



LA VERDAD SOBRE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

¿Plástico u hormigón prefabricado?

LA
VERDAD
SOBRE
LOS
SISTEMAS
DE
SANEAMIENTO



ANDECE
www.andece.org

Este libro ha sido elaborado por el siguiente equipo de trabajo:

Roberto Sánchez Trujillo.

José Antonio López (Prejea).

José María Montull (Prefabricados Fraga).

José María Morales (Tubos Borondo).

José Rodríguez (Tubos Borondo).

Marcos Mariño (Tubos Mariño).

Moisés Roca (Prefabricados Fraga).

Rafael Pastor González (ANDECE).

Rosa Moya (Tubos Colmenar).

Editado por: ANDECE

Pº de la Castellana, 226. Entreplanta A.

28046 - Madrid

www.andece.org

e-mail: andece@andece.org

Diseño y maquetación: Advertising Label 3 (alcubo).

Imprime: Gráficas Almodena S.L.

Impreso en España.

Depósito Legal: M-56991-2008

ISBN: 978-84-612-8206-7

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin previo permiso escrito del editor.

© ANDECE 2008, Todos los derechos reservados.

ÍNDICE

Presentación.	7
I INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE	9
<u>CAPÍTULO 1:</u> Tipificación y descripción de redes de saneamiento.	11
1.1 Caracterización de las redes de saneamiento.	11
1.2 Esquema de una red de saneamiento.	13
1.3 Tuberías utilizadas en redes de saneamiento.	15
<u>CAPÍTULO 2:</u> Tipos de tuberías presentes en el mercado.	17
2.1 Tuberías de hormigón.	17
2.2 Tuberías de gres.	19
2.3 Tuberías de plástico.	20
2.4 Tuberías de fundición dúctil y acero.	23
<u>CAPÍTULO 3:</u> Análisis del proyecto.	25
3.1 Análisis del proyecto.	25
3.2 Funcionalidad.	25
II CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE SANEAMIENTO	27
<u>CAPÍTULO 4:</u> Capacidad Hidráulica.	29
4.1 Consideraciones previas al cálculo hidráulico de una red de saneamiento	29
4.2 Diseño hidráulico de una red de saneamiento.	30
4.2.1 Fórmulas.	31
4.2.2 Pérdida de carga.	32
4.2.3 Valor de "n" a aplicar en los cálculos hidráulicos en redes de saneamiento.	34
4.3 Publicidad engañosa.	37
4.4 Capacidad Hidráulica real.	39

CAPÍTULO 5: Capacidad Portante y durabilidad	43
5.1 Capacidad Portante.	43
5.1.1 Respuesta estructural del Sistema Tubería/Terreno.	44
5.1.2 Rigidez Circunferencial de las tuberías plásticas.	48
5.2 Durabilidad de las tuberías de hormigón.	50
5.2.1 Patologías del hormigón.	51
a. Acciones físicas.	51
a.1 Abrasión.	52
a.2 Hielo.	53
a.3 Limpieza a alta presión.	54
b. Acciones químicas.	54
5.2.2 Comportamiento ante el entorno (interno/externo).	57
5.2.2.1 Fuego y altas Temperaturas.	57
5.2.2.2 Ataques químicos.	58
5.2.3 Durabilidad: referencias.	60
5.2.3.1 Manual de diseño "1110-2-2902" del <i>U.S. Army Corps of Engineers</i> .	60
5.2.3.2 "Manual de diseño para sistemas de drenaje" de la <i>American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO)</i> (Asociación de Oficiales de Autopistas Estatales de los Estados Unidos de América).	61
5.2.3.3 <i>Missouri Highway and Transportation Department – Division of Materials and Research</i> (Departamento de Autopistas y Transportes de Missouri – División de Materiales e Investigación): "Determinación de la vida útil esperada de las tuberías corrugadas de acero revestidas con zinc y las tuberías de hormigón utilizadas en Missouri".	62
5.2.3.4 <i>Illinois Department of Transportation</i> (Departamento de Transportes de Illinois – DTI): Informe del Comité de Tuberías del DTI.	62
5.2.3.5 <i>Wisconsin Department of Transportation</i> (Departamento de Transportes de Wisconsin – DTW): "Evaluación de las guías y especificaciones del departamento para el uso de materiales alternativos en los conductos de drenaje".	63
5.2.3.6 <i>Pennsylvania Department of Transportation</i> (Departamento de Transportes de Pennsylvania – DTP): "Criterio de selección de tuberías alternativas basado en el tipo de instalación".	63
5.2.3.7 Investigación "T-Rex" en Colorado.	64
5.2.3.8 Estudio de "Durabilidad en drenajes" en Ohio.	64
5.2.3.9 Descontaminación de una antigua planta de alquitrán de hulla en Ottawa, Canadá.	65
5.2.3.10 Descontaminación de una zona afectada por un vertido de hidrocarburos en Gloucester, Canadá.	66

<u>CAPÍTULO 6:</u> Seguridad.	67
6.1 Necesidad de garantizar la seguridad en los sistemas de saneamiento.	67
6.2 Garantía de seguridad ofrecida por la Normativa Europea.	70
6.2.1 Clasificación de las tuberías de hormigón armado de sección circular según la norma UNE-EN 127916.	71
6.2.2 Características mecánicas mínimas.	73
6.2.3 Sistemas de unión entre tubos de saneamiento.	75
6.3 Seguridad y durabilidad.	79
6.4 Piezas complementarias.	81
 <u>CAPÍTULO 7:</u> Manejabilidad y ligereza de las tuberías utilizadas en sistemas de saneamiento y drenaje.	 83
7.1 Prevención de Riesgos Laborales: necesidades de maquinaria.	83
7.1.1 Prevención de Riesgos Laborales relativa al manejo manual de cargas.	84
7.2 Peso de los tubos utilizados en redes de saneamiento y drenaje.	85
 <u>CAPÍTULO 8:</u> Puesta en obra de los sistemas de saneamiento.	 89
8.1 Instalación y manipulación.	89
8.2 Puesta en obra.	90
 <u>CAPÍTULO 9:</u> Costes.	 95
9.1 Costes de ejecución de un proyecto de saneamiento o drenaje.	96
9.1.1 Vida útil de la conducción.	96
9.1.2 Coste Inicial.	97
9.1.3 Coste de mantenimiento y rehabilitación.	98
9.1.4 Valor residual.	98
9.2 Costes en uso de un sistema de saneamiento o drenaje.	99
9.3 Costes indirectos para la sociedad: costes a medio/largo plazo.	103
 III SOSTENIBILIDAD	 105
 <u>CAPÍTULO 10:</u> Sostenibilidad de los sistemas de saneamiento y drenaje.	 107
10.1 Concepto de sostenibilidad.	107
10.2 Análisis de ciclo de vida de un sistema de saneamiento o drenaje.	109
10.3 Sostenibilidad de las tuberías de saneamiento y drenaje.	113

IV CONCLUSIONES: ELECCIÓN DEL TIPO DE TUBERÍA DE SANEAMIENTO O DRENAJE A INSTALAR

115

CAPÍTULO 11: Parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir una tubería de saneamiento o drenaje.

	117
Capacidad hidráulica.	118
Capacidad portante.	119
Estabilidad.	120
Resistencia al deterioro físico.	121
Estabilidad Térmica.	122
Manejabilidad y ligereza.	123
Seguridad.	124
Sostenibilidad.	125
Costes.	126

Bibliografía.	127
---------------	-----

PRESENTACIÓN

Con esta publicación, ANDECE intenta aclarar a todos aquellos profesionales relacionados con las redes de saneamiento los aspectos más confusos y controvertidos a la hora de seleccionar el material que debe componerla.

El espectro de lectores para el que ha sido planteado este libro es amplio: desde el técnico de la administración o el ingeniero implicado en proyectos de saneamiento hasta el político o el responsable de una empresa gestora del agua. Esperamos que la lectura de este pequeño libro resulte de ayuda a la hora de elegir los elementos que compondrán un sistema de saneamiento o drenaje, aplicando el mejor criterio posible en términos de servicio, durabilidad y coste.

Todo cuanto aquí se escribe es cierto y contrastable. No nos vamos a detener en complicadas expresiones matemáticas. Pero tampoco va a expresarse nada de manera gratuita. En caso de que la curiosidad del lector no se vea satisfecha o de que se le plantee cualquier duda sobre la veracidad de los argumentos expuestos, establecemos suficientes referencias para que éste profundice en su raíz. Si fuera necesario estaremos encantados de aclararle cualquier duda o facilitarle el material de consulta que considere necesario.

En este libro, ANDECE desarrolla argumentos que pueden ser comunes a las tuberías en general, independiente del material con el que estén fabricadas, o específicos de aquellas fabricadas con Hormigón (en masa o armado).

La administración de caudales públicos supone una gran responsabilidad para con la sociedad. En consecuencia, el técnico responsable debe estar informado de las características de los diferentes productos que se encuentran disponibles en el mercado. Dentro de las características que es necesario considerar debe ponerse especial énfasis, en el caso de tuberías destinadas a ser usadas en redes de saneamiento y drenaje, en las prestaciones mecánicas e hidráulicas, la durabilidad del producto, su seguridad, su sostenibilidad y, por supuesto, su coste. No sólo el coste intrínseco, correspondiente al material en sí, sino también aquel relacionado con su correcta colocación y posterior mantenimiento que, lógicamente, serán cubiertos a expensas del ente público que se hará cargo de la instalación una vez terminada y en uso, a lo largo de toda su vida útil.

La larga trayectoria, tanto de ANDECE como de sus asociados, proporciona la experiencia necesaria para tener plena confianza en los técnicos responsables del diseño y mantenimiento de los sistemas de saneamiento y drenaje. Pero no por ello dejamos de ser conscientes de que el marketing hecho por otros fabricantes de tuberías realizadas con otros materiales, en muchos casos mediante el uso de publicidad engañosa, nos ha perjudicado.

Estaremos muy satisfechos si, tras la lectura de estas páginas, el Técnico encuentra más sencilla su labor a la hora de juzgar unas soluciones frente a otras.

I INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE

En un medio urbano o rural, en pisos o en viviendas unifamiliares, en naves industriales o en complejos agrícolas. En definitiva, en cualquier edificación, son imprescindibles acometidas por donde se reciba el agua potable y conexiones por donde se evacuen las aguas usadas.

Las redes de saneamiento modernas surgieron como una respuesta a la necesidad, no tan sólo de hacer de las ciudades un entorno más habitable, sino también más sano y seguro, ya que las montañas de residuos que se acumulaban en las calles eran un caldo de cultivo inmejorable para muchas de las enfermedades que diezmaron la población en siglos anteriores, o un hábitat ideal para enormes colonias de ratas y otros animales y parásitos indeseables.



CAPÍTULO 1

TIPIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE REDES DE SANEAMIENTO

Inicialmente, se pueden tipificar las tuberías, de manera muy general y sencilla, en dos grupos:

- **Sistemas a presión:** transportan fluidos a tubo lleno. Normalmente las características del fluido y la presión de trabajo serán características conocidas. La presión se conseguirá mediante equipos de bombeo (impulsiones) o sin ellos (gracias a la acción de la gravedad).
- **Sistemas sin presión:** transportan un fluido en lámina libre, es decir, en régimen normal de funcionamiento no van completamente llenas. Excepcionalmente entran en carga, cuando se producen circunstancias atípicas, como lluvias torrenciales. El fluido que transportan está formado, en la mayor parte de los casos, por líquidos con una pequeña proporción de sólidos en suspensión y va cambiando de propiedades en función de las descargas que va recibiendo a lo largo de su recorrido.



En el primer caso se engloban todas las conducciones destinadas a la distribución como, por ejemplo, redes de distribución de agua potable, redes para riego agrícola, etc.

Los sistemas de saneamiento o drenaje, que son el objeto de esta publicación, se encuentran recogidos en la segunda clasificación, por lo que en este libro se tratarán solamente las conducciones sin presión.

Un sistema de saneamiento puede constar de una sola tubería o de varias tuberías interconectadas entre sí, en cuyo caso tenemos una red de saneamiento. El objetivo de una red de saneamiento es recoger el efluente de las acometidas de los usuarios y transportarlo hasta un centro de tratamiento de aguas residuales, desde donde, una vez las aguas han sido convenientemente depuradas, el líquido es transportado, por presión o gravedad, a una cuenca receptora o a un depósito para su reutilización.

1.1. Caracterización de las redes de saneamiento

- **Redes unitarias:** transportan conjuntamente aguas negras (industriales o de uso doméstico) y blancas (aquellas aguas superficiales procedentes de lluvias, riegos, etc.).

- **Redes separativas:** existe una red para las aguas negras y otra para las blancas, de manera que éstas últimas no se contaminan y pueden verterse directamente a una cuenca fluvial.

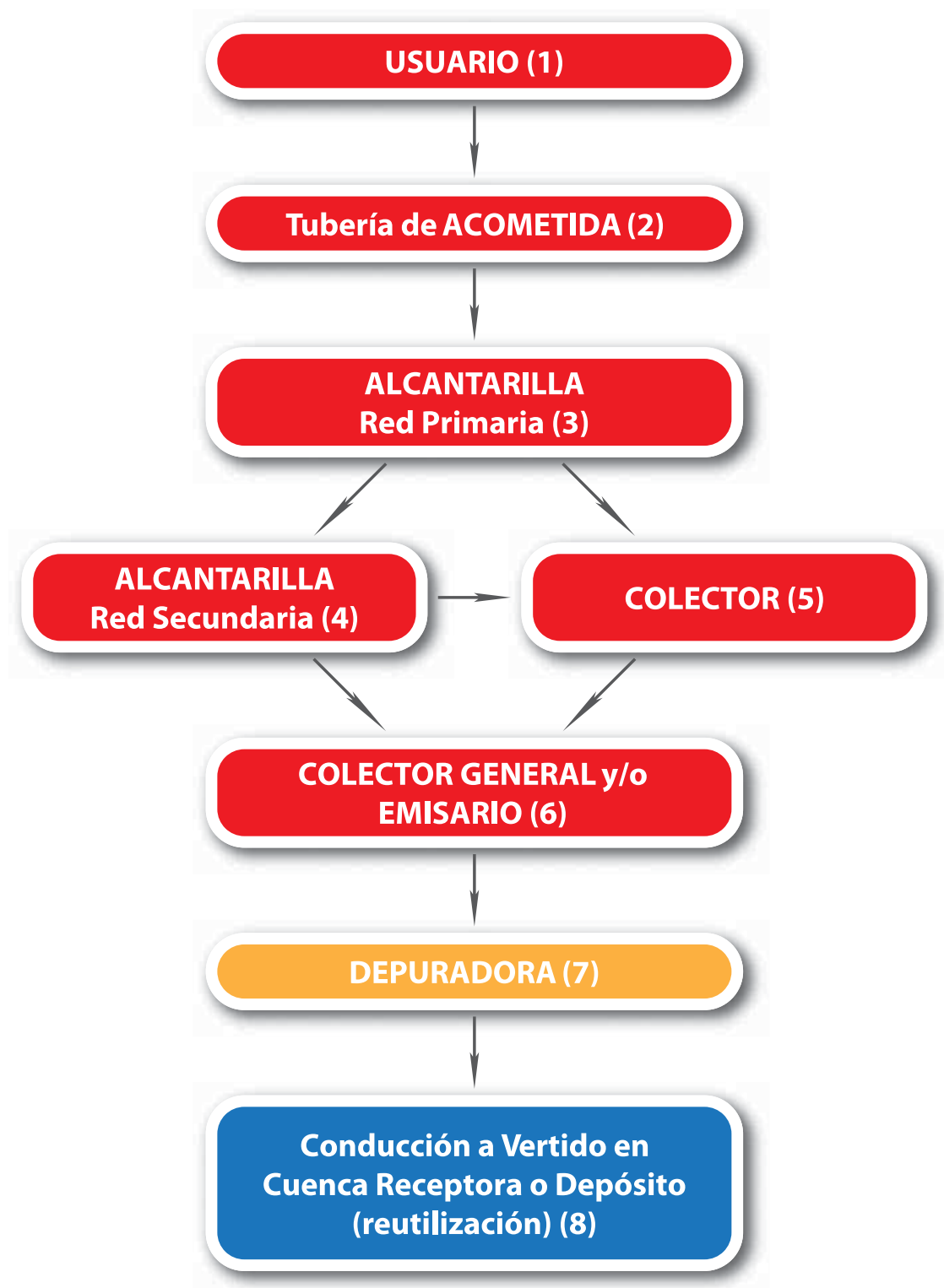
Actualmente, las aguas blancas recogidas en las ciudades están siendo consideradas como negras debido a la alta contaminación de elementos orgánicos, metales, hidrocarburos... que presentan.

Debido a la necesidad de ejercer un esfuerzo en la conservación del medio ambiente y a las ventajas que supone la reutilización las aguas residuales, posible hoy en día gracias a las estaciones de depuración de aguas negras, la tendencia es ir, si las condiciones técnicas y medio ambientales lo permiten, hacia la instalación de redes separativas.

También pueden clasificarse los conductos atendiendo a su visitabilidad:

- No visitables.
 - Circulares.
 - Ovoides.
- Visitables.
 - Circulares.
 - Circulares con andén.
 - Ovoides.
 - Secciones especiales.

1.2. Esquema de una red de saneamiento unitaria



USUARIO (1)

Punto donde se inicia el vertido (vivienda, nave o complejo industrial, etc.).

ACOMETIDA (2)

Tubería que une al USUARIO con la canalización que recoge los vertidos, llamada ALCANTARILLA.

ALCANTARILLA (3), (4)

Conducto que puede pertenecer a una red primaria, secundaria o terciaria (siempre en función del tamaño de la red), que recoge y transporta los vertidos de los usuarios. Normalmente, además de la conducción cuenta, a tramos, con pozos de registro. No es visitable.

COLECTOR (5)

Conducto que recoge y transporta los vertidos de varias alcantarillas. Cuenta con sus correspondientes pozos de registro y normalmente es visitable.

COLECTOR GENERAL y/o EMISARIO (6)

(*)

Es el conducto en el que desemboca toda una red de COLECTORES. Transporta los vertidos a una estación de tratamiento de aguas. Cuenta con sus correspondientes pozos de registro. Son visitables en su mayoría.

DEPURADORA (7)

Instalación industrial donde se depuran las aguas negras recibidas a través del COLECTOR general, donde se tratan las aguas para su posterior reutilización o vertido.

CONDUCCIÓN A VERTIDO (8)

El agua, una vez depurada, puede ser enviada a una cuenca de recepción (arroyo, río, etc.), o a depósitos para su posterior reutilización en usos autorizados (riego de calles, campos de golf, agricultura, etc.).

(*) No debe confundirse Emisario con "Emisario Submarino". Con este último término se designa a aquella instalación que transporta aguas negras de una población relativamente pequeña (Localidad al borde del mar, urbanización, etc.), a través de una tubería colocada y fijada en el fondo del mar, que tiene su punto de desagüe mar adentro, a una distancia de la costa suficiente para que dichas aguas negras no afecten a la población existente en las orillas ni al medio ambiente, gracias al efecto diluyente que provoca la enorme cantidad de agua del mar.

El dimensionamiento de cada uno de los tramos indicados se realizará en función de las características necesarias para cada instalación (número de descargas, pendiente, número de imbornales, acometidas, etc.).

1.3. Tuberías utilizadas en redes de saneamiento

Una red de saneamiento es un conjunto de elementos interconectados desde el usuario hasta la depuradora, que debe reunir unos niveles de calidad suficientes para que su funcionalidad y su capacidad de preservación del medio ambiente sean **óptimas y duraderas**.

Existe un principio, que dice:

“Todo producto cumple sus funciones a la perfección siempre que sea usado dentro del marco de sus características propias”.

Por lo tanto, cualquier red de saneamiento presenta una mayor calidad y, por tanto, un funcionamiento mejor, cuando las tuberías que la componen han sido instaladas y trabajan dentro del rango que permite aprovechar sus propiedades. Cuando, por razones de cualquier índole, realizamos instalaciones en las cuales las tuberías que se colocan están fuera del rango en que sus propiedades son capaces de prestar un servicio de calidad, estamos convirtiendo la red de saneamiento en una fuente de problemas a corto, medio y/o largo plazo.

Por tanto los técnicos que realizan proyectos, o los que los ejecutan o supervisan, deben tener muy en cuenta lo expresado anteriormente y elegir las tuberías a instalar dentro de sus campos de aplicación correctos.

En el mercado, y para su instalación en redes de saneamiento, actualmente se ofrecen tuberías de los siguientes materiales:

- Tuberías de hormigón.
- Tuberías de gres.
- Tuberías plásticas compactas (PVC, PEad., PEbd, PP, PRV, PRFV).
- Tuberías plásticas aligeradas (PVC, PEad., PEbd, PP).
- Tuberías de fundición dúctil.
- Tuberías de acero.

CAPÍTULO 2

TIPOS DE TUBERÍAS PRESENTES EN EL MERCADO

2.1. Tuberías de hormigón

Podemos establecer varias clasificaciones atendiendo al uso que de ellas se haga o a su configuración constructiva.

Según la presión existente en el interior de la conducción tenemos:

- Tuberías para conducciones sin presión.
- Tuberías para conducciones a presión.

Según su constitución:

- Tubos de hormigón en masa.
- Tubos de hormigón armado.
- Tubos de hormigón armado con chapa metálica.
- Tubos de hormigón pretensado.
- Tubos de hormigón pretensado y con chapa metálica.
- Tubos de hormigón con fibra de acero.



Fuente: ACPA



Fuente: ACPA

De esta clasificación se obtienen, según sean los sistemas y formas de compactación utilizados en la fabricación de los tubos, las siguientes subdivisiones:

- Fabricación mediante prensas vibrocompactadoras de eje vertical, con vibración interna.
- Fabricación por compresión radial.
- Fabricación mediante sistemas híbridos entre los dos tipos descritos.



Por su composición:

- Tubos de hormigón en masa (HM).
- Tubos de hormigón armado (HA).
- Tubos de hormigón con fibra de acero (HF).

Por la forma de la sección interior:



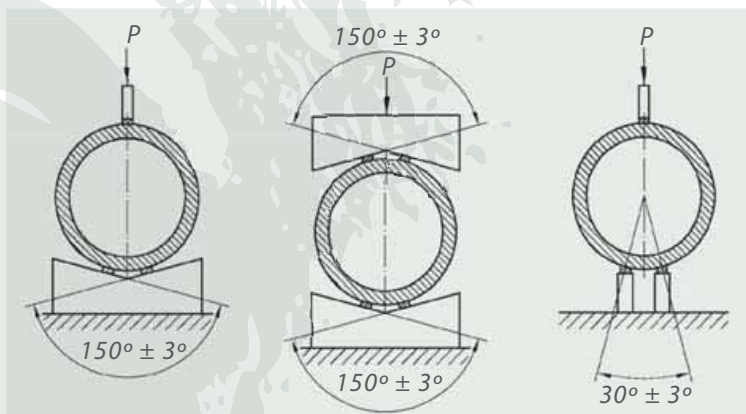
- Tubos circulares (el DN siempre es el $\varnothing$ interior).
- Tubos circulares con andén.
- Tubos abovedados.
- Tubos ovoides.
- Tubos cuadrados (marcos).

Por el sistema de unión entre tubos:

- Conexión rígida: sellado de la unión mediante mortero de relleno, corchetes, etc. **No resulta recomendable.** Este método está en desuso y fuera de la vigente normativa (UNE-EN 1916).
- Conexión elástica: el sellado de las juntas se lleva a cabo mediante juntas elastoméricas.

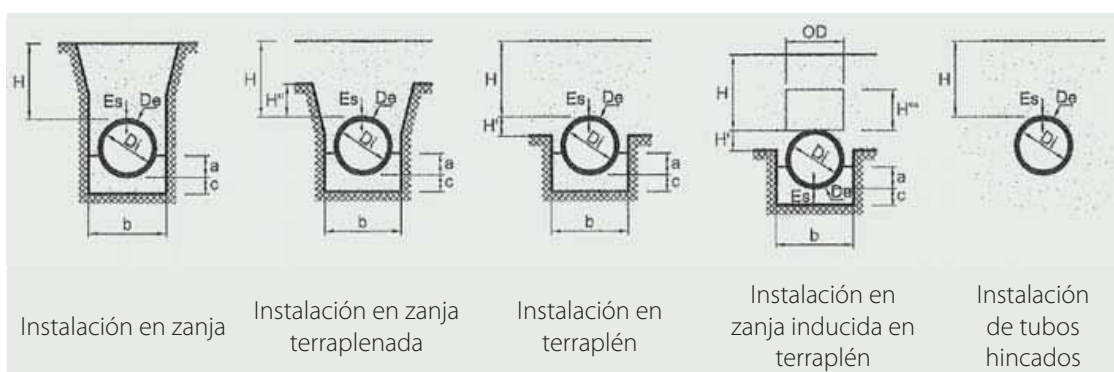
Por criterios mecánicos:

- Tipo UNE: su cálculo mecánico se basa en el complemento nacional de la norma UNE EN 127916/2004 para Tubos de HM y HA.
- Tipo ASTM: su cálculo mecánico se basa en la norma americana ASTM.
- Conformes con el Pliego M.O.P.U. (Actualizado por la UNE-EN 1916 y su complemento nacional UNE-EN 127916).



Por su instalación:

- Tubos instalados en zanja.
- Tubos instalados en terraplén.
- Tubos instalados en zanja terraplenada.
- Tubos instalados en zanja inducida.
- Tubos hincados.



2.2. Tuberías de Gres



Las tuberías de gres están compuestas por arcillas de distintos orígenes, trituradas y homogeneizadas. Las propiedades del producto final, es decir, del tubo, serán acordes a las de dichas arcillas. Las tuberías de gres deben cumplir la norma UNE-EN 295.

Se fabrican por extrusión, que puede ser:

- Horizontal.
- Vertical.

Posteriormente se someten a un proceso de secado y, una vez finalizado éste, se introducen en el horno para su cocción y esmaltado.

Por su sección existen tuberías de gres:

- Circulares.
- Ovoides.

Por el sistema de unión entre tubos existen:

- Tubos de gres acampanados: poseen unión con junta elástica.

- Tubos de gres de extremos lisos: La unión se lleva a cabo mediante manguitos de polipropileno, con dos juntas circulares elásticas.

2.3. Tuberías de Plástico

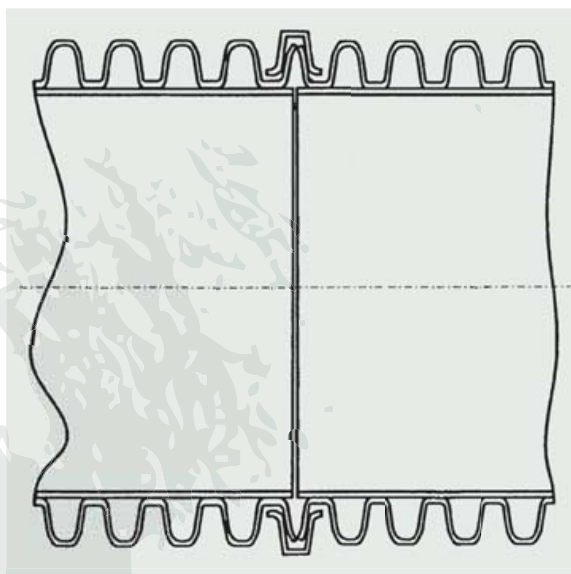
Las tuberías de plástico admiten una primera clasificación en tres grupos, en función de cómo sea la solución constructiva adoptada en su fabricación:

- Compactas: aquellas tuberías fabricadas del mismo material plástico (PVC, PEad. PP) en toda su masa, de sección circular, lisas interna y externamente y con espesores de acuerdo con la norma correspondiente (UNE 53 332 y/o UNE - EN 1401).



- Tuberías de PRFV: se fabrican mediante varios procesos industriales patentados y esquemáticamente se componen de poliéster, fibra de vidrio, y cargas minerales (sílices y otros sólidos). Aunque podrían ser consideradas tuberías multicapa, al ser el material intermedio sílice, carbonato, micro esferas, etc., se clasifican independientemente.

- Aligeradas: aquellas tuberías fabricadas con material plástico, con un diseño específico para intentar reproducir las mismas propiedades que las compactas, pero con menos material, o con materiales más baratos. Surgieron con la idea de conseguir comercializar tuberías más competitivas en cuanto a su coste.



La norma UNE-EN 13476 "Sistemas de canalización en materiales termoplásticos para saneamiento enterrado sin presión. Sistemas de canalización de pared estructurada de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE)", expone en su segunda y tercera parte las siguientes definiciones para las tuberías plásticas aligeradas:

Los siguientes párrafos están extraídos de la norma UNE-EN 13476-2:

"5.2 Construcciones de pared designadas como tipo A

5.2.1 Construcción multicapa o construcción de pared hueca con secciones axiales huecas, construcción de tipo A1.

Un tubo o accesorio con superficie interior y exterior lisas y en el que las paredes exteriores e interiores están conectadas por nervios axiales internos o por una capa intermedia en forma de espuma u otro componente, de material termoplástico, debe designarse como tipo A1.

En la Figura 1 se muestran ejemplos típicos de construcciones de tipo A1".

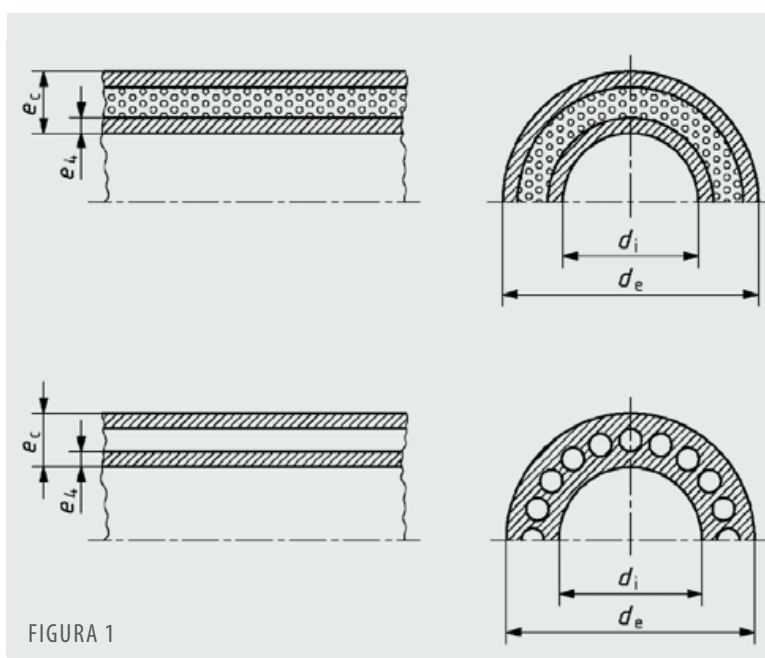


FIGURA 1

"5.2.2 Construcción de pared hueca con secciones huecas dispuestas en forma radial o helicoidal, construcción de tipo A2.

Un tubo o accesorio con la superficie interior y exterior lisas y en el que las paredes exteriores e interiores están conectadas por nervios internos, dispuestos en forma radial o helicoidal, debe designarse como tipo A2.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo típico de construcción de tipo A2".

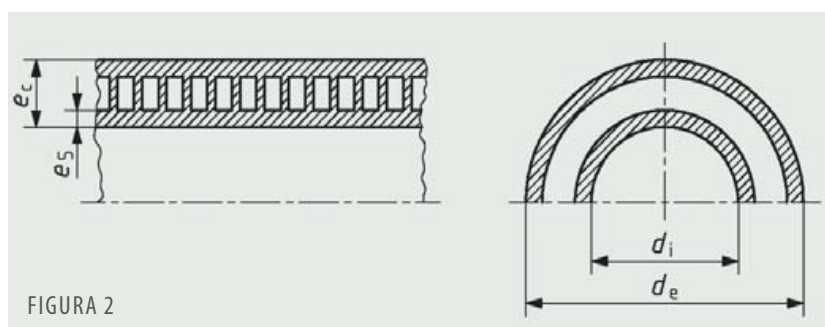


FIGURA 2

Extraído de la norma UNE-EN 13476-3:

"5.1 Construcciones de pared designadas como de tipo B.

5.1.1 Construcción acanalada o corrugada:

Un tubo o accesorio con una superficie interna lisa y una superficie externa anular perfilada o helicoidal hueca o sólida, debe designarse como tipo B.

La figura 1 muestra ejemplos habituales de construcciones de tipo B".

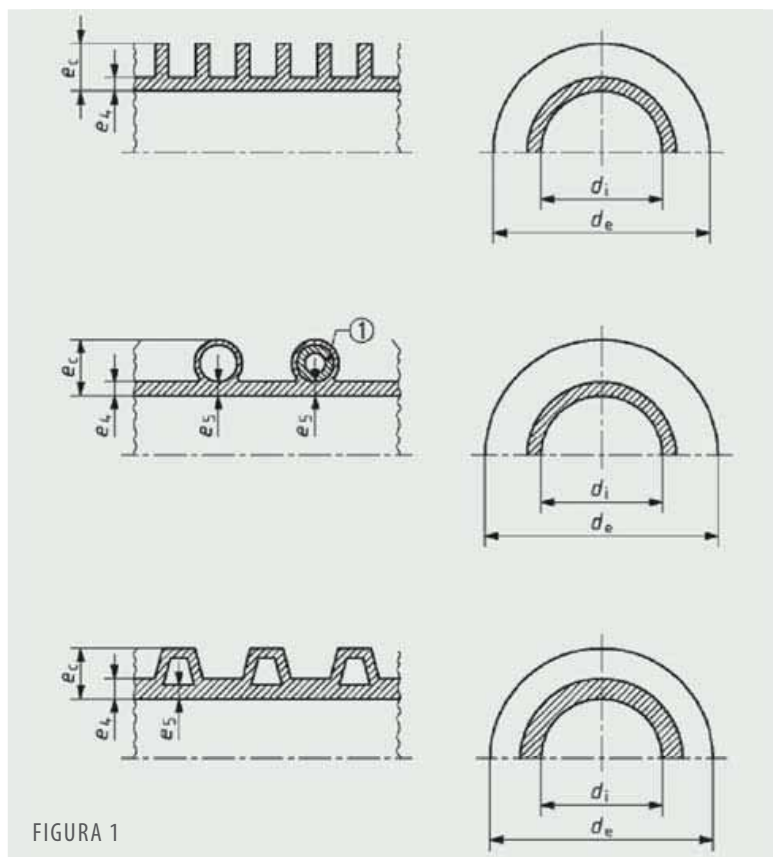


FIGURA 1

Para una mejor comprensión de estos tipos de tuberías plásticas, seguidamente, se intentará aclarar cada uno de los diferentes sistemas de fabricación y presentación de las tuberías.

- Tuberías multicapa: son de sección circular, lisas en sus capas exterior e interior. Entre ambas capas se sitúa un material plástico más económico: un agente espumante, que aumenta su volumen, disminuyendo su peso respecto a las compactas y haciéndolas más económicas que éstas. Estas tuberías presentan, a primera vista, un aspecto muy semejante a las compactas.
- Tuberías alveoladas: son similares a las compactas salvo porque su interior posee alvéolos (circulares, rectangulares...), en toda su longitud, que las aligeran.
- Tuberías corrugadas: se fabrican, bien con una sola pared o con doble pared. Cuando son de doble pared la exterior es corrugada, mientras que la interior debe ser completamente lisa.

- Tuberías acostilladas o con perfil helicoidal: son lisas interiormente y presentan un refuerzo exterior (costillas), o perfil engarzado. Se fabrican enrollando un perfil (en forma de T, de Π , de Ω ...) helicoidalmente, con la cara lisa hacia el interior, uniéndolos hasta lograr formar un tubo, mediante adhesivo o aplicando presión a la salida de la extrusora, cuando el material aún se encuentra en estado plástico.

Los materiales plásticos básicos utilizados para la fabricación de estos tubos son:

- Poli cloruro de vinilo rígido (PVC – U).
- Polietileno de alta densidad (PE ad).
- Polietileno de baja densidad (PE bd).
- Polipropileno (PP).
- Poliéster con fibra de vidrio (PRV, PRFV).

En la composición de estas tuberías, a los materiales mencionados suelen añadirse, como complemento, cargas minerales, material procedente de recuperación o agentes espumantes.

Los sistemas utilizados para la fabricación de las tuberías plásticas son:

- Para las de PVC-U, PEad, PEbd, y PP, compactas o estructuradas:
 - Extrusión.
 - Co-extrusión.
 - Extrusión y conformado (se moldea la capa exterior).
- Las tuberías de PRV y/o PRFV son algo particulares. Aunque cada fabricante aporta su propio sistema de fabricación, en general se basan en un mandril, fijo o giratorio, al cual se van enrollando, en diferentes capas, filamentos de fibra de vidrio, adicionando resina de poliéster no saturada y cargas (arenas, carbonato cálcico, etc.).

2.4. Tuberías de fundición dúctil y acero

Sólo se instalan en sistemas de saneamiento en casos excepcionales. Su uso corresponde generalmente a otro tipo de aplicaciones (conducciones con presión, protección de otras tuberías, etc.).

Por su escasa incidencia en redes de saneamiento, no se tratarán en este libro.



CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL PROYECTO Y FUNCIONALIDAD

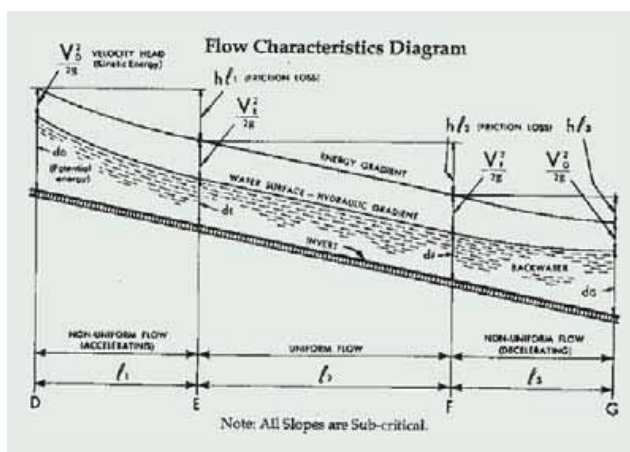
3.1. Análisis del proyecto

A la hora de elegir la opción idónea para cada proyecto de entre aquellas que se acaban de presentar, hay que tomar una serie de consideraciones que a continuación se exponen y que se desarrollarán a lo largo de este libro.

En primer lugar, el proyectista deberá determinar si la red de saneamiento debe ser un sistema unitario o separativo.

Posteriormente, tendrá que realizar el dimensionamiento hidráulico de la red.

Una vez establecido el trazado de la red y los diámetros de las tuberías en cada uno de sus ramales, se procederá a realizar el cálculo mecánico de las diferentes conducciones, para lo cual se deben tener en cuenta las siguientes acciones:



- Acciones del terreno (función de los tipos de terreno y de instalación).
- Acciones del tráfico.
- Acciones debidas a cargas puntuales.
- Acciones de empuje (hinca de tubos).
- Acciones debidas al peso/presión del fluido transportado.

No es nuestro deseo entrar en detalle en los procesos de cálculo mecánico de tubos enterrados, ya que existen publicaciones que tratan este tema de manera específica (por ejemplo, para el caso de tubos de hormigón armado, el "Manual de cálculo, diseño e instalación de tubos de hormigón armado", las "Recomendaciones para tuberías de hormigón armado en redes de saneamiento y drenaje" del CEDEX o el "Pipe handbook" de la American Concrete Pipe Association).

3.2. Funcionalidad

Una vez el técnico tenga la información necesaria sobre las características que debe satisfacer la red de saneamiento, debe tomar la decisión de utilizar una tubería de las muchas que le ofrece el mercado, que garantice, con el mayor nivel de seguridad posible, que una vez puesta en marcha la red ésta va a tener un funcionamiento óptimo y seguro.

II CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Durante años, los productores de tuberías de hormigón han observado impasibles cómo sus homólogos fabricantes de tuberías plásticas lanzaban una serie de mensajes en los que indicaban las características en las que sus tubos eran presuntamente mejores. Algunas de estas características eran entonces, efectivamente, superiores. Por aquel entonces los tubos plásticos tan sólo eran usados, dentro del mercado del saneamiento, para pequeños diámetros. Además, las evoluciones técnicas no habían solucionado aún ciertos problemas que los nuevos efluentes causaban en unas tuberías de hormigón aún no preparadas para ellos... Muchos otros de esos mensajes no fueron ciertos en ningún momento. Ni unos ni otros son ciertos en la actualidad. A día de hoy las tuberías de hormigón armado son superiores o, como mínimo, igualmente válidas en todas las características relevantes desde cualquier punto de vista funcional.

Las características mencionadas como ventajas propias en la publicidad de los fabricantes de tuberías plásticas son las siguientes:

- Mayor capacidad hidráulica.
- Ligereza.
- Flexibilidad de instalación.
- Menor coste de mantenimiento.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Mayor resistencia ante los ataques químicos.
- Instalación más sencilla.

Para demostrar la falta de veracidad de estas afirmaciones se va a comparar las tuberías de plástico y las de hormigón en términos de:

- Capacidad hidráulica.
- Respuesta estructural.
- Durabilidad.
- Instalación.
- Coste.
- Sostenibilidad.

En los siguientes capítulos trataremos los 5 primeros puntos. Se trata de características técnicas o ligadas de manera directa a parámetros técnicos.

CAPÍTULO 4

CAPACIDAD HIDRÁULICA

Las tuberías de hormigón armado son, cuanto menos, hidráulicamente iguales a las plásticas una vez en servicio en una red de saneamiento. A primera vista puede parecer que el hecho de tener una superficie interior más lisa es determinante, pero la incidencia que esto tiene sobre el comportamiento hidráulico de los sistemas de saneamiento una vez en servicio es inapreciable. Los factores realmente característicos son, entre otros, el trazado de la red, el número de pozos de registro, etc.



Numerosos estudios corroboran que el material de las conducciones no tiene ninguna incidencia real. A la luz de estas pruebas son ya muchas las administraciones que exigen el uso de los mismos coeficientes de rugosidad cuando se calculan redes de saneamiento y drenaje, dado que la colocación de diámetros interiores menores a los realmente necesarios, como consecuencia de una presunción de capacidad hidráulica superior a la real, puede dar lugar a graves problemas:

- La baja velocidad del fluido puede ocasionar la aparición de depósitos que acaben bloqueando la tubería.
- Ante lluvias torrenciales el sistema se desbordará, dando lugar a inundaciones y contaminación.

4.1. Consideraciones previas al cálculo hidráulico de una red de saneamiento

Antes de proyectar y calcular una red de saneamiento de calidad, debemos analizar algunos puntos importantes para el sistema, como son:

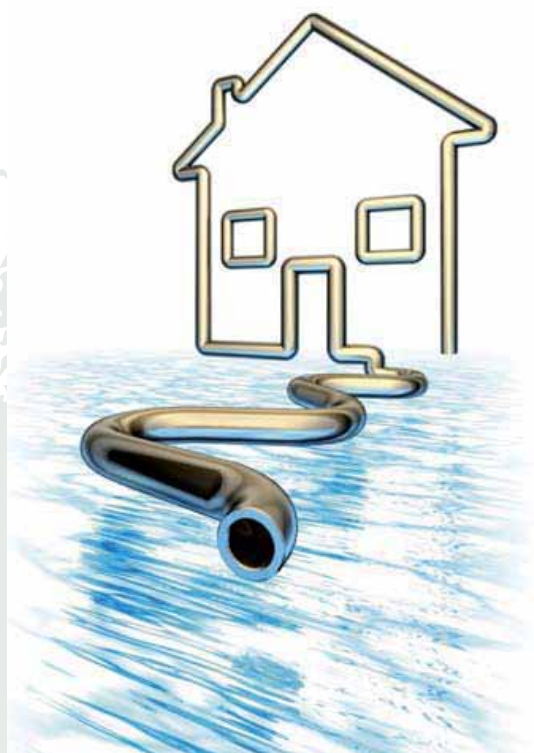
- El tipo y características del terreno donde se va a instalar la red.
- Las características y la cantidad de los vertidos.
- Los puntos de conexión de los vertidos a la red.
- El tipo de red a diseñar.

- Los materiales a utilizar.
- El diseño de los diferentes tramos de la red (geometría de los conductos, pozos de registro...).
- La situación de la estación depuradora.
- El volumen nominal de agua para el que ha de diseñarse la depuradora.
- El transporte del líquido depurado a una cuenca fluvial, o depósito, según las posibilidades y características del fluido.
- El destino final de los subproductos de la depuradora.

Para cada proyecto particular, se deberá estudiar cuál es la solución más adecuada a todos los niveles, incluyendo la elección del tipo de tubería a instalar.

Para poder realizar el cálculo hidráulico de una red, o de un ramal de saneamiento, deberemos:

- Tener en cuenta el número de habitantes que usarán esa red o ramal, no solo en el momento de su construcción, sino durante toda la vida útil planteada para la instalación, haciendo una extrapolación a través de las tasas de crecimiento de la zona.
- Realizar una correcta valoración del caudal de aguas negras, industriales y blancas (teniendo en cuenta regímenes de lluvia en la zona), que verterán a la red o ramal.
- Cuantificar adecuadamente cualquier otra posible descarga (caudales infiltrados, etc.), que pueda recibir la red o ramal.



4.2. Diseño hidráulico de una red de saneamiento

Una vez valorada la geometría que deben tener las secciones interiores de los tubos (circular, ovoide, cuadrada...), se deben definir las dimensiones interiores del conducto, de acuerdo con el caudal total que sea necesario transportar y las variaciones que en el tiempo se produzcan.

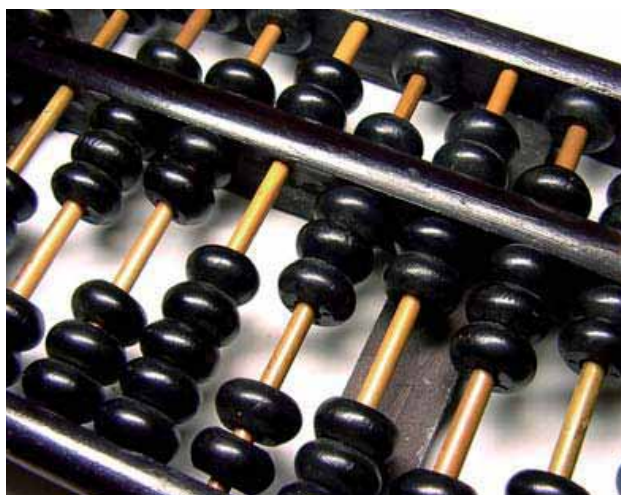
Un parámetro importante será la pendiente que se considere para la sección deseada. Normalmente, se admite como valor mínimo de velocidad del fluido 0,6 m/s, aunque si el trazado lo permite es recomendable mantener la velocidad alrededor de 0,9 m/s. Se garantiza así que el conducto se mantenga razonablemente limpio por sí mismo.

Como valor de velocidad máxima, suele considerarse 3,0 m/s en aguas negras y 5,0 m/s en sistemas unitarios de aguas blancas. Si la velocidad del fluido fuese superior, efectos físicos como la abrasión podrían llegar a cobrar importancia.

Con estos valores y la topografía del terreno se puede definir la sección del conducto, teniendo en cuenta que las características hidráulicas que debe proporcionar el conducto ante las variaciones de caudal previstas, para la sección definida, deben proporcionar una velocidad al fluido lo más constante posible, que debe mantenerse dentro de los límites máximo y mínimo establecidos.

4.2.1. Fórmulas

En los cálculos hidráulicos de proyecto de conducciones se emplean fórmulas muy diversas, avaladas por experiencias más o menos amplias y, con excesiva frecuencia, extrapoladas en su aplicación a campos muy distantes de los ámbitos para los que fueron establecidas. Pese a la existencia desde hace muchos años de una fórmula universal para el cálculo hidráulico de tuberías para fluidos en lámina libre, los técnicos continúan aferrados al uso de fórmulas específicas, concebidas para materiales, revestimientos o aplicaciones específicos y, lo que es peor, estableciendo comparaciones entre las cualidades hidráulicas de los materiales basadas en las fórmulas cuyos resultados no reflejan la realidad más que para uno de los términos de la comparación.



Al aplicar la *Fórmula de Manning* para el cálculo de las tuberías, el valor del coeficiente "n" es el mismo, independiente del tipo de material con el que esté fabricada la tubería que se decida instalar.



Para mayor información transcribimos fórmulas de diferentes autores, que relacionan la velocidad del fluido con el radio hidráulico y la pérdida de carga unitaria. Aunque la que se ha instaurado como fórmula estándar y definitiva para el cálculo hidráulico de conducciones en lámina libre es la de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}} j^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Manning})$$

$$V = \frac{87 \sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}} \sqrt{Rj} \quad (\text{Bazín})$$

$$V = \frac{100 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{Rj} \quad (\text{Kutter})$$

Los parámetros **n**, **γ**, y **m** son los coeficientes empíricos empleados en las fórmulas y tabulados para los distintos materiales de los conductos.

En 1939 Colebrook publica sus fórmulas, que fueron completadas por Moody en 1944 con la aparición del diagrama que lleva su nombre. La aplicación de esta fórmula está indicada para conducciones de fluidos en régimen turbulento.

Diversidad de estudios y experiencias han puesto de manifiesto que estos valores empíricos que algunos fabricantes de tuberías, especialmente los de tuberías plásticas, le dan a este coeficiente frente a otras tuberías (entre las que se incluyen las de Hormigón), no se corresponde con la realidad ni con la experiencia.

En la Fórmula de Manning, el valor empírico “n”, ha sido corroborado por una larga experiencia y se ha impuesto para el cálculo de tuberías en redes de saneamiento.

4.2.2. Pérdida de carga

La pérdida de carga es una pérdida de energía por parte del fluido. En el fluido esa energía está en forma de energía cinética (velocidad) o potencial (presión). El fluido puede entregar energía en forma de energía mecánica (turbomáquinas) o de calor (trabajo necesario para vencer las fuerzas de rozamiento viscoso). En el caso de las conducciones en lámina libre (sin presión), lo que el fluido pierde es energía cinética (velocidad) por rozamiento viscoso con las paredes del conducto, que cede en forma de calor. La pérdida de carga puede deberse a una mayor rugosidad en las paredes de los conductos, a cambios en la dirección del flujo de fluido, a resaltos, turbulencias, cambios de sección...



Cuando los conductos a considerar son redes de saneamiento, ha sido demostrado que el tipo de tubería a instalar no tiene apenas incidencia. Para instalaciones en lámina libre la rugosidad superficial de la tubería tiene menos importancia conforme aumenta el diámetro. Además, al poco tiempo de entrar en servicio un sistema de saneamiento se produce la proliferación de un biofilm en las paredes del conducto que iguala las condiciones superficiales sea cual sea la rugosidad inicial del tubo.

A parte de todo esto, los estudios indican que los factores realmente relevantes en la capacidad hidráulica son el número de conexiones a pozos y las características de éstas, los cambios de dirección, las acometidas de otras descargas, la calidad del agua conducida...

Una capacidad hidráulica superior implica que se puede utilizar una tubería de diámetro inferior conservando el mismo caudal.

A igualdad del resto de condiciones una tubería plástica tiene la misma capacidad hidráulica que una tubería de hormigón armado. Por lo tanto, **para un mismo proyecto no se podrá reducir el diámetro de la tubería basándose simplemente en el material** de los tubos a instalar.

La correcta elección del valor del coeficiente de rugosidad de una tubería es un dato esencial para la determinación del caudal que transporta, o lo que es lo mismo, conocido o estimado el caudal de proyecto, para la determinación del diámetro necesario para transportarlo de forma que se respeten las premisas del proyecto. Dar valores excesivamente conservadores conduce a un sobredimensionamiento de la tubería, por lo que es antieconómico, mientras que establecer valores inferiores puede conducir a deficiencias en la explotación, dado que, en tal caso, el sistema no tendría capacidad suficiente para desempeñar sus funciones de acuerdo a las expectativas de diseño. Esta es la razón por la que la determinación del valor real de dicho coeficiente ha sido objeto de continuas investigaciones y una cuestión que, tanto en el pasado como en la actualidad, ha dado origen a multitud de controversias que desembocan en el campo comercial y han llegado, en algunos casos, a los tribunales.

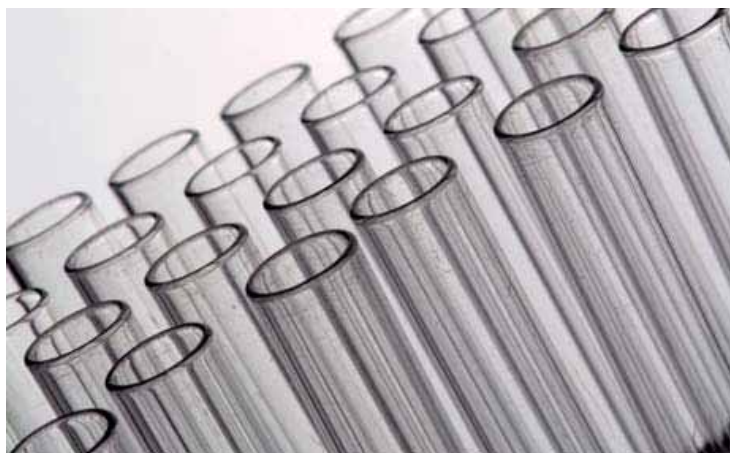


El proyectista debe tener cuidado al establecer estos valores en sus cálculos. Es de gran importancia conocer la fuente de información de los mismos y, en consecuencia, su fiabilidad.

Las tuberías destinadas a formar parte de sistemas de saneamiento, a igualdad de diámetro interior, poseen la misma capacidad hidráulica, independientemente del material con el que estén fabricadas.

4.2.3. Valor “n” a aplicar en los cálculos de tuberías en redes de saneamiento

Aunque es un tema a veces muy discutido por los puristas del cálculo, la realidad, corroborada por una larga experiencia, es que el valor “n” es, en el ámbito concreto de las instalaciones de saneamiento, único e independiente del tipo de tubería para la que realicemos el cálculo (Hormigón, PVC, PE., PP., etc).



Seguidamente, se recogen las conclusiones de diversos estudios que avalan lo anteriormente expuesto:

- a) En Enero de 1998, se publicó el **“Informe de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia”**, trabajo realizado por los Profesores de la UPV, D. José Ferrer Polo, Catedrático de Ingeniería Sanitaria y D. Julio Jiménez Sánchez, Profesor Asociado del Departamento de Ing. Hidráulica.

Nos limitamos a transcribir parte de la Introducción y la Conclusión final de este documento(*):

“INTRODUCCION:

La selección del valor apropiado para el coeficiente de rugosidad de un tubo es esencial para evaluar el caudal de las conducciones de drenaje y saneamiento.

Un valor alto es antieconómico, y un valor bajo invalido, al no tener la conducción capacidad hidráulica suficiente para el caudal de cálculo.

Por este motivo los proyectistas prestan una enorme importancia a la elección de la fórmula y al coeficiente de rugosidad a emplear en el cálculo hidráulico.

*La fórmula más utilizada es, sin duda, la de Manning, siendo fundamental el valor de diseño a adoptar en las redes de saneamiento, **con independencia de los valores de “n” obtenidos***

(*) Si desea recibir alguna de las publicaciones a que hacemos referencia, pídala sin ningún compromiso en ANDECE. (andece@andece.org).

en el laboratorio para tubos o conductos aisladamente considerados sin tener en cuenta **las particularidades de la red** (número de pozos, curvas, codos, resaltos, acometidas...), que tienen **mayor incidencia en el flujo hidráulico que la mayor o menor lisura de los tubos**.

El **proyecto de la Norma Europea de Cálculo Hidráulico** en el que participan 18 países, recomienda el uso de la fórmula de Manning-Strickler (para conducciones en lámina libre) y considera que **han de utilizarse valores de "n" comprendidos entre 0,011 y 0,014**, en función de la incidencia en la red de los puntos singulares y de las imperfecciones de la ejecución.

CONCLUSIONES:

De acuerdo con todos los trabajos analizados y teniendo en cuenta que en la inmensa mayoría de las ciudades españolas, las redes de saneamiento son redes unitarias, parece procedente y razonable recomendar la utilización **DE UN VALOR UNICO "n"** para la fórmula de Manning a efectos de diseño y cálculo.

Este valor del coeficiente **"n"** debería someterse a consideración en casos puntuales en función de las características de diseño del colector (excesivos cambios de pendiente longitudinal, obstáculos para el movimiento libre del agua dentro de la tubería, etc.) que recomienden utilizar algún coeficiente de seguridad adicional que quedaría, por tanto, fuera del campo del análisis hidráulico de una red de saneamiento.

El desarrollo de los trabajos de comprobación de las irregularidades superficiales o coeficiente de rugosidad de las tuberías en servicio mediante el rugosímetro indicado en el primer apartado de este informe, aportará sin duda nuevas luces al conocimiento de este controvertido asunto de la selección del adecuado coeficiente de rugosidad en el diseño de las redes de saneamiento".

b) Boletín Oficial de Navarra – Número 36:

En el mencionado Boletín Oficial, Sección II – Administración Local de Navarra, Mancomunidad de Aguas del Moncayo, Normativa para las Redes de Saneamiento, en su Capítulo II.7. Criterio de cálculo de las redes, se concluye que:

- "El cálculo hidráulico de las conducciones de saneamiento, se realizará mediante la fórmula de Manning.
- Se tomará como **coeficiente de rugosidad, $n = 0,014$, independientemente del material de las tuberías de saneamiento proyectadas**".



c) **Comisión Técnica de la Cámara Sindical de la Higiene Pública (Francia):**

En sus conclusiones sobre el estudio realizado sobre capacidad hidráulica de diversas tuberías de diferentes materiales, establece que:

*"Los Tubos de PVC-U, amianto cemento, fundición revestida interiormente por centrifugación, hormigón centrifugado y acero interiormente revestido, **son hidráulicamente equivalentes**, es decir, para el mismo diámetro permiten asegurar el mismo caudal para la misma pérdida de carga".*

d) **"Contribución al Cálculo Hidráulico de Tuberías" D. Luis Torrent** (Ing. De Caminos, Canales y Puertos), en la "Revista de Obras Públicas", publicó, en Octubre de 1.968 un artículo en el cual expresa lo siguiente:

"La selección de la fórmula adecuada a cada caso plantea al proyectista un delicado problema ético cuando se da el caso de tener que comparar dos o más productos comerciales aptos para la conducción: Si las cualidades hidráulicas de uno de ellos se valoran correctamente, mientras se subestiman las de sus oponentes por emplear en los cálculos fórmulas inadecuadas o - todavía más - desacertadas normas de aplicación, es evidente que se está favoreciendo injustamente a los fabricantes del primer producto".

e) **La Compagnie Nationale du Rhone**, compañía francesa que gestiona toda la cuenca del Rhone (19 centrales hidroeléctricas con una producción eléctrica de 19.5 billones de kWh, 12 presas, 1 dique,...) en el año 1997 realizó un ensayo en el que se compararon las prestaciones hidráulicas de conducciones de Hormigón y de PVC representativas de los materiales habituales en el mercado.

*"La longitud de los tramos experimentales era de 28 m, la pendiente de 5mm/m y el diámetro interior de los tubos de 600 mm. **Las condiciones eran de laboratorio: agua clara, tubos nuevos, pendiente regular e instalación rigurosa. Los resultados mostraron que el coeficiente "n" de Manning es idéntico para ambos materiales**".*

f) El **laboratorio de St. Anthony Falls en la Universidad de Minnesota** (EEUU), demostró la despreciable influencia del número de juntas en el coeficiente "n", en tubos de 24 y 36 pulgadas de diámetro (610 y 914 mm, respectivamente).

g) En 1986 la **University of Alberta**, realizó un total de 185 pruebas en tuberías de PVC de 8, 10 y 18" (203, 254 y 457 mm) de diámetro, y un total de 179 ensayos en tuberías de hormigón de 8, 10 y 15" (203, 254 y 381 mm) de diámetro con el objetivo de determinar los valores máximos, mínimos y medios del coeficiente "n" de Manning.

El conjunto de las tuberías ensayadas provenían de diferentes fabricantes con distintos métodos y tecnologías constructivas, y se realizaron con distintos caudales para trabajar con

distintos números Reynolds.

El resultado de los ensayos fue que el valor medio del **coeficiente “n” de Manning era prácticamente el mismo para los dos materiales**, siendo inferior en ambos casos a 0,010 (el coeficiente $n=0,011 - 0,014$ recomendado por los fabricantes de tuberías de hormigón no es un coeficiente de laboratorio, sino de diseño).

Con excesiva frecuencia los fabricantes de tuberías plásticas proponen los valores de laboratorio para el coeficiente “n” como valores de diseño, por lo que ofrecen en sus catálogos la ventaja de que sus tuberías presentan valores “n” menores que las de hormigón y, basándose en ese argumento, incitan al técnico a que ahorre costes disminuyendo el diámetro interior de las tuberías a instalar.

Hemos considerado oportuno hacer referencia a los valores recomendados para el coeficiente “n” de Manning en función del tipo de instalación.

TABLA 1

Redes en buen estado	Redes unitarias	0.012	
	Redes separativas	Aguas residuales	0.013
		Aguas pluviales	0.012
Redes en mal estado	0.014		

Cuadro extraído de la publicación “Recomendaciones para tuberías de hormigón armado en redes de saneamiento y drenaje”, editado por el Centro de Publicaciones Secretaría Técnica Ministerio de Fomento-CEDEX.

Esta estrategia que algunos fabricantes de tuberías plásticas desarrollan en sus catálogos, no sólo conlleva un grave riesgo para el normal funcionamiento de la red de saneamiento, sino que comporta una actitud delictiva que ya ha sido condenada en algunos países por considerarse **publicidad engañosa**.

4.3. Publicidad engañosa

Caso de sentencia por publicidad engañosa:

Un fabricante (X) (la mayoría de empresas productoras de tuberías plásticas para sistemas de saneamiento y drenaje son multinacionales; por respeto a la competencia no mencionaremos el nombre de la entidad implicada) basándose en datos empíricos, indicaba en su publicidad que sus productos permitían conseguir las mismas condiciones de funcionamiento que el obtenido con tuberías de hormigón utilizando un diámetro inferior.



Tras acudir a los tribunales, los productores de tuberías de hormigón franceses consiguieron que se dictase una sentencia por publicidad engañosa. A continuación reproducimos algunos fragmentos de la misma:

*"El estudio profundizado del peritaje y de las piezas fabricadas por las partes permite afirmar que la S.A. (X) no podía respaldar, en los dos anuncios cuestionados, concernientes únicamente al saneamiento, que las prestaciones hidráulicas del PVC **–permiten en numerosos casos ganar un diámetro a la hora del dimensionamiento de la red–** y sobre todo que **–así, el diámetro 800 puede remplazar un 1000 de hormigón hasta un caudal máximo de 1365 l/s–** apoyándose en un gráfico aparentemente ajustado técnicamente cuando ninguna experiencia, ni ningún dato formal científico o técnico permitían, incluso en esa época, calcular, tal y como lo ha hecho, para aplicar la formula de STRICKLER, un coeficiente K de 120, para el PVC, y de 70 para el hormigón, sin darle importancia a que ella misma y otras empresas ya hayan invocado estos coeficientes en publicaciones anteriores que de hecho concernían a tubos de diámetro inferior, habiéndose observado que el perito, en una nota de síntesis, ha precisado que, según consideraciones hidráulicas consolidadas, la naturaleza del material tiene una influencia aún más débil según aumenta el diámetro".*

Los dos fragmentos que hemos señalado en negrita, formaban parte del folleto informativo de la empresa (X), fabricante de tuberías plásticas.

Como se ha indicado al comienzo de la exposición de este caso, el folleto fue denunciado por publicidad engañosa ante la Justicia Francesa, que por Sentencia Firme, con fecha 12 de Septiembre de 2002, **ORDENÓ** a la empresa en cuestión:

"Cesar toda difusión y toda utilización de la publicidad censurada, y esto bajo pena provisional de 2.000 €, por día e infracción, debidamente constatada pasado el plazo de un mes a contar desde la presente sentencia".

Además de lo indicado, por la importancia que esto tiene para el técnico que va a dimensionar una red, para el que la supervisa o para aquel que la implementa, se transcriben algunos párrafos de la mencionada sentencia:

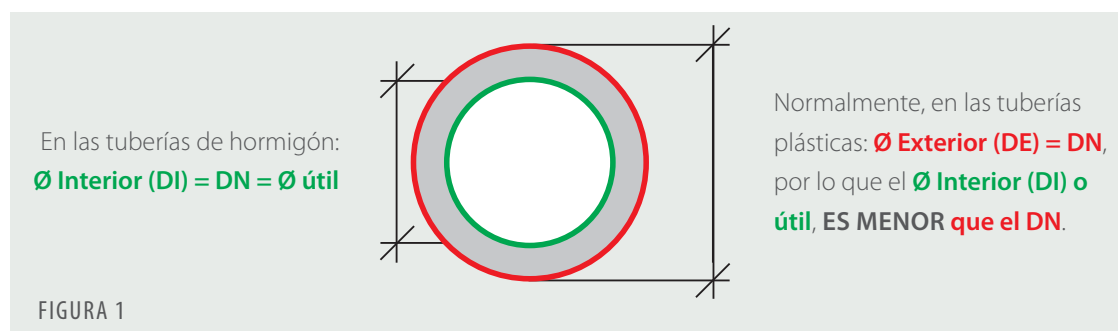
- *"Habiéndose observado que el perito, en una nota de síntesis, ha precisado que, según consideraciones hidráulicas consolidadas, **la naturaleza del material tiene una influencia aún más débil según aumenta el diámetro**".*
- *"La norma NFP 16 – 100 de 1998, que tenía como objeto, según su artículo 1.1, definir las propiedades mínimas exigibles, así como las especificaciones y los métodos de ensayo, relativos especialmente a los tubos circulares y, de forma general, a todos los elementos constitutivos de las redes de saneamiento, precisa, en su artículo 6.2.2, que para los elementos de las redes que tengan sus generatrices rectilíneas, **la rugosidad de la pared interior ligada a la naturaleza del material no influye, más que de manera poco significativa, sobre la capacidad de la red en servicio...**".*

- **“Que esta publicidad, incluso si está dirigida esencialmente a profesionales de la instalación de canalizaciones, que no tienen de hecho obligatoriamente todos los conocimientos requeridos sobre la fabricación de éstas y sus prestaciones antes de haber podido probarlas, sobrepasa la tolerancia admisible de una sana concurrencia”.**

En España esta práctica es, desafortunadamente, muy común. Existen multitud de ejemplos de fabricantes de tuberías de plástico que no tienen rubor alguno en confeccionar folletos claramente tendenciosos y con contenidos engañosos.

4.4. Capacidad hidráulica real

- El diámetro útil (interior) comercializado por la mayoría de fabricantes de tuberías plásticas no es aquel con el que catalogan sus tuberías. Esa catalogación se hace en la inmensa mayoría de los casos según la clase DN/OD. Esto implica que se da como diámetro nominal el exterior. El diámetro interior es, por tanto, el resultado de restar al nominal el doble del espesor indicado por el fabricante.
- En las tuberías de hormigón el diámetro nominal corresponde siempre al Ø interior útil de la tubería (Figura 1).



- Los pozos de registro, cambios de sentido, pendientes, etc. tienen más importancia para el cálculo real de la pérdida de carga, modificando sustancialmente valor “n” del tubo a instalar.
- La diferencia aparece cuando, **debido a lluvias torrenciales, la red entra en carga**. Muchas de las inundaciones que actualmente se producen, aún con una correcta evaluación de los caudales a evacuar, se deben a que la red de saneamiento posee diámetros menores de los necesarios, como consecuencia de la utilización de un coeficiente de Manning inferior al real y/o por la confusión que se produce ante la dificultad de comparar diámetros interiores de tuberías plásticas (OD) y tuberías de hormigón a partir de diámetros nominales.



En el siguiente cuadro se muestra una lista de Diámetros Nominales (DN en mm.) y diámetros interiores (DI en mm) de diferentes tuberías plásticas (tipo B –corrugadas-), de clase SN 8. Esta tabla ha sido extraída de la norma UNE-EN 13476 y en ella se fijan los diámetros interiores mínimos a exigir a las tuberías plásticas clasificadas con diámetro nominal según la serie OD. Como puede observarse se corrobora lo indicado en la Figura 1.

Diámetros interiores medios mínimos					Espesor mínimo de pared		Embocadura ^a
Serie DN/OD			Serie DN/ID				
	PVC-U ^b	PP/PE ^{b,c}					
DN/OD	<i>d</i> _{im,min.}	<i>d</i> _{im,min.}	DN/ID	<i>d</i> _{im,min.}	<i>e</i> _{4,min.}	<i>e</i> _{5,min.}	<i>A</i> _{min.}
110	97	90	100	95	1,0	1,0	32
125	107	105			1,1	1,0	35
			125	120	1,2	1,0	38
160	135	134			1,2	1,0	42
			150	145	1,3	1,0	43
200	172	167			1,4	1,1	50
			200	195	1,5	1,1	54
250	216	209	225	220	1,7	1,4	55
			250	245	1,8	1,5	59
315	270	263			1,9	1,6	62
			300	294	2,0	1,7	64
400	340	335			2,3	2,0	70
			400	392	2,5	2,3	74
500	432	418			2,8	2,8	80
			500	490	3,0	3,0	85
630	540	527			3,3	3,3	93
			600	588	3,5	3,5	96
800	680	669			4,1	4,1	110
			800	785	4,5	4,5	118
1.000	864	837			5,0	5,0	130
			1.000	985	5,0	5,0	140
1.200	1.037	1.005			5,0	5,0	150
			1.200	1.185	5,0	5,0	162

a: Para la elección de los requisitos *A*_{min.} para una embocadura, remitirse al material y a la construcción del tubo. Para tubos de una longitud superior a 6m se recomienda producir una *A*_{min.} más grande que la especificada en esta tabla.

b: El diámetro interior real de un tubo depende del material, la construcción y de la rigidez. Puede ser mayor que el mínimo especificado en esta tabla. Para más información véase la documentación del fabricante.

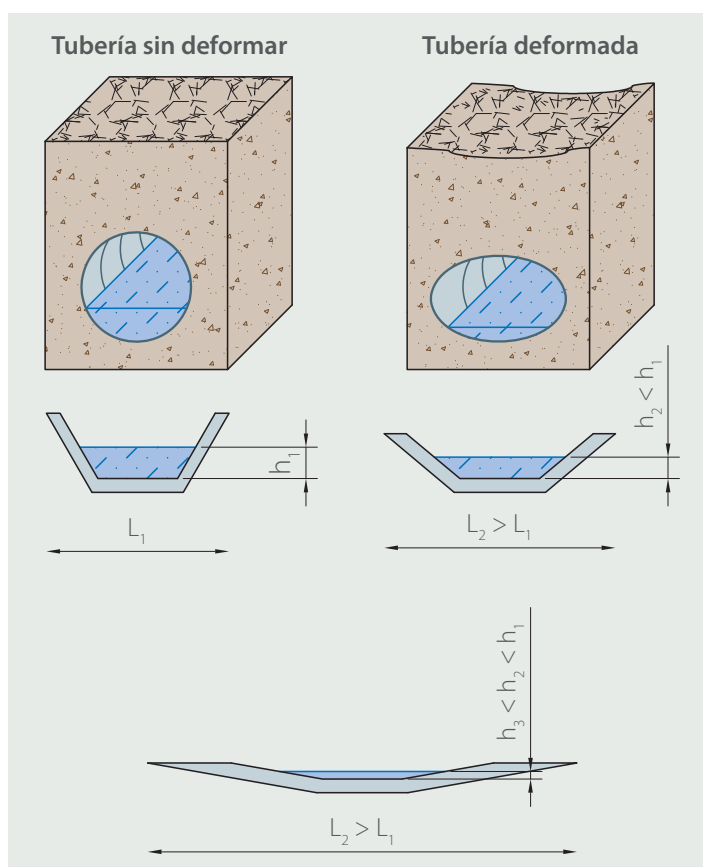
c: El diámetro interior medio mínimo, *d*_{im,min.} de un accesorio no debe ser inferior al 98% del diámetro interior medio mínimo especificado del tubo para el que se ha diseñado o debe ajustarse a esta tabla, el valor que sea mayor.

En algunas tuberías plásticas estructuradas (Tipo B corrugadas) aparece un fenómeno denominado en literatura anglosajona como *corrugation growth*, y que tiene mayor incidencia cuanto mayor es el diámetro instalado. Esta deformación de la superficie interior, que aparece cuando la tubería está en uso, es debida a la transmisión de tensiones de la capa exterior, corrugada, a la capa interior, lisa. Debido a esa transmisión de tensiones se produce una ondulación de la capa interior y, como consecuencia, una importante reducción de su capacidad hidráulica original.



En tuberías de diámetro suficientemente grande puede apreciarse esa ondulación interior incluso cuando la tubería es nueva y nunca ha sido usada. Cualquiera que se pase por una feria del agua puede comprobarlo.

Según la Norma UNE – EN 13476, se considera que la deformación máxima que puede llegar a alcanzar un sistema de saneamiento para que su funcionamiento siga siendo apto es de un 15%. Cuando una tubería se deforma la sección del conducto se ovala, de tal forma que en aquellas condiciones en que el tubo esté funcionando semilleno (régimen normal de funcionamiento) se producirá un descenso en la capacidad hidráulica. Esto se debe a dos razones diferentes: por un lado, tal como se ve en el esquema de la derecha, aumenta la interfaz entre la pared y el fluido, responsable del ro-



zamiento viscoso. Por otro lado, la columna de agua de la sección disminuye en altura, con lo que el fluido pierde energía y el caudal disminuye.

En vista de lo anterior y teniendo presente la igualdad de las tuberías de plástico y las de hormigón armado en cuanto a su coeficiente de rugosidad, podemos afirmar que:

Al ser la "n" de Manning la misma para las conducciones de hormigón y las de plástico, a igualdad de diámetro nominal (DN), las tuberías de Hormigón gozan de una mayor capacidad hidráulica que muchas de las tuberías de plástico, ya que su diámetro interior (ID) es mayor, su superficie interior es cilíndrica (sin ondulaciones) y no se deforman.

Puede encontrarse más información acerca de lo aquí citado en:

- "Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje Urbano", publicada por CEDEX en Enero 2007.
- Documentación variada de la *American Concrete Pipe Association* (ACPA).
- "Cálculo hidráulico de las conducciones de saneamiento y drenaje. Valor del coeficiente de rugosidad recomendado para la formula de Manning". Informe de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.

CAPÍTULO 5

CAPACIDAD PORTANTE Y DURABILIDAD

Las tuberías de hormigón armado son estructuras capaces de soportar las solicitaciones mecánicas a las que deban verse sometidas por sí mismas.

Las tuberías de plástico son flexibles. Sin la contribución estructural del terreno, son incapaces de hacer frente a las cargas que sobre ellas actúan, por lo que pasan a ser dependientes de una instalación realizada in situ y pierden las ventajas que aporta el control ejercido sobre proceso de producción y producto terminado de un elemento prefabricado.



Además de ser robustas, las tuberías de hormigón armado tienen una vida útil muy superior a la de las tuberías plásticas, dado que, mientras que la resistencia del hormigón aumenta con el tiempo, la de los materiales plásticos disminuye.

La excelente durabilidad de las tuberías de hormigón armado se debe a la baja relación agua/cemento del hormigón prefabricado, a la gran capacidad resistente a compresión del hormigón, a su alta densidad y a los exigentes controles de calidad llevados a cabo en fábrica.

En muchos países los costes asociados a las reparaciones y mantenimiento de los sistemas de saneamiento y drenaje han ascendido a niveles tales que las administraciones públicas se han visto obligadas a elevar sustancialmente las exigencias de calidad. En Alemania, por ejemplo, el coste estimado asociado a la reparación de sistemas de saneamiento defectuosos fue en el año 1995 de unos 100 mil millones de marcos alemanes: Unos 50 mil millones de euros (*). Con el aumento del porcentaje instalado de tuberías de plástico, con una vida útil entre un 40 y un 50% inferior a la de las tuberías de hormigón armado, estos gastos se dispararán en los próximos años.

5.1. Capacidad portante

En el caso de los tubos de hormigón, al residir en ellos prácticamente la totalidad de la capacidad resistente del sistema, se aprovechan todas las ventajas de la prefabricación: procesos auto-

(*) Valores de 1995: no se ha tenido en cuenta la inflación acumulada desde 1995 hasta la actualidad.

matizados, estrictos controles de calidad... Se garantiza así una alta calidad, no sólo en la propia tubería, sino en el conjunto de la instalación.

Las dosificaciones de cemento y acero para la fabricación de los tubos de hormigón armado, así como los espesores y diámetros, están normalizados, quedando así determinada su capacidad mecánica. Esta capacidad mecánica es verificada en fábrica a través de estrictos controles de calidad. Todo tubo de hormigón armado conforme con la normativa vigente (UNE-EN 1916) tiene pues garantizada su capacidad portante, por lo que no es necesario realizar ensayos posteriores en obra (tubos con marca de calidad de producto).

Por si fuera poco, la capacidad resistente de los tubos se comprueba a través de controles estadísticos mediante ensayos destructivos, que garantizan que los tubos son capaces de resistir las cargas, tanto de fisuración (tubos de hormigón armado) como de rotura, que estipula la clase resistente con que estén marcados.

El comportamiento estructural de las tuberías de hormigón armado depende en muy poca medida de las condiciones de instalación, por lo que se elimina la incertidumbre que conllevan los trabajos de instalación a realizar en obra.

Las características resistentes del hormigón mejoran en el tiempo, lo que se traduce a su vez en una mayor garantía de su resistencia estructural a largo plazo.

5.1.1. Respuesta estructural del sistema tubería-terreno

Es muy frecuente la división de los tubos en rígidos y flexibles según sea su comportamiento mecánico ante las solicitaciones a las que estén expuestos. Si bien no es muy precisa la frontera entre uno y otro tipo, la opción más extendida es entender la condición de rígido o flexible, no como una propiedad del tubo únicamente, sino del conjunto que forman el propio tubo y el terreno de relleno que lo rodea (zanja, cama de apoyo y terreno de aportación). Los tubos flexibles son aquellos que admiten grandes deformaciones por la acción de las cargas verticales, produciéndose un efecto de ovalización. Una vez el tubo está instalado en su zanja, al verse solicitado, aumenta el desplazamiento horizontal de sus flancos, con lo que se produce una interacción suelo-estructura que moviliza los esfuerzos pasivos del terreno.



En las tuberías rígidas, en cambio, la deformación bajo cargas de servicio es despreciable y, por lo tanto, su respuesta depende únicamente del propio tubo. Esto no implica que el tipo de instalación que se realice no tenga ninguna influencia. También en el caso de las tuberías de hormigón, la compacidad de la cama y el terreno lateral contribuyen a la transmisión de cargas laterales, lo que favorece que el tubo trabaje a compresión a lo largo de toda su circunferencia, resistiendo mayores cargas. Por tanto, el terreno (la manera en que el tubo esté instalado) puede influir favorablemente en la capacidad del tubo para resistir las solicitaciones a las que éste se vea sometido. La diferencia estriba en que para las tuberías de hormigón no es necesaria compactación alguna a la hora de instalar el tubo, siendo ésta una opción con la que el prescriptor puede contar en su labor de determinar la opción más conveniente en términos económicos, de rapidez de ejecución o prácticos, a la hora de realizar la puesta en obra.



Fuente: ACPA

Una correcta y estricta compactación no sólo es indispensable en el caso de instalaciones de tuberías plásticas, sino además normativamente obligatoria. Se convierte así la compactación, que obviamente es realizada *in situ*, en un factor extremadamente crítico respecto a la respuesta estructural del sistema. En los sistemas llevados a cavo con tuberías plásticas debe compactarse desde la cama del tubo hasta, por lo menos, 15 cm por encima de su plano de clave, de acuerdo con la norma UNE-EN 13476. Según el manual de ASETUB esa cobertura sobre el plano de clave deberá ser, como mínimo, de 30 cm.

Para fijar ideas, y aunque para diámetros pequeños las tuberías plásticas podrían presentar un comportamiento semiflexible, en este capítulo se considera que los tubos de hormigón tienen un comportamiento rígido y los plásticos flexible.

El dimensionamiento de las tuberías rígidas de hormigón consiste en verificar que el estado tensional ocasionado por los esfuerzos que generan las cargas externas es inferior al admisible, de forma que no se sobrepasen los límites de fisuración y rotura. Dicho cálculo está basado en la teoría de Marston-Spangler, y se realiza en base a lo especificado en el Anexo M de la norma UNE-EN 127.916. Para aquellas opciones de instalación en que el terreno contribuya se define el factor de apoyo. Bajo cada condición concreta de instalación, la carga que realmente es capaz de soportar el tubo es FA veces la que soportaría si no existiesen reacciones de ningún tipo por parte del terreno.

En cambio, el dimensionamiento de las tuberías flexibles atiende a un criterio de deformación, definiéndose la rigidez circunferencial, pilar del cálculo mecánico de éstas, para una deformación del 5%.

Actualmente la normativa europea (EN 13476) admite que la tubería puede llegar a alcanzar **deformaciones de hasta un 15% "sin que esto suponga un grave perjuicio en las propie-**

dades de la conducción". Esta "exigencia" no es rigurosa técnicamente, ya que esto supondría una caída significativa de los valores hidráulicos y mecánicos con los que se calculó el proyecto, además de un riesgo de pérdida de estanquidad. El pliego del MOPU de 1986 y el "Manual técnico sobre tuberías de PVC- U (página 262, edición 2006, publicado por ASETUB)", fijan un límite máximo de un 5%.

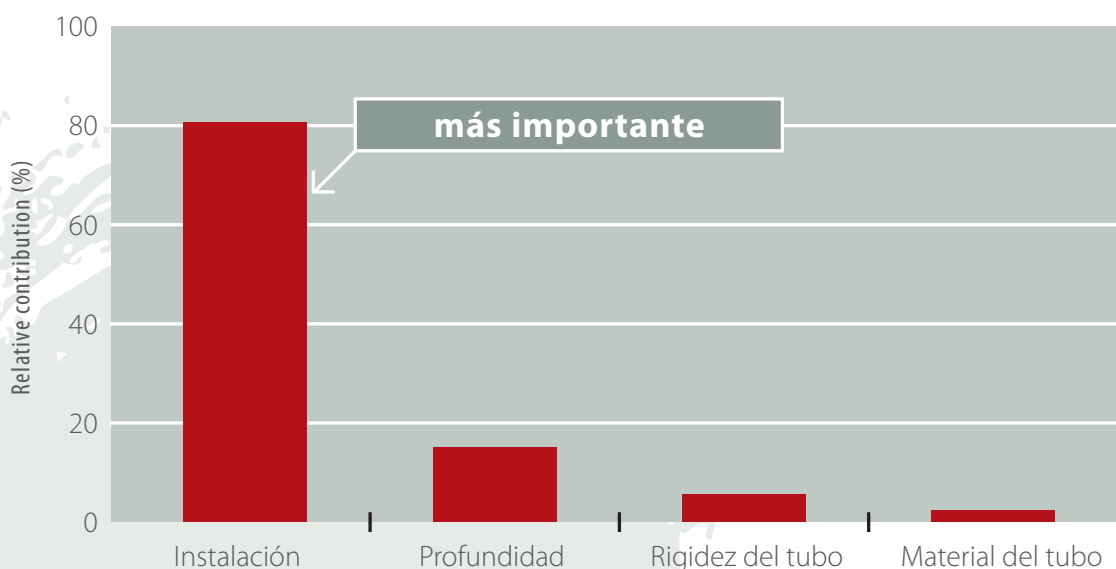


Fuente: BASAL

A día de hoy se instalan tuberías plásticas de gran diámetro. El 15% de 1.500 mm son 225 mm. El riesgo de asientos en calles y carreteras aumenta sustancialmente.

La experiencia demuestra las dificultades que tienen las tuberías flexibles para no rebasar el límite establecido del 5%. Tuberías que llevan un tiempo relativamente corto en el mercado y de cuyo comportamiento, sobre todo a largo plazo (fluencia), no se tiene una suficiente experiencia. Como consecuencia de los problemas que han ido apareciendo, en Estados Unidos la deformación máxima admitida por las normativas ASTM referentes a tuberías plásticas se ha reducido al 5%.

La diferencia fundamental en cuanto al comportamiento estructural de las tuberías de hormigón y las de plástico es que, si bien las primeras son, estrictamente hablando, una estructura, no sucede lo mismo con las segundas. La carga vertical que recibe una tubería de plástico la deforma. Es el terreno que se encuentra en los laterales de la tubería quien ejerce un empuje pasivo que evita



TEPPFA (Asociación Europea de Tuberías de Plástico y Accesorios) sostiene que la deformación depende **casi por completo** (80%) de la instalación (fuente: informe de TEPPFA).

la excesiva deformación y el consecuente posible colapso de la tubería. Pero esta premisa sólo se cumple de manera adecuada si el terreno de los laterales del tubo ha sido compactado correctamente. Por lo tanto, un sistema de tuberías plásticas es, desde el punto de vista del comportamiento mecánico, una estructura formada por los tubos de plástico y por el terreno que los circunda.

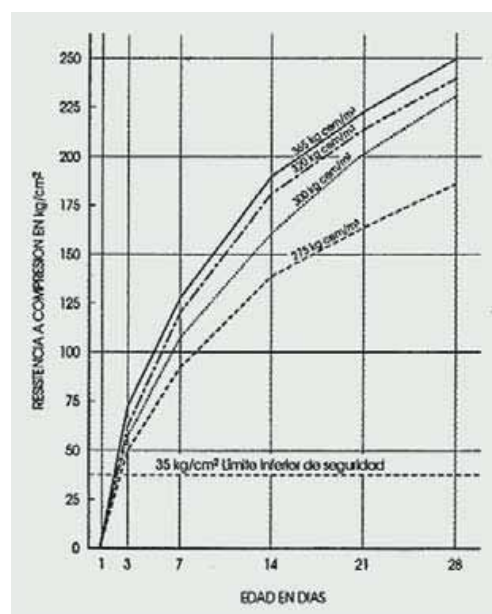
La respuesta estructural de las tuberías de plástico depende de la interacción que tiene lugar entre los tubos, el terreno de relleno o aportación y el terreno natural. Esto indica que el elemento resistente de mayor importancia es, a diferencia de los sistemas de tuberías de hormigón, el terreno que envuelve a los tubos. Por lo tanto, la respuesta estructural de estos sistemas de tuberías es altamente dependiente tanto de los materiales utilizados en su instalación como de las condiciones de ejecución. Diversos estudios fijan la dependencia del comportamiento de los sistemas de saneamiento plásticos frente a la instalación en hasta un 90%. Lo que reflejamos en la siguiente gráfica son las conclusiones de un informe de TEPPFA (*European Plastic Pipes and Fittings Association* –Asociación Europea de Tuberías y Accesorios Plásticos–), en el que se concluye que la influencia de la instalación es de un 80%.

Actualmente, una conducción de hormigón armado ofrece los niveles de resistencia adecuados (permite la fabricación de tubos a la carta) a las solicitaciones, tanto exteriores como interiores, asegurando la evacuación de las aguas sin riesgo de erosión o fugas.

El desarrollo de nuevos sistemas de unión elástica entre las tuberías, mediante juntas especiales de estanquidad, obligatorias para cualquier sistema de tuberías de hormigón de acuerdo con la normativa en vigor, UNE-EN 1916, (ver Capítulo 5), nos aseguran una unión hermética y flexible, lo cual es una ventaja importante para las instalaciones en redes de saneamiento, pues los tubos se van adaptando con mayor facilidad al trazado irregular del terreno y absorben con mayor facilidad y seguridad los asentamientos posteriores a la instalación y puesta en uso de la red.

Al hormigón armado no le perjudica el paso del tiempo. Al contrario. La resistencia de los tubos crece con el paso de los años. Sus componentes son materias primas naturales que se incorporan al producto inalteradas, siendo la intervención del hombre mínima.

Una conducción de hormigón armado es resistente *per se*, ya que es un elemento rígido, a diferencia de tuberías flexibles, que se deforman cambiando su sección y por tanto reduciendo su capacidad hidráulica.



Frente a las tuberías de plástico, las de hormigón tienen un mejor comportamiento en situación de presión negativa. En tuberías flexibles, la depresión puede dar lugar al aplastamiento de las mismas. En redes de saneamiento este fenómeno se da normalmente cuando la tubería entra en carga.

Contra el ataque químico las tuberías de hormigón disponen de soluciones adaptadas a las clases de exposición establecidas en la EHE, conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 127916/2004.

5.1.2. Rigidez circunferencial en las tuberías de plástico

A la luz de lo explicado anteriormente, a la hora de considerar el comportamiento estructural de las tuberías plásticas debemos hablar de rigidez circunferencial específica (Rigidez Anular).

En la normativa europea UNE-EN 13476-3, referente a tubos y accesorios con superficie interna lisa y superficie externa corrugada (Tipo B), para sistemas de evacuación y saneamiento enterrados sin presión, se distinguen las siguientes rigideces anulares nominales:

- Para tubos con $DN \leq 500\text{mm}$: SN4, SN8 y SN16
- Para tubos con $DN > 500\text{mm}$: SN2, SN4, SN8 y SN16

Estos valores indican la rigidez anular inicial del tubo (2, 4, 8 y 16 kN/m^2 , respectivamente). Como hemos indicado anteriormente, en el caso de las tuberías de plástico, la rigidez decae progresivamente con el tiempo, debido al fenómeno de fluencia, que consiste en un "envejecimiento" o "regresión" de los tubos, una vez los tubos están sometidos a las sollicitaciones mecánicas que deben soportar en condiciones de servicio. La evolución temporal de este proceso no es igual para todos los materiales plásticos. Cada tipo de material tiene sus propias curvas características de regresión.

En la fórmula utilizada para el cálculo de la rigidez circunferencial específica (**RCE**) de las tuberías plásticas intervienen:

- El módulo de elasticidad del material (E_c).
- El momento de inercia de la pared del tubo (I).
- El diámetro medio del tubo (dm).

$$RCE = E_c \cdot I / dm^3$$

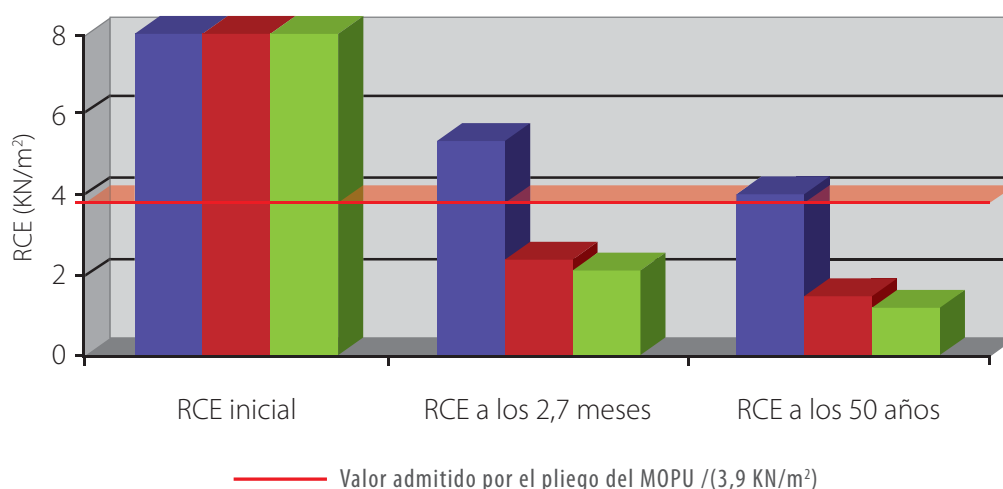
Para un tubo corrugado SN 8 de un mismo diámetro nominal, los diferentes fabricantes juegan con los valores anteriores para conseguir una rigidez inicial de 8 kN/m^2 .

Teniendo en cuenta que el valor de E_c es una propiedad del material utilizado (aunque variable en el tiempo), tan solo es posible jugar con los valores I , y dm para conseguir la RCE deseada. Esto implica siempre una mayor altura de la corruga (para aumentar el valor de I), lo que deriva en diámetro interno menor $\rightarrow$ menor capacidad hidráulica.

La caída de la rigidez debida a la variación que sufre el modulo de elasticidad, en los diferentes tubos de plástico, es función del material con el que estén fabricados y del tiempo en uso. En la Tabla 2 podemos ver una comparativa de la evolución de la rigidez circunferencial en el tiempo de diferentes tipos de tuberías, según la norma DIN 16961–2.

TABLA 2

	RCE Inicial	RCE a los 2,7 meses	RCE a los 50 años
Tuberías de PVC	8,00	5,33	4,00
Tuberías de PE	8,00	2,42	1,50
Tuberías de PP.	8,00	2,11	1,20



Como puede observarse, en una tubería de U-PVC la resistencia a los 50 años es 2 veces menor que la inicial, en una de PE es 5,33 veces menor y en una de PP 6,7 veces menor. En una tubería de hormigón la resistencia a los 50 años es, como ya se ha comentado anteriormente, mayor que la inicial (a 28 días).

Por otro lado, determinados materiales plásticos como el Polietileno o el PRFV sufren un proceso, que en la literatura anglosajona se denomina *Environmental Stress-Corrosion Cracking*, que traducido a nuestro idioma sería algo así como "rotura por fatiga", o "tensión ambiental". Este fenómeno se define como el fallo acelerado del material debido a la acción combinada de las tensiones producidas por una mala instalación (grandes deformaciones) y la propiedad de regresión del propio material, junto con la acción agresiva de ciertos agentes químicos que degradan el material del que está compuesta la tubería. En esa situación de máxima debilidad, en la que el material está trabajando en condiciones que lo sitúan en un punto cercano a su límite de fluencia, el material plástico se vuelve vulnerable al ataque de algunos productos químicos tales como aceites, alcoholes y detergentes, a los cuales sería, en condiciones normales, perfectamente resistente.

Por tanto, la resistencia del polietileno a los agentes agresivos depende tanto del agente como del estado de tensión, que es variable debido al fenómeno de la regresión por fluencia y a las condiciones de instalación.

La resistencia en las tuberías de hormigón armado **crece con los años en servicio.**

La resistencia en las tuberías plásticas **decrece con los años en servicio.**

Puede encontrarse más información acerca de lo aquí citado en:

- “Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano”, publicada por el CEDEX en enero 2007.
- “Sistemas de saneamiento con tuberías plásticas estructuradas”, conferencia impartida en el curso técnico de Ávila por el gerente de saneamiento de Uralita sistemas de tuberías.
- “Estudio del fenómeno de craqueo por tensión ambiental”, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Materiales.

5.2. Durabilidad de las tuberías de hormigón

Hablar de antigüedad y funcionalidad en conducciones de fluidos es hablar de los antepasados de las actuales conducciones de hormigón. Existen pocos materiales que hayan tenido una presencia histórica tan extensa y continuada a lo largo de la historia como el hormigón. Es éste un material de construcción ya usado en las épocas antigua y clásica que, habiendo cumplido con su cometido entonces (aún tenemos vestigios de aquellas aplicaciones) ha evolucionado con el tiempo, mejorando y perfeccionando sus características.

Qué duda cabe de que aquellas conducciones, pese a cumplir el fin para el cual fueron fabricadas, presentaban múltiples problemas.

Alguien podrá decir que las actuales tuberías de hormigón no poseen parecido alguno con





De las obras hidráulicas que nos han legado los romanos las más conocidas son sin duda los acueductos, pero no son las únicas. Ya por aquel entonces se fabricaban conductos de hormigón, algunos de los cuales han perdurado hasta nuestros días.

En la imagen se puede observar el interior de una red constituida por tubos de hormigón que fue construida por los romanos en las inmediaciones de Jerusalén.

aquellas de la antigüedad. Es cierto. Pero también lo es, que las materias primas con las que se fabricaban aquellas y las que se utilizan hoy son en básicamente las mismas: agua, piedras, arena y un aglutinante.

El aglutinante usado en aquel entonces era la cal. Hoy en día ese aglutinante es el cemento.

Han mejorado pues, tremendamente, tanto los procesos de fabricación, como el aglutinante utilizado, pero el concepto sigue siendo idéntico. El mismo que lleva milenios funcionando satisfactoriamente.

5.2.1. Patologías del hormigón

Uno de los argumentos tradicionalmente utilizados contra las tuberías de hormigón ha sido, y es, su relativa durabilidad en el tiempo, debido a las patologías propias del hormigón. A continuación se describen estas patologías, citando las medidas con las que los hormigones modernos combaten cada uno de estos enemigos:

a) Acciones físicas:

Al igual que ocurre con cualquier otro material, el hormigón puede deteriorarse como consecuencia de ciertas acciones físicas a las que puede verse sometido.

En las tuberías de hormigón armado, los efectos destructivos que pueden ocasionar la erosión, la cavitación, la abrasión y los ciclos de hielo/deshielo quedan reducidos a límites prácticamente insignificantes, dado el espesor de las paredes de estos tubos y el acabado liso y poco poroso que se obtiene en su superficie gracias a los importantes avances que se han experimentado en la fabricación.

Los principales efectos físicos que pueden afectar a las tuberías de saneamiento y drenaje son la abrasión, el efecto de los ciclos de hielo/deshielo y el efecto de los chorros de agua a presión usados para limpiar las tuberías de los sistemas de saneamiento de depósitos.

a.1) Abrasión

Las tuberías de hormigón armado son, en términos absolutos, más sensibles a este fenómeno que las de plástico: bajo unas mismas condiciones, los sólidos que se encuentran suspendidos en el fluido son capaces de arrancar más milímetros a una tubería de hormigón armado que a una tubería de plástico. Sin embargo, las tuberías de plástico presentan espesores reducidísimos en su pared interior, con una clara tendencia a seguir disminuyendo con el paso de los años. Este hecho, combinado con unas tolerancias demasiado permisivas dadas las magnitudes de dichos espesores, sitúa a las tuberías de plástico en una posición de clara desventaja en cuanto a resistencia a la abrasión se refiere.

La actual normativa vigente para sistemas plásticos de saneamiento, UNE-EN 13476, determina unos espesores mínimos admisibles de entre 1 y 5 mm (DN110 y DN1200, respectivamente).

En el caso de los tubos de hormigón armado, el espesor mínimo exigido por la norma UNE-EN 127916 está entre 42 y 280 mm para las tuberías de hormigón (DN150 Y DN3000, respectivamente; 125 mm para DN1200). El recubrimiento mínimo exigido (espesor desde la superficie del tubo hasta su armadura) es de 20 mm.

Como se puede observar, los órdenes de magnitud son muy dispares.

Los datos que se acaban de aportar implican que, incluso en condiciones de laboratorio (sin haberse desarrollado depósitos ni biofilm en las paredes de la tubería) bajo las cuales las tuberías de hormigón sufrirían un mayor desgaste por abrasión en términos absolutos, dado lo superior del recubrimiento de un tubo de hormigón armado frente al espesor de la pared interna de una tubería plástica del mismo diámetro nominal, las tuberías de hormigón armado son más resistentes a la abrasión que las tuberías de plástico.

Por tanto, porcentualmente (milímetros arrancados frente a milímetros de espesor), las tuberías de plástico pueden tener serios problemas debido a la abrasión, mientras que las tuberías de hormigón no notarán en lo más mínimo los efectos de la abrasión a lo largo de su vida útil.

En cualquier caso, el efecto de la abrasión que un determinado efluente produce sobre una tubería de hormigón armado puede ser controlado mediante la elección de áridos que presenten la dureza adecuada.

El dimensionamiento de las tuberías de hormigón garantiza una resistencia al desgaste indefinida.



La pared de las tuberías de hormigón armado es maciza. Frente a las tuberías plásticas estructuradas de tipo B (superficie exterior corrugada e interior lisa), que presentan paredes interiores de apenas unos milímetros, las tuberías de hormigón armado son, a efectos prácticos, inmunes a la abrasión a lo largo de su vida útil.

a.2) Hielo

Cuando los vasos capilares del hormigón presentan agua y la temperatura ambiente es muy fría, puede darse la situación de que este agua se hiele. El aumento de volumen del agua, al pasar a estado sólido, puede ejercer un efecto de cuña que fomente la proliferación de grietas, reduciendo la vida útil del hormigón.

Dado que los sistemas de saneamiento están enterrados, la acción de las heladas se ve paliada enormemente.

Para sistemas de drenaje o para aquellos sistemas de saneamiento situados en climas extremadamente fríos (los cuales no son demasiado comunes en nuestro país) existen también medidas específicas capaces de paliar los posibles efectos de las heladas en el interior del sistema.



El uso de aditivos fluidificantes y aireantes mejoran las características reológicas de la masa del hormigón.

Los fluidificantes posibilitan la fabricación de un hormigón con una relación "a/c" menor a la alcanzable con un hormigón estándar, que presenta, ya de por sí, unos valores muy bajos en dicha relación. Esto se traduce en una mayor compacidad (menor capilaridad del hormigón).

Los aireantes posibilitan la obtención de un hormigón con microburbujas ocluidas, que interceptan los capilares. Estas microburbujas actúan como cámaras de expansión:

- Minoran la absorción de agua, ya que el efecto capilar se ve interrumpido en la intersección.
- Actúan como cámara en la que el hielo puede expandirse sin producir tracciones en el hormigón.

a.3) Limpieza a alta presión

Los sistemas de saneamiento deben ser sometidos a una serie de procesos periódicos de mantenimiento, con el objetivo de mantenerlos en óptimas condiciones de servicio. Una de las más importantes y frecuentes de estas labores es la limpieza de depósitos sólidos.

Pese a que la tubería haya sido correctamente diseñada desde el punto de vista hidráulico, alcanzando el fluido en su interior la velocidad mínima de autolimpieza bajo cualquier condición de operación, es necesario eliminar periódicamente los depósitos sólidos que se van formando en su superficie interior. Estos depósitos son eliminados mediante sistemas que inyectan y distribuyen chorros de agua a alta presión en el interior del sistema.



Mientras que las tuberías de hormigón armado aguantan la acción de chorros a una presión superior a 300 bar, las tuberías de plástico pueden sufrir daños durante el proceso de limpieza cuando la presión necesaria para eliminar los depósitos difíciles sea superior 120 bar.

b) Acciones Químicas

La resistencia que presenta el hormigón al ataque químico por determinadas sustancias depende fundamentalmente de su permeabilidad y de la distribución y tamaño de los poros.

A la tecnología aplicada en la fabricación de las tuberías de hormigón armado y al uso de aditivos fluidificantes y aireantes se une la utilización de sofisticados equipos de dosificación que permiten ajustar las granulometrías y la relación agua/cemento a valores óptimos, gracias a lo cual se incrementa la resistencia del hormigón y se consigue una disminución significativa en su porosidad.

Las tuberías de hormigón armado pueden sufrir agresión química principalmente de las siguientes maneras:

- Por disolución de los compuestos fácilmente solubles del propio hormigón (lixiviación).
- Por la formación de sales, también solubles, y extracción de las mismas cuando haya un exceso continuo de agua.

- Por ataque con formación de compuestos insolubles de mayor volumen que los primitivos y que al recrystalizar pueden, dentro del sistema capilar, dar lugar a una expansión que produce tensiones mecánicas.

Los dos primeros casos se producen cuando el agua circulante es muy pura y está exenta de minerales.

En todos los casos, las acciones químicas que pueden actuar sobre las tuberías de hormigón armado pueden minimizarse, e incluso eliminarse, consiguiéndose así una protección muy alta frente al ataque químico.

Anteriormente se han descrito procesos que permiten disminuir la permeabilidad y la absorción en los elementos de hormigón. Si el grado de agresividad de los productos químicos fuese muy elevado, se puede impermeabilizar los elementos de hormigón con diferentes procedimientos, consiguiendo evitar que los agentes agresivos para el hormigón armado penetren en éste. Para esto se dispone de las siguientes herramientas:

- Aditivos reductores de la penetración de agua: estos aditivos aumentan la resistencia al paso del agua a presión sobre el hormigón.
- Aditivos hidrófugos: disminuyen la absorción capilar.
- Empleo de microsilíce: además de mejorar la permeabilidad, tiene la ventaja de fijar la cal liberada y de aumentar la resistencia del hormigón.
- Empleo de filler calizo: aumenta la alcalinidad del hormigón, protegiéndolo de los ataques ácidos.

Además de las soluciones aplicadas directamente a la masa de hormigón, existen tratamientos posteriores a la fabricación de la tubería que permiten su total impermeabilización:

- Polímeros sintéticos: resinas epoxi o de poliuretano.
- Morteros.

La impermeabilización de los elementos no es tampoco la única medida, existen otras específicas que previenen ataques específicos, como pueden ser los producidos por:

- Sulfatos: es una de las causas de agresión más peligrosas. El ataque por sulfatos se produce por la combinación del ión sulfato con el aluminato de calcio hidratado del cemento y con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento. La primera combinación (ión sulfato + aluminato de calcio hidratado) produce Etringita (sulfo-aluminato de calcio). La segunda (ión sulfato + hidróxido de calcio) produce yeso. Ambos son expansivos: su volumen es sustancialmente mayor que el de los depósitos reactantes que los formaron. Como consecuencia se produce una disgregación del hormigón. Para que la reacción de ataque de los sulfatos sobre el hormigón tenga lugar es preciso que el contenido en alu-

minato tricálcico del cemento supere determinados límites. **Los cementos SR, poseen un contenido en aluminato tricálcico lo suficientemente bajo como para evitar que el ataque químico por sulfatos comprometa la integridad estructural del hormigón.**

- Por corrosión de la armadura: debido a la alcalinidad que le confiere al hormigón la portlandita, procedente de la hidratación del cemento, así como los alcalinos presentes en su composición, se produce un efecto de pasivación del acero de las barras: se crea alrededor de éstas una película de óxido de hierro gamma que pasa a envolverlas completamente, con lo que el acero queda protegido de la corrosión. Esta pasivación puede perderse si se produce la penetración de iones cloro. Según esto podemos asegurar la durabilidad de la armadura si limitamos la absorción del hormigón y cumplimos las especificaciones del contenido máximo de cloruros que marca la EHE(*).



Así pues, pueden diseñarse tuberías de hormigón armado aptas para cualquier ambiente. Si son fabricadas cumpliendo con las normativas vigentes y destinadas al uso para el que se realizaron sus especificaciones técnicas, la propia normativa garantiza una vida útil mínima de 70 años. Entidades de alto prestigio e indiscutible neutralidad y credibilidad,

como el *U.S. Army Corps of Engineers*, garantizan, a la luz de sus estudios sobre la durabilidad de las tuberías de hormigón armado, una vida útil de 100 años.

Si buscamos a nuestro alrededor podemos encontrar ejemplos de hasta qué punto puede llegar a ser durable el hormigón: algunos acueductos romanos ejecutados en hormigón son perfectamente aptos para el uso tras 2.000 años. En Israel se ha descubierto una red de tuberías enterradas con una antigüedad aproximada de 3.000 años. El primer sistema de saneamiento llevado a cabo con tuberías de hormigón del que se tiene constancia documental en EEUU fue instalado en Mohawk, New York, en 1842. En 1982 se procedió a la extracción de 5 de los tubos que la constituirían, para su estudio y archivo histórico. Los tubos extraídos estaban en unas excelentes condiciones de servicio después de 140 años en servicio.

La evolución de la sociedad en estos últimos 100 años ha resultado en un vertiginoso cambio en los usos y costumbres tradicionales y en los sistemas urbanos de asentamiento de la población.

(*) La EHE define los grados específicos de exposición Qa, Qb y Qc. La norma UNE EN 127916/2004 además de identificar estos grados específicos del hormigón, los particulariza para las tuberías de hormigón y aporta las soluciones específicas para cada caso.

De ciudades medianas o pequeñas, con viviendas unifamiliares en su mayoría, se ha pasado a las grandes metrópolis, donde el consumo de agua potable y, como consecuencia, la cantidad de agua vertida a las redes de saneamiento, se ha disparado, hasta alcanzar unos niveles desconocidos e imprevistos hasta estos momentos.

La situación también ha cambiado en lo referente a los efluentes que circulan por las actuales redes de saneamiento. El uso indiscriminado que actualmente se hace de las redes de saneamiento para transportar cualquier tipo de desecho, la generalización de los productos de limpieza, tanto en el hogar como en la industria, de fitosanitarios, etc. son los factores causantes de que las condiciones a las que se ven sometidas las canalizaciones de saneamiento, inalterables durante años, hayan cambiado drásticamente.

Pero la tecnología también ha evolucionado y esto ha permitido el desarrollo de nuevos productos y procesos que permiten a las tuberías de hormigón adaptarse a estas nuevas solicitudes y condiciones de uso. Los procesos de fabricación han variado por completo la imagen de una fábrica de tuberías de hormigón armado. La modernización de los procesos de producción de las actuales tuberías de hormigón armado y el análisis de los problemas que a lo largo de su larga historia han ido surgiendo, han proporcionado soluciones específicas para cada posible situación.

5.2.2. Comportamiento ante el entorno (interno / externo)

Hay multitud de circunstancias que pueden ser potencialmente dañinas para los elementos que constituyen una red de saneamiento o drenaje. La tubería puede verse atacada por acciones físicas, químicas, térmicas o por incendios o explosiones.

A continuación se realiza un repaso de los diferentes factores que pueden afectar a un sistema de saneamiento o drenaje desde el interior o desde el exterior.

5.2.2.1. Fuego y altas temperaturas

Las tuberías de hormigón tienen una excelente resistencia a los agentes atmosféricos. No se ven afectadas por variaciones térmicas ni por la exposición a los rayos ultravioleta y son resistentes al fuego. De otra forma no seríamos capaces de encontrar sus componentes a plena vista en cualquier entorno natural.



No son extrañas las situaciones en que un sistema de saneamiento pueda conducir fluidos inflamables en su interior, ya sea por diseño o por accidente (industrial, de tráfico...). Fuegos y explosiones en el interior de sistemas de saneamiento o drenaje no están fuera de lo habitual en zonas urbanas.



En numerosas ocasiones se han dado casos de sistemas de saneamiento o drenaje de hormigón armado que han sufrido incendios e incluso fuertes explosiones y han continuado prestando servicio en perfectas condiciones tras la extinción del fuego. Sirvan como ejemplo los accidentes ocurridos en los aeropuertos internacionales de O'Hare, cerca de Chicago, Illinois o en la Walker Air Force Base, de las fuerzas aéreas de los Estados Unidos, en Nuevo Méjico.

En claro contraste, cuando una tubería de plástico sufre un incendio, su destrucción es inevitable y conlleva el colapso del sistema.

Pero no es necesario apelar a situaciones tan drásticas. La simple exposición, durante su acopio, por ejemplo, a temperaturas superiores a 45°C, puede suponer importantes e irreversibles deformaciones en aquellas tuberías plásticas compuestas de materiales termoplásticos. También la exposición directa a los rayos ultravioleta conlleva una degradación de las propiedades físicas y mecánicas de la mayoría de tuberías plásticas.

Las tuberías de hormigón armado son resistentes a la acción del fuego y las altas temperaturas.

5.2.2.2. Ataques químicos

En la Tabla 1, se indican esquemáticamente los problemas que una tubería de hormigón puede experimentar debido a las sustancias químicas que puedan circular por su interior (efluente), o a aquellas que puedan atacarlo desde el exterior (tierras). La tabla resume los procedimientos y acciones preventivas que deben llevarse a cabo frente a cada tipo de exposición específico.

Gracias a estos avances tecnológicos, tanto en los métodos y maquinaria utilizados en los procesos de fabricación, como en las calidades y diseño de los productos que intervienen en la producción, las conducciones realizadas con tuberías de hormigón armado son, hoy en día, la mejor solución a la hora de satisfacer las siguientes relaciones, cuando se proyecta y realiza una instalación de tuberías para una red de saneamiento:

Calidad ↔ Seguridad Durabilidad ↔ Precio

TABLA 1

Área de Exposición	Procedimientos de Evaluación	Acciones preventivas
INTERIOR	Para problemas potencialmente bioquímicos en redes sanitarias, determinar la tasa de desarrollo o de producción de ácido, si hubiere alguno.	• Aumentar la alcalinidad total agregando áridos calizos. • Usar barrera de recubrimiento. • Usar cementos SR.
	Para efluentes de tipo ácido, determinar el pH, incluyendo las variantes cíclicas, tanto como las características del flujo, bien sean continuas o intermitentes.	• Aumentar la alcalinidad total agregando áridos calizos. • Aumentar el recubrimiento del hormigón. • Usar barrera de recubrimiento.
EXTERIOR	Evaluar las condiciones de instalación desde el punto de vista del potencial actual o futuro en la acidez del terreno.	• Utilizar un material de relleno calizo. • Utilizar una capa de recubrimiento • Usar cementos SR.



Las tuberías de hormigón armado tienen pues una elevada durabilidad, muy superior a la que ofrecen las tuberías de plástico.



Cuando se plantea cuál es el tipo de tubería que debe utilizarse en un proyecto de una red de saneamiento, el concepto de durabilidad es importante, ya que del mismo depende el coste anual de amortización de la instalación.



La misma apreciación puede hacerse respecto a la fiabilidad de la canalización. Una continua intervención de mantenimiento correctivo encarece sumamente el proyecto. Obviamente, el coste de mantenimiento no es fácilmente cuantificable a la hora de plantear un proyecto de saneamiento, pero debe tenerse en cuenta la experiencia y no debe, en ningún caso, obviarse la importancia de este concepto.

A mayor durabilidad de una red, menor costo total.

A mayor fiabilidad de una red, menor costo total.

5.2.3. Durabilidad: referencias

5.2.3.1. Manual de diseño "1110-2-2902" del U.S. Army Corps of Engineers

El *U.S Army Corps of Engineers* (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América) es una entidad completamente independiente y de indiscutible competencia. Sus manuales técnicos son documentos de referencia ampliamente reconocidos en todo el mundo.



Se trata de una institución que invierte mucho dinero en determinar los procedimientos técnicos idóneos a la hora de llevar a cabo obras de ingeniería civil. Su filosofía de diseño es, en este sentido, la más conservadora que cabe concebir:

- Aversión al riesgo.
- Búsqueda de durabilidad.
- Consideración de la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

Según este manual, los conductos deben ser diseñados atendiendo a un criterio de ciclo de vida: *"la selección de los materiales o productos para conductos, drenajes o tuberías debe estar basada en requerimientos ingenieriles y un análisis de ciclo de vida. Este modo de proceder equilibra la necesidad de minimizar costes con la necesidad de realizar una infraestructura que presente una buena fiabilidad a largo plazo y conlleve unos costes de mantenimiento razonables en el futuro"*.

Los proyectos realizados por la *U.S Army Corps of Engineers* *"representan infraestructuras de importancia mayor para el país y pueden, probablemente, permanecer en servicio de manera indefinida"*. Por esta razón, en los proyectos de importancia, *"los diseñadores deben usar una vida útil de cálculo de 100 años a la hora de hacer un análisis de ciclo de vida"*.

En el manual en cuestión se apunta que *"la vida útil de muchos productos es menor que la vida útil de cálculo, y esto debe ser considerado en el proceso de diseño de análisis de ciclo de vida"*... *"La mayoría de los estudios realizados han estimado una vida útil de entre 70 y 100 años para las tuberías de hormigón. De entre los departamentos de autopistas de 9 estados, 3 establecieron una vida útil de 100 años, 5 entre 70 y 100 y uno de 50"*.

Respecto a los materiales plásticos se dice lo siguiente: *"Son muchos los materiales que atienden a la categoría genérica de plásticos. Cada uno de ellos puede ser adecuado o inadecuado para cada aplicación particular. La aplicación histórica de las tuberías de plástico es limitada. El diseñador no debería esperar una vida útil superior a los 50 años para estos materiales"*.

"El análisis del proyecto debería incluir el coste inicial de construcción y los costes futuros de mantenimiento, reparación y sustitución a lo largo de la vida útil considerada para el proyecto (...) en los casos en que sea necesario sustituir los tubos instalados durante la vida útil del proyecto, el diseñador deberá incluir todos los costes derivados de dicho proceso".

5.2.3.2. Manual de Diseño para Sitemas de Drenaje de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (Asociación de Oficiales Estatales de Autopistas y Transportes de los Estados Unidos de América)

"La selección del material debe realizarse teniendo en consideración la vida útil de los materiales en cuestión".

"Los conductos de drenaje deben colocarse y diseñarse de manera que presenten el mínimo riesgo para la seguridad de las personas y el tráfico".

"La selección del material deberá estar basada en la comparación de los costes totales de las distintas alternativas a lo largo de la vida útil de diseño, que depende de los siguientes factores:

- Durabilidad (vida útil).
- Resistencia estructural.
- Rugosidad hidráulica.
- Condiciones de instalación (cama y relleno lateral).
- Resistencia a la corrosión y la abrasión.
- Requerimientos de estanquidad".

"Los criterios de selección del material a utilizar tendrán en cuenta el coste de sustitución y la dificultad de la construcción, así como el coste derivado de los retrasos del tráfico".

"La selección no deberá hacerse usando únicamente el criterio del menor coste".

"Sólo se seleccionarán materiales que satisfagan los criterios topográficos y de diseño".

"Se analizarán las alternativas atendiendo al impacto ambiental, la eficiencia hidráulica, el riesgo y el coste".

"El conducto escogido deberá satisfacer los criterios estructurales e hidráulicos atendiendo a los siguientes factores:

- Costes de construcción y mantenimiento.
- Riesgo de fallo o daños a la propiedad.
- Seguridad del tráfico.
- Consideraciones medioambientales o estéticas.
- Consideraciones políticas o de confort.
- Requerimientos de uso del terreno".

5.2.3.3. Missouri Highway and Transportation Department – Division of Materials and Research (Departamento de Autopistas y Transportes de Missouri – División de Materiales e Investigación): Determinación de la Vida Útil Esperada de las Tuberías Corrugadas de Acero Revestidas con Zinc y las Tuberías de Hormigón Utilizadas en Missouri

"Las tuberías de hormigón armado (THA) han demostrado ser significativamente más duraderas que las tuberías de acero corrugado (TAC)".

"Las THA son más rentables pese a que los costes de instalación de las TAC sean menores".

"A pesar de su menor coste inicial de instalación, lo más probable es que las TAC deban ser instaladas entre una y cuatro veces a lo largo de la vida útil de una tubería de hormigón armado"

5.2.3.4. Illinois Department of Transportation (Departamento de Transportes de Illinois –DTI–): Informe del Comité de Tuberías del DTI

"Existe siempre un riesgo implícito cuando el sistema de la canalización es dependiente del material de relleno y de los procedimientos utilizados en su compactación".

"El comité considera apropiado mitigar este riesgo diferenciando las instalaciones donde las tuberías rígidas y flexibles son adecuadas:

- *En vías por donde circulen más de 3000 vehículos al día se requiere la utilización de tuberías de hormigón armado.*
- *En vías por donde circulen más de 1500 vehículos al día se requiere la utilización de desagües de hormigón armado".*

5.2.3.5. Wisconsin Department of Transportation (Departamento de Transportes de Wisconsin –DTW–), Evaluación de las Guías y Especificaciones del Departamento para el Uso de Materiales Alternativos en los Conductos de Drenaje

"Las consecuencias derivadas de tener que sustituir un sistema de drenaje defectuoso son generalmente muy serias. Lo más común es que esta operación requiera costosas reconstrucciones y el redireccionamiento del tráfico".

"Las tuberías rígidas (hormigón armado) son más tolerantes ante una pobre compactación del terreno de relleno que las tuberías flexibles (plástico o metal corrugado)".

"Dados los reducidos niveles actuales de personal, no es realista esperar una inspección continua de las canalizaciones".



"Cuando la carretera está diseñada para soportar una punta anual en el volumen de tráfico superior a los 4500 vehículos diarios, los nuevos materiales usados en infraestructuras de drenaje pueden ser especificados para sistemas de drenaje que no se encuentren bajo la carretera" (esto implica que el hormigón armado es el único material adecuado en estos casos).

5.2.3.6. *Pensylvania Department of Transportation (Departamento de Transportes de Pensylvania –DTP–), Criterio de Selección de Tuberías Alternativas Basado en el Tipo de Instalación*

"Se considera que la vida útil de las tuberías de hormigón armado es de 100 años".

"Para las tuberías metálicas corrugadas puede considerarse una vida útil superior si una muestra representativa del material presenta una vida útil superior. Para la mayoría de tuberías metálicas corrugadas estudiadas, las tablas de muestras presentan una vida útil de diseño de 25 años".

"Las tuberías de polietileno de alta densidad han mostrado tener una vida útil de diseño de 50 años. No se permite el uso de estas tuberías bajo el pavimento ni su soterramiento a gran profundidad".

5.2.3.7. Investigación "T-Rex" en Colorado

Una tubería de hormigón armado de 84" de diámetro nominal (2.130 mm), que llevaba 44 años en servicio, fue retirada durante la reconstrucción de una autopista. Originalmente, el tubo era

de clase resistente I. Tras realizar el ensayo de aplastamiento se descubrió que la clase resistente del tubo había aumentado a clase IV.

5.2.3.8. Estudio de Durabilidad de Drenajes en Ohio

Este estudio fue completado en 1982, tras 10 años de investigación. Se trata de un informe extremadamente técnico de 173 páginas, en el que se describen las conclusiones extraídas tras estudiar 1,616 conductos de drenaje. El objeto del estudio fueron tuberías corrugadas de metal y tuberías de hormigón armado.

La selección de los conductos fue aleatoria entre aquellos que presentaban un diámetro interior mayor a 42" (1.07 m). Se dividieron las muestras por edades:

- Instaladas en 1940 o con anterioridad.
- Instaladas entre 1941 y 1950.
- Instaladas entre 1951 y 1960.
- Instaladas con posterioridad a 1961.

Se tuvo en cuenta:

- El tamaño de la tubería.
- El tipo de tubería.
- El fabricante (en caso de tener datos al respecto).
- El tipo de protección de la tubería.
- El espesor de cada tubo.
- La topografía general.
- La fecha de la inspección.

Las consideraciones de durabilidad fueron las siguientes:

- Altura de la lámina de agua.
- Velocidad del fluido.
- Abrasión.
- Porcentaje de protección remanente.
- Porcentaje de material remanente.
- Lecturas sobre el terreno (pH, resistividad...).
- Núcleo de las tuberías metálicas corrugadas.
- Consideraciones hidráulicas y estructurales (problemas de combadura o deflexión, problemas en las juntas,...).



Fuente: ACPA

Los factores más importantes en cuanto a la corrosión de las tuberías resultaron ser:

- El pH de las aguas subterráneas.
- Abrasión: se concluyó que la abrasión no es problema para una instalación típica realizada con tubos de hormigón armado.

Gracias a la amplia experiencia existente con tuberías de hormigón hay ecuaciones de durabilidad basadas en el comportamiento de las tuberías de hormigón usadas en los drenajes de minas de carbón, donde el ambiente es ácido:

- La vida útil excede los 300 años para aguas con pH=7.
- La vida útil excede los 100 años para aguas con $4 < \text{pH} < 7$.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$\text{Vida útil en años} = \frac{(0.349(\text{pH})^{1.204})^{7.758}}{(\text{Pendiente})^{0.824}}$$

5.2.3.9.Descontaminación de una antigua planta de alquitrán de hulla en Ottawa, Canadá

El alquitrán de hulla es un líquido marrón o negro de elevada viscosidad que huele a naftalina y está formado por la unión de hidrocarburos aromáticos, bases nitrogenadas y fenoles.

Al calentar carbón bituminoso en contenedores cerrados sin aire hasta unos 650 a 800 °C, el carbón se descompone en los siguientes productos:

- 80% de coque.
- 5% de amoníaco.
- 5% de alquitrán de hulla.
- 10% de gas ciudad.

Actualmente el alquitrán de hulla se genera como subproducto del proceso de producción de coque, material de enorme importancia en la fundición de hierro.

Durante los trabajos de descontaminación se retiraron 110 metros de tubería de hormigón armado instaladas en 1964, que llevaban en servicio 33 años en un ambiente altamente agresivo. Tras comprobar que la tubería se hallaba en perfecto estado, se procedió a su limpieza, se la proveyó de juntas elastoméricas de estanquidad y se reinstaló.

El ahorro que supuso para la ciudad poder reutilizar las tuberías fue de 54.500\$.

5.2.3.10. Descontaminación de una zona afectada por un vertido de hidrocarburos en Gloucester, Canadá

Durante los trabajos de descontaminación se retiraron 45 metros de tubería de hormigón armado de 54" de diámetro nominal (1.37 m). El proyecto de reinstalación implicaba cambiar el sistema de zanja a terraplén. Puesto que la carga soportada bajo estas condiciones es superior (mayor carga debida al peso del terreno: proyección negativa) el contratista realizó ensayos de aplastamiento sobre las tuberías. Los test indicaron que la tubería había aumentado su resistencia de las 2,000 lb/ft² (clase resistente IV según las normas ASTM) a 4,000 lb/ft² (por encima de la clase IV). La instalación actual requería de una clase resistente III (1350 lb/ft²), por lo que la instalación pudo realizarse con un factor de seguridad de 2.96 (sumado a los factores de seguridad de diseño).

La tubería fue desenterrada, limpiada mediante vapor y las juntas de estanquidad fueron reemplazadas por otras nuevas. La instalación se llevó a cabo sin problema alguno.

CAPÍTULO 6

SEGURIDAD

Es necesario que las redes de saneamiento, a la hora de cumplir con su cometido, pongan un especial énfasis en la seguridad.

Dado el precario equilibrio medioambiental en que se encuentra nuestro planeta es necesario que los sistemas de saneamiento garanticen la estanquidad. No deben producirse exfiltraciones que contaminen el entorno y los acuíferos ni infiltraciones que sobrecarguen innecesariamente las plantas de depuración de aguas.

Las tuberías de hormigón armado deben, según la normativa actual, incorporar juntas elastoméricas que garanticen la estanquidad del sistema. Esta estanquidad es comprobada mediante ensayos que corroboran la hermeticidad al paso del agua tanto de los tubos como del sistema ensamblado.



Gracias a la rigidez de las tuberías de hormigón armado no se producen grandes deformaciones que puedan comprometer la estanquidad del sistema en las juntas entre tubos o entre tubos y pozos o elementos auxiliares. Y sobre todo, no se dan situaciones que permitan que dos elementos contiguos sufran deformaciones diferentes. La norma UNE-EN 13476 clasifica de manera diferente la clase resistente de tubos y accesorios de plástico, con lo que unos y otros tienen rigideces distintas que implican deformaciones diferentes entre ambos lados de cada junta que un tubo con un accesorio, comprometiendo gravemente la estanquidad.

6.1. Necesidad de garantizar la seguridad en los sistemas de saneamiento



¿Por qué exigimos **SEGURIDAD** en una red de saneamiento?

El concepto de seguridad es intrínseco a la creación, por parte del ser humano, de las redes de saneamiento.

La propia naturaleza es capaz de llevar a cabo los procesos de biodegradación necesarios

para eliminar los residuos humanos, que no dejan de ser materia orgánica de la que se alimentan microorganismos y bacterias. Pero cuando las colonias humanas fueron creciendo, la capacidad regeneradora de la naturaleza vio sus límites superados.

En un principio, se establecieron lugares alejados donde los residuos eran almacenados, no muy lejos de los asentamientos. Esta práctica aún se mantiene en la actualidad para los residuos sólidos.

Posteriormente, se desarrollaron sistemas que permitían el transporte “automático” de los residuos y que constituyeron una primera aproximación a las redes de saneamiento.



La creación de los primeros sistemas de saneamiento obedecía a unas razones tanto de confort como de salubridad. Se buscaba liberar a las calles de la constante acumulación de residuos y basuras, pero también proteger a los ciudadanos de un caldo de cultivo idóneo para enfermedades tales como el cólera o la fiebre amarilla. Tras la revolución francesa, como respuesta a severos brotes infecciosos de esta índole, que segaron miles de vidas, se constituyeron las primeras redes de saneamiento modernas en grandes ciudades como París o Londres.

El avance que supusieron estas instalaciones en el confort y seguridad de los ciudadanos tuvieron como consecuencia la constante proliferación de los sistemas de saneamiento modernos, que fueron extendiéndose, primero por las ciudades de mayor tamaño y posteriormente por todos los municipios de los países desarrollados. En nuestros días, el uso de las redes de saneamiento está totalmente generalizado.

La idea inicial con que se construyeron estas redes de saneamiento era muy simple:

- a) Alejar los residuos de los centros habitados.
- b) Realizar el desagüe, a ser posible, en un río donde los residuos se dispersasen y diluyesen.

Durante años este esquema funcionó y se fue ampliando a medida que la población aumentaba. Los volúmenes transportados por estas redes fueron asimilados por el entorno próximo a los núcleos de origen.

Poco a poco, la naturaleza fue avisando al hombre de que el aumento de los vertidos ponía al medioambiente en serias dificultades, debido al enorme volumen de aguas residuales vertidas: la naturaleza ya no era capaz de asimilar tal cantidad de vertidos en un tiempo razonable.

El aumento de la contaminación en los ríos y corrientes subterráneas, de las cuales se obtenía el agua de consumo humano hizo que se replanteasen los conceptos que hasta ese momento habían regido para la construcción de las redes de saneamiento. Se establece un principio básico:

NO CONTAMINAR

Se toman las siguientes medidas, en la fuente del problema:

- **Impermeabilizar**, de manera **segura** los depósitos de residuos sólidos, depurando sus elementos contaminantes.
- Construir **depuradoras seguras** al final de las redes de saneamiento que viertan solo elementos (líquidos o sólidos), no contaminantes.
- Estudiar las redes de saneamiento instaladas para encontrar soluciones que las conviertan en **conductos seguros**, y no contaminantes.
- Construir **redes de saneamiento seguras**, que garanticen la estanquidad, tanto ante exfiltraciones, como ante infiltraciones.

Los fabricantes de tuberías de hormigón armado han desarrollado un trabajo con-



tinuado acorde con estas demandas que han llevado al desarrollo de productos que cumplen perfectamente con las exigencias actuales de seguridad. En estos momentos ofrecen al mercado productos fabricados de acuerdo con las normativas vigentes y que garantizan una **TOTAL SEGURIDAD** de las instalaciones.

Las tuberías de hormigón armado, fabricadas de acuerdo con la normativa vigente e instaladas en redes de saneamiento, cumplen perfectamente esta exigencia de **seguridad**, por las siguientes razones:

- Todos los componentes (tuberías de hormigón armado, pozos de registro prefabricados de hormigón, piezas especiales, etc.), empleadas en las redes de saneamiento, ofrecen una **vida útil** superior a los **100 años**.
- La unión entre tubos de hormigón armado, entre tubos y pozos de registro, o la de piezas especiales, es **segura y estanca**.
- Las redes de saneamiento construidas con tuberías de hormigón armado resisten perfectamente una **presión hidráulica interior mayor a los 50 KPa** que exige la norma vigente. En cuanto a la resistencia mínima que poseen los tubos, la clase resistente con que estén marcados garantiza unas cargas mínimas de fisuración y rotura, reflejadas en las Tablas 4, 5 y 6, de acuerdo a la normativa vigente.

6.2. Garantía de Seguridad Ofrecida por la Normativa Europea

Las normativas vigentes relativas a las tuberías y pozos de registro de hormigón UNE-EN 1916, UNE-EN127916, UNE-EN 1917 y UNE-EN 127917 son muy exigentes a la hora de garantizar la calidad. Los requisitos mínimos que en ellas se recogen garantizan un comportamiento adecuado del sistema en términos de resistencia mecánica y estanquidad.

Si los sistemas están bien proyectados y ejecutados, los tubos de hormigón armado no se fisurarán ni colapsarán y la estanquidad quedará garantizada.

Para garantizar el comportamiento mecánico de los tubos de hormigón armado, además de llevar a cabo un cuidadoso diseño y proceso de fabricación por parte del fabricante, se realiza un control estadístico en el que un porcentaje de los tubos elegidos al azar son sometidos a ensayos destructivos para garantizar que sus cargas de fisuración y rotura están por encima de aquellas que determina la norma como mínimas para cada clase resistente.

Para garantizar la estanquidad de los tubos se deben incorporar juntas elastoméricas, sin las cuales un tubo de hormigón armado no es conforme a la normativa vigente. Con el fin de comprobar la total estanquidad del sistema se realizan pruebas con agua o aire a presión sobre tubos individuales para comprobar que son estancos, así como sobre tubos ensamblados para comprobar que la unión también lo es.

6.2.1. Clasificación de las Tuberías de Hormigón Armado de Sección Circular según la norma UNE-EN 127916

TABLA 3 A

CLASIFICACIÓN TIPO E					
		Clase Resistente			
		60	90	135	180
	Carga de Fisuración (kN/m²)	40	60	90	120
	Carga de Rotura (kN/m²)	60	90	135	180
DN	300	X	V	V	V
	400	X	V	V	V
	500	X	V	V	V
	700	X	V	V	V
	800	X	V	V	V
	900	X	V	V	V
	1000	V	V	V	V
	1100	V	V	V	V
	1200	V	V	V	V
	1300	V	V	V	V
	1400	V	V	V	V
	1500	V	V	V	V
	1600	V	V	V	V
	1800	V	V	V	V
	2000	V	V	V	A
	2500	V	V	A	A
	3000	A	A	A	A

En aquellas combinaciones marcadas con "A" la normativa UNE-EN 127916 no establece requerimientos para la armadura. Pueden utilizarse si así lo acepta la dirección de obra. En estos casos el fabricante deberá facilitar el diseño del armado de los tubos.

TABLA 3 B

CLASIFICACIÓN TIPO A						
		Clase Resistente				
		I	II	III	IV	V
	Carga de Fisuración (kN/m ²)	40	50	65	100	140
	Carga de Rotura (kN/m ²)	60	75	100	150	175
DN	300	X	V	V	V	V
	400	X	V	V	V	V
	500	X	V	V	V	V
	700	X	V	V	V	V
	800	X	V	V	V	V
	900	V	V	V	V	V
	1000	V	V	V	V	V
	1100	V	V	V	V	V
	1200	V	V	V	V	V
	1300	V	V	V	V	V
	1400	V	V	V	V	V
	1500	V	V	V	V	V
	1600	V	V	V	V	V
	1800	V	V	V	V	V
	2000	V	V	V	A	A
	2500	V	V	A	A	A
	3000	A	A	A	A	A

En aquellas combinaciones marcadas con "A" la normativa UNE-EN 127916 no establece requerimientos para la armadura. Pueden utilizarse si así lo acepta la dirección de obra. En estos casos el fabricante deberá facilitar el diseño del armado de los tubos.

6.2.2. Características Mecánicas Mínimas

Una vez fabricadas, las tuberías de hormigón armado deberán resistir, como mínimo, las cargas de fisuración y de rotura que se indican en las tablas 4 ó 5 según la clasificación por la que se opte.

TABLA 4 A: Cargas de fisuración y de rotura (en kN/m²) en los THA de sección circular según la clasificación Tipo E (UNE 127.916).

Cargas de Fisuración (Ff) y Rotura (Fn) Mínimas de Ensayo								
Dimensiones Nominales	Clase 60		Clase 90		Clase 135		Clase 180	
	Ff=40kN/m ² Fn=60kN/m ²		Ff=60kN/m ² Fn=90kN/m ²		Ff=90kN/m ² Fn=135kN/m ²		Ff=120kN/m ² Fn=180kN/m ²	
	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura
300	/	/	18	27	27	40,5	36	54
400	/	/	24	36	36	54	48	72
500	/	/	30	45	45	67,5	60	90
600	/	/	36	54	54	81	72	108
700*	/	/	42	63	63	94,5	84	126
800	/	/	48	72	72	108	96	144
900*	36	54	54	81	81	121,5	108	162
1000	40	60	60	90	90	135	120	180
1100*	44	66	66	99	99	148,5	132	198
1200	48	72	72	108	108	162	144	216
1300*	52	78	78	117	117	175,5	156	234
1400	56	84	84	126	126	189	168	252
1500	60	90	90	135	135	202,5	180	270
1600	64	96	96	144	144	216	192	288
1800	72	108	108	162	162	243	216**	324**
2000	80	120	120	180	180	270	**	**
2500	100	150	150	225	**	**	**	**
3000	120	180	180	270	**	**	**	**

* Dimensiones no habituales.

** Clases resistentes para diseños especiales.

TABLA 4 B: Cargas de fisuración y de rotura (en kN/m²) en los THA de sección circular según la clasificación Tipo A (UNE 127.916).

Dimensiones Nominales	Cargas de Fisuración (Ff) y Rotura (Fn) Mínimas de Ensayo									
	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Ff=40kN/m ² Fn=60kN/m ²		Ff=45kN/m ² Fn=75kN/m ²		Ff=65kN/m ² Fn=100kN/m ²		Ff=100kN/m ² Fn=150kN/m ²		Ff=140kN/m ² Fn=175kN/m ²	
	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura
300	/	/	15	22,5	19,5	30	30	45	42	52,5
400	/	/	20	30	26	40	40	60	56	70
500	/	/	25	37,5	32,5	50	50	75	70	87,5
600	/	/	30	45	39	60	60	90	84	105
700*	/	/	35	52,5	45,5	70	70	105	98	122,5
800	/	/	40	60	52	80	80	120	112	140
900*	36	54	45	67,5	58,5	90	90	135	126	157,5
1000	40	60	50	75	65	100	100	150	140	175
1100*	44	66	55	82,5	71,5	110	110	165	154	192,5
1200	48	72	60	90	78	120	120	180	168	210
1300*	52	78	65	97,5	84,5	130	130	195	182	227,5
1400	56	84	70	105	91	140	140	210	196	245
1500	60	90	75	112,5	97,5	150	150	225	210	262,5
1600	64	96	80	120	104	160	160	240	224	280
1800	72	108	90	135	117	180	180	270	252**	315**
2000	80	120	100	150	130	200	200	300	**	**
2500	100	150	125	187,5	162,5	250	**	**	**	**
3000	120	180	150	225	**	**	**	**	**	**

* Dimensiones no habituales.

** Clases resistentes para diseños especiales.

TABLA 5: Cargas de fisuración y de rotura (en kN/m²) en los THA de sección ovoide (UNE 127.916).

Cargas de Fisuración (Ff) y Rotura (Fn) Mínimas de Ensayo								
Dimensiones Nominales (WN/HN)	Clase 60		Clase 90		Clase 135		Clase 180	
	Ff=40kN/m ² Fn=60kN/m ²		Ff=60kN/m ² Fn=90kN/m ²		Ff=90kN/m ² Fn=135kN/m ²		Ff=120kN/m ² Fn=180kN/m ²	
	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura	Fisuración	Rotura
600/900	/	/	36	54	54	81	72	108
700/1050	/	/	42	63	63	94,5	84	126
800/1200	/	/	48	72	72	108	96	144
900/1350	/	/	54	81	81	121,5	108	162
1000/1500	/	/	60	90	90	135	120	180
1200/1800	48	72	72	108	108	162	/	/
1400/2100	56	84	84	126	126	189	/	/

* Dimensiones no habituales.

** Clases resistentes para diseños especiales.

6.2.3. Sistemas de unión entre tubos de saneamiento

Los tubos de hormigón armado se unirán entre ellos, con los pozos de registro y con cualquier componente de las redes de saneamiento, mediante juntas elastoméricas de caucho vulcanizado, debiendo estas juntas cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN 681-1. Esta norma es la misma que deben cumplir los tubos de plástico que lleven juntas de estanquidad elastoméricas. Sin embargo, mientras que para cualquier tubo de hormigón conforme con la norma UNE-EN 1916 es obligatorio su uso, para las tuberías de plástico se observan otras soluciones, como por ejemplo las uniones soldadas, que no permiten ningún tipo de juego a la unión y pueden suponer puntos débiles en la instalación.



Si las uniones son soldadas, el sistema pasa a ser longitudinalmente rígido en toda su longitud. Si, por ejemplo, los tubos son instalados con una temperatura ambiente elevada, al ser enterrados y bajar su temperatura sufrirán contracciones que redundarán en tensiones sobre las uniones rígidas, lo que elevará la posibilidad de que fallen. El sistema tendrá también mayores dificultades para asumir cualquier asiento o irregularidad en el terreno. Cuando estos asientos o irregularidades se presentan, el sistema se encontrará, de nuevo, sobrecargado en algunas zonas respecto a la situación de diseño.

La unión de los tubos de hormigón mediante juntas de estanquidad elastoméricas no solo consigue garantizar la estanquidad exigida, sino que proporciona a los tubos los ligeros ajustes de adaptación al trazado, imposible de realizar con otros tipos de tuberías, salvo usando piezas especiales, puntos delicados de la instalación y con un coste elevado.

Cada fabricante puede tener su diseño particular de junta, y fabricarla en caucho natural (SBR), caucho etileno (EPDM) o caucho acrilonitrilo butadieno (NBR), siempre que ésta garantice la estanquidad del sistema de acuerdo con la normativa.

Seguidamente se muestra esquemáticamente (figuras 1, 2, 3 y 4) algunos sistemas de unión estanca entre tubos, entre tubos y pozos y entre secciones de pozo.



FIGURA 1: Uniones flexibles con extremos en enchufe y campana en los tubos de hormigón.



FIGURA 2: Uniones flexibles con extremos cilíndricos en los tubos de hormigón.



FIGURA 3: Comparativa entre uniones flexibles con extremos en enchufe y campana y cilíndricos en tubos de hormigón.

Según el sistema de producción de cada fabricante, las juntas elásticas de estanquidad pueden ser suministradas de dos formas diferentes:

- Independientemente de los tubos: se instalan en el momento de realizar la colocación del tubo y/o pozo.
- Integradas en el tubo o pozo a instalar.

En todos los casos las juntas deberán ser deslizantes (autolubricadas o no) en la dirección del empuje necesario para la colocación.

En la Figura 4 se detallan tres formas de uniones entre tubos con diferentes tipos de juntas.

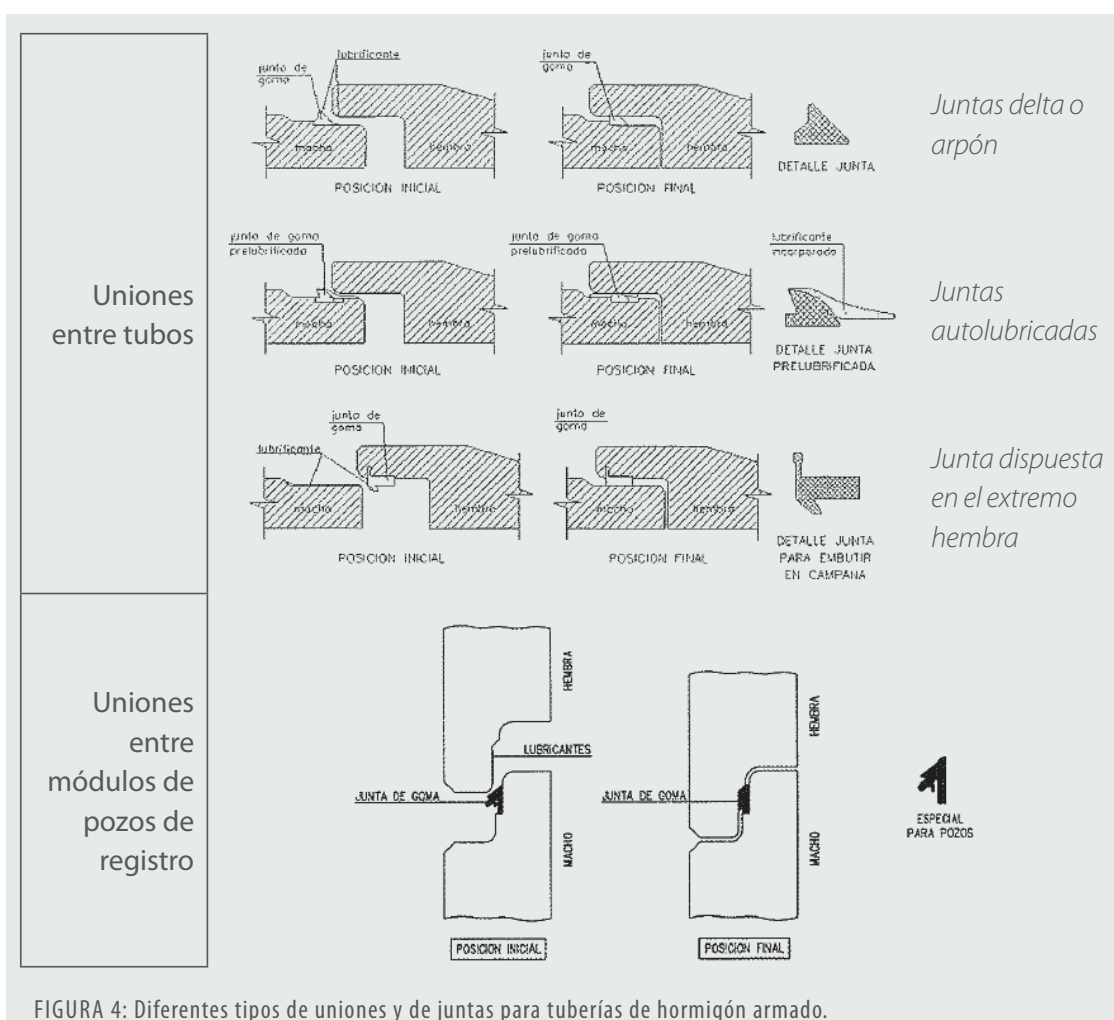


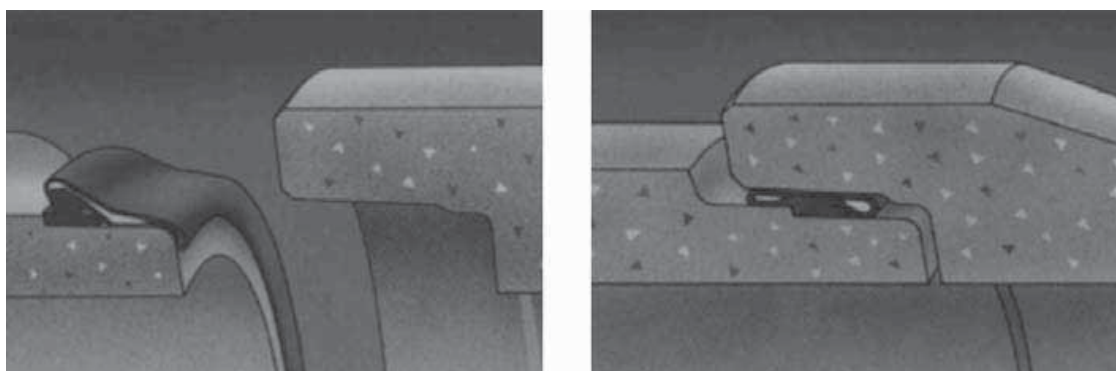
FIGURA 4: Diferentes tipos de uniones y de juntas para tuberías de hormigón armado.

Los tres tipos más representativos de de juntas de estanquidad son:

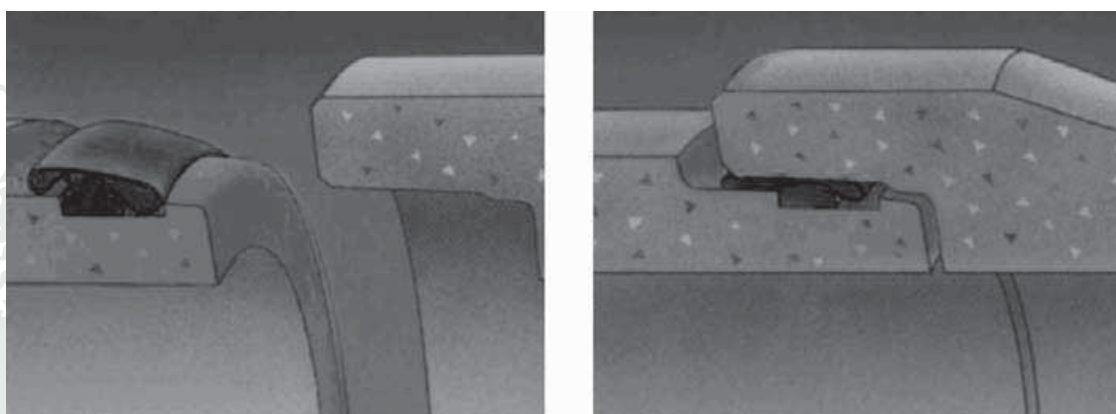
- **Juntas delta o arpón:** Pueden ser de distinta geometría, según fabricante. Se instalan en el extremo macho del tubo. Para el uso de este tipo de junta se requiere que el enchufe esté

escalonado, o acanalado. Se debe aportar un lubricante en la campana del otro tubo a unir. (Figura 4, parte superior).

- **Juntas autolubricadas:** Pueden ser de distinta geometría, según fabricante. Se instalan en el extremo macho del tubo. Este tipo de juntas se utilizan en tubos con el enchufe fresado y acanalado, lo que supone una garantía extra de estanquidad, ya que las tolerancias están perfectamente controladas. No es necesario aportar ningún lubricante en la campana de los tubos en el momento de realizar la unión, pues la junta vendrá prelubricada de fábrica. (Figura 4, parte central).
- **Junta dispuesta en el extremo de la hembra:** Como en los dos casos anteriores, la geometría es diseñada por el fabricante. En este caso se adopta la disposición contraria: la junta se instalará en el extremo hembra (con la campana acanalada), aportando el lubricante en el enchufe del otro extremo a unir. (Figura 4, parte inferior).



Extremo escalonado con junta elastomérica deslizante



Extremo acanalado con junta elastomérica deslizante

Las uniones entre los módulos que conforman los pozos de registro deberán también incorporar una junta elastomérica, de forma que asegure la estanquidad entre los diferentes elementos. Existen diversos acabados para los módulos que permiten alojar las juntas de manera funcional y segura. (Figura 5)

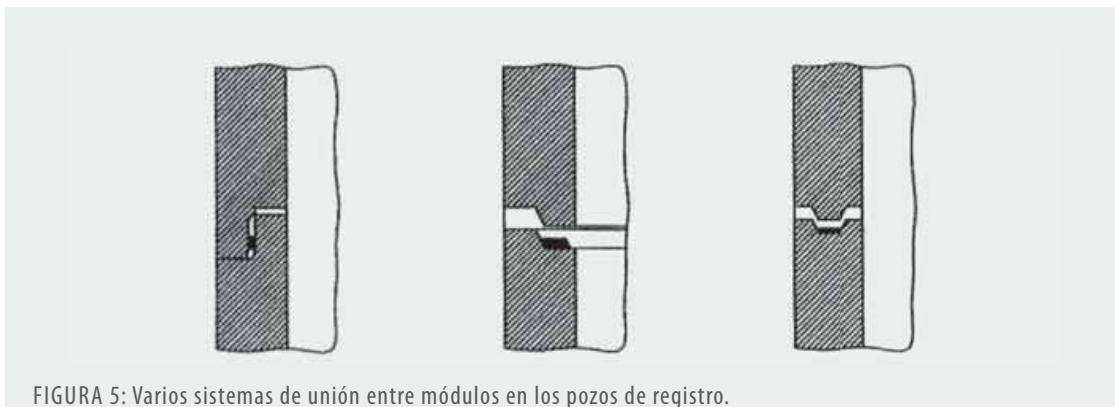


FIGURA 5: Varios sistemas de unión entre módulos en los pozos de registro.



Fuente: ACPA

Todo lo expuesto en este capítulo(*) permite asegurar que las tuberías y pozos de registro de hormigón armado fabricadas e instaladas de acuerdo con la normativa vigente, confieren a las redes de saneamiento de las que formen parte una excelente **SEGURIDAD** y **DURABILIDAD**.

La unión elástica permite la conexión entre tubos, pozos de registro y piezas especiales con total seguridad.

6.3. Seguridad y Durabilidad

La normativa vigente exige que el fabricante de tubos de hormigón armado realice pruebas de estanquidad que garanticen que ni el tubo ni la unión tengan pérdidas:

- Ensayo de elemento hidrostático: cada tubo es llenado de agua y sometido a una presión de 50 kPa durante 15 min (5 metros de columna de agua)
- Ensayo sobre elementos ensamblados
 - Bajo desviación angular: se somete a un conjunto de dos tubos ensamblados a una presión hidrostática de 50 kPa durante 15 min, con las generatrices de los tubos desviadas un ángulo de 12500/DN milímetros por metro.
 - Bajo esfuerzo cortante: se somete a un conjunto de dos tubos ensamblados a una presión hidrostática de 50 kPa durante 15 min, con la unión sometida a unas fuerzas de cizallamiento tales que su resultante en la sección que contiene a la junta de estanquidad sea igual a 0,03 veces la dimensión nominal del conducto (DN o WN) en KN.

(*) Datos tomados de la publicación "Recomendaciones para tuberías de hormigón armado en redes de saneamiento y drenaje" publicado por el Ministerio de Fomento – Ministerio de Medio Ambiente y por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX.- Noviembre 2005

- Bajo desviación angular y esfuerzo cortante: Combinación de los dos ensayos anteriores.

Estas pruebas exigen ensayos de tipo y rutinarios.



Además, las tuberías de hormigón con junta elástica deben someterse a las pruebas que determina la norma UNE EN 1610, que es común para todo tipo de tuberías, sean rígidas o flexibles.

Por su sencillez de instalación, las tuberías de hormigón con junta elástica no precisan de personal especializado ni acreditado mediante un título específico

de instalación. Únicamente deberán cumplir la norma UNE EN 1610 y las recomendaciones del fabricante.

La garantía de durabilidad es también una garantía de seguridad. Si el sistema es conforme a las normativas vigentes, los tubos de hormigón armado mantendrán su estanquidad e integridad estructural a lo largo de su vida útil, que es muy superior a la de los tubos de plástico.

Asegurar la estanquidad de los sistemas de saneamiento es de suma importancia. Las infiltraciones implican un sobredimensionamiento de los sistemas de depuración de aguas, o lo que es peor, un desbordamiento de su capacidad. Las exfiltraciones, por su parte, no sólo causan problemas ambientales de contaminación del entorno o de las aguas subterráneas. Es bastante habitual que el líquido que se fuga socave poco a poco el terreno que envuelve la unión defectuosa, provocando al cabo del tiempo una oquedad en el terreno que puede llegar a suponer el colapso de las estructuras que sobre esa junta defectuosa o tubo colapsado o roto se encuentren.

Si se opta por la instalación de tuberías de plástico, en diámetros nominales entre 600 y 1.500 mm, fabricadas a partir de perfiles enrollados elicoidalmente, debe tenerse mucho cuidado. Obviamente, dada la reducción de materia prima que conlleva este método de fabricación, el coste por unidad de longitud es menor (más tarde se hablará del concepto de coste de proyecto por

metro instalado). Sin embargo, no se debe pasar por alto que este tipo de tuberías presentan unas grandes tensiones en su estructura, ya que son conformadas en frío. Si se consideran conjuntamente las implicaciones de estas tensiones originadas en el proceso de fabricación y la memoria plástica característica del material con el que estas tuberías son fabricadas (U-PVC), se puede ver con suficiente antelación lo altamente comprometida que está la seguridad en su funcionamiento.



Fuente: BASAL

Para mitigar el riesgo de fallo, los fabricantes de estos tipos de tubos recomiendan su completo hormigonado, con lo que la tubería se convierte en un encofrado perdido.

Con este ejemplo queremos destacar la importancia que tiene para el buen funcionamiento de una red de saneamiento el concepto de “seguridad en servicio”. Este concepto es, en muchos casos, independiente de los cálculos realizados para el dimensionamiento de la red.

6.4. Piezas complementarias

TUBOS DE REGISTRO

Se trata de tubos prefabricados de hormigón armado con una acometida superior diseñada para que el tubo pueda acoplarse directamente a los anillos usados para la construcción de los pozos de registro visitables (inspección y limpieza).

Como en el resto de los casos descritos anteriormente, la unión entre tubos y piezas del pozo, llevada a cabo mediante juntas elásticas es estanca.



Fuente: ACPA



CODOS DE HORMIGÓN ARMADO

Estos elementos se usan para imprimir cambios repentinos de dirección en las tuberías, (15° o múltiplos).

La unión elástica permite el trazo progresivo de las curvas que sean necesarias para realizar el seguimiento del trazado proyectado para la red. Lo más recomendable, por razones hidráulicas y de simplicidad de montaje, es realizar el montaje de esta manera, pero cuando las circunstancias lo requieren se usan este tipo de piezas.

Los codos son de uso generalizado en las instalaciones plásticas, ya que la gran longitud de los tubos plásticos (6 a 12 m frente a los 2.5 m de los tubos de hormigón armado) no permite un ajuste progresivo de la trazada del sistema aprovechando la flexibilidad de las juntas de estanquidad elastoméricas.

CONOS O LOSAS REDUCTORES DE SALIDA A LOS POZOS DE REGISTRO

Estos elementos disminuyen la sección de los pozos de registro hasta adecuarla al tamaño de los elementos de fundición utilizados para permitir el acceso a los mismos.



CAPÍTULO 7

MANEJABILIDAD Y LIGEREZA

Hace muchos años ya, cuando las tuberías plásticas empezaron a introducirse en el mercado de los sistemas de saneamiento, no era incorrecto decir que una tubería de plástico era manejable. Dados los pequeños diámetros con los que estas tuberías comercializaron sus primeros productos, en efecto, no era descabellado que entre dos operarios se pudiesen manipular estas tuberías.

Lo cierto es que las circunstancias han cambiado. En la actualidad, dada la superior longitud de las tuberías de plástico, que por norma general se fabrican con una longitud de 6 metros frente a los 2.5 metros de las tuberías de hormigón, y el enorme crecimiento experimentado en los diámetros de las tuberías de saneamiento de plástico, se hace necesario, para la mayoría de los diámetros comercializados, el uso de maquinaria tanto a la hora de instalar una tubería de plástico como una de hormigón.



Fuente: ACPA

7.1. Prevención de Riesgos Laborales: necesidad de maquinaria

La velocidad con la que una sociedad evoluciona hacia niveles de mejor situación económica se refleja en el continuo aumento de la **calidad de vida** de los individuos que la componen. En la mejora del entorno en que el individuo desarrolla su vida: su trabajo, su hogar, su educación, el sistema de sanidad del que disfruta, la organización y servicios que su ciudad o su país le prestan...

Se encuentran ya muy lejanos los tiempos en que los trabajadores se desplazaban durante varias horas desde sus domicilios a los lugares de trabajo con medios de transporte de tracción animal o elementales vehículos motorizados. La mayoría de los miembros de nuestra sociedad actual no han llegado a conocer ese estilo de vida.

La sociedad ha evolucionado hacia el bienestar de sus miembros y, hoy en día, la legislación obliga a poner a disposición del personal laboral los elementos necesarios, no sólo para su transporte (coches, autobuses, metros, trenes, etc.), sino también para un desarrollo de su actividad laboral respetuoso con sus derechos y acorde a las leyes de seguridad e higiene, que recoge los límites y condiciones en que cada actividad debe desarrollarse para salvaguardar la salud de los trabajadores, mediante una adecuada prevención de riesgos laborales. Todo esto ha tenido un excelente resultado en la disminución de la siniestralidad y las enfermedades asociadas al desempeño de la actividad profesional de los individuos.

Las obras de hoy en día no se llevan a cabo mediante el uso de una gran cantidad de mano de obra. La maquinaria ha ido, poco a poco, poniéndose al servicio del ser humano. Relevándolo de aquellas actividades que exigían un desgaste físico excesivo. Actualmente es preceptivo, según la legislación relativa al manejo de cargas, la utilización de la maquinaria necesaria para el movimiento de cargas pesadas.

7.1.1. Prevención de Riesgos Laborales relativa al manejo de cargas

El dolor de espalda que produce la manipulación de cargas es uno de los principales problemas de salud relacionados con el trabajo. Debido a ello, en la Unión Europea, se han ido desarrollando normativas tendentes a salvaguardar la salud de los operarios.

Las enfermedades relacionadas con el manejo de cargas representan en la Unión Europea, a día de hoy, el 23,8% de las incidencias relacionadas con la salud en el trabajo, con un porcentaje de trabajadores afectados del 38,9%.

Transcribimos un párrafo publicado en la revista Oficial de la **Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo** bajo el título: "Riesgos asociados a la manipulación manual de cargas en el lugar del trabajo", con fecha de 21/06/90. Este artículo dice, cuando se refiere a "La Carga":

"El riesgo de sufrir una lesión de espalda aumenta si la carga es:

- *Demasiado pesada: no existe un límite de peso para que una carga sea segura, pero un peso de 20-25 kg resulta difícil de levantar para la mayoría de las personas.*
- *Demasiado grande: si la carga es grande, no es posible seguir las instrucciones básicas de levantamiento*



y transporte, como mantener la carga lo más cerca posible del cuerpo ya que los músculos se cansarán más rápidamente.

- **Difícil de agarrar:** esta circunstancia puede hacer **que el objeto se resbale y provoque un accidente**, las cargas con cantos afilados o materiales peligrosos pueden lesionar a los trabajadores.
- **Descompensada o inestable:** esta situación conduce a una **carga desigual de los músculos y desemboca en la fatiga**, debido a que el centro de gravedad del objeto se aleja del eje central del trabajador.
- **Difícil de alcanzar:** si para alcanzar la carga **hay que extender los brazos o inclinar el tronco**, la fuerza muscular necesaria, es mayor.
- **De una forma o tamaño que dificulte la visión al trabajador:** lo que **aumenta las posibilidades de resbalar, tropezar, caer o chocar**.

En la publicación de la Universidad CARLOS III de Madrid sobre “Manejo Manual de Cargas” en el apartado “¿Qué podemos hacer para evitar estos sobreesfuerzos?”, dentro de las Medidas Preventivas, se expone que: **el peso máximo que se recomienda no sobrepasar es de 25 kg.**

El fondo “La Reunión”, de Francia, En su reunión de octubre del año 2000, llegó a un acuerdo con los sindicatos y otros organismos en el que se estableció **“que el peso máximo que debe cargarse manualmente en esta región de Francia, será 25 kg”**. En esas fechas una tercera parte de todas las lesiones de origen laboral de la región se debían al levantamiento de pesos excesivos.

7.2. Peso de los tubos utilizados en redes de saneamiento y drenaje

Que en los años 60 ó 70, un fabricante de tuberías de PVC indicase en su catalogo que las tuberías fabricadas (diámetro exterior máximo, alrededor de 160 / 200 mm) eran más ligeras y manejables que las tradicionales de hormigón en masa que se encontraban en el mercado era razonable. En aquel entonces esa afirmación era cierta. Hoy en día, para grandes y medios diámetros, esa afirmación no es válida, ya que las tuberías de plástico son, funcionalmente, exactamente igual de manejables que las de hormigón.

Una tubería de saneamiento DN 200 mm, SN 4, de PVC, pesa 4,5 Kg/m. La longitud de fabricación estándar de estos tubos es de 6 m. Cada uno de estos tubos pesa, por tanto, 27 Kg.

Desde el punto de vista de la ligereza el argumento utilizado era razonable, ya que era posible que esas tuberías fuesen manipuladas por dos personas, no siendo necesario el uso de maquinaria para su descarga, reparto y colocación en zanja.

El aumento del consumo de tuberías para saneamiento ha hecho que los fabricantes que utilizaban otros materiales, no tradicionales y ecológicos, en la composición de sus tuberías (PVC,



PE, PP, PRV, etc.) fuesen poco a poco introduciéndose en sectores de mercado en los que anteriormente no estaban presentes, aumentando, de año en año, el diámetro de sus tuberías. Y con este aumento, sus tuberías fueron perdiendo sus características de manejabilidad y ligereza.

A modo de ejemplo, seguidamente se exponen los pesos que presentan, para diferentes diámetros nominales, tuberías de PVC compacto y de poliéster con fibra de vidrio, diseñadas para ser usadas en sistemas de saneamiento, que en estos momentos se ofrecen en el mercado:

Tipo de Tubería	Ø Exterior	Kg/m	Longitud Tubo	Kg/Tubo
Tubería PVC Compacta Serie 4	200	4,50	6 m.	27,00
Tubería PVC Compacta Serie 4	250	7,20	6 m.	43,20
Tubería PVC Compacta Serie 4	315	11,10	6 m.	66,60
Tubería PVC Compacta Serie 4	400	17,90	6 m.	107,40
Tubería PVC Compacta Serie 4	630	44,20	6 m.	265,20
Tubería PVC Compacta Serie 4	800	71,30	6 m.	427,80

Tipo de Tubería	Ø Exterior	Kg/m	Longitud Tubo	Kg/Tubo
Tubería Poliéster - PRV	200	6,40	6 m.	38,40
Tubería Poliéster - PRV	250	8,10	6 m.	48,60
Tubería Poliéster - PRV	300	10,00	6 m.	60,00
Tubería Poliéster - PRV	400	17,40	6 m.	104,40
Tubería Poliéster - PRV	600	34,90	6 m.	209,40
Tubería Poliéster - PRV	800	61,10	6 m.	366,60

Estos simples cuadros muestran que para manipular Tuberías Plásticas más allá del Diámetro Exterior de 315 mm es necesario el uso de un elemento mecánico que aporte el esfuerzo necesario para su descarga y puesta en zanja.

Para otros tipos de tuberías de plástico los diámetros críticos a partir de los cuales éstas dejan de ser manejables es algo superior, pero sólo ligeramente.





En el transporte de tuberías plásticas también se utiliza maquinaria, al igual que sucede con las tuberías de hormigón

Por todo lo expuesto, dentro del contexto de las tuberías diseñadas para ser usadas en sistemas de saneamiento, podemos afirmar que:

- Las actuales normativas de seguridad e higiene en el trabajo implican que la denominación de las tuberías plásticas como...

MANEJABLES

...sea inadecuada para diámetros nominales superiores a DN 315 (en mm).

La manejabilidad es vendida como una característica diferenciadora en los mensajes lanzados por las campañas de marketing de los fabricantes de tuberías de plástico destinadas a ser usadas en sistemas de saneamiento (PVC, PE, PP, PRV, PFRV, etc.). La situación real es que, a efectos prácticos, son igual de manejables que las tuberías de hormigón.

- El progresivo incremento en los diámetros suministrados por los fabricantes de tuberías de plástico de saneamiento impiden que estas puedan seguir usando el adjetivo de:

LIGERAS

La necesidad de utilizar maquinas para su manipulación las iguala a las tuberías de hormigón en cuanto a manejabilidad se refiere.

A partir de ciertos diámetros las características de LIGEREZA y MANEJABILIDAD, de las tuberías de hormigón son iguales a otras fabricadas con materiales plásticos.



Fuente: ACPA

Con dos personas y ayuda de una máquina, podemos mover fácilmente los mayores diámetros



CAPÍTULO 8

PUESTA EN OBRA DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Las condiciones de puesta en obra pueden condicionar completamente la elección de un tipo de tubería frente a otro.

En el caso de las tuberías de plástico, una correcta puesta en obra es, tal como se explicó en el Capítulo 5, más crítica, de cara al correcto comportamiento estructural del sistema y a su integridad, que la correcta fabricación de la tubería. El control que hay que llevar a cabo en la instalación de un sistema ejecutado con tuberías de plástico para cumplir con los parámetros de diseño implica un gran aumento del coste del proyecto y una dilatación de sus plazos de ejecución respecto a instalaciones que requieran de condiciones de instalación más laxas, lo que también se traduce en dinero.

8.1. Instalación y manipulación

El técnico debe considerar, dentro de la gama de productos que le ofrece el mercado, qué tipo de tubo, de entre aquellos que cumplen con todas las exigencias del proyecto, resultará más fácil de manipular en su instalación.

La facilidad de manipulación de una tubería no sólo tiene relación con el manejo de la tubería (transporte, acopio, manipulación y colocación en el fondo de la zanja). Este concepto engloba el total de operaciones que forman parte de la instalación, desde su salida de la fábrica hasta que la tubería está cubierta y el terreno envolvente ha sido correctamente trabajado hasta adquirir las características prescritas en el proyecto. Entre estas operaciones debemos incluir la apertura de zanjas, la compactación del terreno, etc.



Fuente: ACPA

Otro argumento importante utilizado tradicionalmente por los fabricantes de tuberías plásticas es *“la facilidad para realizar la unión de los tubos, ya que están abocardados e incorporan una junta elástica que garantiza la estanquidad de la unión”*. También esto ha quedado con el paso del tiempo en situación de igualdad.

Hoy las tuberías de hormigón armado deben, necesariamente, de acuerdo con la norma UNE EN 1916, incorporar una junta de estanquidad elastomérica, que garantiza la estanquidad de la unión.

8.2. Puesta en obra

Cuando se habla de la "puesta en obra" de tuberías, independiente de su tipo, de su constitución, de sus características y de su composición, se deben tener en cuenta las distintas etapas que forman este concepto y, que son:

- a) Almacenamiento de las tuberías en el centro de producción.**
- b) Carga de las tuberías en fábrica.**
- c) Transporte de las tuberías hasta la obra.**
- d) Almacenaje de las tuberías en obra.**
- e) Instalación en zanja.**

Respecto a los apartados **a)** y **b)**, se da por hecho que todo fabricante responsable cuida de su producto y lo entrega de acuerdo con las normativas vigentes.

Para los apartados **c)**, y **d)**, se traslada al lector lo que se indica en el Manual Técnico, editado por ASETUB (Asociación Española de Fabricantes de Tuberías Plásticas) para tuberías de PVC. No hay que olvidar que a medida que disminuye su espesor las precauciones a tomar deben ser mayores.

- c) Transporte:** según el Manual ASETUB, para las tuberías de plástico:

"En la carga, transporte y descarga de los tubos y accesorios se utilizarán los medios adecuados y se tomarán las precauciones necesarias para evitar daños y degradación de los mismos".

"Los tubos son suministrados habitualmente de forma paletizada o bien sueltos en caso de cantidades pequeñas".

"Para su transporte, se deben tomar las precauciones que a continuación se relacionan:"

- *"Los vehículos deben estar provistos de un plano horizontal, llano, libre de clavos u otros elementos que puedan dañar las tuberías. Los tubos sueltos deben apoyarse en toda su longitud para un mejor reparto de las cargas."*
- *"Se debe evitar que los tubos sobresalgan de la plataforma del camión quedando un extremo en voladizo".*
- *"Los tubos con alta rigidez deberán situarse en la parte inferior de la carga, y los de baja rigidez, en la parte superior".*
- *"Cuando se realiza la carga de tubos con embocadura, los tubos deberán apilarse en el vehículo de forma que las embocaduras no estén sometidas a excesiva carga".*
- *"La carga se asegurará sobre los vehículos sin usar elementos (cadenas, cables), en contacto con los tubos que puedan dañarlos. Se recomienda el empleo de bandas o cintas evitando el apriete excesivo".*

- “La descarga de los tubos y accesorios debe realizarse ordenadamente, evitando arrojarlos desde el camión al suelo, o golpearlos violentamente”.

d) **Almacenamiento en obra:** según el manual de ASETUB:

“El lugar destinado para colocar los tubos debe estar nivelado y plano, con el fin de **evitar deformaciones que podrían llegar a ser permanentes**. Igualmente debe estar exento de objetos duros y cortantes”.

“Cuando los tubos se almacenan sin paletizar, la altura de apilado no excederá de 1,5 m”.

“El apilado de los tubos con embocadura debe realizarse alternando las embocaduras y dejándolas sobresalir para que los tubos se apoyen a lo largo de toda su generatriz”.



Fuente: ACPA

“Las tuberías de U-PVC **deben mantenerse resguardadas de los rayos solares**, esto es particularmente importante en épocas de mayor radiación solar o cuando se prevean largos periodos de almacenamiento. En estos casos se recomienda una protección adecuada por medio de una cubierta opaca con libre circulación de aire (tipo lona)”.

“Los tubos almacenados deben estar situados de forma tal que **combustibles, disolventes, adhesivos, pinturas agresivas, etc., no entren en contacto con los mismos**”.

“No debe permitirse el almacenaje de tuberías en zonas donde puedan tener contacto con otras conducciones de vapor o agua caliente **asegurándose de que la temperatura de la superficie exterior de la tubería no alcance los 45°C**”.

e) **Instalación:** según el manual de ASETUB:

*"Para evitar riesgos de deterioro y de incidentes posteriores, al trasladar los tubos para su instalación definitiva, **se llevarán sin arrastrarlos por los suelos**, ni golpeándolos contra objetos duros".*

*"Con **temperaturas extremadamente frías se deben tomar precauciones** para evitar golpes fuertes que puedan dañar la tubería".*

"Si debido al manejo o almacenaje defectuoso, un tubo resultase dañado, la longitud afectada debe ser suprimida completamente".

De entre los párrafos anteriores hay algunas líneas que, por sus importantes implicaciones, se ha considerado pertinente destacar.

- *"Evitar deformaciones que podían llegar a ser permanentes.*
- *Deben mantenerse resguardadas de los rayos solares.*
- *Combustibles, disolventes, adhesivos, pinturas agresivas, etc. debe procurarse que no entren en contacto con los mismos.*
- *Asegurándose de que la temperatura de la superficie exterior de la tubería no alcance los 45°C.*
- *Se llevarán sin arrastrarlos por los suelos".*

Los extractos anteriores plantean algunas cuestiones:

- ¿Se comprueba normalmente en obra la deformación de los tubos?,
- ¿Se mantienen siempre a cubierto las tuberías plásticas?

En algunas zonas geográficas españolas se alcanzan los 45°C de temperatura ambiente. Bajo la incidencia directa y continua de la radiación solar no es necesario que la temperatura sea, ni por asomo, tan alta, para que la superficie del tubo la alcance. La pregunta es obvia: ¿no se instalan tuberías plásticas allí donde se alcanzan esas condiciones? Cualquiera que mantenga los ojos abiertos mientras pasea por su ciudad conoce la respuesta.

Y aún hay muchas más preguntas que pueden surgir a raíz de todas las consideraciones extraídas del manual de ASETUB. La primera de ellas es si, en general, se observan estas normas de buena práctica y sentido común. La respuesta es que, por lo general no. Pero, incluso ante un escrupuloso seguimiento de esas normas: ¿Puede la condición de flexible que tiene un tubo de plástico garantizar su recuperación tras un golpe o un aplastamiento? ¿Está el personal de obra capacitado para reconocer con facilidad si con el accidente se ha superado el límite elástico de la tubería? ¿Es esto siquiera posible mediante una mera inspección visual?

La tubería de hormigón se dispone sobre un relleno de apoyo que puede ser de hormigón, frecuentemente en masa, o de material granular compactado. La altura de dicho relleno es la que determina el factor de apoyo que, como hemos dicho anteriormente, es la relación entre la carga admisible de la tubería instalada y la carga admisible en el ensayo de tres aristas.

Como material para relleno lateral y relleno de cobertura, puede aprovecharse el terreno natural que se obtiene al excavar la zanja, dada la escasa contribución de ambos a la respuesta mecánica de la conducción.

Las tuberías plásticas se apoyan en cunas de terreno granular compactado, siendo la calidad del relleno lateral de gran importancia. Si el relleno lateral no está bien compactado no se puede contar con el empuje pasivo que aparece al deformarse horizontalmente la tubería. La compactación de dicho relleno lateral debe ser, como mínimo, del 95% de la densidad *Proctor Normal*, (página 306 del Manual Técnico ASETUB), lo que resulta muy difícil de conseguir, especialmente, en el caso de zanjas entibadas. Ello es debido al reducido espacio que queda entre la conducción y el paramento de la entibación, que obliga a recurrir a anchos de zanja mayores que en el caso de tuberías de hormigón instaladas sin material granular compactado, ralentizando el ritmo de trabajo y encareciendo la instalación.

Por otro lado y, salvo que el terreno sea de muy buena calidad, los rellenos laterales y de cobertura deben ser suelos seleccionados de aportación, exentos de piedras, con una granulometría de 20 mm como máximo (Página 306 del Manual Técnico de ASETUB), lo que encarece la obra, descompensa la balanza de movimientos de tierras y disminuye la sostenibilidad de este tipo de sistemas de tuberías.

Las ventajas más importantes que conlleva la instalación en zanja de una tubería de hormigón respecto a una de plástico son las siguientes:

- La instalación de tuberías de hormigón no necesita aporte de material externo ni seleccionado para el relleno (ahorro económico y contribución a la sostenibilidad).
- Las tuberías de hormigón permiten ser instaladas con rellenos ligeramente compactados o sin compactar (menor criticidad).
- Las tuberías de hormigón tienen un comportamiento mecánico menos dependiente de la instalación que las tuberías de plástico (mayor seguridad y duración).
- Las tuberías de hormigón poseen un mejor comportamiento ante problemas de flotación ocasionados por el nivel freático.
- Las tuberías de hormigón con junta elástica se adaptan mejor al trazado del terreno, curvas o instalaciones entibadas (tubos más cortos que las tuberías de plástico).
- El tiempo de instalación de las tuberías de hormigón es similar al de las tuberías plásticas, ya que, si bien estas últimas tienen menos uniones, su correcta instalación requiere de un mayor control en obra. Esto se debe a la mayor criticidad de su instalación y la ineludible

necesidad de compactación de todo el material envolvente del tubo, así como a la obligatoriedad de aportar material seleccionado de relleno.

CAPÍTULO 9

COSTES



Los costes son de suma importancia a la hora de determinar cuál va a ser la configuración de un proyecto. Obviamente, de entre todas las opciones que satisfagan las exigencias del proyecto, superando unos determinados parámetros de calidad y ofreciendo unas garantías adecuadas de durabilidad, se elegirá la que más económica resulte.

Las tuberías de hormigón armado son altamente competitivas en términos económicos. Para el rango alto de diámetros manejados en el mercado de las tuberías de

saneamiento la compra de un metro de tubería de hormigón armado resulta más económica que la compra de una tubería de plástico. Pero incluso en aquellos casos en que la tubería de plástico resulte más barata, si se valora el coste de un mismo proyecto (precio de las unidades de obra) ejecutado con tuberías de plástico, se observará que normalmente es superior al de un sistema ejecutado con tuberías de hormigón armado (siempre que se cumplan las condiciones de instalación fijadas por las normas UNE-EN 13476 y UNE-EN 1610).

Para tuberías de diámetros pequeños puede darse el caso en que el coste de proyecto sea menor para una tubería de plástico que para una de hormigón. Hay que tener en cuenta, tanto en este supuesto como en los anteriores, un concepto fundamental: el coste de amortización.

El coste de amortización es la herramienta que debe utilizarse cuando se quiera comparar la rentabilidad de varias posibles inversiones. Dado que la vida útil de una tubería de hormigón armado suele doblar la de una tubería de plástico (como se observó en el Capítulo 5, una tubería de hormigón armado garantiza una vida útil como mínimo un 40% superior que una tubería de plástico). El coste de amortización de una tubería de hormigón armado (coste repercutido sobre cada año de servicio de la tubería) es siempre menor.

9.1. Costes de ejecución de un proyecto de saneamiento o drenaje

Los factores a tener en cuenta en el análisis de costes de un proyecto son, según lo especificado en la "Standard Practice" de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*):

- Vida útil de la conducción
- Coste inicial
- Tipo de interés
- Inflación
- Coste de mantenimiento y rehabilitación
- Coste de restitución
- Valor residual

Las tuberías de plástico y hormigón armado están en las mismas condiciones en cuanto a tipos de interés e inflación. A continuación se analizan las diferencias existentes entre estos dos sistemas para el resto de conceptos relativos al análisis de costes.

9.1.1. Vida útil de la conducción

La vida útil de las tuberías de hormigón puede considerarse de 100 años (según el *U.S. Army Corps of Engineers*). En España, si se respeta la normativa actual, se puede garantizar un mínimo de 70 años.

En claro contraste, las tuberías de plástico tan solo pueden garantizar una vida útil máxima de 50 años, valor establecido en consideración al proceso de regresión que sufren a lo largo del tiempo.

Pero incluso esta cifra es francamente dudosa, dada la corta experiencia que se tiene al respecto y los graves problemas ya observados en multitud de instalaciones con pocos años de puesta en servicio.

En el Capítulo 5, ya se explica de forma extensa los condicionantes que influyen en la durabilidad de las tuberías de hormigón y las tuberías de plástico.

Una parte importante del coste de un proyecto de saneamiento o drenaje es la instalación. El comportamiento de las tuberías de plástico es muy sensible a las condiciones de instalación, ya que, a diferencia de lo que sucede con las tuberías de hormigón, que tienen capacidad resistente por sí mismas, la mayor parte de la resistencia mecánica la aporta el terreno. Esto implica que las condiciones de instalación son mucho más críticas para las tuberías de plástico, lo que implica, no sólo que las exigencias en la instalación deban ser mucho más severas y costosas (por ejemplo, compactación del terreno desde el lecho hasta 30 cm por encima del plano de clave), sino que el control de la instalación debe ser llevado a cabo de manera mucho más rigurosa.



Los precios de las tuberías vienen dados por las condiciones del mercado, pero si la vida útil del hormigón duplica a la de las tuberías plásticas, la amortización se realiza en condiciones económicas mucho más favorables.

La alta durabilidad del hormigón supone también un ahorro para la sociedad en términos menos directos. Cada vez que hay que levantar y cortar una calle durante meses para sustituir un sistema de saneamiento que se ha quedado obsoleto se contribuye a la creación de atascos, interrumpiendo el desarrollo normal de la actividad de la ciudad.

9.1.2. Coste inicial

Los costes de instalación son también función del terreno donde se realice la instalación, de la distancia a los emplazamientos donde se puedan obtener terrenos de aportación aptos para realizar la cama de asiento y el relleno de la zanja de las tuberías plásticas y del tiempo de compactación que, según hemos visto anteriormente, es vital para el correcto funcionamiento del sistema y para que éste alcance su vida útil de proyecto.

A pesar de que los conceptos anteriores son más indirectos y difíciles de cuantificar, no deben, bajo ningún concepto, pasarse por alto, ya que su importancia final es considerable.

Para la mayoría de los diámetros comercializados las tuberías de hormigón armado son más económicas en términos de unidad de obra.

La superior durabilidad de las tuberías de hormigón armado respecto de las tuberías de plástico, conlleva que sean, en términos de coste de amortización, más económicas que las tuberías de plástico para cualquier diámetro comercial.

El hecho de que las tuberías de plástico de pequeños diámetros pesen menos, puede llevarnos a la errónea conclusión de que con ellas conseguiremos un importante ahorro. Si tenemos en cuenta el importe total de la instalación: no sólo del tubo y su puesta en obra, sino también otros costes derivados, estrictamente necesarios para una correcta instalación de las tuberías de plástico, como pueden ser el recubrimiento de la tubería mediante hormigón como medida de precaución, la necesidad de transportar hasta la obra tierras de granulometría específica para formar la cama de apoyo de los tubos y su relleno, el mayor tiempo necesario para la correcta compactación es un sistema constituido por tubos flexibles frente a uno llevado a cabo mediante tubos rígidos... es más que probable que las tornas giren y el proyecto más económico resulte ser el realizado mediante tuberías de hormigón.

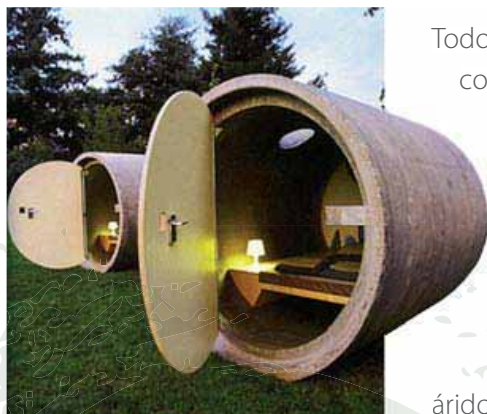
Cuando contemplamos la instalación de tuberías que, por su gran diámetro necesitan de elementos mecánicos para su manipulación, el concepto peso desaparece. La diferencia que resulta, en términos económicos, de manipular con una máquina 200 u 800 Kg, es inapreciable, ya que los costes asociados a la utilización de una máquina son función directa de las horas que esta deba estar trabajando, no del peso que deba manipular.

9.1.3. Coste de mantenimiento y rehabilitación

Dada su superior integridad estructural, los sistemas de saneamiento o drenaje llevados a cabo mediante tuberías de hormigón armado son más fiables que aquellos realizados con tuberías de plástico. Esto implica que los costes derivados de llevar a cabo obras de mantenimiento, rehabilitación o, en el peor de los casos, sustitución de secciones defectuosas del sistema sea mucho menor. Como se ha indicado anteriormente, estos costes no son tan sólo aquellos asociados a la reparación. Deben tenerse en cuenta todos los efectos que la reparación tiene sobre cualquier otra actividad.

9.1.4. Valor residual

Las tuberías de hormigón armado son reciclables. Mientras que el coste energético que conlleva el reciclaje de una tubería de plástico es muy alto, el coste asociado al reciclaje del hormigón es bajo.



Todo el acero estructural que se utiliza en el sector de la construcción es reciclable. A día de hoy, en España, se recicla el 80% de este acero. Es por tanto muy habitual moler el hormigón armado para extraer el acero que contiene.

Como se explicará más adelante, en el Capítulo 10, si se dan las condiciones adecuadas, el hormigón puede ser molido expresamente para utilizarse como árido reciclado en la elaboración de nuevos hormigones, que adquirirán una resistencia incluso superior a la de los hormigones fabricados con áridos "nuevos", ya que el cemento presente en los áridos reciclados sigue conservando cierta capacidad de hidratación, con el consecuente ahorro en cemento.

Cuando estas condiciones no se satisfagan, la grava obtenida puede ser utilizada, por ejemplo, como firme para carreteras.

Además, las tuberías de hormigón son reutilizables. Dentro del marco de su vida útil, pueden pasar a formar parte de cualquier otro nuevo sistema de saneamiento tras haber sido desenterradas.

9.2. Costes en uso de un sistema de saneamiento o drenaje

Un punto importante a tener en cuenta es la rentabilidad de la inversión. Cuando se realiza el proyecto de una red de saneamiento, además de todos los aspectos económicos que su correcta ejecución implica, se debe considerar la “rentabilidad a largo plazo de la inversión”. La red no es un ente estático. Estará en continuo uso y, por tanto, se deben prever la utilización de materiales que garanticen su vida útil. Cuanto mayor sea esta vida útil, mayor será la rentabilidad a largo plazo de una determinada inversión.

En el estudio de la rentabilidad de una inversión debe considerarse su vida útil prevista. Lógicamente, supuesto un mismo desembolso, cuanto mayor sea la vida útil del producto en que se invierte, más rentable resultará una inversión.



Las obras bien diseñadas y ejecutadas perduran en el tiempo.

Si el técnico cae en la tentación de usar un criterio meramente basado en los precios de compra puede estar cometiendo un grave error. Sirvan de ejemplo los siguientes casos:

- **Tuberías de plástico, fabricadas con perfiles enrollados helicoidalmente.**

Estas tuberías comenzarán a tener problemas al cabo de un tiempo, porque, ante las sollicitaciones a las que estará sometido el sistema, el perfil, ya tensionado desde su fabricación, se soltará y empezará a desaparecer en algunos tramos. Esto representaría un coste muy importante en términos de mantenimiento y reparaciones.

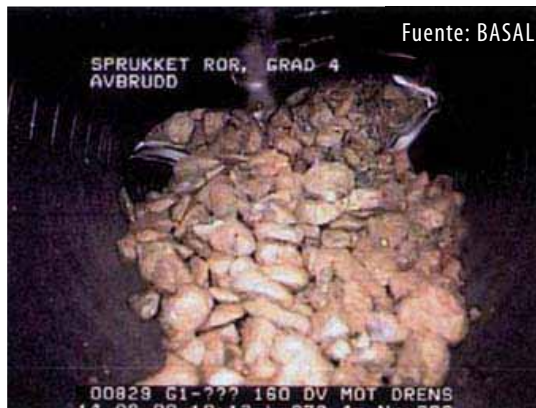
Tuberías de plástico que, por su baja resistencia a la compresión, deben ser recubiertas de hormigón *in situ*. En este caso, pese a que el coste por metro de tubería sea bajo, el coste final del proyecto no es competitivo, ya que la tubería se convierte en un encofrado perdido y la cantidad de hormigón en masa a utilizar es ingente.



Fuente: BASAL

- **Tuberías de plástico que colapsan mucho antes de cumplir 50 años en servicio.**

En numerosas ocasiones se instalan tuberías que poseen una rigidez anular tal que, pese a cumplir inicialmente con los requerimientos mecánicos del sistema, colapsan al cabo de unos pocos años en servicio. Esto se debe a que, pese a que el fenómeno de fluencia que estas sufren y que supone la natural degradación de las propiedades mecánicas de los materiales plásticos bajo carga, es bien conocido, no para todos los materiales plásticos se tiene la suficiente experiencia. En ocasiones esto desemboca en una mala predicción de la evolución de su módulo de elasticidad a medio/largo plazo, de manera que los datos dados por el fabricante pueden ser incorrectos.



- **Sistemas de saneamiento constituidos por tuberías de plástico en los que no se han cumplido escrupulosamente los parámetros de instalación**

Los sistemas de saneamiento llevados a cabo mediante tuberías de plástico en los que no se lleva a cabo una instalación adecuada sufren problemas de excesivas deformaciones.

Esto, por desgracia, es el pan nuestro de cada día en nuestro país. Nuestras pesquisas nos indican que lo más frecuente es que los instaladores procedan a la colocación de tuberías de plástico de manera exactamente igual que en el caso de tuberías de hormigón. La compac-



Esta tubería presenta, ya antes de ser recubierta por el terreno de relleno, una deformación superior al 5%. Como puede observarse, esta deformación ha tenido su repercusión negativa en la unión entre estos dos tubos, que no ajusta correctamente. Esta junta es, además, electrosoldada, con lo que los problemas de estanquidad

pueden incrementarse ante expansiones o contracciones debidas a diferencias significativas entre la temperatura de la tubería en el momento de su colocación y su temperatura una vez enterrada y en uso, o por asientos del terreno

tación, sobretodo la lateral, no es adecuada. No se alcanzan las densidades proctor mínimas establecidas por la norma o por los fabricantes.

Como consecuencia, es completamente normal que se alcancen valores de deformación superiores a un 5% en estas instalaciones, lo que facilita futuras fisuras por fatiga del material y compromete el correcto comportamiento hidráulico.

Estas instalaciones mal ejecutadas son una bomba de relojería. De nuevo los costes de reparación o sustitución son enormes en el momento en que esos fallos se producen, generalmente mucho antes de que se cumpla la vida útil para la que el sistema ha sido proyectado.

• Tuberías de plástico instaladas en un terreno envolvente inadecuado

En aquellos terrenos que presenten piedras de granulometría superior o igual a 20mm (no hay muchos terrenos no seleccionados que cumplan con esta condición), si la tubería que va a colocarse es de plástico, no debe utilizarse el terreno extraído de la zanja para realizar la cama y cobertura de la tubería.

La apertura de las zanjas se realiza con medios mecánicos. Los cazos de las máquinas excavadoras que son utilizadas en estas labores rompen algunas de las piedras con las que se encuentran al penetrar en el terreno. Las piedras de canto afilado, producto de la apertura punzan la pared de la tubería y a menudo dan lugar a su rotura.

El coste de comprar y transportar material seleccionado no es en absoluto despreciable. Pero sin duda, el coste de tener que sustituir las tuberías

En la figura pueden observarse un par de detalles, por desgracia, demasiado habituales:

La compactación lateral no es correcta. Sería imposible compactar con tongadas de 10 cm de espesor los laterales de este tubo, instalado en una zanja de anchura apenas superior al diámetro exterior del tubo. Como consecuencia, los laterales del tubo, lejos de alcanzar una densidad proctor normal superior al 98 % presentan coqueas. No se activarán los empujes pasivos del terreno sobre los flancos del tubo, con lo que las deformaciones experimentadas por éste serán muy superiores a las de diseño.

Además el terreno de aportación presenta piedras de tamaño muy superior a los 2 cm máximos recomendados.



perforadas como fruto del incumplimiento de esta necesidad es muy superior. Este tipo de modo de proceder, que busca un pequeño ahorro a corto plazo, puede suponer graves problemas y elevados costes a largo plazo.

Las tuberías de hormigón armado no tienen ningún tipo de limitación respecto al terreno de relleno a utilizar.

- **Tuberías de plástico a las que no se les ha dado el trato pertinente durante su acopio**

En el supuesto de que las tuberías plásticas destinadas a formar parte de un sistema de saneamiento sean almacenadas a pié de obra sin ningún tipo de protección se puede dar otra circunstancia que compromete seriamente su posterior correcto funcionamiento. En muchas zonas de nuestro país se alcanzan elevadas temperaturas en los días calurosos de verano. Si la tubería se encuentra bajo la acción directa del sol, no es necesario que las temperaturas sean desmesuradas para que se alcance en su superficie una temperatura superior a los 45°C. Bajo estas condiciones, algunas tuberías plásticas pueden llegar a sufrir deformaciones permanentes. Sobre todo si están cargadas (soportando el peso de otras tuberías apiladas sobre ellas, por ejemplo).



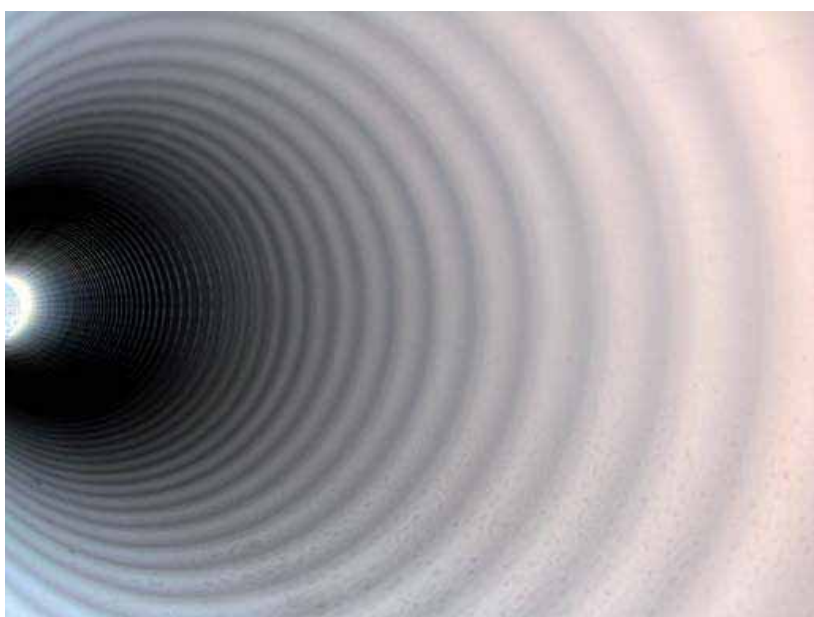
Si se une un tubo que presenta una deformación inicial con otro que no se encuentre deformado, la unión entre ambos presentará serios problemas para mantener la estanquidad, sea cual sea el sistema de juntas utilizado. Estas fugas no sólo comprometen la seguridad ambiental (exfiltraciones), el correcto funcionamiento de las estaciones depuradoras (infiltraciones) y la correcta evacuación de las aguas residuales (penetración de raíces o terreno de aportación que pueden bloquear la tubería). En las ocasiones en que el sistema entre en carga se corre el riesgo, además, de que se socave el terreno alrededor de la unión defectuosa, lo que puede provocar asentamientos o incluso el colapso del terreno sobre la conducción.

- **Tuberías de plástico cuya superficie interior no es lisa una vez están en servicio**

Existe un fenómeno muy extendido entre las tuberías plásticas de tipo B (tuberías de plástico de doble capa, corrugadas exteriormente y, supuestamente, lisas interiormente) en servicio. En cuanto estas tuberías se ven solicitadas mecánicamente por las cargas del sistema (terreno de relleno, tráfico, sobrecargas puntuales y distribuidas, ...) la capa exterior corrugada transmite esfuerzos a la capa interior, que es muy fina. Esta transmisión de esfuerzos entre la capa interior y la exterior provoca una deformación de la capa interior, que pasa a ondularse de manera

importante. A efectos prácticos la superficie interior deja de ser una superficie lisa y pasa a ser una superficie corrugada. Este fenómeno se conoce como *corrugation growth*.

Según el manual de la *American Concrete Pipe Association*, las tuberías corrugadas presentan coeficientes de manning del orden del doble que las tuberías lisas. Si en el diseño del sistema se ha considerado que la superficie de una tubería de tipo B que va a sufrir *corrugation growth* es lisa, se ha subdimensionado hidráulicamente el sistema.



El fenómeno de *corrugation growth* puede agravar los problemas que, ya de por sí, podrían producir los efectos de la abrasión sobre las finas paredes interiores de estas tuberías. Los puntos mecánicamente más débiles de la pared interior son precisamente aquellos donde las paredes interior y exterior están en contacto.

No sólo por ser los que mayores deformaciones sufren (y por tanto mayores tensiones soportan). El proceso mediante el cual las paredes interior y exterior son unidas, mediante procesos térmicos asimilables a la soldadura, conlleva un debilitamiento intrínseco de esta zona respecto al resto de la estructura de la pared. Y son precisamente estos puntos los que más sufren los efectos de la abrasión, por estar más expuestos al flujo.

Si esto redundo en una rotura de la lámina interior también se verá comprometida la estanquidad.

9.3. Costes indirectos para la sociedad: coste a medio/largo plazo

Cambiando de perspectiva, puede parecer absurdo aludir a la sostenibilidad desde la perspectiva de los costes, pero si se piensa en un medio/largo plazo, la relación no es tan solo plausible. Es evidente.

Desde un punto de vista algo especulativo (hasta ahora sólo se tienen indicios: la opinión de unos cuantos reputados científicos y algunas resoluciones de organismos como las naciones unidas) se puede decir que los efectos de la contaminación y el calentamiento global pueden

ser muy perjudiciales en un futuro no muy lejano si no apostamos por aquellas soluciones que, sin comprometer nuestras necesidades presentes, son más respetuosas con el, actualmente precario, equilibrio medioambiental de nuestro planeta.

Si se hace caso a quienes dicen que, los actualmente cada vez más frecuentes y destructivos desordenes meteorológicos que tienen lugar a lo largo de todo el mundo, tienen relación directa con el mencionado calentamiento global, la relación sostenibilidad-costes es evidente. Costes en vidas y en infraestructuras. Millonarios. Desmesurados. Repentinos. Impredecibles.



Mientras que las tuberías de plástico utilizan derivados del petróleo, producto con una existencia limitada en el tiempo, y procesos de fabricación con un consumo energético muy elevado, y muy contaminante, las tuberías de hormigón utilizan elementos naturales y su consumo energético es moderado. Además son reciclables y este proceso de reciclaje no requiere de un elevado aporte energético. Por último pueden ser reutilizables, mientras que las tuberías plásticas no.

En el momento en que una tubería deba ser desechada, su impacto medioambiental es completamente diferente si se trata de un elemento constituido de una materia perfectamente integrable en el medio o de un material plástico. Las características de la grava resultante de moler el hormigón para extraer el acero de sus ferrallas (proceso que se lleva a cabo sin falta tras cualquier demolición o desmantelamiento de elementos de hormigón armado) no difiere de la grava natural. Puede utilizarse para otros usos como son la construcción de firmes de carreteras o el relleno de terrenos de donde se hayan extraído otros materiales.

III SOSTENIBILIDAD

Las tuberías de hormigón armado son un producto sostenible. Las materias primas que las componen: agua, gravas, arena... están presentes en la naturaleza y no es necesario transformarlas para que pasen a formar parte del producto terminado. Además, estas materias primas se encuentran ampliamente distribuidas geográficamente.

El petróleo es un material no biodegradable y no integrable en el medioambiente que perjudica al entorno natural. Ya por el mero hecho de ser una materia prima agotable, cuyo precio además no deja de crecer, no puede ser considerado como sostenible desde un punto de vista ambiental o económico. Además, los problemas que esta materia prima ocasiona al medio ambiente van más allá del uso que de ella se hace. Cada vez que un petrolero naufraga o un oleoducto se rompe, se da lugar a una terrible catástrofe ambiental.

Las necesidades energéticas que tiene una tubería de hormigón en su fabricación son muy bajas respecto a las del resto de tuberías presentes en el mercado del saneamiento y el drenaje.

La producción de las tuberías de hormigón armado y, por tanto, la mano de obra utilizada, es local. Siempre se puede encontrar una fábrica de tuberías de hormigón armado cerca del punto donde estas se precisen.

La durabilidad de las tuberías de hormigón armado es muy superior a la de las tuberías de plástico, lo que les aporta un valor extra como solución sostenible en términos económicos, medioambientales y sociales.

Las tuberías de hormigón armado son reciclables y reutilizables. Mientras que la energía necesaria para reciclar el material de una tubería de plástico es muy grande, las necesidades energéticas del proceso de reciclaje del hormigón son modestas.

CAPÍTULO 10

SOSTENIBILIDAD

¿Hubiesen conocido nuestras actuales generaciones el petróleo y sus derivados si el Imperio Romano hubiese descubierto sus aplicaciones?

Desde el punto de vista ecológico y ambiental, la actividad humana ya ha sobrepasado el estadio de una economía sin límites y sin fronteras.

Con anterioridad, era relativamente fácil solucionar los problemas de contaminación y de uso y gestión de los recursos naturales (renovables y no renovables). Existía suficiente margen para permitir que actuaran las capacidades de recuperación de la biosfera y se activara la inteligencia y la capacidad de innovación tecnológica y organizativa de los seres humanos.

Actualmente existen numerosos indicios, sustentados en estudios realizados por organismos internacionales, que anuncian posibles consecuencias catastróficas, no tan solo para las generaciones presentes, sino también, y sobre todo, para las futuras.



10.1. Concepto de sostenibilidad

El término internacionalmente mencionado como **“desarrollo sostenible, sustentable o perdurable”**, nació en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, creada en asamblea en 1983.

Como definición inteligible de los conceptos anteriores se asumió, posteriormente, el Principio nº 3 de la Declaración de Río (1992), que entiende la sostenibilidad como:

“Aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades”.



Gro Harlem Brundtland
Creadora del concepto de
Sostenibilidad

Aunque la inconcreción de la definición antes mencionada puede dar lugar, como de hecho sucede, a múltiples interpretaciones, también es cierto que si intentamos interpretar las distintas frases de la misma nos encontramos con aspectos bastante claros:

"desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes"

con una indicación muy importante:

"sin comprometer las posibilidades de las del futuro"

Siempre en esta dirección, se han realizado y se realizarán trabajos encaminados a concienciar a la sociedad actual de que una de sus responsabilidades históricas es preparar, mantener, mejorar y reparar el medio ambiente en que vivimos y del que dependerán generaciones futuras.

Hace ahora veinte años, la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, pidió la elaboración de un informe que pusiera al día nuestros principios éticos y sentara los principios de una sociedad sostenible.

En junio del año 2000, se presentó oficialmente en La Haya el texto de la "Earth Chart" o "Carta de la Tierra", bajo los auspicios de la Reina Beatriz de Holanda. Seguidamente, se resumen algunos párrafos de este documento que son de sumo interés dentro del contexto de la sostenibilidad:

"La Tierra es nuestro hogar. Está viva con una comunidad singular de vida. Las fuerzas de la naturaleza promueven que la existencia sea una aventura exigente e incierta, pero la Tierra ha brindado las condiciones esenciales para la evolución de la vida. La capacidad de recuperación de la comunidad de vidas y el bienestar de la humanidad dependen de la preservación de una biosfera saludable, con todos sus sistemas ecológicos, una rica variedad de plantas y animales, tierras fértiles, aguas puras y aire limpio. El medio ambiente global, con sus recursos finitos, es una preocupación común para todos los pueblos. La protección de la vitalidad, la diversidad y la belleza de la Tierra es un deber sagrado.

Los patrones dominantes de producción y consumo están causando devastación ambiental, agotamiento de recursos y una extinción masiva de especies...

El proceso requerirá un cambio de mentalidad y de corazón. Requiere también de un nuevo sentido de interdependencia global y responsabilidad universal. Debemos desa-

rollar y aplicar imaginativamente la visión de un modo de vida sostenible a nivel local, nacional, regional y global...".

Se podría escribir un voluminoso libro con alegaciones, desarrollo de principios e ideas sobre el concepto de sostenibilidad, pero no es éste el objetivo de este libro.

Lo que seguidamente se presenta es información concreta que pone de manifiesto la colaboración de los fabricantes de tuberías de hormigón a la sostenibilidad de nuestro planeta.



El hormigón se produce a partir de áridos, grava, cemento y agua. De todas estas materias primas, la única cuya obtención puede ser considerada contaminante es el cemento. Sin embargo en la fabricación de tuberías de hormigón interviene tan solo un pequeño porcentaje en peso de este producto.

10.2. Análisis del ciclo de vida de un sistema de saneamiento o drenaje

Entre 1998 y 2001 el *Department of Trade and Industry* del Reino Unido (DTI –Departamento de Comercio e Industria-), organismo neutral de prestigio, esponsorizó un estudio que realizó la consultora holandesa independiente INTRON. En este estudio se compara la sostenibilidad de 7 tipos de tuberías fabricadas con distintos materiales en base al método LCCA (*Life Cycle Cost Analysis*). El estudio fue encargado por la *Concrete Pipe Association* del Reino Unido y, como el objetivo principal era realizar un estudio de calidad, abierto y transparente, se pidió al *Building Research Establishment* (BRE), que lo revisara de una manera crítica(*).

Las características de las conducciones del estudio fueron las siguientes (idénticas para todos los materiales analizados):

Longitud total de la conducción:	1 km
Régimen hidráulico:	En lámina libre
Tipo de suelo:	Ambiente no agresivo
Diámetro de las tuberías:	DN 300 y DN 450
Número de pozos:	1 cada 100 m
Vida útil:	50 años

(*) Si está interesado por el mencionado estudio, ANDECE puede remitírselo sin compromiso alguno. Solicítelo.

Los siete materiales estudiados fueron:

- 1) Tubos de Hormigón.
- 2) Tubos de Gres.
- 3) Tubos de PVC compactos.
- 4) Tubos Doble Capa de PVC.
- 5) Tubos de PVC Acostillados.
- 6) Tubos Doble Capa de PP.
- 7) Tubos helicoidales de PE HD.

Los pozos de registro eran de hormigón, análogos para todas la conducciones, independientemente del material de las mismas.

El alcance del estudio englobó las siguientes fases:

- Extracción de materias primas.
- Fabricación de todos los componentes de la conducción.
- Transporte de dichos componentes a la obra.
 - La distancia media de transporte para las tuberías de hormigón y los pozos, se tomó igual a 130 Km. El número de fábricas que producen tuberías de plástico es menor que el de aquellas que producen tuberías de hormigón, por lo que la distancia de transporte se consideró igual al doble, es decir 260 km.
 - Para las tuberías plásticas el factor limitante para el transporte es el volumen. En el caso de las tuberías de hormigón lo es el peso.
- Construcción de la conducción en obra.
 - Se asumió que el procedimiento de construcción y la calidad del terreno de relleno eran las mismas para todos los materiales. La distancia de transporte media de dicho terreno de aportación se tomó igual a 25 km.
- Uso y mantenimiento de la conducción: Se estableció en 50 años.
 - Se consideró para este estudio que las condiciones de mantenimiento son similares para todos los materiales.
- Demolición o abandono del sistema:
 - Se llegó a la conclusión que no se trata de un factor discriminante.

La “robustez” de los resultados se comprobó mediante un análisis de sensibilidad, en el que se examinaron las hipótesis de mayor importancia para determinar su efecto en los resultados. Éste desveló lo siguiente:

- La hipótesis de que la distancia media de transporte del terreno de aportación es de 25 Km es conservadora, y representa el peor de los escenarios para las tuberías de hormigón. Los resultados obtenidos son sensibles a la variación de dicha distancia, y el aumento de la misma es desfavorable para las tuberías plásticas, que requiere mayor calidad y volumen de terreno de aportación.

Si se analizan los gráficos obtenidos se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Necesidad de recursos

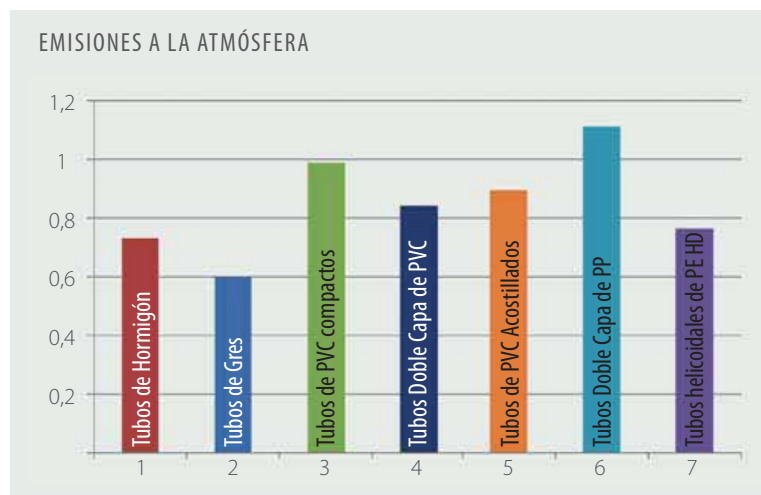
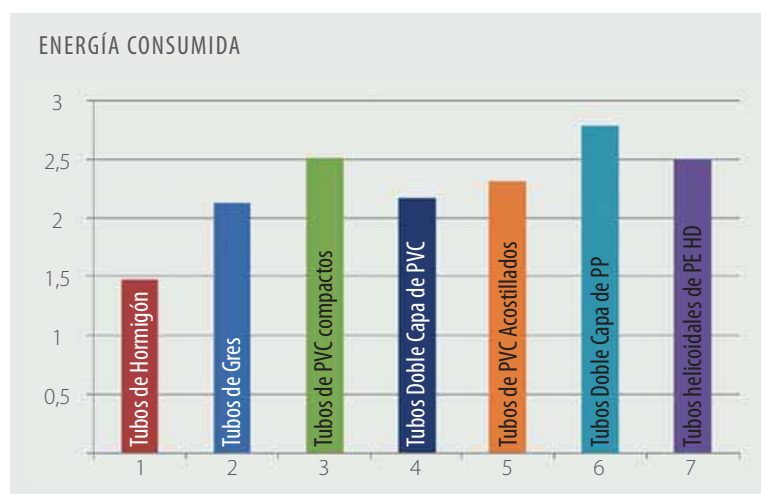
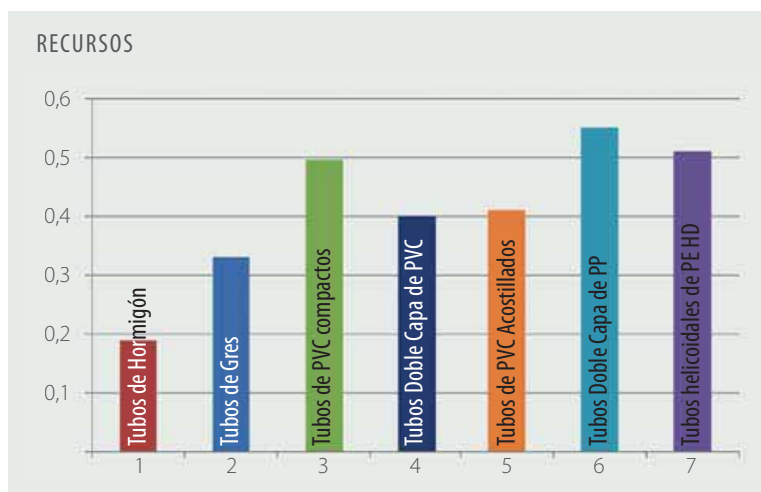
Las materias primas que se utilizan en el prefabricado de hormigón son naturales, abundantes y no contaminantes. Los recursos naturales y económicos consumidos e impactos energéticos generados en el proceso, repartidos por la vida útil del producto son menores que los producidos por otros productos alternativos.

Consumo energético

Las tuberías de hormigón son las de menor consumo. La eficacia alcanzada en el proceso productivo de los prefabricados de hormigón permiten la optimización del uso del cemento, principal componente consumidor de energía en su fabricación.

Emisiones a la atmósfera

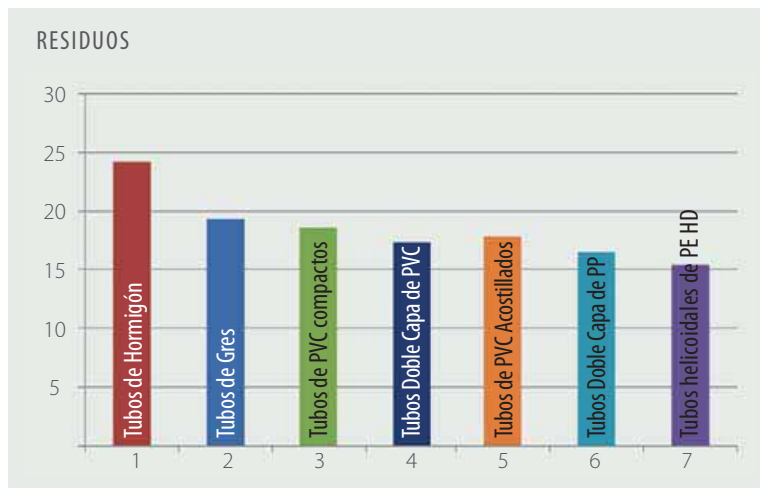
Podemos comprobar que la fabricación de tuberías de PVC y PP son aquellas que emiten mayor cantidad de gases contaminantes. La



utilización de tuberías de hormigón contribuye a la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Desechos

Las tuberías de hormigón son las que más residuos sólidos producen, pero debe observarse un matiz tremendamente importante. No sólo todo el producto de desecho es reciclable al 100%, sino que todos los materiales se integran perfectamente en el medio ambiente, sin alterar ni contaminar su composición natural.



Consideraciones sociales

La extensa accesibilidad de las materias primas, que pueden encontrarse en el entorno de cualquier localización geográfica, el menor radio de transporte y la menor importancia relativa de las inversiones necesarias, permiten una implantación más local, contribuyendo al desarrollo social en un gran número de áreas geográficas, en muchos casos económicamente deprimidas.

La principal conclusión del estudio fue que:

El hormigón es un material sostenible para los tipos de conducciones estudiadas.

El impacto medioambiental de las tuberías de hormigón es menor que el de las tuberías plásticas fabricadas con diferentes materias primas (PVC, PE y PP).

Asimismo, la consultora INTRON destacaba el siguiente dato de interés:

Con la energía que se ahorra por cada kilómetro de canalización utilizando tuberías de hormigón DN 450 en lugar de tuberías de PVC de pared compacta, un camión cargado con tuberías de hormigón podría dar 1,5 veces la vuelta al mundo.

Por otro lado, parece ser que, dentro de las tuberías plásticas, las fabricadas con PVC son las que presentan una menor compatibilidad medioambiental. Estas incompatibilidades llevan tiempo siendo difundidas por otros fabricantes de tuberías plásticas de polietileno y polipropileno.

Numerosos estudios sobre las emisiones de gases, los vertidos y los residuos generados durante la fabricación del policloruro de vinilo como materia prima han constatado la formación y emisión al entorno de sustancias organo-cloradas extremadamente tóxicas, junto a metales pesados y otras sustancias contaminantes. Además, el proceso de reciclaje del PVC conlleva emisiones de sustancias tóxicas al medio ambiente. Durante la trituración y pulverización se ha documentado la emisión de ácido clorhídrico y benceno.

Desde 1987 más de doscientos municipios de Alemania y muchos más en otros países europeos han prohibido o restringido la utilización de elementos fabricados con PVC (tuberías, perfiles, etc.) como material de construcción en las obras públicas. Esta iniciativa surgió en la ciudad alemana de Bielefeld después de un incendio en un aparcamiento público, donde se produjeron graves daños materiales debido a la corrosión por ácido clorhídrico. Investigaciones posteriores mostraron otros problemas como contaminación por dioxinas.

10.3. Sostenibilidad de las tuberías de saneamiento y drenaje

A la luz de todo lo expuesto se puede decir que las tuberías de hormigón son un producto respetuoso con el medio ambiente, fabricado con productos naturales y no contaminantes, presentes en nuestro planeta en el mismo estado en el que se encuentran en el producto terminado y que cumplen a la perfección con los requerimientos expresados en el informe Brundtland:

**Satisface las necesidades de las generaciones presentes
SIN
comprometer el derecho de las generaciones futuras a satisfacer
sus propias necesidades.**

Esta sentencia, tan simple y al tiempo tan importante, no pueden hacerla suya los fabricantes de tuberías de plástico. Todas ellas utilizan derivados de un combustible fósil como es el petróleo:

- Tuberías de PVC: la materia prima se produce utilizando etileno y cloro, **este último altamente contaminante**.
- Tuberías de PE y PP: las materia primas utilizadas son, respectivamente, el etileno y el propileno.
- Tuberías de PRFV: se fabrican a partir de poliéster (materia prima estireno, **altamente inflamable**) y fibra de vidrio.

A estas alturas del Siglo XXI, por suerte o por desgracia, ya se conocen los efectos que sobre el Medio Ambiente producen las industrias que utilizan, para la fabricación de sus productos, derivados de la petroquímica y del cloro.

En el último Informe de expertos sobre el Cambio Climático reunidos en Valencia (España, noviembre 2007), entregado al Secretario General de las Naciones Unidas, la conclusión más importante es:

“El hombre es el mayor contribuyente, con sus decisiones, en perjudicar el actual Medio Ambiente”

Todos tenemos entre nuestras responsabilidades la lucha por no degradar el medio ambiente. Ello nos lleva al uso y recomendación de aquellos sistemas, procesos y productos que mantengan, de la mejor manera posible, la sostenibilidad de nuestro planeta Tierra.



(*) Puede encontrarse más información acerca de lo indicado en los párrafos anteriores en:

- Documentación variada de la *American Concrete Pipe Association (ACPA)*.
- Catálogos de fabricantes de tuberías plásticas.
- *Environmental Assesment of UK Sewer Systems*. Groundbreaking Research.

IV CONCLUSIONES: ELECCIÓN DE LA TUBERÍA

Habiendo desarrollado ya en los capítulos anteriores de este libro una comparativa lo suficientemente amplia para cada uno de los aspectos relevantes a la hora de elegir los componentes de una red de saneamiento, llega el momento de mirar a todos estos aspectos en conjunto y llegar a conclusiones respecto a cuáles son los componentes idóneos en cada caso.

Las propiedades que hace algún tiempo situaban a las tuberías plásticas en una posición de cierta ventaja sobre las de hormigón y hormigón armado, en lo concerniente a algunas características importantes en una red de saneamiento (estanquidad, por ejemplo), han dejado de ser una debilidad para las segundas e, incluso, se han transformado en uno de sus puntos fuertes, gracias a los desarrollos tecnológicos que se han llevado a cabo desde aquellos tiempos hasta la actualidad.

Las tuberías plásticas tienen, como todo producto, su campo adecuado de aplicación. Pero éste, en la gran mayoría de los casos, no es, sin duda, el de las instalaciones de saneamiento y drenaje.

Las tuberías de hormigón armado representan en sí mismas una buena solución frente a la lucha que libran contra el tiempo los responsables de las obras. Con más razón si se trata de obras en el seno de núcleos urbanos. Al tratarse de estructuras resistentes por sí mismas, una vez situada la tubería sobre su cama de arena, solamente cabe realizar el relleno y compactado del terreno hasta llegar a la reposición de la superficie, reduciendo el tiempo de obra que colapsa la ciudad y supone pérdidas económicas y de calidad de vida para los ciudadanos.

La unión mediante junta elástica de los tubos de hormigón armado, entre sí y con los pozos de registro y las piezas especiales, hace de una red de saneamiento llevada a cabo con elementos prefabricados de hormigón un conjunto estanco, formado por una estructura autorresistente y que irá mejorando sus propiedades a lo largo del tiempo. No debe olvidarse que mientras las propiedades de las tuberías plásticas decrecen, las de hormigón, crecen.

Las normas definen las características, propiedades, dimensiones y condiciones adecuadas de instalación, que deben darse en las tuberías, pozos y piezas especiales fabricadas en hormigón armado (normas UNE-EN 1916 y 1917, UNE 127916 y 127917, y EN1610).

El marcado **CE**, obligatorio para los tubos de hormigón, y garantía de cumplimiento de unos criterios mínimos de seguridad, exige al fabricante poseer las instalaciones y personal adecuado para realizar el control continuo de la producción y del producto, certificando el cumplimiento con los parámetros establecidos en todos los ensayos pertinentes. Las tuberías plásticas no disponen, a día de hoy, de marcado **CE**, ya que la norma UNE-EN 13476, que las regula, no es una norma armonizada, es decir, no posee un "anexo ZA" en el que se indiquen unos requisitos mínimos de obligado cumplimiento en el ámbito europeo.

Algunos fabricantes, cuyo número está aumentando cada día, además del control interno de la calidad de sus productos, están obteniendo las Marcas de Calidad de producto a través de las empresas homologadas para ello, que certifican, no solo la calidad de los productos, sino la fiabilidad de los procesos.

CAPÍTULO 11

PARÁMETROS A TENER EN CUENTA A LA HORA DE ELEGIR UNA TUBERÍA DE SANEAMIENTO

Cuando un técnico tiene ante sí el diseño del proyecto de una red de saneamiento debe pensar muy bien cuál es la solución que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto (diámetros necesarios, clase de instalación, tipo de terreno, etc.). Las tuberías más apropiadas para un proyecto serán las que mejor cumplan, en conjunto, el siguiente conjunto de requisitos:

- Cumplimiento de los parámetros técnicos:
 - Capacidad hidráulica.
 - Capacidad portante.
 - Estabilidad.
 - Resistencia al deterioro físico.
 - Estabilidad térmica.
 - Manejabilidad y ligereza.
 - Seguridad.
- Sostenibilidad.
- Coste:
 - En proyecto.
 - En uso.



Capítulo 11: Parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir una tubería de saneamiento

Capacidad hidráulica

Todos los tipos de tuberías de saneamiento en servicio poseen el mismo coeficiente “n” de Manning, sea cual sea el material de qué estén compuestas.

- Usar tuberías de plástico no permite disminuir el diámetro interior. Esto supondría un subdimensionamiento del sistema que puede dar origen a inundaciones cuando se produzcan lluvias torrenciales o a depósitos de sedimentos en condiciones normales de operación, por ser la velocidad del fluido menor a la de diseño.



- La capacidad hidráulica la determinan el coeficiente “n” de Manning y el DIÁMETRO INTERIOR. Esto implica que, en la mayoría de los casos, aunque se escoja el mismo diámetro nominal, al optar por una tubería plástica también se estará subdimensionando el sistema.

Tubería de hormigón armado $\rightarrow$ Diámetro Nominal = Diámetro Interior.

Tubería de plástico $\rightarrow$ Diámetro Nominal = Diámetro Exterior (casi siempre).

- La pared interior de las tuberías plásticas corrugadas no es lisa. Una vez en servicio (bajo cargas mecánicas) se produce una ondulación de la pared interior conocida como *Corrugation Growth* que disminuye la capacidad hidráulica.



- Las grandes deformaciones experimentadas por las tuberías de plástico disminuyen la capacidad hidráulica. La ovalación consecuente provoca que el perímetro mojado aumente y que la altura de la columna de agua de la sección (energía potencial) disminuya, con lo que disminuye el caudal en condiciones de lámina libre.

Las tuberías de hormigón tienen, al menos, las mismas prestaciones hidráulicas que las de plástico lisas.

Capacidad portante

La respuesta estructural (resistencia a las cargas mecánicas a las que el sistema se ve sometido) depende tanto de la tubería como de las propiedades que se le hayan conferido al terreno en la instalación.

- El comportamiento mecánico de las tuberías de plástico es SIEMPRE sumamente dependiente de la instalación (el terreno aporta hasta un 90% de la capacidad resistente del sistema). De esta forma se compromete la integridad mecánica del sistema, ya que el elemento realmente resistente está ejecutado *in situ*. En numerosas ocasiones no se alcanza la compactación necesaria en los laterales del tubo.



Fuente: BASAL

- El comportamiento mecánico de las tuberías de hormigón es muy poco dependiente de la instalación (la tubería aporta hasta un 90% de la capacidad resistente del sistema). De esta manera se pueden aprovechar todas las ventajas de la prefabricación en cuanto a control de calidad se refiere, con lo que el sistema es mucho más robusto y fiable.
- Las propiedades mecánicas de los materiales plásticos decrecen con el tiempo, debido al fenómeno de fluencia que experimentan una vez que están cargadas.
- Las características resistentes del hormigón mejoran en el tiempo, lo que se traduce en una mayor garantía de su resistencia estructural a largo plazo.
- La única modalidad de instalación que ofrecen las tuberías plásticas es en zanja, mientras que las tuberías de hormigón armado pueden instalarse en zanja, en terraplén, en zanja inducida en terraplén o por hinca, según resulte más conveniente.

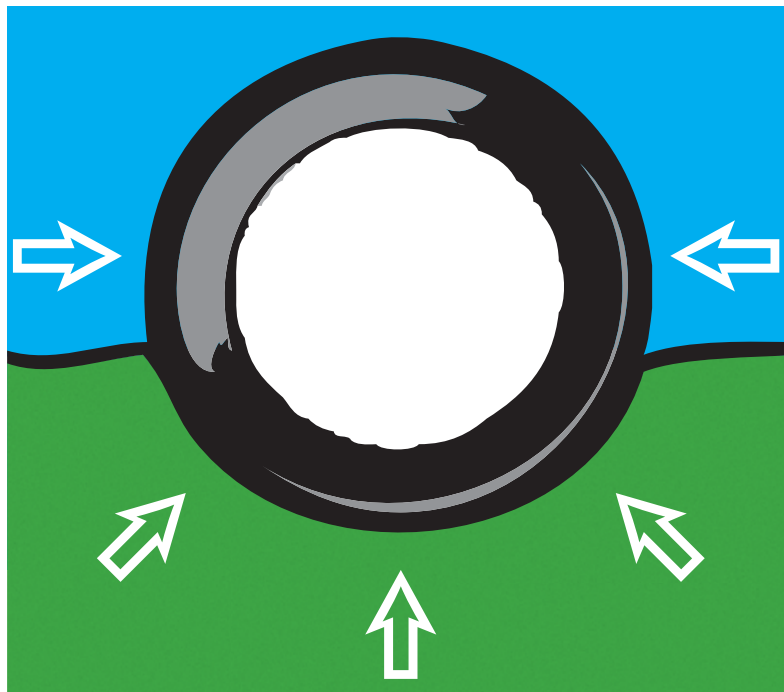


Las tuberías de hormigón armado son resistentes por sí mismas.

Estabilidad

Cuando un sistema de saneamiento se haya instalado por debajo del nivel freático, ya sea accidental (lluvias) o permanentemente, el agua exterior ejerce un empuje sobre la tubería que puede llegar a desestabilizarla.

- Las tuberías plásticas pueden presentar serios problemas de flotación debido a su menor peso. En este caso, la única solución para garantizar la estabilidad del sistema es su arriostramiento a una cama de hormigón mediante bridas.
- Las tuberías de hormigón armado son estructuralmente estables. Una vez instaladas su propio peso se encarga de que se mantengan en la posición adecuada, por lo que no les afectan los pequeños asentamientos del terreno ni el empuje ejercido por el agua.



Las tuberías de hormigón armado solucionan los problemas de flotación.

Resistencia al deterioro físico

La abrasión es un fenómeno físico que ocurre en todo tipo de tuberías.

Todo sistema de saneamiento requiere de procesos de limpieza con agua a presión para eliminar depósitos.

Abrasión

- La norma UNE-EN 13476 determina unos espesores mínimos admisibles de entre 1 y 5mm (DN110 y DN1200, respectivamente) para las tuberías de plástico.
- La norma UNE-EN 127916 determina unos espesores mínimos admisibles entre 45 y 280mm (DN150 Y DN3000, respectivamente; 125 para DN1200) para las tuberías de hormigón. El recubrimiento mínimo exigido (espesor desde la superficie del tubo hasta su armadura) es de 20mm.
- Incluso en condiciones de laboratorio (sin depósitos y biofilm en las paredes de la tubería), bajo las cuales las tuberías de hormigón sufrirían un mayor desgaste por abrasión en términos absolutos (milímetros de



material arrancados por abrasión bajo unas mismas condiciones), dado lo superior del recubrimiento de un tubo de hormigón armado frente al espesor de la pared interna de una tubería plástica del mismo diámetro nominal, las tuberías de hormigón armado son más resistentes a la abrasión que las tuberías plásticas.

Limpieza

- Las tuberías de hormigón armado aguantan la acción de chorros a una presión superior a 300 bar.
- Las tuberías de plástico pueden sufrir daños durante el proceso de limpieza cuando la presión necesaria para eliminar los depósitos difíciles sea superior a 120 bar.



Las tuberías de hormigón armado se ven mucho menos afectadas por la abrasión y no sufren daños con los procesos de limpieza.

Estabilidad térmica

Todas las tuberías pueden verse afectadas por la radiación solar o las altas temperaturas durante su acopio en obra. En ocasiones, por diseño o accidentalmente, los conductos pueden transportar sustancias inflamables.



- Si una conducción de plástico se inflama, esto supondrá sin ninguna duda su destrucción y el colapso del sistema.
- Las tuberías de plástico pueden también presentar graves problemas debido a la acción de los rayos del sol o la exposición a elevadas temperaturas, especialmente durante su acopio.
- Una tubería de hormigón armado saldrá indemne de un incendio en su interior o de la exposición a cualquier temperatura ambiente o radiación solar.
- Las tuberías de plástico pierden su flexibilidad cuando se ven sometidas a muy bajas temperaturas. Bajo estas condiciones se vuelven rígidas. Si los operarios no tienen esto en cuenta y las manipulan de igual manera que harían a temperaturas normales, las tuberías de plástico pueden romperse fácilmente.



Las tuberías de hormigón armado son resistentes al fuego, la acción de los rayos ultravioleta y las altas temperaturas.

Manejabilidad y ligereza

La mayor parte de bajas laborales están relacionadas con problemas de espalda. Estas bajas, a parte de amenazar la salud de los trabajadores, suponen un enorme coste tanto para las empresas como para los contribuyentes.

- Las leyes de prevención de riesgos laborales establecen las cargas máximas que puede levantar una persona. La tendencia en toda Europa es colocar este límite en 25 kg.
- Para la gran mayoría de los diámetros utilizados en redes de saneamiento y drenaje, la manipulación de las tuberías plásticas requiere del uso de maquinaria. Ejemplo: una tubería compacta de PVC deja de ser “manejable” (pesará más de 50 kg) a partir de DN 315.
- Los costes de manipulación de cargas con maquinaria van asociados al número de horas de máquina requeridas, no al peso de la carga manejada.



Las tuberías de hormigón armado llevan asociados los mismos costes de manipulación que las de plástico para la mayoría de los DN.

Seguridad

Un sistema de saneamiento debe ser estanco. Las exfiltraciones pueden contaminar el medio y los acuíferos o socavar el terreno produciendo colapsos o asentos. Las infiltraciones pueden sobrecargar los sistemas de tratamiento de aguas.

- Los tubos de hormigón armado incorporan en cada una de sus uniones juntas elastoméricas que garantizan la estanquidad. Los tubos de plástico contemplan este tipo de unión, pero también otros, como la unión soldada, que puede presentar problemas ante asentamientos del terreno o contracciones (si instalamos la tubería caliente debido a las condiciones ambientales durante el acopio).
- Las tuberías de hormigón armado son rígidas. Prácticamente no se deforman, con lo que el sistema de uniones con juntas elastoméricas garantiza la estanquidad. Las tuberías plásticas sufren grandes deformaciones (de hasta el 15%), con lo que el correcto funcionamiento de estas juntas queda seriamente comprometido.
- Dado que las tuberías de hormigón armado son cortas (normalmente presentan una longitud de unos 2,5m, frente a los 6m de las de plástico) y las uniones con juntas



elastoméricas presentan cierta holgura, absorben asentos e irregularidades y se puede seguir con ellas la trayectoria del proyecto sin recurrir a elementos especiales (codos). Estos elementos especiales, además de ser negativos para la hidráulica del sistema, se comportan de manera diferente en términos mecánicos, con lo que las deformaciones experimentadas por tubo y accesorio bajo un mismo estado de cargas son distintas, en detrimento, de nuevo, de la garantía de estanquidad.

Las tuberías de hormigón armado se diseñan con uniones que garantizan la estanquidad mediante juntas elastoméricas.

Sostenibilidad

La sostenibilidad es una cuestión que afecta a todos los sectores de la industria y de la que la sociedad no debe desentenderse.

- Las tuberías de plástico se fabrican con materias primas procedentes del petróleo (PVC, PE y PP), mientras que las tuberías de hormigón están constituidas por **sustancias naturales no perjudiciales para el medio ambiente**, que pueden integrarse en éste sin causar el menor perjuicio tras ser reducido el hormigón a grava.
- Las tuberías de plástico consumen más recursos que las tuberías de hormigón armado.
- Las tuberías de plástico consumen mucha más energía que las tuberías de hormigón armado tanto en su proceso de fabricación como en su reciclaje.
- Las tuberías de hormigón armado producen gran cantidad de residuos sólidos una vez desechadas, pero son reciclables (incorporación a hormigón nuevo como árido reciclado –estos hormigones alcanzan una resistencia superior a los convencionales-, firme de carreteras...) y reutilizables con un coste energético muy reducido.
- Las tuberías de hormigón armado utilizan **mano de obra y recursos locales**.
- Las tuberías de hormigón armado tienen una **vida útil muy superior** a las tuberías de plástico.



Las tuberías de hormigón armado están fabricadas con materias primas naturales y fácilmente reciclables.

Costes

El precio es determinante a la hora de elegir entre varias soluciones válidas. Los costes deben ser evaluados en su conjunto, tanto a corto como a largo plazo, teniendo en cuenta la fiabilidad y durabilidad.



- Para la mayoría de los diámetros comercializados las tuberías de hormigón son más económicas en términos de coste de unidad de obra.
- Para el resto de los casos las tuberías de hormigón siguen siendo más baratas en términos de coste de amortización (se trata de considerar el coste de la instalación por año de vida útil) ya que la duración de las tuberías de hormigón armado es como mínimo un 40% (puede llegar hasta un 50%) superior al de las tuberías plásticas.
- Los sistemas de saneamiento de plástico son menos fiables que los de hormigón, ya que su integridad estructural y garantía de estanquidad es menor, por lo que el gasto en tareas de mantenimiento es muy superior.

Las tuberías de hormigón armado permiten ahorros a corto y largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

"Recomendaciones para tuberías de hormigón armado en redes de saneamiento y drenaje". Publicado por Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

"Tuberías de PVC – Manual Técnico": Editado por ASETUB.

"Manual de Saneamiento Uralita": Editado por Uralita Sistema de Tuberías, S.A.

"Revista de Obras Públicas: Contribución al cálculo hidráulico de Tuberías y Notas sobre conducciones a lámina libre" (Octubre 1968 y Mayo 1991).

"Tuberías" de José María Mayol Mallorqui – Editores Técnicos Asociados, s.a.

"Tuberías de PVC – Manual Técnico – ASETUB", AENOR Ediciones – 2006.

"Concrete Pipe Handbook" - American Concrete Pipe Association.

"Norma UNE-EN 1916: Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero".

"Norma UNE-EN 127916: Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero. Complemento nacional de la Norma UNE-EN 1916"

"Norma UNE-EN 13476: Sistemas de canalización en materiales plásticos para la evacuación y saneamiento enterrado sin presión".

"Sistemas de canalización de pared estructurada de poli(cloruro de vinilio) no plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) y polietileno (PE)".

"Manual de Cálculo, Diseño e Instalaciones de Tubos de Hormigón Armado - ATHA".

"Evaluation of HDPE Pipelines Structural Performance on Texas DOT and Municipal Projects" - Dr. A. Abolmaali, Ph.D. P.E. and Dr. A. Motahari, Ph.D., Univ. of TX at Arlington

"Evaluation of HDPE Pipe Performance on KY DOT and OH DOT Construction Projects" - Pipeline and Drainage Consultants

"The Economic Costs of Culvert Failures" - Joseph Perrin, Jr. & Chintan S. Jhaveri. Prepared for the Transportation Research Board January 2004.

"Condition Investigations of HDPE Pipe In-Service In the United States (Six States)"; January 24, 2002 - Todd Nelson Project Engineer; Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc.

ASOCIADOS



www.arenzana.com



www.bortubo.com



www.conorsa.es



www.elcaleyo.es



www.forte.es



www.gadeahermanos.es



www.huprecesa.com



www.ica-soluciones.com



www.prefabricadosalberdi.com



www.prefraga.es



www.prejea.com



www.prenor.es



www.prhomarco.com



www.terrazosriego.com



www.tppalau.com



www.arenzana.com



www.tuboscolmenar.es



www.tuboshurtado.com



www.tubosmarino.es

<<< PATROCINADO POR



Pº de la Castellana 226,

Entreplanta A

28046 Madrid

91 323 825 75

www.andece.org

e-mail: andece@andece.org

ANDECE es la Asociación española de prefabricadores de hormigón. Atesora una experiencia de más de 45 años y en la actualidad representa aproximadamente al 70 % del sector de los prefabricados de hormigón en términos de facturación.

PROVEEDORES



www.sika.es



www.vifesa.es