

Tubos de hormigón armado para sistemas de saneamiento y drenaje: resistencia estructural y otros aspectos fundamentales del sistema

Rafael Pastor González; Ingeniero industrial y responsable del Departamento de Tuberías y Canalizaciones de ANDECE.



Hay muchos aspectos importantes a tener en cuenta en el diseño de una red de saneamiento y drenaje, pero el más importante de todos es, sin duda, la capacidad estructural del sistema tubería-terreno. Si el sistema falla desde un punto de vista mecánico, el resto de características carecen de importancia. El concepto de fallo mecánico no se refiere en este caso al colapso de la infraestructura, sino al incumplimiento de los criterios mecánicos fijados: rotura o fisuración para tubos rígidos y deformación excesiva para los flexibles.

Desde un punto de vista estructural, las prestaciones de los sistemas de saneamiento y drenaje proyectados con tubos de hormigón son excelentes. La experiencia de la mayor parte de los proyectistas avala esta afirmación, situando a los tubos de hormigón como la

mejor solución a nivel estructural, de acuerdo a los resultados de las encuestas realizadas por ANDECE en este sentido.

Este artículo pretende arrojar luz sobre la influencia que el comportamiento mecánico tiene sobre las prestaciones que, de acuerdo a la información de la que ANDECE dispone, más preocupan a los proyectistas:

- Coste
- Estanquidad
- Durabilidad
- Capacidad hidráulica

Coste

El coste de un sistema de saneamiento o drenaje no se reduce, obviamente, al coste de los tubos que formen parte de él. Otras partidas se sumarán al coste de los tubos utilizados, como las asociadas al movimiento de tierras, al vertido del material de excavación sobrante y, especialmente, a la adquisición del material seleccionado adecuado para dotar al tubo de unas condiciones de contorno adecuadas y a las operaciones de acondicionamiento que este requiera.

Además de considerar la influencia que la elección de uno u otro sistema tiene sobre el resto de costes, es importante considerar las implicaciones a largo plazo que cada sistema conlleva mediante un análisis de costes en base a

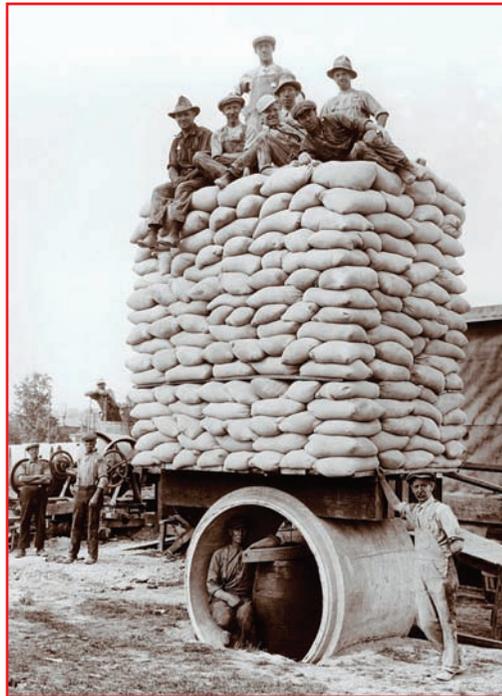
un estudio de su ciclo de vida. Al adoptar este planteamiento, la cuantía de la vida útil de la solución considerada relativiza el peso de cada uno de los costes en función de la durabilidad del sistema, a nivel global, o de las operaciones de reparación o sustitución que deban llevarse a cabo.

Desde un punto de vista estructural, caven destacar dos características diferenciadoras de los tubos rígidos, en general, respecto a los tubos flexibles:

- Los tubos rígidos son una estructura en sí mismos, especialmente los tubos de hormigón armado, que tienen una capacidad resistente ante momentos flectores muy superior.
- Su resistencia no decrece a lo largo del tiempo. De hecho, en el caso de los tubos de hormigón, dadas las condiciones de humedad que se dan en los sistemas de saneamiento y drenaje, los componentes hidráulicos del hormigón siguen hidratándose, con lo que la resistencia del hormigón aumenta ligeramente con los años.

Los tubos de hormigón permiten diferentes posibilidades en cuanto a lo que a las condiciones de contorno a las que se va a someter al tubo se refiere para cada una de los tipos de instalación existentes (zanja, zanja terraplenada, terraplén y zanja inducida en terraplén).

Desde un punto de vista mecánico, la situación ideal a la que un tubo de hormigón puede estar sometido es aquella en la que las cargas que actúan sobre él se ven reducidas a una presión hidrostática que actúa sobre su pared exterior: los esfuerzos que se producen en la pared del tubo se reducen en este caso a esfuerzos de compresión y todo el material puede ser aprovechado hasta que se alcance su

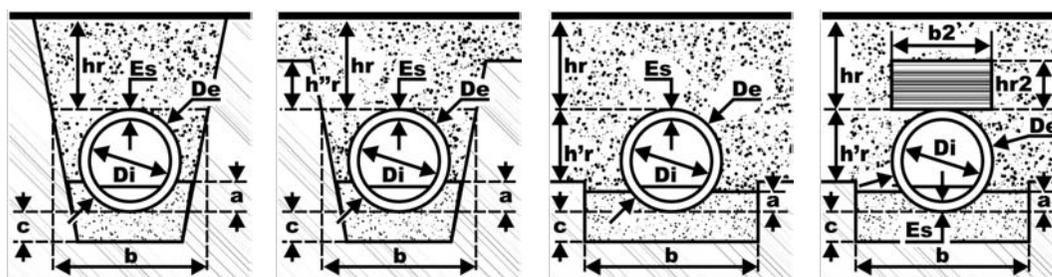


resistencia a compresión. Esta es la situación que se da en los módulos de recrecido de los pozos de registro.

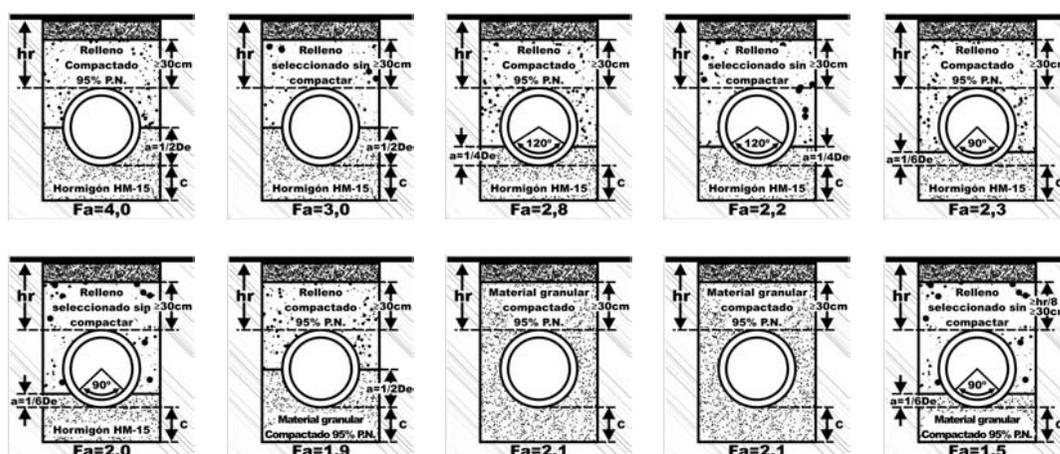
En un tubo enterrado no se da una distribución como la anteriormente descrita, en la que la carga que actúa sobre el tubo es hidrostática. La consecuencia es que la pared del tubo se ve sometida a momentos flectores. La situación pésima, en la que estos momentos son máximos para una determinada carga vertical resultante, es la que se da en el ensayo de tres aristas.

En un tubo instalado las cargas están siempre mejor distribuidas que en el ensayo de tres aristas, donde todas las cargas se transmiten al tubo mediante una sollicitación distribuida linealmente en la clave y el fondo del tubo.

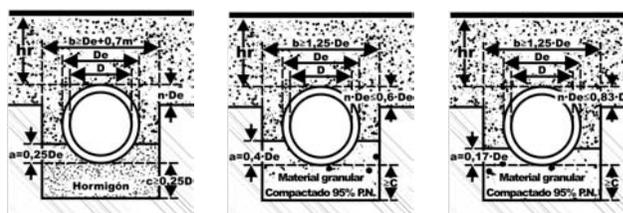
Para simplificar el diseño mecánico de los tubos de hormigón se utilizan los factores de apoyo. Estos coeficientes expresan, de manera



Esquemas de tipos de instalación. De izquierda a derecha: zanja, zanja terraplenada, terraplén y zanja inducida en terraplén



Ejemplos de condiciones de contorno para instalaciones en Zanja y Zanja Terraplenada con sus Factores de Apoyo asociados



Ejemplos de condiciones de contorno para instalaciones en Terraplén y Zanja Inducida en Terraplén. En este caso los factores de apoyo no son fijos: deben calcularse en base a los valores de algunas variables.

conservadora, el cociente entre el momento máximo obtenido en la pared de un tubo de hormigón al someterlo a una determinada carga en el ensayo de tres aristas y el momento máximo que se dará en la pared del tubo en la condición instalada cuando este esté sometido a una carga resultante por unidad de longitud de igual magnitud.

Los factores de apoyo utilizados en España fueron determinados experimentalmente por Spangler, siguiendo criterios conservadores y tienen más de 70 años a sus espaldas, durante los cuales han demostrado ser adecuados y

estar del lado de la seguridad. Se encuentran recogidos en la Norma UNE 127916.

Este amplio abanico de posibilidades de instalación ofrece una gran herramienta a los proyectistas a la hora de optimizar el coste total de la instalación. Cuando se recurre a una instalación en la que el factor de apoyo es alto se está invirtiendo más en los materiales envolventes del tubo y en su acondicionamiento. Recurrir a una instalación con un factor de apoyo menor implica el uso de clases resistentes superiores y, por lo tanto, una mayor inversión en los tubos, pero reduce sustancialmente el

coste asociado al material utilizado en la envolvente del tubo y a las operaciones relativas a su correcta puesta en obra.

En este sentido, es importante destacar que pese a que una determinada instalación requiera de la compactación del terreno por encima del tubo para evitar que se produzcan asentamientos en superficie, la compactación de la envolvente del tubo no tiene por qué ser estricta si se ha escogido un tipo de instalación que contemple terreno sin compactar o moderadamente compactado alrededor del tubo. En instalaciones en terraplén, zanja terraplenada, zanja inducida en terraplén o en instalaciones en zanja en las que se supere la anchura de transición, la altura del plano de igual asentamiento puede ser una importante referencia en este sentido. A nivel teórico, el terreno que se encuentra por encima de la cota de dicho plano asienta por igual.

La posibilidad de reutilizar el material de excavación posibilita también una reducción de costes. De esta manera no es necesario adquirir material seleccionado y la cantidad de material de excavación sobrante será menor. Es importante, no obstante, destacar que pese a la alta resistencia de los tubos de hormigón, debe ponerse cuidado en no verter objetos contundentes directamente sobre ellos hasta que se haya alcanzado una cobertura mínima, de manera que si el terreno de excavación presenta, por ejemplo, piedras de gran tamaño, debe procederse con mucha precaución.

La principal alternativa a los tubos de hormigón son los tubos flexibles, de diferentes tipos y materiales. El dimensionamiento de estos sistemas compuestos por materiales flexibles implica la limitación de su deflexión máxima. Para ello es necesario dotar al terreno envolvente de unas determinadas propiedades.

Los más comunes entre los tubos flexibles son los tubos de plástico. A nivel estructural hay una característica de este material que tiene una especial relevancia: su módulo de elasticidad cambia a lo largo del tiempo. Este fenómeno se conoce con el nombre de “fluencia”. Lo que sucede es que cuando estos materiales se ven expuestos a acciones mecánicas continuadas, se produce una reorganización de las macromoléculas poliméricas que los conforman, lo que se traduce en una disminución de su rigidez.

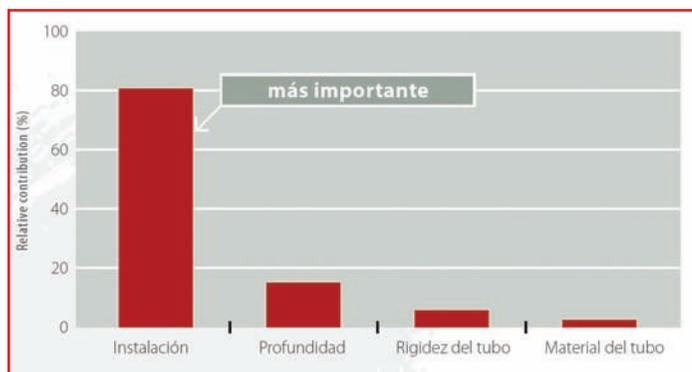


Según la Norma Europea para tubos de plástico para sistemas de saneamiento y drenaje (UNE-EN 13476), para conseguir que el tubo no sobrepase, a lo largo de su vida útil, un límite de deformación del 5%, el material envolvente (desde la cama del tubo hasta al menos 15 cm por encima de su plano de clave) debe ser material granular seleccionado y debe compactarse hasta alcanzar una densidad Proctor normal de al menos el 94%, con tongadas de, como máximo, 30 cm.

Si se toman como referencia las recomendaciones de la propia asociación de fabricantes de este tipo de productos (ASETUB) se puede observar que el proceso recomendado es aún más exigente: material envolvente de una granulometría máxima de 20 mm, compactado en tongadas sucesivas de 10 cm desde 30 cm por debajo del fondo del tubo hasta una altura de 30 cm por encima del plano de clave del tubo, alcanzando como mínimo el 95% de la densidad Proctor Normal del material.

Las operaciones anteriormente descritas requieren de una gran cantidad de horas hombre, ya que el espacio existente alrededor del tubo es reducido y, en cualquier caso, los medios de compactación a emplear deben ser ligeros: “ranas” o “bandejas compactadoras”. Si estas operaciones no son ejecutadas de manera estricta las condiciones de contorno a las que son sometidos estos tubos no serán las consideradas en el proyecto y las deformaciones que alcancen pueden llegar a ser superiores a las admisibles. Las conclusiones del estudio de TEPFA (Asociación Europea de Fabricantes de Tuberías de Plástico) en el que se indica que el comportamiento mecánico del sistema tubería terreno depende en un 80% de

la instalación arrojan mucha luz en este sentido. También lo hacen las publicaciones del Prof. Doc. Abolmaali, de la Universidad de Texas-Arlington, de las que se deduce que en sistemas dotados de tubos flexibles en las que las propiedades mecánicas conferidas al terreno no se controlan de manera estricta la probabilidad de que se produzcan deformaciones inadmisibles es muy alta.



Los requerimientos asociados al terreno envolvente descrito tienen también importantes implicaciones sobre el coste final del sistema, ya que este tipo de material es caro y, por lo general, será necesario importarlo desde una distancia considerable.

Los tubos de hormigón son, por lo tanto, una alternativa altamente competitiva desde el punto de vista económico, sobre todo cuando se aprovecha al máximo su propia capacidad portante, si los condicionantes del proyecto lo permiten. Conforme mayor es el diámetro de los tubos considerados, mayor es el partido que se les puede sacar a los tubos de hormigón frente a otras alternativas.

Estanquidad

La estanquidad es, desde un punto de vista medioambiental, una característica clave en los sistemas de saneamiento y drenaje. Las exfiltraciones implican contaminación y las infiltraciones un aumento del caudal que transporta el sistema y reciben, en última instancia, las EDAR.

Es también una característica importante en relación a la seguridad vial, ya que cuando el sistema entra en carga, las exfiltraciones pueden producir una migración de los finos que se encuentran alrededor del tubo que puede, a su vez, provocar asentamientos o incluso el colapso de la

superestructura, en casos extremos.

En lo que se refiere a la estanquidad de los propios tubos, el hormigón es, como todo el mundo sabe, un material poroso. Estos poros permiten el paso del agua, pero suponen para ella una pérdida de carga, es decir, para que el agua pueda atravesar un determinado espesor de hormigón (dependiendo del hormigón en cuestión: compactidad, relación agua/cemento...) el agua debe tener una determinada presión mínima. Considerando que la presión máxima a considerar en los sistemas de saneamiento y drenaje, de acuerdo a la normativa, es de 5 m.c.a., los tubos de hormigón para sistemas de saneamiento y drenaje son estancos.

Cuando los tubos de hormigón armado se fisuran al verse sometidos a acciones mecánicas, la profundidad de las fisuras no llega siquiera a alcanzar las armaduras (los recubrimientos más habituales se encuentran entre los 20 y los 30 mm), de manera que estas fisuras no suponen ninguna amenaza para la estanquidad de los tubos.

Está claro que la mayor parte de los proyectistas consideran que la estanquidad de los tubos de hormigón no es la mejor del mercado. Esto es cierto a corto plazo: los sistemas proyectados con tubos de hormigón tienen más juntas, ya que estos tubos son más cortos; además, las características particulares de estos productos los hacen más dependientes de la corrección de la puesta en obra, en este sentido.

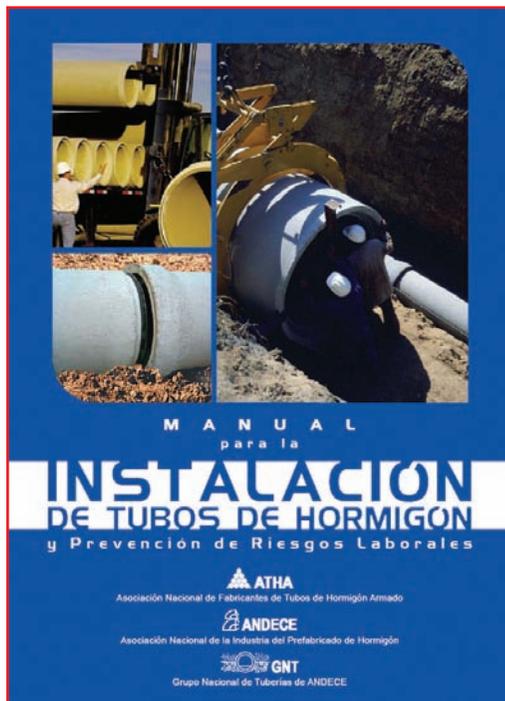
Que en las pruebas de recepción de sistemas de saneamiento o drenaje se detecten más problemas en las juntas de los tubos de hormigón no implica que estas juntas no sean estancas, sino que son más sensibles a una





incorrecta instalación. De acuerdo a los requisitos establecidos en el Anexo ZA de la Norma UNE-EN 1916 en todas las fábricas de tubos de hormigón se somete a un control estadístico de la estanquidad de las juntas, así como la estanquidad de los propios tubos. La propia junta es también sometida a ensayos que garanticen su correcto funcionamiento a largo plazo.

Los mecanismos de control establecidos por la norma hacen altamente improbable que la junta de estanquidad de un tubo de hormigón falle, siempre que el proceso de enchufado sea correcto: si los tubos no fallan en fábrica, sometidos a una presión interna de 5 m.c.a., a una determinada deflexión angular y a un esfuerzo cortante (ambos función del diámetro del tubo) no deberían fallar una vez instalados.



Partiendo de la base de que los fallos de estanquidad que se producen en las juntas de los sistemas proyectados con tubos de hormigón se deben principalmente a una incorrecta instalación, ANDECE ha publicado un folleto titulado “Manual para la instalación de tubos de hormigón” en el que se revisan, entre otros aspectos de interés, las operaciones que pueden tener una mayor incidencia sobre la estanquidad de las juntas, estableciendo sencillos consejos de buena práctica. La versión digital de este folleto puede descargarse en la web de ANDECE y la versión en papel puede solicitarse por correo electrónico o teléfono.

Independientemente de lo anteriormente expuesto, cabe destacar que los tubos de hormigón, gracias a su rigidez, mantienen la misma sección a lo largo de toda su vida útil, por lo que toda junta que haya satisfecho las pruebas de estanquidad de recepción será estanca a largo plazo y toda junta que no las haya satisfecho y sea debidamente tratada para garantizar su estanquidad posterior, lo será también.

Los tubos flexibles se deforman. De hecho, para los materiales plásticos el valor de esa deformación varía a lo largo del tiempo, debido al fenómeno de fluencia que se da en estos materiales y del que se ha hablado con anterioridad. Esto tiene varias implicaciones de suma importancia:



- A partir de un determinado valor de la deformación las juntas elásticas dejan de ser efica-

ces. Supongamos una determinada ovalación, que implicará una disminución de la altura de la sección del tubo y un aumento de su anchura. En estas circunstancias la presión entre tubo y junta elástica en las partes superior e inferior de la junta aumentará y en los flancos disminuirá, llegando un momento, al aumentar la deformación, en que se producirá un fallo en la estanquidad de la junta.

- La deformación también puede ser longitudinal. Esto sucede cuando el tubo “serpentea” debido a un proceso de compactación inadecuado, a fenómenos de flotación, a asientos del terreno, etc.

Cuando el ángulo existente entre las normales a las secciones de junta de los extremos macho y hembra de dos tubos excede un determinado valor la junta pierde su estanquidad. Esto sucede en todo tipo de tubos con junta elástica.

Las diferentes normativas europeas establecen, en función del diámetro de los tubos en cuestión, los valores de deflexión angular (ángulo entre las normales a las secciones de las juntas macho y hembra entre dos tubos enchufados) al que deben ser sometidas las juntas durante los ensayos de estanquidad que garantizan estadísticamente su estanquidad.

En todo sistema pueden darse deflexiones angulares entre tubos adyacentes, debidas a pequeños errores de trazado o incluso consideradas a nivel de proyecto para solucionar el trazado de curvas de gran diámetro. Sólo existirá un problema si el ángulo existente es mayor al valor para el que los tubos han sido ensayados.

En las siguientes tablas se recogen los valores de deflexión angular y los esfuerzos cortantes a los que los tubos de hormigón (UNE-EN 1916) y los tubos de plástico (UNE-EN 13476) para sistemas de saneamiento y drenaje deben someterse en los ensayos de estanquidad sobre las juntas.

El fenómeno de deformación longitudinal o “serpenteo” genera una incertidumbre en este sentido, ya que cuando se produce se pierde control sobre la deflexión angular entre tubos adyacentes.

Puesto que el valor de la deformación se incrementa conforme pasa el tiempo y el módulo de elasticidad del material cae debido al fenómeno de fluencia, el hecho de que un sistema proyectado con tubos flexibles pase la prueba de estanquidad no supone que vaya a ser estanco al cabo de un determinado tiempo.

Hormigón (UNE-EN 1916) -Anexo E: pgs 60 a 62-					Plástico (UNE-EN 13476) -parte 3: pg 33 (tabla 7)				
Diámetro Interior (mm)	Desviación máxima en cada junta (mm/m)	Ángulo de deflexión máxima con estanquidad garantizada	Esfuerzo cortante máximo con estanquidad garantizada		Diámetro Exterior (mm)	Desviación máxima en cada junta °	Ángulo de deflexión máxima	Deformación máxima producida por un esfuerzo cortante en la junta del tubo para la que la estanquidad está garantizada	
			(kN)	(kg)				En el extremo macho	En el extremo hembra
150	50	1,14 °/m	4,5	459,2	de ≤ 315	2	0,33 °/m	10%	5%
200	50	1,14 °/m	6	612,2					
250	50	1,14 °/m	7,5	765,3					
300	41,67	0,95 °/m	9	918,4					
400	31,25	0,72 °/m	12	1224,5	315 ≤ de < 630	1,5	0,25 °/m	10%	5%
500	25	0,57 °/m	15	1530,6					
600	20,83	0,48 °/m	18	1836,7					
700*	17,86	0,41 °/m	21	2142,9					
800	15,63	0,36 °/m	24	2449	de > 1250	1	0,17 °/m	10%	5%
900*	13,89	0,32 °/m	27	2755,1					
1000	12,5	0,29 °/m	30	3061,2					
1100*	11,36	0,26 °/m	33	3367,3					
1200	10,42	0,24 °/m	36	3673,5					
1300*	9,62	0,22 °/m	39	3979,6					
1400	8,93	0,2 °/m	42	4285,7					
1500	8,33	0,19 °/m	45	4591,8					
1600	7,81	0,18 °/m	48	4898					
1800	6,94	0,16 °/m	54	5510,2					
2000	6,25	0,14 °/m	60	6122,4	!!!!!!FUERA DE NORMA!!!!!!				
2500	5	0,11 °/m	75	7653					
3000	4,17	0,1 °/m	90	9183,7					

En relación a toda la disertación anterior se da un fenómeno curioso, que respalda los argumentos defendidos: los tubos de hormigón son menos apreciados por su estanquidad por quienes tratan con ellos a corto plazo; quienes son responsables de la estanquidad en el momento de la recepción. Sin embargo, son más apreciados en relación a esta característica del sistema por quienes conocen las prestaciones del mismo a medio/largo plazo.

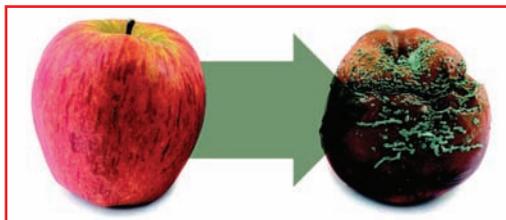
La capacidad estructural de los tubos rígidos, que mantiene su sección y posición inalterable a lo largo del tiempo garantiza su estanquidad a largo plazo, mientras que la estanquidad de los tubos flexibles es una incógnita a medio y largo plazo.

Durabilidad

La durabilidad de cualquier infraestructura es, sin duda, un aspecto fundamental, tanto desde un punto de vista económico como desde el punto de vista de la sostenibilidad. Si se asigna un determinado periodo de vida útil a una infraestructura (periodo durante el cual debe prestar servicio en las condiciones proyectadas, sin que sea necesario, presumiblemente, realizar modificaciones), obviamente es más ventajoso que todos los elementos que componen la infraestructura tengan una vida útil superior o igual a la vida útil considerada para ésta. De lo contrario habrá que sustituirlos y el coste e impacto ambiental, social y económico de los materiales y actividades necesarios se multiplicará por el número de veces que estas sustituciones deban producirse en este periodo.

Tanto el análisis de ciclo de vida, como el estudio “de cuna a tumba” (consiste en tener en cuenta la aportación de todos los materiales y procesos relacionados con el producto, desde la obtención de materias primas hasta la demolición y vertido o reciclaje/reutilización) están plenamente reconocidos e implantados a nivel de análisis de sostenibilidad. En nuestro país no sucede lo mismo, no obstante, a nivel de costes, donde el análisis de ciclo de vida tiene también una importancia vital.

En este sentido, resulta esclarecedor lo que figura en el Manual 1110-2-2902 del U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América). Esta entidad, referente mundial en ingeniería civil, de indudable carácter neutral, que emplea a más de 39.000 personas en más de 90 países y que es



responsable de la proyección y mantenimiento de infraestructuras de importancia estratégica vital para EEUU exige la realización de un análisis de costes en base a un estudio de ciclo de vida del sistema. En el manual citado se establece que para todo sistema no provisional debe considerarse una vida útil de 100 años y también cuál es la vida útil a considerar para los diferentes materiales existentes en el mercado en condiciones normales de servicio. La vida útil establecida para los tubos de hormigón, en condiciones normales, es de 100 años. De acuerdo a los valores establecidos por este manual, la vida útil de los tubos de hormigón como mínimo dobla la de cualquier otro tipo de tubo comúnmente utilizado en infraestructuras de saneamiento y drenaje en España.

La razón fundamental por lo que la vida útil de los tubos de hormigón, en condiciones normales, es muy superior a la del resto de los tubos comúnmente utilizados en sistemas de saneamiento y drenaje en España reside fundamentalmente en su resistencia. Esta no sólo decrece a lo largo del tiempo, sino que puede llegar a incrementarse en condiciones húmedas, que son las que se dan en este tipo de sistemas.

Cuando se den ambientes que química o físicamente puedan reducir la vida útil del hormigón deben estudiarse las medidas a tomar; que salvo en muy escasas ocasiones se reducen

a un determinado valor mínimo para el recubrimiento de las armaduras, expresadas en la normativa. Ya se ha escrito, en el número 18 de esta misma revista, en este sentido.

Un problema particular que requiere de un estudio específico es el del ácido sulfhídrico (H₂S). Las condiciones necesarias para que la generación de cantidades de H₂S suficientes como para suponer una amenaza para el hormigón se dan con una frecuencia muy baja. En cualquier caso, puede determinarse de manera conservadora si en un sistema existe o no riesgo de generación de sulfhídrico en base a unos determinados parámetros (Anexo D de la Norma UNE 127010:1995). Los parámetros pueden obtenerse de los valores medios del efluente que se hayan registrado en la EDAR a la que el sistema vaya a servir.

Si tras realizar la evaluación de acuerdo al Anexo de de la Norma UNE 127010 se determina que existe riesgo de deterioro debido a la generación de H₂S puede calcularse cuál es el recubrimiento extraordinario necesario para que el tubo tenga una determinada vida útil. También se ha abierto, recientemente, la posibilidad de utilizar aditivos biocidas que inhiben completamente el crecimiento de las bacterias (*Thyobacillus*) que transforman el H₂S en ácido sulfúrico (H₂SO₄) en el perímetro no mojado del tubo. El H₂SO₄ es el responsable del deterioro del hormigón, con lo que este tipo de aditivo ejerce una protección total y permanente sobre los tubos.

Gracias a su excelente capacidad estructural, la durabilidad de los tubos de hormigón es, por lo tanto, muy superior a la del resto de tubos utilizados comúnmente en los sistemas de saneamiento y drenaje, lo que los hace más sostenibles y más atractivos desde un punto de vista económico, considerando el medio y el largo plazo.

Capacidad hidráulica

No cabe duda de que la capacidad hidráulica tiene una incidencia enorme a la hora de proyectar un sistema de saneamiento, ya que, en definitiva, la dimensión nominal del tubo depende de las características del material considerado: en el caso de los sistemas de saneamiento y drenaje, del coeficiente de Manning de diseño asignado a los tubos de los materiales considerados.

A la hora de diseñar hidráulicamente un sistema de saneamiento existen dos posibilidades, recogidas en la Norma Europea EN 752-4: "Sistemas de desagües y alcantarillado en el exterior de edificios. Parte 4: Cálculo hidráulico y consideraciones medioambientales.":

- Considerar por separado:
 - o Las pérdidas de carga que se producen en los tubos: para considerarlas adecuadamente, el coeficiente de Manning considerado debe corresponder a la situación pésima en la que pueda encontrarse el tubo a lo largo de toda su vida útil.
 - o Las pérdidas de carga "puntuales": aquellas que se producen en codos, pozos de registro, resaltos...
- Considerar un coeficiente de Manning de diseño mayorado para el tubo, en el que se incluyen, de manera conservadora, las pérdidas de carga puntuales, considerando también la situación pésima (desde un punto de vista hidráulico) en la que puede encontrarse el tubo a lo largo de toda su vida útil.

La segunda opción es la más utilizada.



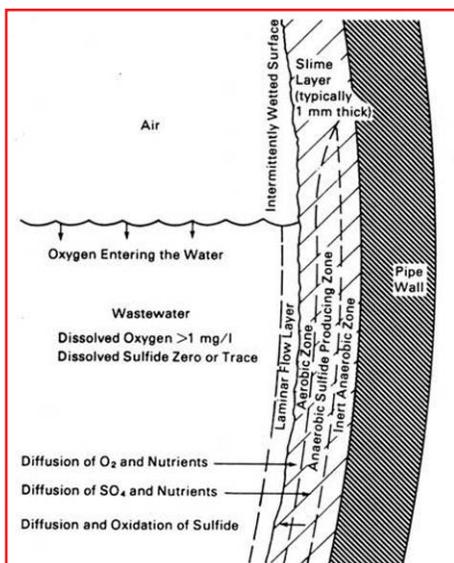
La Norma a la que se acaba de hacer referencia (EN 752-4) recomienda el uso de valores del coeficiente de Manning de diseño entre 0,0111 y 0,0143, independientemente del material considerado. El lector estará probablemente acostumbrado a valores del coeficiente de Manning de este orden de magnitud para el diseño de redes de saneamiento con tubos de hormigón. Los valores que probablemente haya manejado al diseñar sistemas de saneamiento con otros tipos de materiales serán mucho más bajos. ¿A qué se debe esto? ¿Son los valores contenidos en la EN 752-4 incorrectos?

Efectivamente, hay muchos materiales con una rugosidad muy inferior a la que presenta el hormigón. La razón principal de que en la normativa europea se establezcan valores muy superiores a los suministrados por los fabricantes de estos productos, es que estos últimos valores son coeficientes de laboratorio, no de diseño. Es decir, los valores suministrados por los fabricantes, que han acabado plasmándose en numerosos pliegos nacionales y recomendaciones técnicas de instituciones de referencia no son en absoluto falsos en condiciones de laboratorio, pero no son adecuados para representar el comportamiento del sistema en las condiciones más desfavorables que se darán a lo largo de toda su vida útil.

Los factores más importantes a la hora de explicar esto son los siguientes:

■ Biofilm

Cuando se considera la condición de flujo mínimo en un sistema de saneamiento, es muy importante tener en cuenta que en las condiciones normales de servicio el perímetro mojado del tubo está cubierto por un biofilm formado por diversas capas de bacterias aerobias y anaerobias que se alimentan con la materia orgánica que transporta el efluente. Este biofilm es el responsable, bajo determinadas circunstancias, de la generación de sulfhídrico en los sistemas de saneamiento y tiene un espesor de alrededor de 1 mm. Esta capa de bacterias se produce en todo sistema de saneamiento, independientemente del material considerado.



En las condiciones de flujo mínimo, por lo tanto, la interfaz real entre tubo y fluido no es el material del que está compuesto el tubo, sino el biofilm que cubre el perímetro mojado de éste.

■ Deformaciones

En el caso de que los tubos considerados cuyo coeficiente de Manning de laboratorio sea menor que el del hormigón sean flexibles, las deformaciones que éstos sufran a largo plazo tendrán una influencia muy importante en su capacidad hidráulica y, en última instancia, en su coeficiente de Manning.

- o Ovalación: la ovalación supone un cambio en la sección del conducto considerado. El diámetro hidráulico equivalente de la sección ovalada es inferior al de la sección circular original. Si en el cálculo se considera el diámetro hidráulico original (el del tubo no deformado), la única manera de considerar la pérdida de carga correspondiente consiste en incrementar el coeficiente de Manning asignado al tubo.



Ejemplo de serpenteo

- o Deformación longitudinal o "serpenteo": si los tubos considerados "serpentean" se producirán "valles" y "picos" a lo largo del sistema.

En los "valles", la tasa de acumulación de sedimentos se incrementará notablemente respecto al resto de sistema, con lo que entre dos operaciones de limpieza consecutivas se producirá una oclusión paulatina de la sección del tubo en estos puntos.

Cuando se considere la condición de flujo máximo, cabe considerar que al llenarse el tubo, en los "picos", se formarán bolsas de aire ocluido que, de nuevo, reducirán el diámetro hidráulico del tubo, produciendo pérdidas de carga.

Ambas pérdidas de carga, de nuevo, pueden ser tenidas en cuenta mediante un aumento del coeficiente de Manning.



Ejemplo de ovalación y corrugation-Growth

o “Corrugation Growth”: en los tubos estructurados (corrugados exteriormente y lisos interiormente) es posible que se produzca el fenómeno conocido mediante esta denominación anglosajona. La gran mayoría de la inercia de estos tubos se debe a la corruga exterior: la capa interior es muy fina y tan sólo tiene como objetivo que la superficie interior sea lisa. Este fenómeno consiste en que, una vez que los tubos son sometidos a las cargas para las que han sido dimensionados, la corruga exterior “se clava” en la capa interior, con lo que esta pasa de ser lisa a ser corrugada, en mayor o menor medida, dependiendo del caso.

El hecho de que la superficie interior sea corrugada no sólo implica una reducción en el diámetro hidráulico, sino también turbulencias que incrementan las pérdidas de carga. Estas pérdidas de carga pueden

ser también tenidas en cuenta mediante un incremento del coeficiente de Manning.

Los coeficientes de Manning recomendados en el caso de los tubos rígidos fueron establecidos a principios del siglo XX, en un momento en el que no existía la competencia actual entre materiales, lo que propició la publicación de valores de diseño conservadores. Oscilan entre 0.011 y 0.015, en función de la cantidad de pérdidas de carga locales (número de pozos de registro, existencia de codos, resaltos...) y del nivel de mantenimiento al que va a ser sometida la red en función de si se trata de un tramo principal, secundario...

Todo coeficiente de Manning considerado debería ser un coeficiente de diseño que considerase tanto las pérdidas de carga locales como las pérdidas de carga que se producirán en el tubo en las situación más desfavorable que pueda darse a lo largo de toda su vida útil.

Las deformaciones tienen una gran repercusión en este sentido.