nch 740 of 81).

Ensayo.

Salvo que se especifique otra cosa, la atmósfera de ensayo debe ser la misma que la atmósfera de acondicionamiento.

En todos los casos, el ensayo debe efectuarse inmediatamente después de la extracción de las probetas desde el recinto de acondicionamiento.

Anexo Nch 740 of 81.

Alcance del equilibrio de absorción de humedad de los plásticos en una atmósfera de acondicionamiento

La cantidad de humedad absorbida y la velocidad de absorción de una probeta acondicionada en una atmósfera varía sensiblemente según la naturaleza del plástico estudiado.

Las condiciones normales de acondicionamiento establecidas en esta norma son generalmente satisfactorias, con las siguientes excepciones:

- Materiales que se sabe alcanzan el equilibrio con su atmósfera de acondicionamiento sólo después de un largo periodo de tiempo (ejemplo ciertas poliamidas).
- Los materiales nuevos o de estructura desconocida, para los cuales no se puede estimar a priori, la aptitud para absorber la humedad ni el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio.

En los dos últimos casos, se puede, ya sea:

- a) Secar el material a una temperatura elevada.
- b) Acondicionar las probetas a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a $50\text{ \%} \pm 5\text{ \%}$ de humedad relativa hasta que se alcance el equilibrio.

El procedimiento a) tiene el inconveniente que ciertos valores de las características, en particular mecánicas, son diferentes en el estado seco de las que se obtienen después del acondicionamiento en la atmósfera 23/50.

En el caso b) uno de los criterios siguientes puede ser apropiado:

- Una masa constante dentro de 0,1% se obtiene para las determinaciones efectuadas en un intervalo de d^2 semanas (siendo el espesor, en milímetros, de la probeta).
- Para ciertos polímeros, es suficiente preparar una curva masa/tiempo con intervalos de tiempo mucho menores que d^2 semanas y considerar que un equilibrio práctico se alcanza cuando la pendiente de la curva, expresada como un porcentaje, es igual a 0,1.

Conclusión.

La presente norma fija las condiciones bajo las cuales deben ser ensayados los materiales; estas se definen como “atmósferas de acondicionamiento”. Además se establecen los procedimientos a seguir para el acondicionamiento de las probetas. La humedad y temperatura son las variables a considerar en el acondicionamiento; en el caso que la temperatura y la humedad no tiene ninguna influencia en las propiedades en estudio esta atmósfera se denomina “atmósfera ambiente”; en el caso que sólo la humedad sea obviada las atmósferas correspondientes se designan “atmósfera 23” y “atmósfera 27” para una temperatura de 23 y 27 °C, respectivamente.

3.2.2 Tubos de poli(cloruro de vinilo) rígido – Métodos de ensayo (NCh 815 of 95).

Introducción.

La norma NCh 815 of 95. establece los métodos y procedimientos a seguir para el ensayo, de los tubos de PVC, de resistencias al aplastamiento, resistencia al impacto y calidad de extrusión.

Se aplica a los tubos de poli(cloruro de vinilo) (PVC) rígido.

Resistencia al aplastamiento.

El método consiste en aplastar tubos de PVC rígido entre placas paralelas.

Aparatos.

Prensa de placas paralelas: Las placas tendrán un lado de al menos 60 mm. y el otro tendrá una dimensión, al menos, igual al diámetro de la probeta a ensayar.

Probetas: Será de sección de tubo de 50 mm. $\pm$ 10 mm. de longitud.

Procedimiento.

- Aplastar transversalmente la probeta entre las placas de la prensa hasta que la distancia entre ellas sea equivalente a 0,4 veces el diámetro exterior del tubo.
- Controlar la velocidad de carga de tal modo de completar la compresión en un tiempo entre 2 minutos y 5 minutos, a una temperatura de ensayo de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Liberar de carga la probeta una vez alcanzadas las condiciones de ensayo.

Expresión de resultados.

Examinar a simple vista la probeta ensayada para comprobar ausencia de trizaduras, grietas y roturas.

Resistencia al impacto.

El método consiste en determinar la resistencia al impacto de los tubos de PVC rígido mediante la caída libre de un percusor de forma y masa preestablecida, desde una altura determinada.

Aparatos.

Aparato de impacto (ver figura 24). El cual cuenta con las siguientes partes.

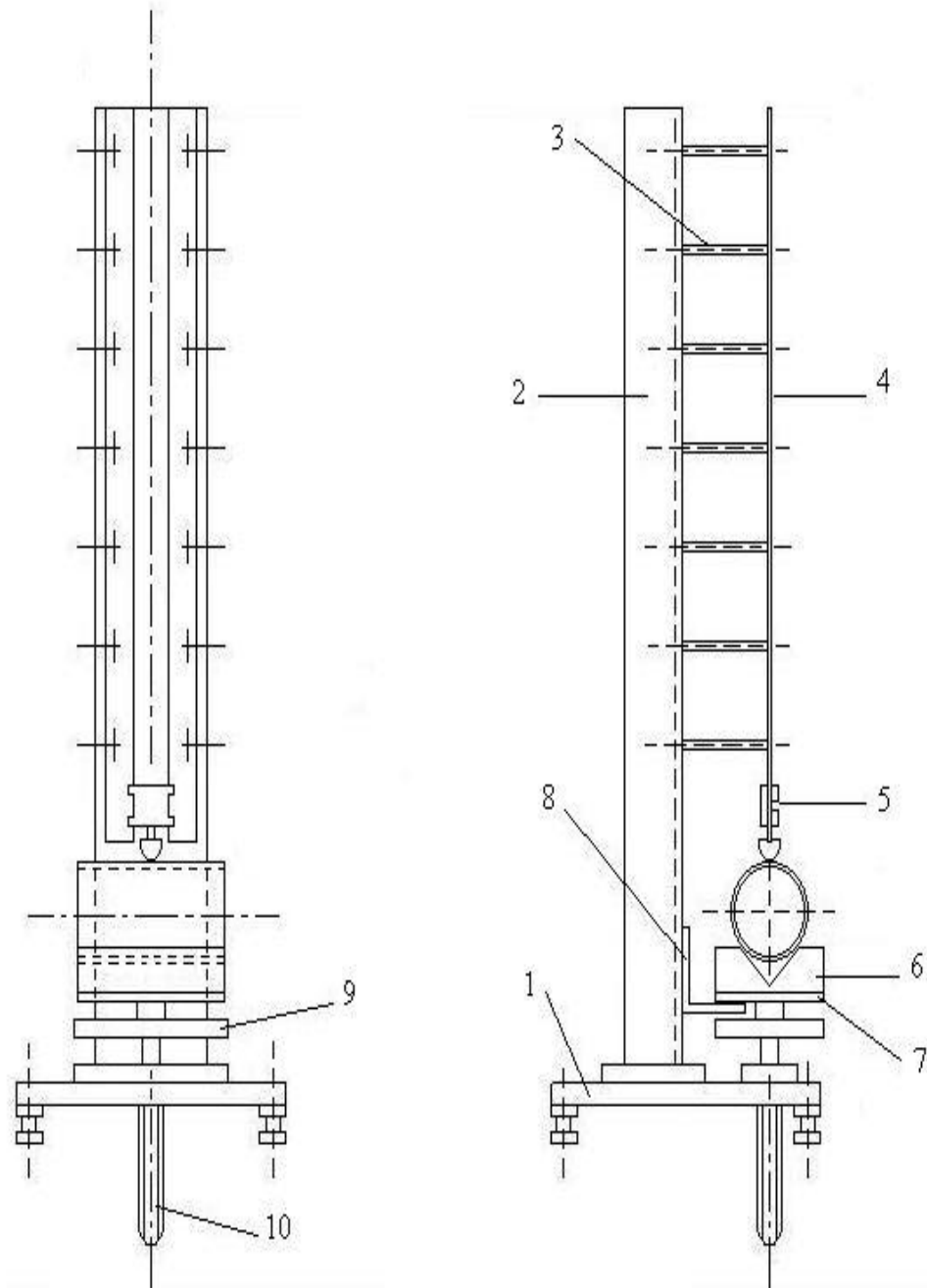
- a) Dos pletinas paralelas entre las cuales se desliza el percusor, rígidamente unidas a una plataforma basal.
- b) Percusor; masa de acero de $1,50 \text{ Kg.} \pm 0,15 \text{ Kg.}$ Y otra de $2,00 \text{ Kg.} \pm 0,2 \text{ Kg.}$ Ambas provistas de una superficie de contacto semiesférica de 25 mm. de diámetro.
- c) Un bloque de acero en V, de 120° ; sobre la cual se coloca la probeta a ensayar. Tendrá una longitud igual o superior a 150 mm. y estará colocado sobre una plataforma de acero, cuya altura puede variar por medio de un tornillo provisto de manivela.
- d) Una rejilla graduada; solidaria con una de los perfiles guía y que permite medir las alturas de caída del percusor. Esta altura corresponde a la distancia entre el punto mas bajo del percusor y la directriz superior del manto de la probeta.

Probetas.

Será una sección de tubo de $150 \text{ mm.} \pm 20 \text{ mm.}$ de longitud.

Procedimiento.

- Colocar la probeta a ensayar en el ángulo del bloque en V, previo ajuste de su altura, de tal modo que al dejar caer el percusor sobre la probeta, este no se salga de las pletinas.
- Soltar el percusor de peso indicado en la tabla 20, desde una altura preestablecida, para obtener la carga dinámica indicada en dicha tabla.
- Si el diámetro de la probeta es igual o superior a 50 mm, rotar la probeta en 120° y repetir el ensayo.
- Finalmente rotar la probeta en el mismo sentido, nuevamente 120° y repetir el ensayo.



1. Base que descansa entre apoyos regulables. 2. Columna de hierro. 3. Distanciador de los rieles guía. 4. Pletinas. 5. Percusor. 6. Soporte en V de 120° para tubos. 7. Plataforma. 8. Corredera del soporte. 9. Manivela para regular altura. 10. Tornillo de regulación.

Figura 24. Aparato para ensayo de tubos plásticos (al impacto).

Expresión de resultados.

- Examinar la probeta para comprobar el efecto de los impactos del percusor sobre ella, especialmente en los puntos de contacto y en las zonas de apoyo del tubo.
- Verificar la ausencia de trizaduras, grietas ó roturas.

Ø nominal mm.	Carga dinámica Kg .m	Peso Kg.	Ø nominal mm.	Carga dinámica Kg .m	Peso Kg.
10	0.10	1.5	140	1.40	2.0
12	0.10	1.5	160	1.60	2.0
16	0.15	1.5	180	1.80	2.0
20	0.20	1.5	200	2.00	2.0
25	0.25	1.5	225	2.25	2.0
32	0.30	1.5	250	2.50	2.0
40	0.40	1.5	280	2.80	2.0
50	0.50	1.5	315	3.15	2.0
63	0.65	1.5	355	3.55	2.0
75	0.75	1.5	400	4.00	2.0
90	0.90	1.5	450	4.00	2.0
110	1.10	1.5	500	4.00	2.0
125	1.25	1.5			

Tabla 20. Carga dinámica para diferentes diámetros nominales.

Calidad de la extrusión.

Consiste en determinar la calidad de extrusión de los tubos de PVC rígido mediante inmersión en acetona anhidrida.

La acetona a utilizar debe ser de densidad máxima 0,7875 g/ml. A 20 °C. Secada con sulfato de calcio anhidrido u otro deshidratante que pueda separarse por filtración.

Procedimiento.

- Introducir la acetona en un frasco, en cantidad suficiente para asegurar la inmersión de la probeta.
- Sellar el frasco y dejarlo en reposo durante 20 minutos.
- Completado el tiempo de ensayo, secar la probeta.

Expresión de resultados.

Examinar la ausencia de abultamiento, descascaramiento ó desintegración en todas las superficies visibles d la probeta.

Conclusión.

A través de esta norma se establecen los métodos y procedimientos para el ensaye de los tubos. La determinación de las diferentes resistencias, hechas en probetas

seleccionadas en forma aleatoria, debiera asegurar el cumplimiento de los requerimientos mínimos para este tipo de tuberías.

3.2.3 Tubos plásticos – Determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor (NCh 1649 of 96).

Introducción.

Es común a la mayoría de los materiales experimentar cambios en sus dimensiones por efecto del calor. Cada material, por separado, se ve afectado en forma particular; algunos son más o menos sensibles a las variaciones de temperatura.

Esta norma describe dos métodos para determinar la contracción longitudinal por efecto del calor en tubos plásticos.

Método A. Ensayo en baño líquido.

Principio

Inmersión de una probeta en un líquido inerte a una temperatura y por un tiempo determinado.

Medición.

Bajo las mismas condiciones de temperatura y posición de la longitud marcada en la probeta, antes y después de la inmersión.

Cálculo de la variación de la longitud con relación a la longitud inicial, como porcentaje.

Probetas.

Las probetas son de secciones de tubo de 200 mm. de longitud. Las probetas serán marcadas con un aparato marcador.

Aparatos.**Baño calórico controlado termostáticamente.**

El volumen del baño debe ser tal que no haya variación de temperatura mientras las probetas están sumergidas.

El líquido usado como medio calórico debe ser estable a las temperaturas requeridas y no debe afectar al producto que esta siendo examinado.

La temperatura del baño debe reestablecerse a los 15 minutos, o menos, después de haber introducido las probetas.

El baño calórico debe ser agitado para asegurar que la temperatura se mantenga dentro del intervalo de tolerancia a través de todo el medio calórico.

Dispositivo.

Para sostener las probetas dentro del baño calórico de modo que no induzca tensiones en la probeta.

Termómetro.

Que permita lectura aproximada a 1°C.

Medidor de longitudes.

Que permita una lectura aproximada al 0,05 mm.

Marcador metálico.

De un largo aproximado de 200 mm, a 50 mm de un extremo separado por 100 mm. ± 1 tendrá dispositivos (lápiz, punta, etc.) que permitan trazar o marcar el tubo. Uno de los extremos tendrá un tope que permita fijar el tubo. De manera indicativa ver figura 24.

Procedimiento.

- Marcar el tubo con el marcador metálico.

En el caso de la probeta de diámetro exterior igual o inferior a 50 mm. se harán 2 marcas equidistantes.

En el caso de diámetros entre 6,3 mm. y 18 mm. se realizarán 4 marcas equidistantes.

Para probetas de diámetro exterior mayores 6 marcas.

- Regular la temperatura del medio calórico a la temperatura de ensayo.
- Colocar la probeta en el medio calórico de modo que no toquen ni las paredes ni la base del baño.
- Dejar las probetas sumergidas durante el tiempo indicado para el ensayo.
- Retirar las probetas del baño y enfriarlas al aire a temperatura ambiente.
- Medir sobre una superficie plana, a temperatura ambiente, la distancia entre las marcas.

Método B. Ensayo en aire.

Principio.

Exposición de una probeta en un horno con aire n circulación forzada a una temperatura y por un tiempo determinado.

Medición.

Bajo las mismas condiciones de temperatura y posición, de la longitud marcada en la probeta, antes y después de la inmersión.

Cálculo de la variación de la longitud con relación a la longitud inicial, como porcentaje.

Las probetas son de secciones de tubo de 200 mm. de longitud.

Las probetas serán marcadas con un aparato marcador.

Aparatos.

Horno de circulación forzada.

Controlado termostticamente.

El poder calórico del horno debe ser tal que pueda operar a la temperatura requerida para el ensayo.

La temperatura del horno debe reestablecerse a los 15 minutos, o menos, después de haber introducido las probetas.

El horno debe estar provisto de un equipo que permita mantener la temperatura dentro del intervalo de tolerancia a través de todo el espacio de operación del horno.

Mecanismo.

Para sostener las probetas en el horno de modo que no induzcan tensiones en la probeta.

Termómetro.

Que permita lectura aproximada a 1°C.

Medidor de longitudes.

Que permita una lectura aproximada al 0,05 mm.

Marcador metálico.

De un largo aproximado de 200 mm, a 50 mm de un extremo separado por 100 mm. ± 1 tendrá dispositivos (lápiz, punta, etc.) que permitan trazar o marcar el tubo. Uno de los extremos tendrá un tope que permita fijar el tubo. De manera indicativa ver figura 25.

Procedimiento.

- Marcar el tubo con el marcador metálico.

En el caso de la probeta de diámetro exterior igual o inferior a 50 mm. se harán 2 marcas equidistantes.

En el caso de diámetros entre 63 mm. y 18 mm. se realizarán 4 marcas equidistantes.

Para probetas de diámetro exterior mayores 6 marcas.

- Regular la temperatura del horno a la temperatura de ensayo.

- Colocar las probetas en el horno de tal manera que no toquen ni las paredes ni la base del horno.
- Sí las probetas se colocan horizontalmente, se recomienda que reposen sobre un material aislante.
- Dejar las probetas en el horno durante el tiempo indicado para el ensayo.

El tiempo se mide desde el momento en que la temperatura del horno haya alcanzado nuevamente la temperatura de ensayo.

- Retirar las probetas del horno y enfriarlas al aire a temperatura ambiente.
- Medir sobre una superficie plana, a temperatura ambiente, la distancia entre las marcas.

Cálculo y expresión de resultados.

Para cada probeta y cada par de marcas calcular la contracción longitudinal T , como un porcentaje, por medio de la fórmula 38.

$$T = \frac{\Delta L}{L_o} \times 100 \quad (37)$$

Donde,

$\Delta L : L_o - L_i$

L_o : distancia entre las marcas antes de la inmersión en el baño calórico, en mm.

L : distancia entre las marcas después de la inmersión en el baño calórico, en mm.

Para cada tubo ensayado entregar un informe indicando:

- Identificación del tubo.
- Medio calórico usado.
- Temperatura y tiempo de ensayo.
- La variación de longitud ΔL .
- El valor promedio de la contracción longitudinal del tubo según la fórmula 38.
- Cualquier cambio en el aspecto externo de las probetas, durante el ensayo o inmediatamente después.

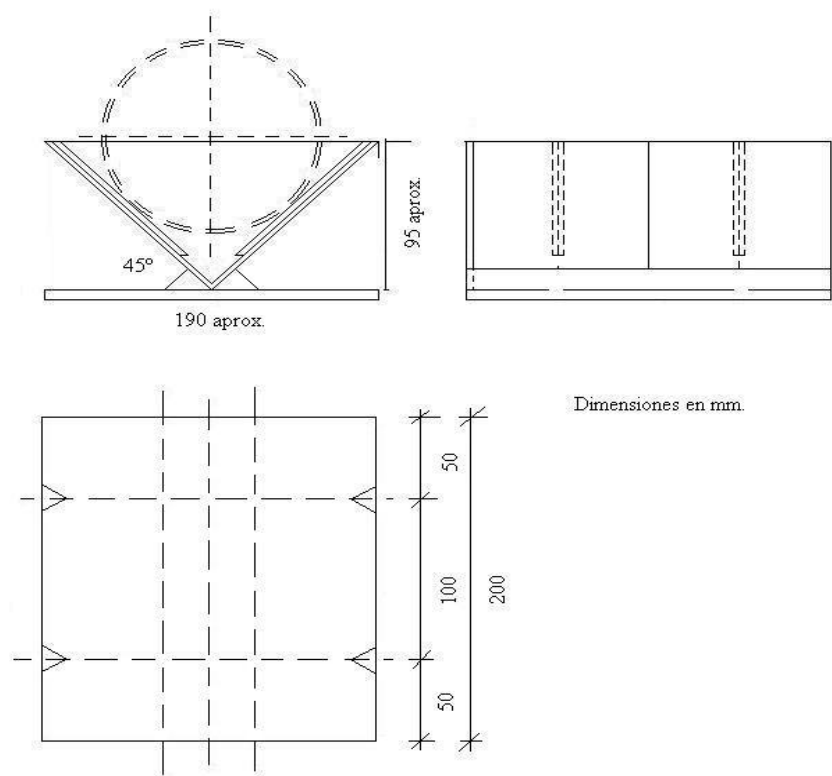


Figura 25. Marcador metálico.

Conclusión.

En la NCh 1649 of 96, se describen los dos métodos a utilizar en la determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor en los tubos plásticos.

El primer método denominado “Ensayo en baño líquido”; somete la probeta a una inmersión en un líquido inerte. El segundo método denominado “Ensayo en aire”; expone la probeta a la circulación forzada de aire caliente.

Las mediciones de la variación de longitud de la probeta se expresan en porcentaje, con relación al largo inicial de probeta.

3.2.4 Accesorios para tubos plásticos para conducción de fluidos a presión – Ensayo de estanqueidad bajo presión hidráulica externa (NCh 1755 of 80).

Introducción.

La tubería perfilada de PVC no plastificado Superpipe, posee un sistema de unión mediante una copla adherida mediante adhesivo cementante. Dicha unión debe ser

sometida a una comprobación de su hermeticidad; de ahí la importancia de someterla a ensayos de estanqueidad.

Esta norma establece un método para verificar la estanqueidad de las uniones entre accesorios y tubos de material plástico cuando la presión hidráulica externa es mayor que la presión interna de los tubos.

Esta norma se aplica a las uniones con anillo de material elástico en sistemas de tuberías de PVC rígido para la conducción de fluidos a presión.

Esta norma se aplica a las uniones entre accesorios mecánicos y tubos de polietileno o de polipropileno usados en la conducción de fluidos a presión. Se excluye específicamente las uniones por presión.

Principio.

Exposición de una probeta, constituida por un sistema de tubos y accesorios que tienen por lo menos una unión del tipo que se debe ensayar, a una presión hidráulica externa especificada, mayor que la presión atmosférica interna, durante un tiempo dado y a una temperatura determinada.

Verificar, durante el tiempo que dura el ensayo, la estanqueidad de la probeta en la unión ensayada.

Especificaciones.

- El ensayo debe efectuarse con las dos diferencias entre presiones internas y externas que se indican: 0,01 MPa y 0,08 MPa.
- La temperatura de ensayo debe ser de 20 ± 2 °C.
- La duración del ensayo debe ser de una hora a lo menos, durante lo cual no deben producirse fugas en el sistema.
- La unión debe estar por una espiga y un enchufe de las dimensiones límites permitidas por sus tolerancias respectivas.

Aparatos.**Estanque a presión.**

Capaz de soportar las presiones de ensayo y que permita la colocación de la probeta. El interior de la probeta debe estar abierto a la atmósfera a través de las paredes del estanque. El montaje del conjunto debe ser tal que permita detectar cualquier penetración de agua al interior de la probeta.

Dispositivo conectado al estanque.

Capaz de establecer y mantener en él una presión de agua de:

- 1) $0,01 \pm 0,005$ MPa.
- 2) $0,08 \pm 0,005$ MPa.

Manómetro.

Con lectura aproximada de $\pm 2\%$.

Preparación de las probetas.

- La probeta está constituida por un sistema formado por trozos de tubos y accesorios que incluyen, al menos, una unión del tipo que se debe ensayar.
- Las espigas y enchufes unidos que constituyen el sistema debe elegirse de las dimensiones límites permitidos por sus tolerancias respectivas, es decir, tubo de diámetro mínimo y enchufe de diámetro máximo. En uniones con anillo de material elástico, el diámetro del enchufe debe ser máximo en la zona de la cavidad donde va alojado el anillo y este debe ser de sección transversal mínima.
- La longitud de los trozos de tubo que se conectan al sistema, debe ser tal que la longitud libre del tubo entre la cara del enchufe y el equipo de ensayo sea igual al diámetro exterior del tubo, con un largo mínimo de 250 mm.

Procedimiento.

- Colocar la probeta en el equipo de ensayo.
- Llenar el estanque con agua a 20 ± 2 °C.
- Esperar 20 minutos para que la temperatura se uniformice.

- Eliminar todo trazo de humedad de la superficie interna de la probeta.
- Esperar 10 minutos y asegurarse que el interior de la probeta esté completamente seco.
- Aplicar la presión de ensayo de 0,01 MPa durante 1 hora.
- Aumentar la presión de ensayo de 0,08 MPa y mantenerla durante 1 hora.
- Durante el ensayo, verificar que no haga penetración de agua al interior de la probeta.

Expresión de resultados.

- Identificar los accesorios que se ensayan indicando el material del tubo al cual corresponde y el tipo de unión.
- Se debe indicar si ha habido, o no, alguna fuga en el sistema durante el ensayo y si ha habido indicar en que condiciones.
- Indicar detalles del procedimiento no especificados en esta norma, así como condiciones externas que pudieran haber afectado los resultados.
- El ensayo se declara satisfactorio si no se ha observado ninguna fuga durante el tiempo especificado para el ensayo.

Conclusión.

La NCh 1755 of, 80, está destinada a verificar la estanqueidad de las uniones entre accesorios y tubos de material plástico cuando la presión externa es mayor a la presión interna.

Como es sabido, las filtraciones generalmente suele causar daños estructurales importantes en las alcantarillas, por ejemplo, debido a la erosión y el arrastre de partículas.

3.2.5 Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) rígido – Ensayo de estanqueidad de uniones (NCh 1787 of 80).

Introducción.

La presente norma fija los procedimientos para el ensayo de la estanqueidad de uniones, en tubos y accesorios de PVC.

Las uniones deben asegurar un hermetismo que resulta ser imprescindible para asegurar la estabilidad estructural; además de ser resistentes a tensiones mecánicas inducidas en la tubería.

Esta norma establece un método para verificar la estanqueidad de las uniones entre tubos y accesorios de PVC rígido bajo presión hidráulica interna entre 0 y 0,05 MPa a 20 °C.

Esta norma se aplica a las uniones en sistemas de tuberías de PVC rígido usados en instalaciones sanitarias de alcantarillado domiciliario.

Principios.

Exposición de una probeta, constituida por un sistema de tubos y accesorios, a una presión hidráulica interna especificada, durante un tiempo dado y a una temperatura determinada.

Verificar durante el tiempo que dura el ensayo, la estanqueidad de la probeta.

Aparatos.**Dispositivo.**

Apropiado para ser conectado a la probeta y mantener una presión hidrostática interna de 0,05 MPa.

Manómetro.

Con una lectura aproximada de $\pm 2 \%$.

Termómetro.

Graduado en 0,5 °C.

Preparación de las probetas.

- La probeta está constituida por un sistema formado por trozos de tubos y accesorios que induzcan, al menos, una unión del tipo a ensayar.
- Las conexiones se hacen de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Procedimiento.

- Colocar la probeta en el equipo a ensayar.
- Llenar las probetas con agua a 20 ± 2 °C.
- Esperar 20 minutos para que la temperatura se uniformice.
- Eliminar todo rastro de humedad de la superficie externa de la probeta.

- Aplicar presión en forma gradual de manera que en 15 minutos se alcance una presión de 0,05 MPa.
- Mantener la presión de 0,05 MPa durante 15 minutos.
- Durante el ensayo verificar la estanqueidad de las uniones.
- Si la unión permite flexión, realizar el ensayo bajo la mayor flexión posible del eje, sin forzarlo.

Expresión de resultados.

- Identificar el accesorio indicando el tipo de unión.
- Indicar si ha habido, o no, alguna fuga en el sistema durante el ensayo, y si ha habido indicar en que condiciones.
- Indicar detalles de procedimiento no especificados en esta norma, así como condiciones externas que puedan haber afectado los resultados.
- El ensayo se declara satisfactorio si no se ha observado ninguna fuga durante el tiempo especificado para el ensayo.

Conclusión.

La NCh 1787 of 80, establece los pasos a seguir para el ensayo de estanqueidad de las uniones. Este consiste en la exposición de una probeta, constituida por un sistema de tubos y accesorios, a una presión hidráulica interna especificada. Es importante que las uniones garanticen una hermeticidad y continuidad de la tubería; como también una resistencia mecánica de la unión necesaria para que conexión soporte tensiones eventuales.

3.3 Abreviación y Rotulado de los Tubos de PVC.

3.3.1 Plásticos – Abreviaturas de uso corriente (NCh 770 of 1999).

Introducción.

Las abreviaturas de uso común son utilizadas, como una manera rápida de hacer alusión a un determinado material.

Esta norma establece las abreviaturas de uso común y que dicen relación con los plásticos y símbolos para indicar características especiales de los mismos.

Esta norma se aplica para promover el uso de una sola forma de abreviatura para un determinado material, en la producción y comercio de este producto.

Abreviaturas (extracto).

Las abreviaturas que se indican en la tabla 21, serán las únicas que se usen en correspondencia con los productos anotados.

Símbolos para indicar características especiales.

La abreviaturas de los polímeros básicos pueden complementarse hasta en cuatro símbolos para indicar características especiales (ver tabla 22).

Abreviaturas	Producto Plástico
ABAK	Acrilonitrilo – butadieno – acrilato
ABS	Acrilonitrilo – butadieno – estireno
ACS	Acrilonitrilo – polietileno clorinado – estireno
AEPDS	Acrilonitrilo/etileno – propileno – dieno – estireno
AMMA	Acrilonitrilo – metil – metacrilato
ASA	Acrilonitrilo – estireno – acrilato
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetato butirado de cel
CAP	Acetato propionato de cel.
CF	Cresol formaldehído
CMC	Carboximetil cel
CN	Nitrato de cel.
CP	Propionato de cel.
CSF	Aseína – formaldehído.
-	
-	
-	
PUR	Poliuretano.
PVAC	Poli (vinil acetato).
PVAL	Poli (vinil alcohol).
PVB	Poli (vinil butiral).
PVC	Poli (cloruro de vinilo).
PVDC	Poli (cloruro de vinilideno).
PVDF	Poli (fluoruro de vinilo)
PVFM	Poli (vinil formal).
PVK	Poli (vinil carbazol).
PVP	Poli (vinil pirrolidona)
-	
-	
-	
Etc.	

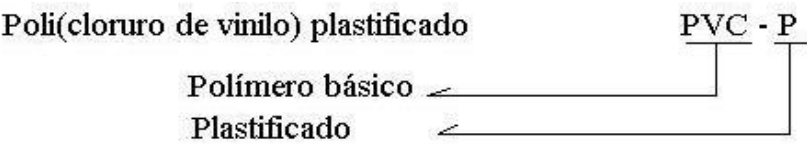
Tabla 21. Abreviaturas de uso corriente de materiales plásticos.

Símbolo	Característica	Símbolo	Característica
B	Bloque	O	Orientado
B	Brominado	P	Plastificado
C	Clorinado	R	En relieve
D	Densidad	R	Resol
E	Elastómero	S	Saturado
E	Expandido, expandible	S	Sulfonado
F	Flexible	T	Temperatura (resistente).
F	Fluído	T	Termoplástico.
H	Alto	T	Termo.
I	Impacto	T	Resistente
L	Lineal	U	Ultra
L	Bajo	U	No plasticificado
M	Medio	U	Insaturado
M	Molecular	V	Muy
N	Normal	W	Peso
N	Novolaca	X	Reticulado

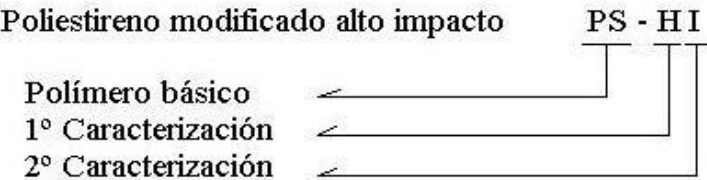
Tabla 22. Símbolos que indican características especiales.

Ejemplos de usos de símbolos.

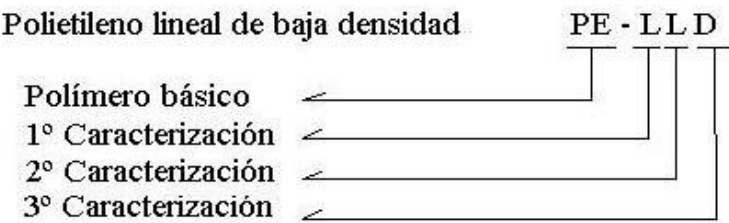
Ejemplo 1



Ejemplo 2.



Ejemplo 3.



Conclusión.

Las abreviaturas de uso común permiten indicar el material y sus características especiales en forma sencilla y expedita; promoviendo el uso de una sola forma de abreviatura para un material en particular.

3.3.2 Producto plástico – Rotulación (NCh 1997 Of 87).

Introducción.

Esta norma especifica la rotulación que debe llevar todo producto plástico ya sea nacional o importado, con el objeto de identificar al fabricante o importador.

Especifica formas generales de rotulación para gran parte de los productos plásticos.

Todo producto plástico nacional debe marcarse en forma legible e indeleble indicando el nombre o razón social del fabricante, o en su lugar el nombre de fantasía, el cual debe estar registrado en el Departamento de Propiedad Industrial de la Subsecretaria de Economía, Fomento y Reconstrucción.

Los productos plásticos que están normalizados según norma chilena, deben demarcarse según lo especificado en la norma específica.

Todo producto plástico importado debe marcarse identificando al menos, el importador y el país de origen.

Sistema de rotulado.

Se efectúa de acuerdo a la clasificación y rotulación de productos plásticos, según el extracto de la tabla 1 de dicha norma (tabla 23).

GRUPO	CARACTERISTICA	PRODUCTO	REFERENCIA
1	Producto plástico Por el proceso de Extrusión	Tubo de PVC rígido	Según NCh 399 y NCh 1635
		Tubo de PE	Según NCh 398
		Tubo de PP	Según NCh 1618
		Accesorios de PVC	Según NCh 1721 y NCh 1779
		Accesorios de PP	Según NCh 1842
		Tubo de PP para agricultura	Rotulación por flexografía, marcar cada 2 metros minimo

Tabla 23. Clasificación y rotulación de productos plásticos (extracto).

Conclusion.

La NCh 1997 of 87, especifica en forma detallada las formas generales de rotulación que debe llevar todo producto plástico, nacional o importado. Dicha marcación, se establece, debe ser legible e indeleble indicando el nombre o razón social del fabricante; o en su lugar el nombre de fantasía. Un requisito fundamental, para un adecuado control, es el registro en el Departamento de Propiedad Industrial de la Subsecretaría de Economía, Fomento y Reconstrucción.

3.4 Conclusiones del capítulo.

Una vez hecha una revisión de la normativa disponible y que guarda relación con tuberías de PVC; se pudo determinar que no existe una normativa adecuada para este tipo de tubería (de PVC perfilado no plastificado); esto muestra lo desconocido que resulta ser esta tubería, encontrándose en una etapa de promoción de modo de introducirse paulatinamente en el mercado.

Resulta conveniente, por el tiempo que no se cuente con una norma adecuada, aplicar en forma parcial aquellas normas afines y que guardan relación con los requisitos de: materiales, dimensiones, rotulación, ensayos, etc.

Uno de los efectos negativos, del hecho de no existir una normativa adecuada, resulta en una resistencia a emplear un material que no se encuentra respaldado por un estudio idóneo. De hecho, todo material a utilizar en proyectos viales; ya sean públicos o concesionados; deben estar debidamente acreditados frente al MOP y autorizado por este.

De acuerdo a antecedentes recopilados de la Dirección de Vialidad todo material a utilizar debe estar expresado explícitamente en el Manual de Carreteras o debidamente autorizado por el MOP.

Cuadro Resumen de Normas

Título de la Norma	Referencia
3.1 Dimensiones y Requisitos Generales de los Tubos de PVC.	
3.1.1 Tubos termoplásticos para conducción de fluidos. Diámetros exteriores y presiones nominales (NCh 397 of 77).	Esta norma establece los diámetros exteriores nominales y presiones conducción de fluidos, cualquiera sea su método de fabricación, composición y uso.
3.1.2 Tubos de Poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para conducción de fluidos a presión – Requisitos (NCh 399 of 94).	Esta norma se aplica a los tubos de PVC rígido que se usan en el transporte de agua potable y otros fluidos no agresivos al material, a temperaturas menores a 60 °C y presión nominal menor o igual que 1,6 MPa (1 MPa = 10 Kgf / cm ²).
3.1.3 Tubos plásticos – Medición de dimensiones (NCh 1294 of 78).	Esta norma especifica los aparatos y el procedimiento a utilizar para medir las dimensiones de los tubos plásticos. La temperatura de referencia será de 20 °C ± 2 °C.
3.1.4 Tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para instalaciones sanitarias de alcantarillado público – Requisitos (NCh 2252 of 86).	Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los tubos destinados a desagües y alcantarillado público. Se aplica a los tubos de PVC rígido destinado a la conducción de aguas servidas y aguas lluvias a temperaturas inferiores a 60 °C.
3.2 Condiciones y Requisitos de Ensayo para Tubos de PVC.	
3.2.1 Plásticos – Atmosferas normales de acondicionamiento y de ensayo (NCh 740 of 81).	Esta norma establece las especificaciones relativas al acondicionamiento y ensayos de todos los plásticos y de todos los tipos de probetas en condiciones próximas a las condiciones ambientales habituales.
3.2.2 Tubos de poli(cloruro de vinilo) rígido – Métodos de ensayo (NCh 815 of 95).	La norma NCh 815 of 95. establece los métodos y procedimientos a seguir para el ensaye, de los tubos de PVC, de resistencias al aplastamiento, resistencia al impacto y calidad de extrusión.
3.2.3 Tubos plásticos – Determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor (NCh 1649 of 96).	Esta norma describe dos métodos para determinar la contracción longitudinal por efecto del calor en tubos plásticos.
3.2.4 Accesorios para tubos plásticos para conducción de fluidos a presión – Ensayo de estanqueidad bajo presión hidráulica externa (NCh 1755 of 80).	Esta norma establece un método para verificar la estanqueidad de las uniones entre accesorios y tubos de material plástico cuando la presión hidráulica externa es mayor que la presión interna de los tubos.
3.2.5 Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) rígido – Ensayo de estanqueidad de uniones (NCh 1787 of 80).	Esta norma establece un método para verificar la estanqueidad de las uniones entre tubos y accesorios de PVC rígido bajo presión hidráulica interna entre 0 y 0,05 MPa a 20 °C.
3.3 Abreviación y Rotulado de los Tubos de PVC.	
3.3.1 Plásticos – Abreviaturas de uso corriente (NCh 770 of 1999).	Esta norma establece las abreviaturas de uso común y que dicen relación con los plásticos y símbolos para indicar características especiales de los mismos.
3.3.2 Producto plástico – Rotulación (NCh 1997 of 87).	Esta norma especifica la rotulación que debe llevar todo producto plástico ya sea nacional o importado, con el objeto de identificar al fabricante o importador.

CAPITULO IV

ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LA TUBERIA TRADICIONAL Y LA TUBERIA PERFILADA DE PVC.

4.1. Tubos rígidos; de hormigón simple y reforzados de base plana.

4.1.1 Tubos de hormigón simple.

Los tubos de hormigón simple consisten en un cilindro hueco provisto de elementos de unión en sus extremos. La utilización común de estos tipos de tubos es principalmente, en redes de alcantarillado y en general, para la conducción de sustancias líquidas o sólidas arrastradas por líquidos, a presión atmosférica (ver figura 26).

4.1.1.1 Materiales.

Los materiales con los cuales se fabrican los tubos, deben cumplir con los requerimientos de idoneidad y calidad; de modo, de obtener un óptimo resultado de su aplicación. El cemento debe cumplir con los requerimientos según la norma NCh 148. Los áridos por su parte deben cumplir con la norma NCh 163. El agua de amasado debe ser potable, además de cumplir con la NCh 409 o con NCh 1498.

4.1.1.2 Requisitos generales.

- Los tubos de hormigón simple deben cumplir con los requisitos que se indican en las tablas 24,25,26 y 27.
- El eje de los tubos debe ser recto con una tolerancia de $\pm 10\%$ del espesor del tubo en 1m de longitud.
- Se puede adoptar uniones de otras formas y dimensiones cuando se desee efectuar juntas flexibles con anillo de goma, de común acuerdo entre el comprador y el fabricante.



Figura 26. Tubo de hormigón simple, con unión de espiga.

Diametro	Espesor mínimo de pared E Mm	Dimensiones de la unión			Resistencia mínima a la compresión Diametral KN/m	Máximo de adición de agua cm3/m
interior D mm		Profundidad mínima,p mm	Apertura			
			A Mm	t mm		
Con unión de cazoleta y espiga						
100	19	50	10	3	17	100
150	19	50	10	3	14	110
175	22	50	10	3	14	115
200	22	50	10	3	14	120
250	26	50	15	3	16	140
300	33	50	15	3	19	160
350	36	50	15	3	20	180
400	40	50	15	5	21	210
450	45	50	15	5	22	240
Con unión de muesca y ranura						
500	50	26	-	6	24	270
600	57	26	-	7	28	300
700	68	40	-	7	31	330
800	77	40	-	8	33	360
900	86	42	-	8	35	400
1000	95	42	-	9	37	440
1200	105	50	-	10	39	520

Tabla 24. Tubos corrientes de sección circular.

Diámetro interior D Mm	Espesor mínimo De pared E Mm	Dimensiones de la unión			Resistencia mínima a la compresión Diametral KN/m	Máximo de adición de agua cm³/ m
		Profundidad mínima		Apertura t (*) mm		
		P(*) Mm	P'' Mm			
400	55	99 (86)	77,5	9,8± 1,4 (12)	43	210
500	69	99(86)	77,5	9,8±1,4 (12)	52	270

Tabla 25. Tubos de alta resistencia de sección circular. Con unión de cazoleta y espiga.

4.1.1.3 Ensayos

Los ensayos se efectúan de acuerdo con NCh 185¹. Dichos ensayos están destinados a asegurar calidad de los tubos; los cuales deben cumplir con las propiedades exigidas, tales como resistencias, diámetros nominales, geometrías, propiedades físicas, etc.

¹No se ahonda en los ensayos a los cuales son sometidos los tubos de hormigón simple, pues no es relevante para los objetivos de este estudio. Se señala la norma que rige para estos, a modo de referencia.

Diámetro mm	Longitud m						
100	1						
150-250	1	1,20	1,25				
300-500	1	1,20	1,25	(1,50)	(1,75)	(2,00)	
600-1200	1	(1,20)	(1,25)	1.50	(1,75)	(2,00)	(2,50)

Tabla 26. Longitudes útiles de tubos.

Diámetro interior D mm	Longitud útil del tubo L Desviación admisible	Apertura de la unión t Desviación admisible mm
100 a 350	-1	± 2
400 a 800	-1	± 2
900 a 1200	-1	± 4

Tabla 27. Tolerancias en las dimensiones.

4.1.1.4 Referencias técnicas.

Las referencias técnicas que a continuación se detallan fueron recopiladas del manual de carreteras. Dicho manual tiene como objeto ser una guía referencial para los trabajos de vialidad. Es acertado considerar dichas especificaciones ya que los tubos en estudio se destinan principalmente a alcantarillas y otras obras de arte de tipo vial.

1. La fabricación y características generales de los tubos de hormigón, tantos simple como de base plana, se ajustara a lo establecido en NCh 184.
2. Se deben consultar datos de refuerzo de hormigón H – 25 (ver figura 27), de acuerdo a la sección 5.501 “Estructuras y Obras Conexas – Hormigones”.
3. Las armaduras, del dado de refuerzo, serán de acero A63 – 42H con resaltes de acuerdo a la sección 5.503 “Acero para Armaduras”.
4. Los tubos de hormigón simple se deben ajustar a lo establecido en la sección 5.601 del Manual de Carreteras. Volumen 5. Se recomienda emplear tubos D=0,80 m para facilitar su limpieza.
5. En caso de suelos que no permitan hormigonar el refuerzo contra terreno, se usará moldaje el cual deberá ser retirado antes de efectuar el relleno.

- 6. La colocación de los tubos se realizará mediante el uso de procedimientos, equipos, y herramientas, que les eviten cualquier daño. De lo anterior se desprende la necesidad de utilizar maquinaria, tanto para el transporte (carguío de camiones), como para su manipulación y colocación en obra (Ver figura 28, 29).
- 7. Las juntas de unión de tubos de hormigón deben sellarse, tanto por el exterior como por el interior, con un mortero de proporción en peso 1:1 (cemento : arena) en el interior y 1:3 en el exterior.

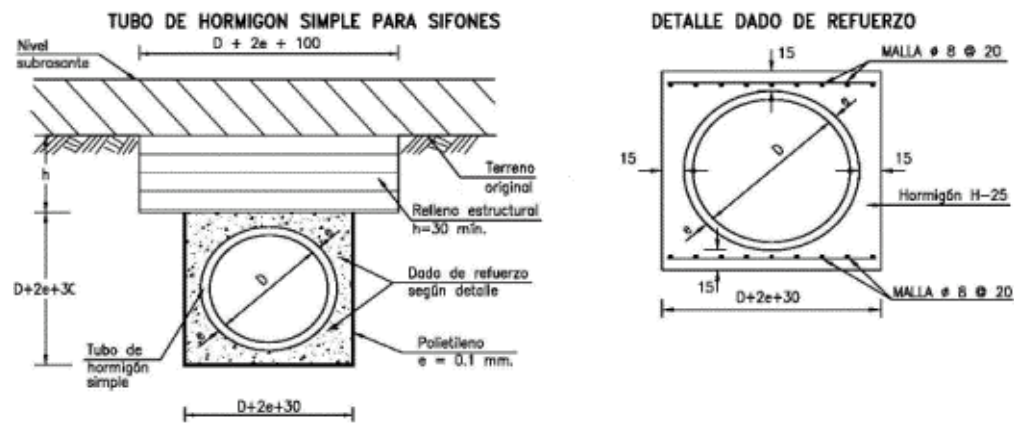


Figura 27. Sección tipo, tubo de hormigón simple.



Figura 28. Transporte de tubos de hormigón.

El emboquillado exterior tendrá un ancho no inferior al 20% del diámetro interior del tubo y un espesor igual o mayor que el 12% de ese diámetro. Para conectar tubos nuevos de este tipo con antiguos, deberá prepararse la zona de conexión limpiando el tubo antiguo para retirar restos de mortero y cualquier otra suciedad; cuando no se logre un calce

adecuado entre tubos, se deberá construir un dado de hormigón Grado H – 20 alrededor de la unión. El dado tendrá no menos de 600 mm de ancho y 120 mm de espesor.



Figura 29. Utilización de maquinaria para la colocación de tubos de hormigón.

Los tubos circulares de hormigón simple se rodean completamente con un dado de hormigón Grado H – 30, en cuya parte inferior y superior se colocará una malla de acero calidad A44-28H de 200 x 200 mm y 8 mm de diámetro. El ancho y alto del dado serán iguales al diámetro exterior del tubo mas 150 mm a cada lado.

Los espacios excavados y no ocupados por las obras se rellenarán con suelos que cumplan con lo estipulado para rellano estructural, compactado al 95% de D.M.C.S, según LNV 95, el que deberá cumplir con lo especificado en la sección 5.206 del Volumen N° 5 del Manual de carreteras.

4.1.2 Tubos de hormigón reforzado de base plana.

Los tubos de hormigón de base plana pueden ser o no reforzados. Esta condición estará supeditada a las necesidades del proyecto en cuestión.

La fabricación y características generales de los tubos de hormigón armado se ajustarán a lo estipulado en el Proyecto y en lo pertinente, a lo establecido en NCh 184 y en la Sección 5.60101 del Volumen 5 del Manual de Carreteras.



Figura 30. Colocación de tubos de hormigón de base plana, en dirección aguas arriba

4.1.2.1 Referencias técnicas.

1. Los espesores de pared y cuantía de acero de los tubos variarán conforme a la altura de terraplén o cargas dinámicas a que serán sometidos.
2. La armadura circular interior, exterior y la elíptica no podrán ser menores a los dados en la Norma ASTM C76M.
3. La profundidad H de instalación será de acuerdo a proyecto y memoria de cálculo presentada por el proyectista, en función de la resistencia del tubo.

La metodología para relacionar la profundidad H con la resistencia del tubo, de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carreteras, Volumen 4 “Planos de Obras Tipo”, lámina 4.102.104, es la siguiente:

- Calcular la solicitación de carga muerta, para ello calcular previamente ancho de transmisión para determinar la condición de cálculo, sea “condición de terraplén con proyección positiva”(Figura 31, Anexo-----) o “condición de cálculo con proyección negativa” (Figura 31, Anexo -----).
- Aplicar expresiones de cálculo y gráficos para calcular la carga absorbida por el tubo por metro lineal en función de la profundidad de instalación.
- Determinar la carga absorbida por metro lineal por efecto de las solicitaciones de las cargas vivas.
- Corregir el valor de solicitación de las cargas muertas y vivas por el factor de forma, que es función del tipo de apoyo dado a la tubería.

- Con la carga absorbida por el tubo por metro lineal corregido por el factor de forma, seleccionar la clase del tubo óptimo que cumple con las solicitaciones. Las clases de tubo se diferencian por la resistencia del tubo por metro lineal, cuyos valores se entregan en la figura 32.
4. Para mejorar las condiciones hidráulicas de la entrada, el primer tubo se colocará dejando el lado del enchufe enfrentando l sentido de escurrimiento de las aguas.
 5. La colocación de los tubos se realizará mediante procedimientos, y utilizando equipos, y herramientas, que les eviten cualquier daño. No se aceptan tubos de hormigón que presenten grietas. De lo anterior se desprende la necesidad de utilizar maquinaria, tanto para el transporte (carguío de camiones), como para su manipulación y colocación en obra (Ver figura 28,29).

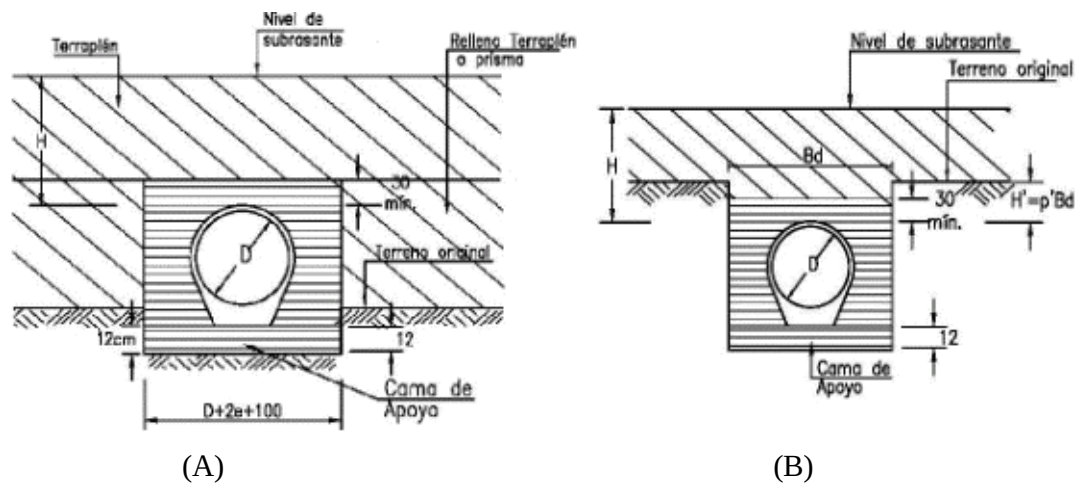


Figura 31. (A) Sección típica, proyección positiva. (B) Sección típica, proyección negativa.

Diámetro interior	Espesor mínimo		Ancho de la base	Dimensiones de la unión			Resistencia mínima a la compresión	Máximo de adición de agua
	Pared	Base		Profundidad mínima		Apertura		
				P	p			
D Mm	E mm	e” Mm	B Mm	P Mm	p” mm	t mm	Diametral KN/ m	Cm³/m
600	91	136	360	107	120	10,5 ±1,6	70	300
700	91	162	420	107	120	10,5±1,6	80	330
800	98	185	480	107	120	10,5±1,6	84	360
900	109	206	540	113	126	11,5±1,8	92	400
1000	120	227	600	113	126	11,5±1,8	100	440
1200	140	267	720	121	134	12,6±1,9	113	520

Tabla 28. Tubos de alta resistencia con base plana, con unión de muesca y ranura.

Tubería de base plana de alta resistencia								
Diámetro Nominal mm.	Ancho Base mm.	Espesor base mm.	Espesor De pared mm.	Longitud Útil m.	Peso metro lineal Kg.	Peso del tubo Kg.	Volumen interior Lts.	Tipo de unión
400	-	-	55	2	220	440	251.40	C y E
500	-	-	69	2	345	690	392.60	C y E
600	360	136	91	2	555	1110	565.50	C y E
700	420	162	91	2	695	1390	769.60	M yR
800	480	185	98	2	870	1740	1005.40	C y E
900	540	206	109	2	1050	2100	1272.40	M yR
1000	600	227	120	1.5	940	1880	1178.10	M yR
1000	600	240	125	2	1253	2507	1570.80	C y E
1200	720	267	140	1.5	1340	2680	1696.00	M yR
1200	720	272	145	2	1787	3574	2262.00	C y E

Tabla 29. Características de los tubos de base plana de alta resistencia

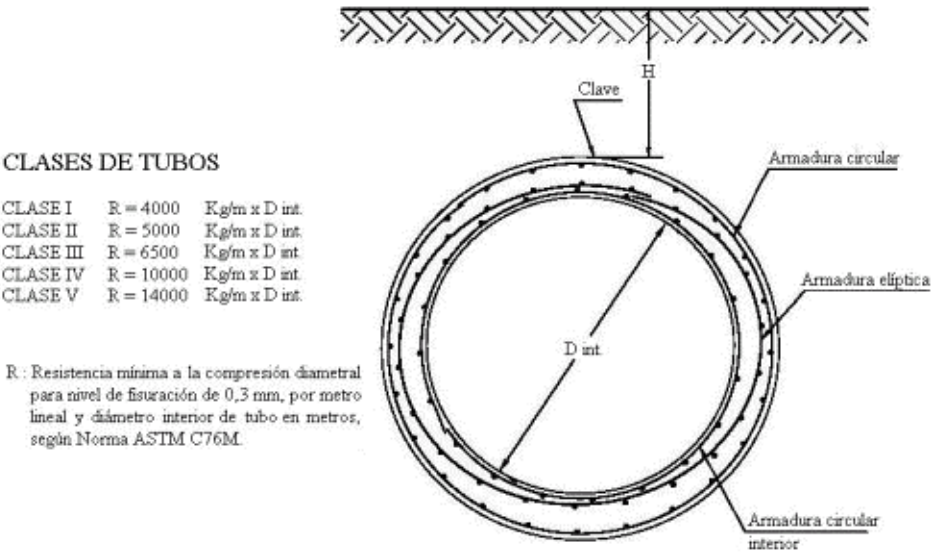


Figura 32. Tubo de hormigón circular reforzado.

Diámetro interior (mm)	Espesor mínimo (mm)	Diámetro exterior (mm)	Largo útil (m)	Largo total (m)
1450	145	1740	2,0	2,101
1600	180	1965	2,0	2,130
1800	194	2193	2,0	2,130
2000	211	2427	2,0	2,130
2200	238	2656	2,0	2,130
2400	240	2890	2,0	2,130

Tabla30. Características de los tubos circules de alta resistencia.

4.1.3 Desventajas comparativas en la utilización de tubos rígidos de hormigón simple.

Los tubos de hormigón, simple y armado experimentan dos formas deterioros: los que afectan la estructura (deterioro estructural) y los que afectan el material.

El deterioro de tipo estructural, en los tubos de hormigón simple, se manifiesta en roturas y grietas que, pueden significar el colapso completo del conducto. Una falla estructural importante se suele producir cuando una alcantarilla de este material se instala en una sección mixta, parte del terraplén y parte en corte, sin tomar en consideración los efectos de las grandes diferencias de rigidez de los suelos de fundación; normalmente aparece una grieta importante en todo el perímetro, en la posición de la zona de transición de corte a terraplén

Los deterioros del material se presentan como una desintegración de cierto espesor del hormigón que disminuye la capacidad estructural de la obra, con oxidación de las armaduras en el caso del hormigón armado.

Un aspecto importante en el uso de tubos de hormigón es su elevado peso; lo que conlleva la utilización de complejas maniobras o la utilización de maquinaria para su colocado en zanja (ver tabla 29). Lo anterior también repercute en un aumento en los costos de transporte.

Las uniones en los tubos de hormigón, es otro aspecto negativo ya que requiere de mano especializada además de hacer mas lento el avance en comparación con las otras tuberías (ver Análisis de Costos Unitarios, capítulo V).

4.2 Tubos de metal corrugado para alcantarillas.

Los tubos de metal corrugado son otra alternativa disponible para aplicaciones en alcantarillado y obras de tipo vial. Su funcionalidad se basa en su moderada flexibilidad, y a su estructura de lámina corrugada que le reporta un aumento de su rigidez. Lo que en conjunto redunda en un aumento de su capacidad de carga.

En los tubos flexibles la capacidad estructural depende parcialmente de la resistencia propia del material de que están formados; la mayor resistencia radica en que al deformarse bajo la acción de las cargas, el diámetro horizontal aumenta, presionando el terreno de los costados y, por lo tanto, creando un empuje pasivo que ayuda a soportar las cargas verticales. Así, para que estas obras trabajen en la forma prevista es muy importante que conserven una forma adecuada y uniforme y que se encuentren rodeadas completamente por suelos densos y de buena calidad.

4.2.1 Requisitos generales.

Los tubos de metal corrugado deben cumplir con los requisitos que se indican en las tablas 31, 32, 33, 34 y 35.

La calidad de los materiales y condiciones de diseño se rigen por lo dispuesto en NCh 2462.

Las dimensiones de las alcantarillas son nominales y están medidas a fibra media de la corrugación, debiendo ajustarse a diámetros comerciales. Para obtener las dimensiones libres deben considerarse las características geométricas detalladas en la tabla 31 y 32, para la corrugación 67,7 x 12,7 y 152 x 50,8 respectivamente; se aceptan espesores diferentes a los mostrados en la dichas tablas, justificados por cálculo.

Los tubos de metal corrugado deben estar constituidos por planchas de acero cincado, de espesor mínimo 2 mm y deberán cumplir con lo establecido en NCh 532. El recubrimiento de cinc será, como mínimo, de 610 g/m² por las dos caras, determinado según NCh 570.

Los remaches, pernos tuercas, sujetadores, ganchos y pernos de argolla serán Clase D, según NCh 570, para diámetros iguales o inferiores a 10 mm y Clase C para los

mayores que 10 mm (Ver tabla 36).Los pernos de unión serán de alta resistencia (Grado 5) y se instalarán aplicando un torque de apriete de 400 Nm ± 40 Nm de tolerancia.

En las figuras 33 y 34, se aprecian en detalle, los dos tipos de corrugado, y los pernos de unión.

ESPESOR PLANCHAS e (mm)	AREA SECCION A (cm ² /ml)	INERCIA SECCION I (cm ⁴ /ml)	MODULO RESISTENTE S (cm ³ /ml)	RADIO DE GIRO r (cm)	LARGO TANGENTE L (mm)	ANGULO TANGENTE α (°)
PROPIEDADES GEOMETRICAS – CORRUGACION 67,7 x 12,7						
2,0	21,60	4,131	5,656	0,438	19,2	26,89
2,5	27,01	5,281	6,880	0,441	18,9	27,06
3,0	32,40	6,433	8,172	0,445	18,6	27,23
3,5	37,82	7,611	9,441	0,448	18,2	27,40
PROPIEDADES GEOMETRICAS – CORRUGACION 152,4 x 50,8						
2,5	30,99	93,161	34,856	1,731	48,3	44,42
3,0	37,21	112,148	41,859	1,735	47,7	44,59
3,5	43,44	131,231	48,416	1,738	47,2	44,76
4,0	49,66	150,956	54,899	1,741	46,6	44,94
4,5	55,88	170,592	61,513	1,746	46,1	45,12
5,5	68,35	209,953	74,680	1,753	45,0	45,49
6,0	74,82	230,847	80,936	1,756	44,4	45,68
7,0	87,19	271,752	94,032	1,765	43,2	46,09

Tabla 31. Propiedades de los tubos de metal corrugado, corrugación 67,7 x 12,7 y 152,4 x 50,8.

DIAMETRO NOMINAL TUBO (cm)	PERIMETRO (cm)	AREA (m ²)	PESO POR METRO LINEAL (Incluye Pernos) (Kg/ml)			
			ESPESORES (mm)			
			2,0	2,5	3,0	3,5
60	188	0,28	38	48	58	67
80	251	0,50	50	63	76	88
100	314	0,79	62	78	93	109
120	377	1,13	74	93	111	130
150	471	1,77	92	115	138	161

Tabla 33. Características de los tubos metal corrugado circular, diámetros desde 600 a 1500 mm.

CARACTERISTICAS DE ALCANTARILLAS CIRCULARES

DIAMETRO NOMINAL TUBO (cm)	PERIMETRO (cm)	AREA (m ²)	PESO POR METRO LINEAL (INCLUYE PERNOS) (Kg/ml)							
			ESPESORES (mm)							
			2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0
175	550	2,41	162	191	221	250	280	339	368	427
200	628	3,14	185	219	252	286	320	387	421	488
225	707	3,98	208	246	284	322	360	435	473	549
250	785	4,91	231	274	316	358	400	484	526	610
275	864	5,94	255	301	347	393	440	532	578	671
300	942	7,07	278	328	379	429	480	580	631	732
325	1.021	8,30	301	356	410	465	520	629	683	793
350	110	9,62	324	383	442	501	559	677	736	854

Tabla 34. Características de los tubos de metal corrugado circular, diámetros desde 1750 a 3500 mm.

CARACTERISTICAS DE ALCANTARILLAS ABOVEDADAS

DIMENSIONES NOMINALES		PERIMETRO (cm)	AREA (m ²)	PESO POR METRO LINEAL (INCLUYE PERNOS) (Kg/ml)							
				ESPESORES (mm)							
				2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0
200	170	586	2,70	173	204	235	267	298	361	382	456
250	190	683	3,61	201	238	274	311	348	421	457	530
300	220	854	5,56	252	297	343	388	435	526	572	663
350	240	927	6,36	273	323	372	422	472	571	621	720
400	280	1098	8,89	324	382	441	500	559	678	735	853
450	320	1196	10,84	352	416	481	545	609	737	801	929
500	370	1366	14,27	403	476	549	622	695	841	914	1061
550	420	1537	18,21	453	535	617	700	782	947	1029	1193
600	430	1631	20,10	481	568	655	743	830	1004	1092	1266

Tabla 35. Características de los tubos de metal corrugado abovedado, luz desde 2000 a 6000 mm.

ESPESOR PLANCHAS (mm)	LONGITUD PERNO LP (mm)	
	UNION DE 2 PLANCHAS	UNION DE 3 PLANCHAS
2,5 a 3,5	38	38
4,0 a 4,5	38	50
5,5 a 6,0	50	50
7,0	50	63

Tabla 36. Longitud mínima de pernos para armado de tubos de metal corrugado.

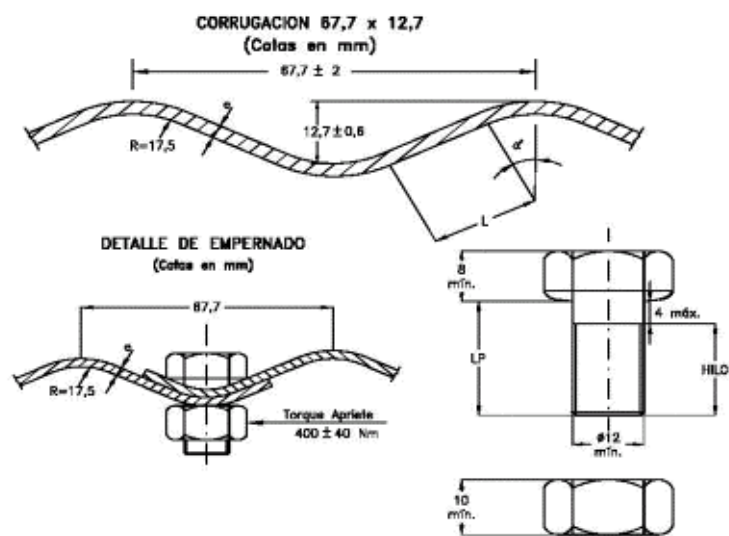


Figura 33. Detalles, de corrugación 67,7 x 12,7, y de empernado.

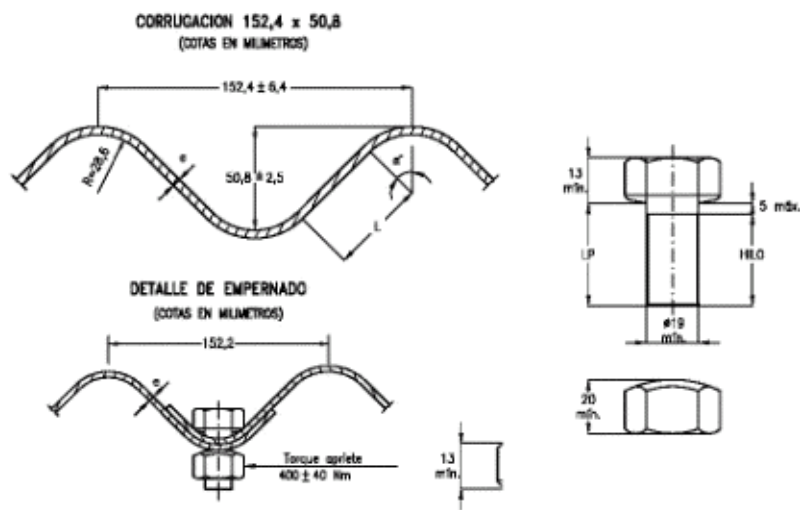


Figura 34. Detalles de corrugación 152,4 x 50,8 y de empernado.

Además de la corrugación detallada, existen otras geometrías de diferente altura, diferente distancia entre crestas, helicoidales, etc. La utilización de otro tipo de corrugación debe ser debidamente respaldada por cálculo estructural, según las consideraciones de la norma NCh 2462.

4.2.2 Referencias técnicas.

Los pernos, tuercas, remaches, sujetadores, ganchos, pernos de argolla que se utilicen en la unión de planchas deberán ser galvanizados en caliente y cumplir con la norma ASTM A 307.

Los espesores de planchas, ya definidos, corresponden al acero base sin considerar el galvanizado. Alternativamente se aceptan espesores diferentes a los detallados, debidamente fundamentados por cálculo.

Para escurrimientos abrasivos se colocará un radier de protección, según las condiciones hidráulicas esperadas de velocidad y arrastre de materiales. El hormigón de radier deberá ser como mínimo grado H – 20 debiendo cumplir lo establecido en la sección 5.501, Volumen 5 del Manual de Carreteras. Para minimizar las grietas por retracción, debe disponerse una malla electro-soldada que proporcione una cuantía mínima de 5 cm²/m en cada sentido.

La malla debe fijarse cada 60 cm al fondo de la tubería (o lo más cercana a este valor, dependiendo de la corrugación), utilizando soldaduras puntuales o algún sistema de tornillería. En las zonas de empalme deben traslaparse al menos 15 cm.

Cuando corresponda unir un tubo corrugado nuevo con uno existente, se deberá despejar completamente al menos los últimos 0,50 m de este último; antes de unir apernando los dos elementos, el tubo antiguo deberá prepararse asegurándose que tiene la forma geométrica que le corresponde y que los agujeros para apernar se encuentren en buen estado y limpios.

La colocación de los tubos se realizará mediante procedimientos, y utilizando equipos, y herramientas, que les eviten cualquier daño. No se aceptan tubos de metal corrugado que presenten abolladuras o deformaciones, que impliquen que la diferencia entre dos diámetros normales sea superior al 10 %.

La preparación de la cama de apoyo y base preformada se realizará de acuerdo a la figura 35.

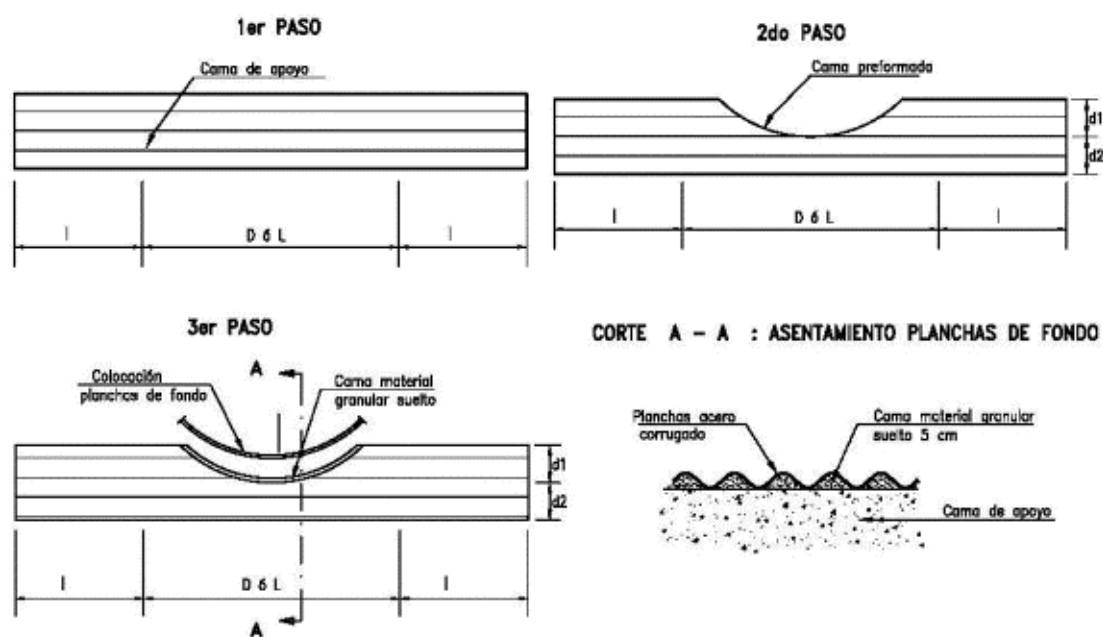


Figura 35. Secuencia de preparación de la cama de apoyo.

El relleno estructural, sobre la clave del tubo, tendrá una altura mínima de acuerdo al H mín. definido en la tabla 37. El relleno entre este nivel del relleno estructural y la sub-rasante podrá construirse con material de terraplén de acuerdo a lo establecido en la sección 5.205 del Volumen 5 del Manual de Carreteras. En las figuras 36 y 37, se observan las secciones típicas de tubos de metal de diferentes corrugaciones.

Los tubos de metal corrugado, como ya se ha afirmado, están compuestos por planchas de acero revestidas, convenientemente unidas por medio de pernos de unión de alta resistencia. Dichos tubos se componen de un número de planchas que va de acuerdo al diámetro de la tubería, es decir mientras más grande los diámetros, mayor el espesor de las planchas, como es lógico pensar, y mayor el número de planchas que conforman dicha tubería. En la figura 38 se muestra la secuencia de armado de las planchas de láminas corrugadas.

4.2.2.1 Revestimiento tipo barrera.

El revestimiento tipo barrera se podrá realizar a través de polímeros reactivos, resinas en polvo o epóxicas, por una o ambas caras, aplicados en planta bajo parámetros controlados. Todos los revestimientos deberán ser especificados en detalle por los proveedores

en caso de ser requeridos. Este revestimiento se aplicará sobre la protección de galvanizado en caliente establecida para los ductos de metal corrugado.

Se recomienda el uso de revestimiento tipo barrera en los siguientes casos:

- 1. En alcantarillas para drenaje de aguas cuando hay existencia de:
 - Aguas ácidas y alcalinas.
 - Aguas servidas domiciliarias.
 - Residuos industriales líquidos.

- 2. En alcantarillas para pasos vehiculares, peatonales y animales cuando se presenta:
 - Ambiente salino.
 - Ambiente costero.
 - Zonas industriales.

4.2.2.2 Radier de protección.

Se colocará radier de protección, en aquellos casos que se presenten escurrimientos abrasivos, según las condiciones hidráulicas esperadas de velocidad y arrastre de material. Para minimizar las grietas por retracción, debe disponerse una malla electrosoldada que proporcione una cuantía mínima de 5 cm²/m en cada sentido.

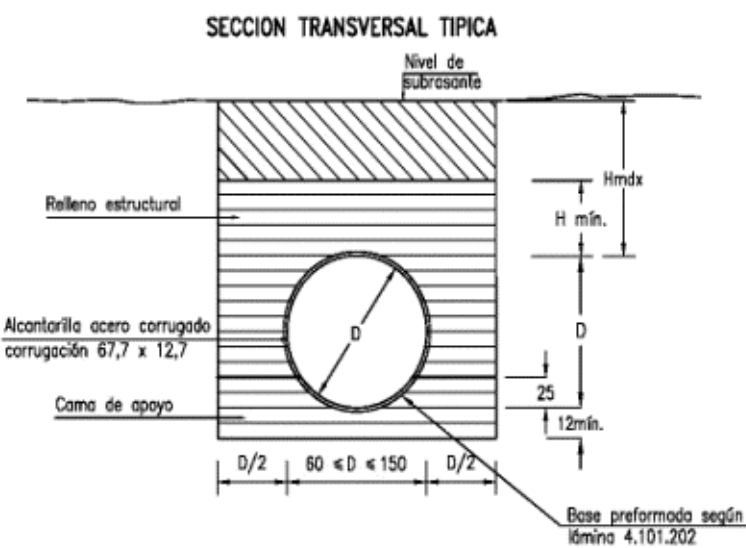


Figura 36. Sección típica, tubo acero corrugado 67,7 x 12,7.

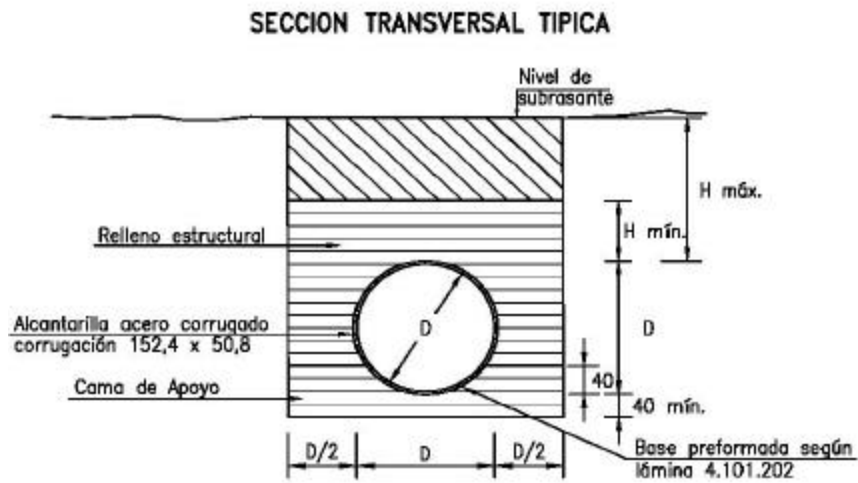


Figura 37. Sección típica, tubo acero corrugado 152,4 x 50,8.

ALTURA DE RELLENO SOBRE LA CLAVE ALCANTARILLA (cm)
(CONSIDERANDO TRANSITO VEHICULAR HS20 + 20% + IMPACTO)

DIAMETRO NOMINAL TUBO (cm)	ESPESOR DEL TUBO DE ACERO CORRUGADO (mm)							
	2,5		3,0		3,5		7,0	
	H mín. (cm)	H máx. (cm)	H mín. (cm)	H máx. (cm)	H mín. (cm)	H máx. (cm)	H mín. (cm)	H máx. (cm)
175	60	1.050	60	1.390	60	1.740	60	4.160
200	60	910	60	1.230	60	1.520	60	3.630
225	60	810	60	1.090	60	1.350	60	3.230
250	60	730	60	970	60	1.210	60	2.900
275	70	670	60	890	60	1.120	60	2.670
300	70	620	60	830	60	1.050	60	2.500
325	80	550	60	740	60	930	60	2.230
350	80	510	70	690	60	860	60	2.070

Tabla 37. Altura de relleno sobre la clave de la tubería circular.

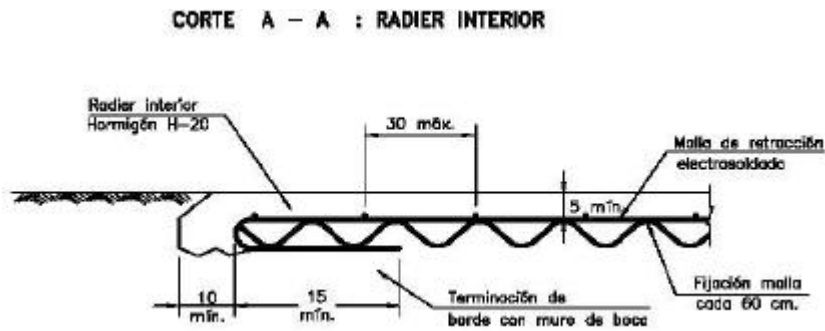


Figura 40. Detalle radier de protección.

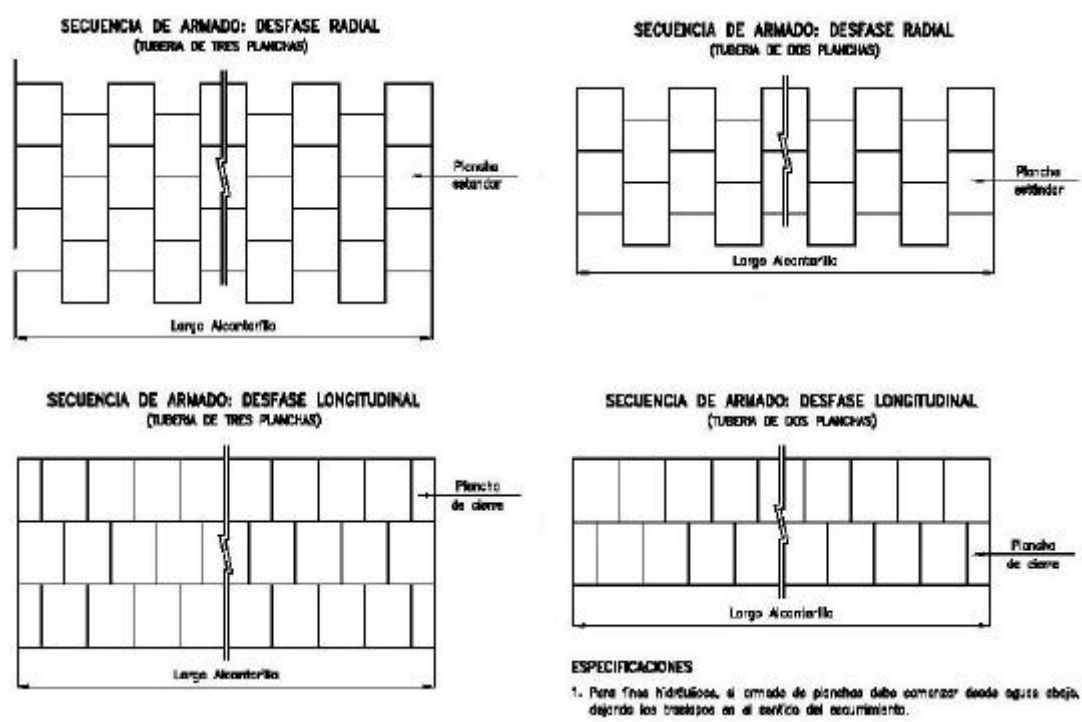


Figura 38. Secuencia de armado de los tubos de acero corrugado.

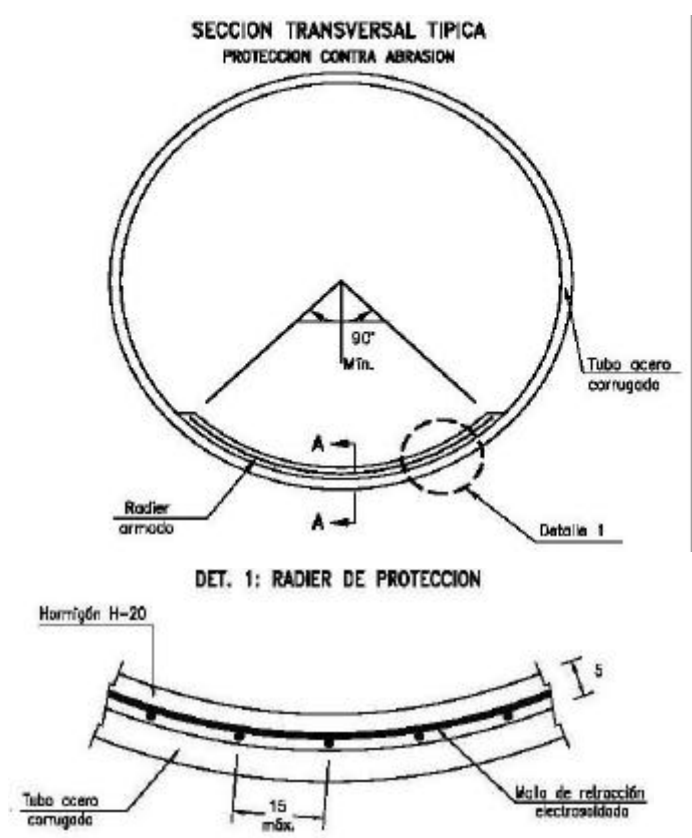


Figura 39. Radier de protección, para ambientes erosivos.

4.2.3 Desventajas comparativas en la utilización de tubos de metal corrugado.

Los tubos de este tipo, experimentan dos formas de deterioros: los que afectan la estructura y los que afectan al material.

Los principales deterioros de tipo estructural son:

- Deformaciones que les hacen perder su forma original.
- Abolladuras importantes que puedan afectar la estabilidad general de la obra.
- Fallas en las uniones, por la carencia de algunos pernos o porque el agujero se ha ensanchado impidiendo la efectiva unión entre las dos láminas.

Los deterioros del material que se presentan con mas frecuencia son la corrosión del revestimiento y la posterior oxidación de la lámina de acero, y la erosión producida por elementos abrasivos transportados por el agua. Para condiciones de suelos y aguas que se podrían denominar normales, es decir, no especialmente ácidas, la corrosión se minimiza asegurándose que las láminas corrugadas cumplen con la norma NCh 532, en especial en lo que se refiere al recubrimiento de zinc, que no debe ser menor que 610 g/m² por las dos caras. Para condiciones extremas, tales como desechos mineros y/o suelos muy ácidos, es conveniente solicitar un estudio especializado.

Existen esencialmente dos formas de mitigar la erosión provocada por elementos arrastrados por las aguas; una es utilizando tubos con un revestimiento bituminoso interior (revestimiento tipo barrera); la otra es consultando un radier de protección (Ver figura 39).

Su fácil aplicación la hace adecuada para trabajos de reparación y mantenimiento de tipo periódico, debido a que no requiere mano de obra especializada para las uniones, ni maquinaria para su colocación en zanja.

4.3 Análisis final estudio comparativo.

Las conclusiones arrojadas por este análisis, se encuentran resumidas en el “Cuadro Análisis Comparativo”, en la cual, se hace un paralelo teniendo en consideración los aspectos más relevante de este estudio.

Cuadro Análisis Comparativo

Descripción	Hormigón Simple	Tubería Hormigón Reforzado	Metal Corrugado	PVC perfilado
Utilización de maquinaria para manipulación y colocación.	Si	Si	No (para radios menores)	No
Disponibilidad	A convenir según cantidades	A convenir según cantidades	A convenir según cantidades	A pie de obra en cantidades y dimensiones requeridas
Requerimiento mano de obra Calificada	Si	Si	No	No
Costo de los productos, en comparación con el PVC Perfilado	10% menos aproximadamente	15% mas aproximadamente	25% mas aproximadamente	-
Aplicación de sujetadores, ganchos, pernos, argollas, etc	No	No	Si	No
Elementos de protección frente a ambientes abrasivos	No	No	Si	No
Peso tubo (diámetro 400 mm) L =1 m .	205 kg.	220 kg.	38 Kg	5,40 kg.
Avance efectivo por metro	1,00 m	1,00 m	0,88 m	1,00 m
Alturas de relleno máximas (diámetro 400 mm.)	superiores a 20 m dependiendo de los pesos volumétricos	superiores a 30 m dependiendo de los pesos volumétricos	13 m aproximadamente dependiendo de los pesos volumétricos	12 m aproximadamente dependiendo de los pesos volumétricos
Resistencia al deterioro estructural	Aparición de grietas y filtraciones	Aparición de grietas y filtraciones	Su principal deterioro es producto de la corrosión	Resistente a ambientes ácidos y abrasivos

4.4 Conclusiones del capítulo.

Existen dos tipos de tuberías, ampliamente utilizadas en la construcción de alcantarillas, estas son: los tubos de hormigón (simple y reforzado) y la de acero corrugado.

Las tuberías de hormigón son llamadas “tuberías rígidas”, ya que, no presentan la característica de deformarse ante la aplicación de las cargas de trabajo. Con este tipo de tuberías es posible alcanzar grandes alturas de relleno. Una de sus desventajas es su elevado peso por metro lineal en comparación con las demás tuberías, lo que obliga a la utilización de maquinaria para su manipulación y colocación; como también un recargo por concepto de transporte en obras que se encuentren apartadas. Otro aspecto que va a n desmedro de este tipo de tubos s l sistema de uniones lo que requiere de la contratación de mano de obra calificado, además de ser mucho menores los avance de obras; lo que eleva los costos de ejecución.

La tubería de acero corrugado, también de amplio uso presenta como desventaja principal el progresivo desgaste que sufre frente a caudales de tipo abrasivo lo que conlleva la corrosión del material al desprenderse el recubrimiento superficial. Es posible alcanzar profundidades de relleno equivalentes a las de PVC perfilado, sin embargo es preciso utilizar planchas mucho mas gruesas (7 mm) lo que conlleva un encarecimiento en su utilización.

Se puede afirmar con propiedad, que la mayor ventaja comparativa que presenta la tubería perfilada es la rapidez con la cual se pueden aplicar; debido a que no requiere complejas maniobras para su colocación en zanja, no requiere uniones (largos menores de 25 m.), si requiere uniones estas son fáciles y rápidas de ejecutar, no requiere de mano de obra especializada, fácil de transportar, fabricación a pie de obra (cantidades sobre 500 m. de tubería).

CAPITULO V

EVALUACION COSTO / BENEFICIO EN LA

UTILIZACION DE TUBERIA PERFILADA DE PVC.

5.1 Beneficios derivados de la utilización de tubería perfilada de PVC.

La evaluación costo / beneficio se ha realizado orientándola principalmente a las obras de tipo vial, debido al amplio uso que se le da a este tipo de material en dichos proyectos, y por consiguiente resulta más fácil hacer una estimación de su impacto. Es en este tipo de proyectos donde las tuberías perfiladas de PVC, pudiesen tener un efecto importante en los costos de dichas obras; por consiguiente un aumento de la rentabilidad de este tipo de inversiones.

Lo anterior no es excluyente al uso de las tuberías de PVC perfilado, en otro tipo de obras, la evaluación de la conveniencia de su utilización deberá ser estudiada considerando las particularidades de cada una.

5.1.1 Beneficios derivados del mejoramiento o la construcción de obras viales.

Los beneficios de la construcción de un camino o una carretera pueden clasificarse en dos tipos:

Beneficios directos.

- Economía en el transporte.
- Ahorro de tiempo de los desplazamientos.
- Reducción de accidentes.
- Menor deterioro de vehículos.

Beneficios indirectos.

- Diversificación de las actividades comerciales.
- Alza del valor de los bienes raíces.
- Incentivo en la inversión de capitales.
- Aumento de la producción.
- Reducción de los costos de los servicios públicos.
- Mayor accesibilidad a sectores apartados.

5.1.2 Estudio de factibilidad de los proyectos viales.

El estudio de factibilidad de un proyecto de inversión vial, consiste en la evaluación de la relación costo / beneficio que presenta un proyecto determinado. Si los beneficios que proporciona dicha inversión son equiparables con los costos asociados a la ejecución de dichos proyectos. Por lo tanto, una disminución de los costos que involucra dicha inversión haría mucho más rentable la realización de este tipo de proyectos.

5.1.3 Criterios de evaluación para la construcción de un camino.

5.1.3.1 Criterio de Superficie.

Establece la mayor o menor urgencia de los proyectos, en cuanto a las necesidades de tráfico. En este no se establece el beneficio económico asociado a la ejecución proyecto.

5.1.3.2 Criterio de rentabilidad.

Este criterio es el de uso corriente en los países desarrollados, debido a esto se considera un método tradicional. Su característica principal consiste en establecer los benéficos directos que presenta el proyecto.

5.1.3.3. Criterio de Productividad.

Son aquellos que tratan de medir el incremento de la producción expresada a través del aumento del ingreso nacional, por efecto de una inversión. El objetivo es ejecutar un proyecto que tenga un impacto sobre una amplia gama de actividades económicas.

5.1.3.4 Criterio de Beneficio de prevención.

Se define como el daño que se evita a la producción al ejecutar un proyecto vial. Un ejemplo, es la diversificación de la producción de una área determinada, es decir, el resultado de implementar o acondicionar un camino, es el surgimiento de nuevas actividades económicas, las cuales repercuten en un aumento de la producción.

5.1.4 Beneficios derivados de la utilización de tubería perfilada tipo Superpipe.

La tubería perfilada de PVC presenta diversas ventajas asociadas a la ejecución de los trabajos, las que redundan en una disminución sustancial de los recursos empleados. Algunas de estas ventajas son las siguientes:

- a.) Muy bajo peso, para la misma o mayor resistencia, comparado con PRFV, PVC rígido, hormigón armado, chapa de acero, etc.
- b.) Longitudes de tramos de hasta 25 m (según diámetros) sin juntas
- c.) Eliminación de elementos mecánicos auxiliares para la colocación (Grúas, retroexcavadoras, tractores, etc)
- d.) Economía de la mano de obra en el manipuleo y en las uniones
- e.) Economía en la instalación
- f.) Sencilla instalación en lugares de difícil acceso
- g.) Mejores características hidráulicas que las tuberías tradicionales de hormigón, debido al menor coeficiente de rugosidad del PVC
- h.) Resistentes a ácidos y bases, lo que implica una mayor durabilidad de las instalaciones.
- i.) Alta resistencia a la abrasión, por tratarse de un compuesto inerte
- j.) Optimo comportamiento en todo tipo de suelos(salinos, yesíferos, etc.)
- k.) Mejor capacidad de asentamiento en terrenos poco estables (arcillas, expansivas, niveles freáticos, etc.)

5.1.4.1 Beneficios derivados de la reducción de los recursos empleados.

Los recursos empleados son todos aquellos factores productivos necesarios para producir un bien determinado. Al producirse una reducción de los recursos necesarios se produce el desempleo de algunos de estos recursos (en teoría los menos aptos) lo que conlleva a un aumento de la productividad. Ya que esta última se define como: la cantidad producida por unidad de recurso empleado, en promedio.

Cuantificar los beneficios derivados de la reducción de los recursos empleados puede ser un tanto complicado debido a la distinta naturaleza de estos. Por ejemplo, una reducción de los recursos humanos, puede tener repercusiones positivas para el proyecto, pero a la vez negativas desde el punto de vista social, pues, contribuye a un aumento de la cesantía. Además una disminución de los recursos humanos empleados implica un ahorro en

infraestructura (instalaciones, herramientas, edificios, etc.). Esto último, tiene un efecto directo sobre los recursos de capital necesarios para llevar a cabo la ejecución de un proyecto.

El fenómeno se explica al considerar la aparición de un producto nuevo como una avance tecnológico lo que produce un desplazamiento de la curva de transformación ó curva de posibilidades de producción.

5.2 Costos derivados de la utilización de tubería perfilada tipo

Superpipe.

Resulta difícil lograr determinar la incidencia de tiene un material determinado en los costos de un proyecto, sobre todo cuando no existe una estadística que respalde dicho análisis. Entonces cabe la posibilidad de estimar los efectos que podría tener la incorporación de un material nuevo al proceso.

Los costos se dividen básicamente en dos tipos: Los costos fijos y los costos variables. La diferencia entre los costos fijos y los costos variables, es que los primeros no pueden ser modificados en el corto plazo y corresponden (en la construcción) a aquellos gastos en los cuales se incurre para que la empresa esté operable; es decir, costos operacionales. Los costos variables, en cambio, son modificables en parte en el corto plazo y los costos de este tipo corresponden a los que se incurren para la ejecución de la obra (materiales, maquinaria, mano de obra, etc.); es decir, costos de ejecución.

5.2.1 Análisis de costos unitarios.

Para realizar un análisis de costos unitarios se debe tener presente las siguientes consideraciones¹¹:

- La tubería comúnmente utilizada por la Dirección de Vialidad en las obras de reparación y mantenimiento de alcantarillas es la de acero corrugado debido a la rapidez y facilidad para ejecutar las obras.
- El diámetro mínimo utilizado por Vialidad es 800 mm. de modo de permitir una limpieza fácil de la alcantarilla.

¹¹ Dichas consideraciones fueron recopiladas mediante una entrevista sostenida con la Sra. Loreto Lanztta. Inspector Fiscal. Jefe Secretaria Técnica de la Dirección Provincial de Vialidad de Valdivia.

- Las obras viales deben cumplir con los procedimientos y especificaciones contenidos en el Manual de Carreteras, el cual tiene como referencia la normativa chilena vigente para este tipo de obras.
- Los costos asociados a la ejecución de este tipo de trabajos son posibles de ser expresados pesos por metro lineal de obra de arte.
- El termino de la construcción de las alcantarillas, en un proyecto vial, constituye un evento crítico, por tal motivo todo ahorro de tiempo en la ejecución de dichas partidas redunda en un acortamiento en el tiempo total de la obra.

Para lograr tener una apreciación de como afecta la sustitución de la tubería en los costos asociados a la construcción de una obra tipo, se muestra el siguiente análisis de costo unitario, el cual, se realizó considerando una situación particular.

Análisis de Costos Unitarios.

Se presenta el análisis de cosos unitarios de una obra tipo. Dicha obra tipo fue seleccionada del Manual de Carreteras, Volumen 4, Planos de obras tipo, capitulo 4.100 “Drenaje y protección de la plataforma”, láminas 4.101.001, 4.101.002,4.102.001.

Las características para la alcantarilla tipo son las que a continuación se indican.

- | | |
|----------------------------------|--|
| - Profundidad de la alcantarilla | H = 3.50 m (desde la sub-rasante a la clave del tubo). |
| - Longitud de la alcantarilla | S = 10,00 m. |
| - Diámetro nominal del tubo | D = 1,20 m. |

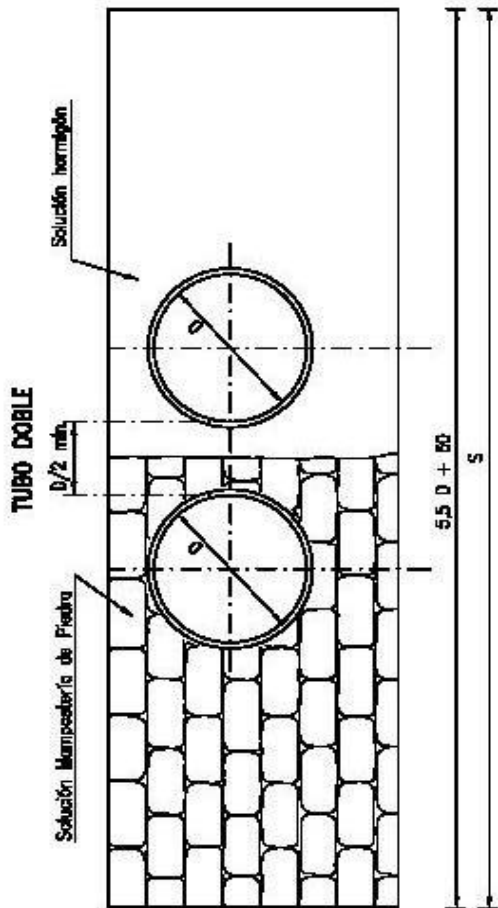
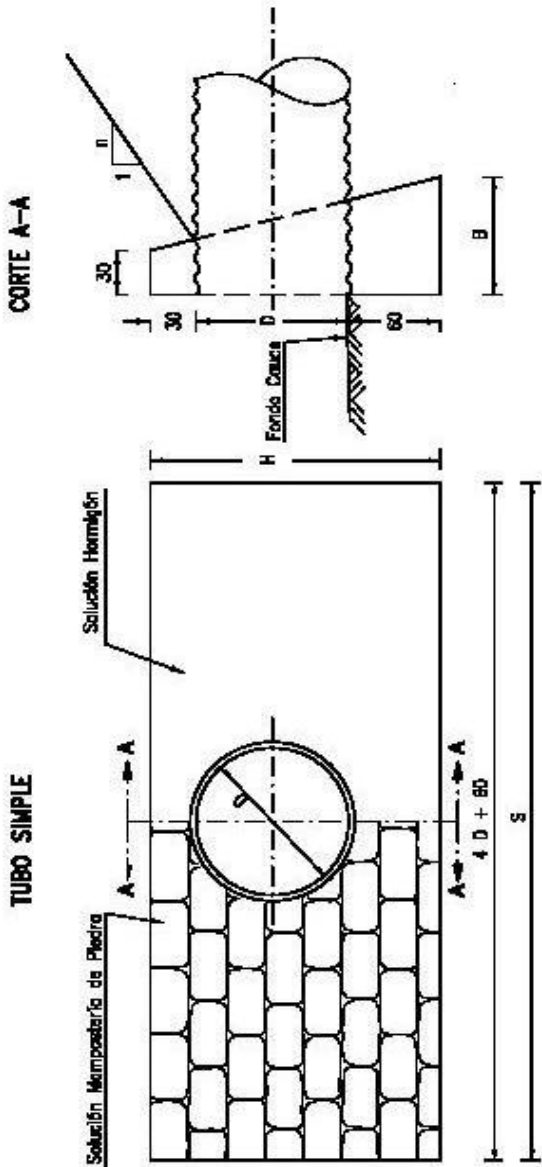
Las especificaciones técnicas son las que a continuación se detallan en las láminas 4.101.001, 4.101.002,4.102.001.

El análisis de los costos unitarios se realizó teniendo como referencia los precios y rendimientos contenidos en el Índice de Actividades¹² de ONDAC (agosto 2002, ed. 263) y a cotizaciones¹³ obtenidas de empresas especializadas en el rubro.

¹² Los rendimientos de materiales y mano de obra están calculados para obras medianas y grandes.
¹³ Para respetar el plazo de vigencia de las cotizaciones y determinar el valor del dolar se tomó la fecha 05/09/2002 como referencia para el análisis de precios unitarios. Valor Dolar obsrvado \$ 717,35.

DIMENSIONES Y CUBICACIONES MURO DE BOCA CASO TUBO SIMPLE				
D (cm)	H (cm)	B (cm)	S (cm)	HEMPLÉN o MAMPUESTA (m ³)
80	150	60	300	1,80
90	170	70	380	2,88
100	180	80	480	4,37
120	210	90	540	6,13
150	240	110	660	9,85

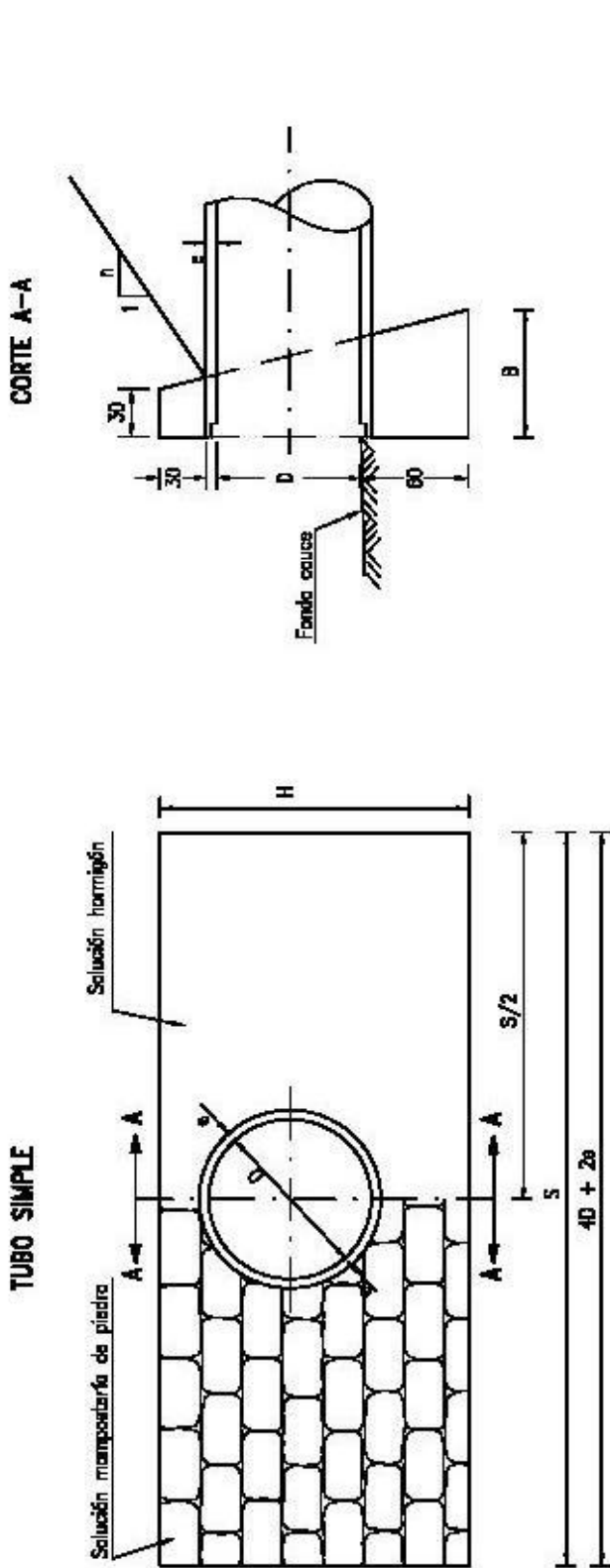
DIMENSIONES Y CUBICACIONES MURO DE BOCA CASO TUBOS DOBLES				
D (cm)	H (cm)	B (cm)	S (cm)	HEMPLÉN o MAMPUESTA (m ³)
80	150	60	380	2,37
90	170	70	500	3,75
100	180	80	610	5,51
120	210	90	720	7,72
150	240	110	885	12,40



ESPECIFICACIONES

- I.- MATERIALES (Según Manual de Carreteras, Volumen 5)
- 1.- Hemplén tipo H-20 sin armar de acuerdo a la sección 5.501
 - 2.- Mampostería de piedra, de acuerdo a la sección 5.509
- II.- CONSTRUCTIVAS
- 1.- Las muras se dispondrán preferentemente en dirección perpendicular al eje del cauce.
 - 2.- El alarque necesario del tubo para dejar el muro perpendicular al sentido del escurrimiento, deberá ser recubierto íntegramente con algún material asfáltico y con material de hemplén, en un ancho mínimo de 1 m, adicional al tubo.
 - 3.- Las cubriciones para un muro de altura H y largo S, son los indicados en los cuadros incluidos en esta lámina.

Lámina 4.101.001., Planos de obras tipo, capítulo 4.100 “Drenaje y protección de la plataforma”, Volumen 4, Manual de Carreteras.



DIMENSIONES Y CUBICACIONES PARA TUBO SIMPLE					
D (cm)	H (cm)	a (cm)	B (cm)	S (cm)	Hormigón o Mampostería (m ³)
50	145	5,0	50	210	1,11
60	156	5,8	60	252	1,59
70	167	7,0	60	294	1,97
80	178	8,0	70	336	2,65
90	189	9,0	70	378	3,13
100	200	10,0	80	420	4,03
120	221	10,7	90	520	5,76

* : "S" considera e redondeado al centímetro.

- ESPECIFICACIONES**
- I.- MATERIALES (Según Manual de Carreteras, Volumen 5)**
- 1.- Hormigón grado H-20 sin armar según la sección 5.501.
 - 2.- Mampostería de piedra, según sección 5.508.
- II.- CONSTRUCTIVAS**
- 1.- Los muros se dispondrán en dirección perpendicular al eje del cauce.
 - 2.- El clarque del tubo necesario para dejar el muro perpendicular al escorrente deberá ser recubierto con material de terraplén.
 - 3.- Las cubecaciones incluidas en el cuadro, corresponden a un muro de altura H y largo S.
 - 4.- En obras de arte longitudinales, se deberán usar los muros definidos en la lámina 4.102.202.
 - 5.- Para mejorar las condiciones hidráulicas de la entrada, el primer tubo se instalará dejando el lado del enchufe enfrentando el sentido del es-corrente de las aguas.

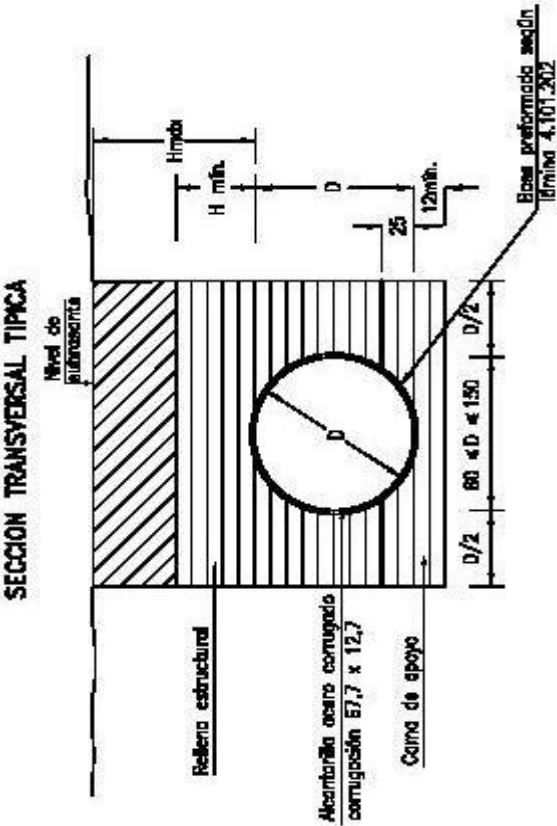
Lámina 4.101.002., Planos de obras tipo, capítulo 4.100 “Drenaje y protección de la plataforma” , Volumen 4, Manual de Carreteras.

CARACTERISTICAS DE LAS ALCANTARILLAS CIRCULARES

DIAMETRO NOMINAL TUBO (cm)	PERIMETRO (cm)	AREA (m ²)	PESO POR METRO LINEAL (Incluye Puntas) (Kg/m)		
			ESPESES (mm)		
			2,0	2,5	3,5
60	188	0,28	38	48	67
80	251	0,50	50	63	88
100	314	0,79	62	78	108
120	377	1,13	74	93	130
150	471	1,77	92	115	161

ESPECIFICACIONES

1. Esta lámina se complementa con la dispuesta en el M.C.-V.5, sección 5.602 "Alcantarillas de tubos de metal corrugado".
2. La calidad de las materias y condiciones de diseño se rige por lo dispuesto en NCh2462
3. Las dimensiones de las alcantarillas son nominales y están medidas a fibra media de la corrugación.
4. Para uso hidráulico, la alcantarilla debe cumplir nuevos de entrada y salida de acuerdo a lo especificado en la lámina 4.101.001
5. La alcantarilla podrá ser soldada por trébole una vez que se cumpla con lo dispuesto en el párrafo 5.601.305 del M.C.-V.5.
6. Los tubos diámetro 60 sólo podrán emplearse en alcantarillas longitudinales, siempre y cuando el cálculo hidráulico así lo verifique.
7. El relleno estructural, sobre la clave del tubo, tendrá una altura mínima de acuerdo al H mín. definido en la tabla "altura del relleno sobre la clave de la alcantarilla". El relleno entre este nivel (4 mm) y la subrasante podrá construirse con material de terrapén de acuerdo a lo establecido en la sección 5.205 del M.C.-V.5.
8. Preparación base prefabricada y cuna de apoyo según lámina 4.101.202.



ALTURA DE RELLENO H SOBRE LA CLAVE DE LA ALCANTARILLA (cm)
(CONSIDERANDO TRANSITO VEHICULAR HS20 + 20% + IMPACTO)

DIAMETRO NOMINAL TUBO (cm)	ESPESOR DEL TUBO DE ACERO CORRUGADO (mm)					
	2,0		2,5		3,0	
	H mín. (cm)	H máx. (cm)	H mín. (cm)	H máx. (cm)	H mín. (cm)	H máx. (cm)
60	40	1.530	40	1.570	40	1.640
80	50	1.120	50	1.250	50	1.360
100	50	890	50	1.030	50	1.100
120	60	740	60	830	60	810
150	---	---	60	660	60	730
					60	800

Lámina 4.102.001., Planos de obras tipo, capítulo 4.100 “Drenaje y protección de la plataforma”, Volumen 4, Manual de Carreteras.

COSTOS UNITARIOS 1
TUBO DE ACERO CORRUGADO

Excavación para obras de arte (m3)

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Retroexcavadora (Tipo Case 580 H)	hora	0.07	9000	630
Capataz	d/s	0.02	14000	280
Jornalero	d/s	0.04	7200	288
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170

Total Excavacion obra de arte (m³) 1397

Cama de apoyo (m3).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Material granular (Tam. Máx. 1")	m³	1	5500	5500
Placa benc. 60 kg. (35x52 cm)	d/s	0.156	4500	702
Jornalero	d/s	0.15	7200	1080
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170

Total Cama de apoyo (m³) 7481

Tubería Acero Corrugado

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Tubo acero corrugado galv. 1200 mm	ml	1.14	56290	64171
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Alcantarillero + 1 Ayud.	día	0.15	19000	2850
Ayud. O. Civiles	día	0.15	8000	1200
Leyes Sociales (O. C.)	%	30	4050	1215

Total Tubería de acero corrugado (ml) 69465

Moldaje de muros (3 usos).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Pino 3"x3" bruto seco	unid.	0.83	1350	1121
Clavo corriente 3"x10 (172 unid.)	kg.	0.08	371	29.68
Pino 2"x2" bruto seco	unid.	0.83	708	588
Terciado moldaje 12 mm.	pla	0.1	16690	1669
Clavo 4"x8 (81 unid.)	kg	0.03	394	12
Punta 2" (609 unid.)	kg	0.02	624	12
Alambre neg. #14 37m/kg. R/50 kg.	kg	0.2	382	76
Carpintero + 1/2 Ayud.	día	0.1	15000	1500
Leyes Sociales (O. E.)	%	29	1500	435

Total Moldaje de muros (3 usos) (m²). 5443

Hormigón 255 kg/cem/m

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Ripio (flete 15 km.)	m³	0.78	4022	3137
Arena gruesa (flete 15 km.)	m³	0.46	5500	2530
Cemento Bio - Bio especial	saco	6	3472	20832
Pérdidas	%	4	20832	833
Concretero	día	0.95	7500	7125
Betonera 11p 7, 5 hp Mes = 208 h	día	0.05	12000	600
Leyes sociales (O. E.)	%	29	7125	2066

Total Hormigón 255 kg/cem/m (m³). 37124

Relleno estructural

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Estabilizado (flete 15 km.)	m³	1.3	3360	4368
Placa bencinera 60 kg. (35 x 52 cm. Arriendo).	día	0.156	4500	702
Jornalero	día	0.15	7200	1080
Recargo desgaste de herram.	%	10	1080	108
Leyes sociales (O. C.)	%	30	1080	324
Total Relleno estructural (m³).				6582

COSTOS UNITARIOS 2
TUBO HORMIGÓN CEMENTO COMPRIMIDO

Excavación para obras de arte (m3)

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Retroexcavadora (Tipo Case 580 H)	hora	0.07	9000	630
Capataz	d/s	0.02	14000	280
Jornalero	d/s	0.04	7200	288
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170
Total Excavacion obra de arte (m³)				1397

Cama de apoyo (m3).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Material granular (Tam. Máx. 1")	m³	1	5500	5500
Placa benc. 60 kg. (35x52 cm)	d/s	0.156	4500	702
Jornalero	d/s	0.15	7200	1080
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170
Total Cama de apoyo (m³)				7481

Tubería Cemento Comprimido.

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Retroexcavadora CAT 320-L	hora	0.05	24000	1200
Tubo C. C. Enchufe espiga 1,2 m	ml	1	37145	37145
Transporte (radio urbano)	%	12	37145	4457
Arena gruesa (flete 15 km.)	m³	0.2	5500	1100
Cemento Polpaico Especial Publ.	saco	2	2950	5900
Pérdidas	%	3	37145	1114
Pérdidas	%	12	5900	708
Alcantarillero + 1 Ayud.	día	0.2	19000	3800
Ayud. O. Civiles	día	0.2	8000	1600
Leyes Sociales (O. C.)	%	30	5400	1620
Total Tubería Cemento Comprimido (ml).				58645

Moldaje de muros (3 usos).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Pino 3"x3" bruto seco	unid.	0.83	1350	1121
Clavo corriente 3"x10 (172 unid.)	kg.	0.08	371	29.68
Pino 2"x2" bruto seco	unid.	0.83	708	588
Terciado moldaje 12 mm.	pla	0.1	16690	1669
Clavo 4"x8 (81 unid.)	kg	0.03	394	12
Punta 2" (609 unid.)	kg	0.02	624	12
Alambre neg. #14 37m/kg. R/50 kg.	kg	0.2	382	76
Carpintero + 1/2 Ayud.	día	0.1	15000	1500
Leyes Sociales (O. E.)	%	29	1500	435

Total Moldaje de muros (3 usos) (m²). 5443

Hormigón 255 kg/cem/m³

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Ripio (flete 15 km.)	m³	0.78	4010	3128
Arena gruesa (flete 15 km.)	m³	0.46	5500	2530
Cemento Bio - Bio especial	saco	6	3472	20832
Pérdidas	%	4	20832	833
Concretero	día	0.95	7500	7125
Betonera 11p 7, 5 hp Mes = 208 h	día	0.05	12000	600
Leyes sociales (O. E.)	%	29	7125	2066

Total Hormigón 255 kg/cem/m (m³). 37114

Relleno estructural

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Estabilizado (flete 15 km.)	m³	1.3	3360	4368
Placa bencinera 60 kg. (35 x 52 cm. Arriendo).	día	0.156	4500	702
Jornalero	día	0.15	7200	1080
Recargo desgaste de herram.	%	10	1080	108
Leyes sociales (O. C.)	%	30	1080	324

Total Relleno estructural (m³). 6582

COSTOS UNITARIOS 3
TUBO PERFILADO DE PVC, SUPERPIPE

Excavación para obras de arte (m3)

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Retroexcavadora (Tipo Case 580 H)	hora	0.07	9000	630
Capataz	d/s	0.02	14000	280
Jornalero	d/s	0.04	7200	288
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170

Total Excavacion obra de arte (m³) 1397

Cama de apoyo (m3).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Material granular (Tam. Máx. 1")	m³	1	5500	5500
Placa benc. 60 kg. (35x52 cm)	d/s	0.156	4500	702
Jornalero	d/s	0.15	7200	1080
Recargo desgaste herramientas	%	10	290	29
Leyes Sociales (O.C.)	%	30	568	170

Total Cama de apoyo (m³) 7481

Tubería Superpipe.

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Tubo perfilado de PVC, Superpipe 1,2 m	ml	1	54232	54232
Transporte (radio urbano)	%	1	54232	542
Alcantarillero + 1 Ayud.	día	0.15	19000	2850
Ayud. O. Civiles	día	0.2	8000	16
Leyes Sociales (O. C.)	%	30	5400	1620

Total Tubería Superpipe (ml) 59260

Moldaje de muros (3 usos).

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Pino 3"x3" bruto seco	unid.	0.83	1350	1121
Clavo corriente 3"x10 (172 unid.)	kg.	0.08	371	29.68
Pino 2"x2" bruto seco	unid.	0.83	708	588
Terciado moldaje 12 mm.	pla	0.1	16690	1669
Clavo 4"x8 (81 unid.)	kg	0.03	394	12
Punta 2" (609 unid.)	kg	0.02	624	12
Alambre neg. #14 37m/kg. R/50 kg.	kg	0.2	382	76
Carpintero + 1/2 Ayud.	día	0.1	15000	1500
Leyes Sociales (O. E.)	%	29	1500	435

Total Moldaje de muros (3 usos) (m²). 5443

Hormigón 255 kg/cem/m³

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Ripio (flete 15 km.)	m³	0.78	4010	3128
Arena gruesa (flete 15 km.)	m³	0.46	5500	2530
Cemento Bio - Bio especial	saco	6	3472	20832
Pérdidas	%	4	20832	833
Concretero	día	0.95	7500	7125
Betonera 11p 7, 5 hp Mes = 208 h	día	0.05	12000	600
Leyes sociales (O. E.)	%	29	7125	2066

Total Hormigón 255 kg/cem/m (m³). 37114

Relleno estructural

Descripción	Unidad	Rendimiento	P. Unitario	Total
Estabilizado (flete 15 km.)	m³	1.3	3360	4368
Placa bencinera 60 kg. (35 x 52 cm. Arriendo).	día	0.156	4500	702
Jornalero	día	0.15	7200	1080
Recargo desgaste de herram.	%	10	1080	108
Leyes sociales (O. C.)	%	30	1080	324

Total Relleno estructural (m³). 6582

PRESUPUESTO 1

ALCANTARILLA TIPO TUBO DE ACERO CORRUGADO.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1. Alcantarilla tipo				
1.1. Excavación	m³	115.68	1397	161605
1.2. Cama de apoyo (Tamaño máx. 1")	m³	7.18	7481	53714
1.3. Tuberías Acero corrugado.	ml	10.00	69465	694650
1.4. Moldaje de muros (3 usos).	m²	45.36	5443	246894
1.5. Hormigón H - 20	m³	5.13	37124	190446
1.6. Relleno estructural (Mat. de terraplén).	m³	97.20	6582	639770

Total alcantarilla tipo de acero corrugado \$ 1987080

PRESUPUESTO 2

ALCANTARILLA TIPO TUBO DE CEMENTO COMPRIMIDO.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1. Alcantarilla tipo				
1.1. Excavación	m³	115.68	1397	161605
1.2. Cama de apoyo (Tamaño máx. 1")	m³	7.18	7481	53714
1.3. Tuberías Cemento Comprimido.	ml	10.00	58645	586450
1.4. Moldaje de muros (3 usos).	m²	45.36	5443	246894
1.5. Hormigón H - 20	m³	5.13	37124	190446
1.6. Relleno estructural (Mat. de terraplén).	m³	97.20	6582	639770

Total alcantarilla tipo de acero corrugado \$ 1878880

PRESUPUESTO 3

ALCANTARILLA TIPO TUBO DE PVC PERFILADO SUPERPIPE.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1. Alcantarilla tipo				
1.1. Excavación	m³	115.68	1397	161605
1.2. Cama de apoyo (Tamaño máx. 1")	m³	7.18	7481	53714
1.3. Tuberías Superpipe.	ml	10.00	59260	592600
1.4. Moldaje de muros (3 usos).	m²	45.36	5443	246894
1.5. Hormigón H - 20	m³	5.13	37124	190446
1.6. Relleno estructural (Mat. de terraplén).	m³	97.20	6582	639770

Total alcantarilla tipo de PVC perfilado \$ 1885030

5.2.2 Análisis de resultados.

Como se puede apreciar del análisis de costos unitarios la alternativa que contempla el uso de tubo de acero corrugado resultó ser la mas cara. Esto se explica debido al hecho que dicha tubería está destinada a obras de mantenimiento y reparación por ser rápida y fácil de aplicar, sin embargo tiene limitaciones de alturas de relleno y deterioro progresivo a corto plazo. De lo anterior s desprende que Superpipe constituye una alternativa más barata y duradera (en el ejemplo \$10205 pesos por metro lineal).

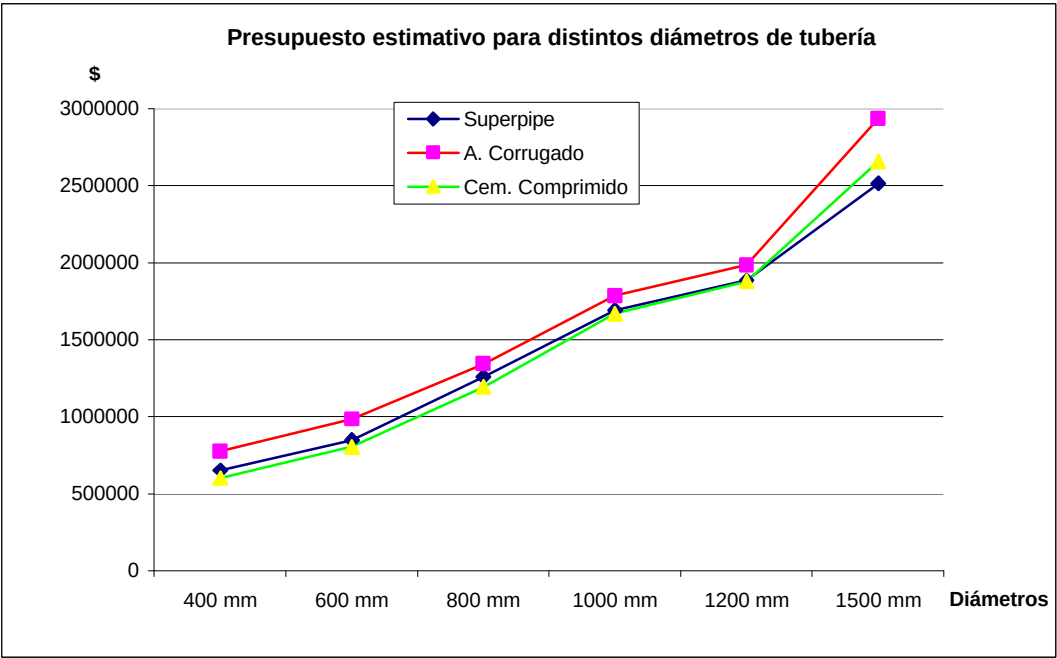


Gráfico 3. Presupuesto estimativo para distintos diámetros de tubería.

Por otra parte, la alcantarilla con tubería Superpipe resultó ser mas cara que la opción con tubería de cemento comprimido, dicho costo extra resulta marginal al expresarlo en términos pesos por metro lineal de obra de arte en efecto, en el ejemplo vemos una diferencia de \$ 617 pesos por metro lineal de obra de arte. Dicho costo marginal puede ser absorbido por un ahorro de los gastos de operación de la empresa al producirse un acortamiento en el tiempo total de la obra, pues la instalación de la tubería Superpipe resulta ser mucho más rápida y fácil de ejecutar. La evaluación de dicho aspecto deberá ser analizada en particular para cada proyecto por separado.

En el gráfico 3, se muestra los presupuesto para los distintos diámetros de tubería, el cual se obtuvo al realizar un análisis de precios unitarios para los distintos diámetros.

5.3 Conclusiones del capítulo.

Los beneficios derivados de la utilización de tubería Superpipe en los proyectos viales significa un ahorro en tiempo de ejecución de los trabajos. De acuerdo a mediciones hechas en terreno solamente en el tiempo destinado a bajar la tubería a la zanja y su posicionamiento la tubería perfilada demuestra ser un 30 % más rápida. Por otra parte el tiempo destinado a la realización de las uniones resultó ser la mayor desventaja de las tuberías tradicionales, como por ejemplo las de hormigón que tienen un rendimiento, en conjunto de no más de 5 metros lineales por día para un Alcantarillero + Ayud. (considerando posicionamiento mas unión).

Al realizar un análisis de costo unitario con las diferentes tuberías; se comprobó qu Superpipe resultó ser más costosa que el cemento comprimido, pero a la vez mucho mas barata que la de acero corrugado. Sin embargo es la que posee el mayor rendimiento, lo que significa un ahorro en el tiempo destinado a los plazos de ejecución de las obras. Dicho de otro modo, el menor tiempo de ejecución podría redundar en una disminución en los costos operacionales, asociados a una obra.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES.

Conclusiones.

Referente al producto y su factibilidad técnica.

- Algunas de las principales características del PVC, son: su bajo consumo energético en la producción del material. bajo peso, bajo coeficiente de rugosidad, resistencia a agentes químicos (ambientes ácidos, yesíferos), baja absorción, impermeable, tendencia a auto-extinguirse, no es agresivo al medio ambiente, durable, etc.
- Uno de los aspectos importantes radica en la aplicación de los límites de diseño; esto redundaría en asegurar la estabilidad y funcionalidad de la estructura. La aplicación de los límites: Deflexión, Pandeo, Rotura; por parte de los proyectistas resulta indispensable para asegurar el correcto desempeño de la tubería.
- Las aplicaciones con tubería perfilada tipo “Superpipe” resultan mucho más rápidas de ejecutar, no requieren maquinarias para su colocación debido a su bajo peso, y no requieren mano de obra especializada para ejecutar las uniones. De hecho los tubos pueden ser fabricados en largos de hasta 25 metros, lo que suprime las uniones para largos menores.
- Desde el punto de vista técnico se concluye que una limitación importante son las profundidades máximas posibles de lograr, las cuales no van más allá de los 10,00 metros aproximadamente (dependiendo del diámetro y del peso volumétrico del suelo), desde la clave a la sub-rasante. Otra característica técnica que pudiese ser limitante, son los diámetros en los cuales se encuentra disponible la tubería (diámetros comerciales: 400 a 1500 mm).
- De acuerdo a los antecedentes presentados en el Capítulo II “Estudio del producto y su factibilidad técnica”, la tubería perfilada de PVC no plastificado representa una alternativa viable desde el punto de vista técnico, teniendo presente las consideraciones descritas y evaluando su potencial y sus restricciones.

Referente a la normativa para la aplicación de tuberías de PVC.

- Una vez hecha una revisión de la normativa disponible y que guarda relación con tuberías de PVC; se pudo determinar que no existe una normativa adecuada para este tipo de tubería (de PVC perfilado no plastificado); esto muestra lo desconocido que

resulta ser esta tubería, encontrándose en una etapa de promoción de modo de introducirse paulatinamente en el mercado.

- Resulta conveniente, por el tiempo que no se cuente con una norma adecuada, aplicar en forma parcial aquellas normas afines y que guardan relación con los requisitos de: materiales, dimensiones, rotulación, ensayos, etc.
- Uno de los efectos negativos, del hecho de no existir una normativa adecuada, resulta en una resistencia a emplear un material que no se encuentra respaldado por un estudio idóneo. . De hecho, todo material a utilizar en proyectos viales; ya sean públicos o concesionados; deben estar debidamente acreditados frente al MOP y autorizado por este.

Referente al análisis comparativo entre la tubería tradicional y la tubería perfilada de PVC.

- Existen dos tipos de tuberías, ampliamente utilizadas en la construcción de alcantarillas, estas son: los tubos de hormigón (simple y reforzado) y la de acero corrugado.
- Las tuberías de hormigón son llamadas “tuberías rígidas”, ya que, no presentan la característica de deformarse ante la aplicación de las cargas de trabajo. Con este tipo de tuberías es posible alcanzar grandes alturas de relleno. Una de sus desventajas es su elevado peso por metro lineal en comparación con las demás tuberías, lo que obliga a la utilización de maquinaria para su manipulación y colocación; como también un recargo por concepto de transporte en obras que se encuentren apartadas. Otro aspecto que va n desmedro de este tipo de tubos s l sistema de uniones lo que requiere de la contratación de mano de obra calificado, además de ser mucho menores los avance de obras; lo que eleva los costos de ejecución.
- La tubería de acero corrugado, también de amplio uso presenta como desventaja principal el progresivo desgaste que sufre frente a caudales de tipo abrasivo lo que conlleva la corrosión del material al desprenderse el recubrimiento superficial. Es posible alcanzar profundidades de relleno equivalentes a las de PVC perfilado, sin embargo es preciso utilizar planchas mucho mas gruesas (7 mm) lo que conlleva un encarecimiento en su utilización.
- Se puede afirmar con propiedad, que la mayor ventaja comparativa que presenta la tubería perfilada es la rapidez con la cual se pueden aplicar; debido a que no requiere complejas maniobras para su colocación en zanja, no requiere uniones (largos menores de 25 m.), si requiere uniones estas son fáciles y rápidas de ejecutar, no requiere de

mano de obra especializada, fácil de transportar, fabricación a pie de obra (cantidades sobre 500 m. de tubería).

Referente a la evaluación costo / beneficio en la utilización de tubería perfilada de PVC.

- Los beneficios derivados de la utilización de tubería Superpipe en los proyectos viales significa un ahorro en tiempo de ejecución de los trabajos. De acuerdo a mediciones hechas en terreno solamente en el tiempo destinado a bajar la tubería a la zanja y su posicionamiento la tubería perfilada demuestra ser un 30 % más rápida. Por otra parte el tiempo destinado a la realización de las uniones resultó ser la mayor desventaja de las tuberías tradicionales, como por ejemplo las de hormigón que tienen un rendimiento, en conjunto de no más de 5 metros lineales por día para un Alcantarillero + Ayud. (considerando posicionamiento mas unión).
- Al realizar un análisis de costo unitario con las diferentes tuberías; se comprobó qu Superpipe resultó ser más costosa que el cemento comprimido, pero a la vez mucho mas barata que la de acero corrugado. Sin embargo es la que posee el mayor rendimiento, lo que significa un ahorro en el tiempo destinado a los plazos de ejecución de las obras. Dicho de otro modo, el menor tiempo de ejecución podría redundar en una disminución en los costos operacionales, asociados a una obra.

Bibliografía.

- UNE 53331: 1997 IN. Tuberías de poli(cloruro de vinilo)(PVC) no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad. AFNOR, Madrid 1997.
- San Isidro S.A. Manual Técnico de Superpipe. San Isidro S.A., 2001.
- ONDAC. Indice de Actividades. ONDAC, agosto 2002, edición 263.
- Rojas Hoppe, Sergio. Apuntes de Introducción a la economía. UACH, 1999.
- Montiel, Adolfo. Apuntes de Caminos I. UACH, 2000.
- NCh 397 of 77. Tubos termoplásticos para conducción de fluidos. Diámetros exteriores y presiones nominales. INN, 1977.
- NCh 399 of. 94. Tubos de Poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para conducción de fluidos a presión – Requisitos. INN, 1994.
- NCh 740 of 81. Plásticos – Atmósferas normales de acondicionamiento y de ensayo. INN, 1981.
- NCh 770 of 1999. Plásticos – Abreviaturas de uso corriente. INN, 1999.
- NCh 815 of 95. Tubos de poli(cloruro de vinilo) rígido – Métodos de ensayo. INN, 1995.
- NCh 1294 of 78. Tubos plásticos – Medición de dimensiones. INN, 1978.
- NCh 1649 of 96. Tubos plásticos – Determinación de la contracción longitudinal por efecto del calor. INN, 1996.
- NCh. 1721 of. 1998. Uniones y accesorios para tubos de poli(cloruro de vinilo) (PVC), rígido, para conducción de fluidos a presión – Requisitos. INN, 1998.
- NCh 1755 of 80. Accesorios para tubos plásticos para conducción de fluidos a presión – Ensayo de estanqueidad bajo presión hidráulica externa. INN, 1980.
- NCh 1787 of 80. Tubos y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) rígido – Ensayo de estanqueidad de uniones. INN, 1980.
- NCh 1997 of 87. Producto plástico – Rotulación. INN, 1987.
- NCh 2252 of 86. Tubos de poli(cloruro de vinilo) PVC rígido, para instalaciones sanitarias de alcantarillado público – Requisitos. INN, 1986.
- www.institutodopvc.org Instituto del PVC. Brasil.
- www.duratec.cl. Catalogo Vinilit. Chile.
- www.moptt.gob.cl. Memoria 2000. Chile.

DOCUMENTOS ANEXOS

(En documento impreso. Biblioteca Miraflores, Universidad Austral de Chile.)