

## Acciones mecánicas, físicas y químicas en conductos prefabricados de hormigón

**Miguel Ángel Sanjuán.** *Jefe del Área de Cementos y Morteros. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).*

**Cristina Argiz.** *Profesora Ayudante. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).*

**José Rodríguez Soalleiro.** *Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Asesor Técnico de Canalizaciones de ANDECE.*

Los conductos de hormigón durante su vida útil, están sometidos a un conjunto de acciones mecánicas, físicas, químicas y microbiológicas frente a las que deben de diseñarse para soportarlas sin perder sus prestaciones funcionales, de estabilidad mecánica y de estanquidad. Por tanto, las tuberías se deben diseñar y fabricar conforme con unos estándares de calidad adecuados.

En este artículo se analizan las acciones mecánicas, físicas y químicas que afectan a los conductos de hormigón utilizados en sistemas de saneamiento y drenaje.

### 1. Introducción

Los conductos de hormigón han sido la base de los sistemas de saneamiento y drenaje de las ciudades europeas desde la segunda mitad del siglo XIX [1] ya que ofrecen grandes ventajas de las que, en síntesis, hay que destacar su rápida instalación, buena resistencia mecánica y bajos costes de mantenimiento.

La durabilidad del hormigón, junto con la resistencia mecánica, es uno de los aspectos esenciales de las tuberías de hormigón, ya que éstas deben proyectarse no sólo para que resistan las acciones mecánicas previstas sin que alcancen su estado límite de agotamiento, sino también, para que resistan aquellas acciones ambientales de tipo físico, químico o microbiológico que puedan deteriorarlas reduciendo su vida en servicio o necesitando para su conservación un elevado coste de mantenimiento o reparación [2].

■ **Figura 1.** Acopio de conductos de hormigón.



En definitiva, la durabilidad que deben garantizar los conductos de hormigón es una cuestión esencial que se debe considerar con el fin de que mantengan sus cualidades durante, al menos, la vida útil proyectada.

Asimismo, se puede decir que un hormigón sano y compacto presenta una buena durabilidad cuando se encuentra sometido a las condiciones ambientales normales a las que se habitualmente están expuestas las tuberías de hormigón.

Los conductos de hormigón deben resistir, acciones de tipo mecánico, físico, químico y microbiológico debido a las tensiones que soportan y a su contacto con aguas residuales, pluviales y suelos de diferente agresividad:

- Las **acciones mecánicas** que deben soportar, debido a que habitualmente van enterradas, son las cargas del relleno y las del tráfico que sobre éste circule. En el caso de puesta en obra mediante hinca, a las acciones anteriores hay que añadir las debidas a las fuerzas de empuje.
- Las **acciones físicas** que pueden afectar a estos conductos son las del fuego, las elevadas temperaturas, la radiación ultravioleta, los ciclos de hielo-deshielo, la abrasión y la cavitación.
- Las **acciones químicas** se deben a la presencia de sales solubles, sulfatos y ácidos, entre otros agentes agresivos; o a los procesos de carbonatación, reacción árido-álcali y corrosión de la armadura embebida en el hormigón.
- La **acción microbiológica** sobre el hormigón suele ser despreciable, por lo que no se considera en este artículo.

Para minimizar, o incluso evitar, el ataque químico a las tuberías de hormigón, hay una serie de soluciones en función de las clases de exposición definidas tanto en las normas del propio producto como en la EHE-08. Las tuberías de hormigón con una calidad adecuada resisten perfectamente la acción de la mayoría de los suelos agresivos que se encuentran en la península ibérica; no obstante y para aquellos casos en los que se prevea la existencia de unas condiciones ambientales excepcionales, en este artículo se van a evaluar los diferentes efectos de las

acciones que pueden actuar sobre las tuberías de hormigón de las redes de saneamiento y drenaje [3] así como las medidas preventivas que se pueden adoptar en esos casos.

La normalización existente permite alcanzar unos estándares mínimos de calidad de una forma homogénea y constante en el tiempo. Los conductos de hormigón cuentan con la normativa europea armonizada que se presenta en las tablas 1, 2 y 3.

A continuación se exponen las acciones físicas, mecánicas y químicas, que pueden afectar a la durabilidad de los conductos de hormigón utilizados en saneamiento y drenaje, para entender su modo de actuación con el fin de poder adaptar el producto a las condiciones del entorno mediante la adopción de medidas preventivas en las fases de proyecto, fabricación y puesta en obra de las redes de saneamiento y drenaje.

## 2. Resistencia mecánica y estabilidad de volumen

La resistencia mecánica de los conductos prefabricados de hormigón, es una de las cualidades que les hacen más fiables en su uso en canalizaciones de saneamiento y drenaje. Puesto que aportan por sí mismos una gran parte de la capacidad resistente del sistema, hacen a éste menos vulnerable ante una mala instalación en comparación con los sistemas de tuberías flexibles, los cuales pueden depender hasta en un 80% de la capacidad del relleno lateral, de su correcta compactación y del mantenimiento

de estas condiciones de confinamiento durante toda su vida útil. Además, la resistencia mecánica del hormigón, a diferencia de otros materiales, aumenta con la edad y, como una consecuencia directa, se tiene que el hormigón no se deforma durante su vida en servicio conservando la forma inicial e integridad estructural, lo cual garantiza su eficiencia hidráulica en el tiempo.

La capacidad mecánica de los conductos de hormigón viene determinada por sus condiciones de fabricación, espesores, dosificaciones de cemento, cuantías de acero, etc. Cada elemento

■ **Figura 2. Instalación de una canalización con galerías de hormigón.**



■ **Tabla 1. Normas que aplican a los tubos, elementos de pozos de registro y cámaras de inspección de hormigón.**

Norma	Título
UNE-EN 1916:2008	Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero.
UNE 127916:2014	Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero. Complemento nacional a la Norma UNE-EN 1916.
UNE-EN 1917:2008	Pozos de registro y cámaras de inspección de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibras de acero.
UNE 127917:2015	Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero. Complemento nacional a la Norma UNE-EN 1917.

■ **Tabla 2. Normas que aplican a los marcos de hormigón.**

Norma	Título
UNE-EN 14844:2007+A2:2012	Productos prefabricados de hormigón. Marcos.

■ **Tabla 3. Normas comunes que aplican a cualquier sistema de saneamiento o drenaje.**

Norma	Título
UNE-EN 1610:1998	Instalación y pruebas de acometidas y redes de saneamiento.
UNE-EN 476:2011	Requisitos generales para componentes empleados en tuberías de evacuación, sumideros y alcantarillas para sistemas de gravedad.
UNE-EN 752:2010	Sistemas de desagües y alcantarillado exteriores a edificios.

■ **Figura 3. Ensayo de tres aristas de un tubo de hormigón circular.**



puede ser calculado como una estructura para el caso concreto en el que va a ser utilizado, o puede fabricarse en series de clases resistentes.

El primer caso corresponde a los conductos tipo marco o galerías abovedadas, que se diseñan a la medida del terreno de apoyo, cargas de los rellenos, cargas del tráfico y, en definitiva, de las condiciones que la obra requiera.

Los tubos de hormigón habitualmente se fabrican en varias clases resistentes normalizadas, adoptando la necesaria, según requiera cada circunstancia de colocación. Para su evaluación, la UNE 127916:2014 cuenta con un anejo de cálculo en el que se recogen los distintos tipos de instalación, las acciones actuantes y cuantifica la colaboración del apoyo mediante lo que se conoce como factor de apoyo.

Una vez instaladas, las conducciones de hormigón mantienen sus dimensiones originales sin deformaciones perceptibles, y sólo en el caso de elementos de hormigón armado pueden aparecer las pequeñas fisuras propias de este material, necesarias para movilizar la resistencia de la armadura. El ancho de estas fisuras se calcula y se limita su valor al que la normativa establece según las condiciones ambientales. En la mayoría de los casos y en un corto espacio de tiempo se autosellan por formación de carbonato cálcico en su interior. Este fenómeno de autosellado consiste en que el  $\text{CO}_2$  atmosférico reacciona con la fase acuosa del hormigón que contiene hidróxido cálcico y forma un compuesto sólido, el carbonato cálcico, que se sitúa en las microfisuras colmatándolas y sellándolas (Figura 4). Este

■ **Figura 4. Efecto de relleno o sellado de las microfisuras del hormigón.**



■ **Figura 5. Emisario de hormigón armado.**



efecto también autosella pequeños poros y contribuye a estabilizar una conducción cuando, por cargas imprevistas, puedan aparecer fisuras diferentes de las propias del sistema.

Por otro lado, el comportamiento estructural de una conducción con elementos de hormigón, es menos dependiente de las condiciones de instalación respecto a otras soluciones con materiales alternativos. Es decir, una instalación de tuberías flexibles defectuosa, debido a una compactación del terreno poco eficiente en las partes laterales del tubo, daría lugar a un sistema con una escasa capacidad resistente y a una deformación elevada, pues se deformaría hasta comprimir los rellenos laterales y poder movilizar así el efecto soporte que éstos deben aportar a este tipo de instalación. Esta elevada deformación conlleva pérdidas de estanquidad en las uniones y disminución de la capacidad hidráulica de la conducción. En caso de inundación o elevación del nivel freático de las aguas subterráneas, el hormigón se opone mejor a una posible flotación de la red que las tuberías de polímeros ya mencionadas.

En conclusión, los sistemas de tuberías de hormigón son resistentes, robustos y poco susceptibles a dañarse durante su almacenamiento, manejo, instalación o uso.

### 3. Resistencia a los ciclos de hielo-deshielo

Cuando el agua penetra en el hormigón y bajan las temperaturas externas se puede producir su congelación en los poros saturados del hormigón dando lugar a un aumento de volumen

■ *Figura 6. Canal de hormigón.*



de aproximadamente un 9%, lo que provoca tensiones internas y posibles fisuras [4].

En el hormigón son más peligrosas las alternancias de heladas y deshielo (ciclos hielo-deshielo) que las temperaturas frías.

Dado que la mayoría de las aplicaciones de los conductos de hormigón son subterráneas, esta posibilidad es remota y en cualquier caso limitada. Sólo podría ser necesaria la aplicación de alguna medida preventiva en aquellos casos en los que los conductos no fueran enterrados o la existencia de un recubrimiento mínimo así lo aconsejara.

Como medidas a tomar para mejorar el comportamiento de una obra de canalizaciones frente a la acción de las heladas se pueden dar las siguientes [5]:

- Emplear cementos puzolánicos que a partir de una determinada edad dan hormigones más impermeables que los portland comunes, aunque sean más sensibles a las heladas a edades cortas.
- Utilizar áridos compactos, limpios y con buena rugosidad superficial.
- Utilizar hormigones lo más compactos que sea posible con relaciones agua/cemento del orden de 0,45 y contenido de cemento adecuado.
- Emplear agentes aireantes que generan microburbujas ocluidas, las cuales se sitúan en la red de poros capilares del hormigón dificultando la absorción capilar de líquidos que se produce en éstos y que actúan como cámaras de expansión.
- Cuidar el curado húmedo del hormigón para favorecer la formación de geles que cierren los poros.

En general, se puede decir que las tuberías prefabricadas de hormigón presentan una excelente resistencia a los ciclos de hielo-deshielo.

#### 4. Resistencia al fuego, a las elevadas temperaturas y a la radiación ultravioleta

Las conducciones con elementos de hormigón son resistentes a las elevadas temperaturas, en general, y al fuego en particular. Se pueden transportar aguas residuales a través de tuberías de

hormigón, alcantarillas y bocas de hombre a elevadas temperaturas cuando se fijan con sistemas de sellado adecuados diseñados específicamente para tal fin. No se deforman a elevadas temperaturas, al contrario que las tuberías termoplásticas que a temperaturas superiores a 45 °C podrían sufrir deformaciones irreversibles.

Los sistemas de saneamiento ocasionalmente pueden transportar fluidos inflamables de forma intencionada o accidental [6], en cualquier caso, se podrían producir fuego y explosiones en el interior de los sistemas de saneamiento o drenaje. El hormigón no se quema y no emite gases perjudiciales en los incendios al contrario de lo que sucede con los plásticos. Este hecho hace de los sistemas de tuberías de hormigón una opción muy apropiada en instalaciones de desagüe en zonas industriales que dispongan de depósitos de combustible, aeropuertos, gasolineras, etc., en los que el riesgo de explosiones e incendios es alto.

Con relación a la resistencia a la luz solar y radiación ultravioleta, las tuberías de hormigón no necesitan medidas especiales de protección más allá de proteger el material de las juntas cuando se utilicen polímeros, ya que estos, al igual que la mayoría de los plásticos, se deterioran por efecto de la luz solar.

#### 5. Resistencia frente a la abrasión

Las partículas sólidas que transporta el efluente, según su naturaleza, y los métodos de limpieza a presión, pueden provocar la erosión de las paredes de los conductos. Ante la posibilidad de que se produzca este problema se pueden adoptar dos tipos de medidas, eliminando la causa o haciendo el producto más resistente a la abrasión.

La reducción de la velocidad y la disposición de areneros en cabecera de red, sumideros y pozos de registro, son los métodos más efectivos, aunque este último, requiere de un mantenimiento con una limpieza periódica.

La abrasión sobre el hormigón se puede mitigar mejorando sus propiedades, seleccionando para ello, tal y como indica la EHE-08 áridos de elevada dureza, altas dosificaciones de cemento y baja relación agua/cemento. Todo esto, junto con el espesor de sus paredes y el acabado liso y poco poroso de la superficie que se obtiene con las tecnologías actuales de fabricación, hacen que el efecto de la abrasión en los productos de hormigón no represente un problema.

■ *Figura 7. Deslavado del hormigón por combinación de lixiviación y abrasión.*



Por otra parte, cabe mencionar que la limpieza de los depósitos sólidos de los sistemas de saneamiento se realiza con métodos de inyección de chorros de agua a elevada presión en el interior de las tuberías. Esta limpieza produce dos efectos: una ligera erosión de las paredes internas y un impacto sobre ellas.

Las canalizaciones de hormigón de buena calidad, están en condiciones de resistir presiones de hasta 300 bares mientras que en otros sistemas no se deben sobrepasar los 120 bares para evitar daños durante el proceso de limpieza.

## 6. Resistencia frente a las sales solubles

Las sales solubles se podrían difundir a través de la red capilar de poros del hormigón y, por efecto de la evaporación, precipitar en la superficie externa de la tubería en contacto con el aire en donde se podría acumular y crear un desconchamiento superficial.

En un hormigón compacto y poco permeable, es muy poco probable que se presente esta acción sobre el material.

■ *Figura 8. Tubería de saneamiento.*



## 7. Resistencia frente al ataque por sulfatos

El ataque del hormigón por sulfatos es una de las acciones químicas más agresivas y que puede dar lugar a su disgregación. La acción de los iones sulfato en el hormigón se debe, fundamentalmente, a la reacción expansiva de éstos con el aluminato tricálcico que hay en los cementos portland.

Los sulfatos pueden provenir de la naturaleza (agua de mar y suelos), tener un origen biológico o industrial. Los sulfatos deterioran el hormigón a través de mecanismos fisicoquímicos que dependen de la concentración y del tipo de sulfato produciendo expansión y la pérdida de las propiedades conglomerantes del gel C-S-H. La acción de los sulfatos se inicia con un hinchamiento seguido de la formación de compuestos expansivos como el yeso y la ettringita secundaria que producen tensiones mecánicas internas y la fisuración del hormigón.

Los cementos recomendados para evitar este ataque son los resistentes a los sulfatos de la norma europea UNE-EN 197-1:2011

(SR) o de la norma española UNE 80303-1:2013 (SRC) con adiciones de puzolanas naturales, cenizas volantes silíceas o escorias de horno alto [7 y 8]. La utilización de cemento con adición de materiales puzolánicos es beneficiosa ya que fija la cal y reduce la cantidad de sulfato cálcico (yeso) formado.

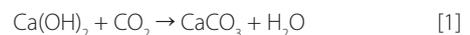
La resistencia a los sulfatos de un cemento portland depende de su contenido en aluminato tricálcico. En España, se consideran cementos resistentes a los sulfatos, aquellos cementos de las normas UNE 80303-1:2013 y UNE-EN 197-1:2011 que por la composición de su clínker cumplan las especificaciones que se refieren a límites porcentuales de  $C_3A$  y  $C_3A + C_4AF$ . Los contenidos de  $C_3A$  y  $C_4AF$ , se determinan por medio de las fórmulas de Bogue (UNE 80304:2009). Se puede destacar que no se especifica ningún límite en el caso de los cementos de los tipos CEM III/B ni CEM III/C, los cuales, en razón de sus elevados contenidos de escoria de horno alto son siempre resistentes a los sulfatos [9].

■ *Figura 9. Galerías de hormigón armado.*



## 8. Resistencia a la carbonatación

El hormigón es un material poroso y, por tanto, el  $CO_2$  del aire puede penetrar a través de sus poros hacia el interior. Este fenómeno no es importante en tuberías enterradas. Sin embargo, en las zonas que están en contacto con el aire se puede producir una reacción química del dióxido de carbono con el hidróxido cálcico que, de forma sencilla, se puede describir como:



El  $Ca(OH)_2$  junto con los compuestos alcalinos mantiene un elevado valor del pH del hormigón en torno a 12. Cuando se carbonata el hormigón, el valor del pH desciende por debajo de 9. La carbonatación empieza en la superficie y penetra hacia el interior del hormigón con una velocidad que es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo en la mayoría de los casos. El fenómeno de la carbonatación del hormigón es máximo con un 60 % de humedad relativa y prácticamente nulo en ambientes secos o saturados debido a que la difusión del  $CO_2$  está impedida en poros totalmente saturados de agua y no reacciona si el poro está muy seco [10, 11 y 12].

Con un recubrimiento de 25 mm, una resistencia del hormigón de 40 MPa y un diámetro del acero de 10 mm, en condiciones normales, el anejo 9 de la EHE-08 da valores de vida útil (períodos de iniciación más propagación) superiores a 100 años. Los

■ **Figura 10. Hinca de tubos de hormigón armado.**



valores antes considerados son habituales en la fabricación de elementos prefabricados para conducciones de hormigón.

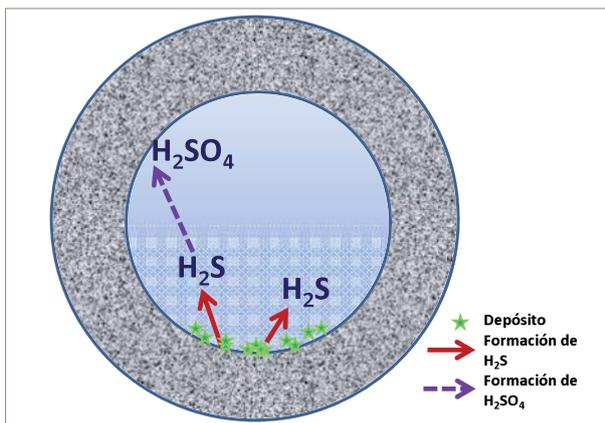
## 9. Resistencia a los ácidos

Los ácidos reaccionan con el hidróxido cálcico de la fase acuosa del hormigón formando sales solubles que provocan la disolución de la pasta de cemento dejando sin unión a los áridos, lo que provoca la disgregación del hormigón. El ataque ácido de las tuberías de hormigón puede ser externo o interno.

Cuando la tubería está enterrada en suelos ácidos o con aguas subterráneas ácidas, se puede producir un ataque superficial del hormigón. Estas situaciones son muy raras en la naturaleza y sólo son posibles en zonas industriales con vertidos accidentales de ácidos minerales.

El origen de los ácidos en el interior de las tuberías de hormigón proviene o bien de la formación de ácido sulfhídrico [13] y ácido sulfúrico [14] en las tuberías de agua residual de las conducciones sanitarias, o bien del propio líquido que se transporta. Este último caso, podría ser puntal ya que la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, obliga a la depuración de los vertidos antes de su evacuación a los sistemas de colectores e instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas (Artículo 11, letra C del Anexo I).

■ **Figura 11. Formación de ácido sulfhídrico y ácido sulfúrico en colectores de aguas sanitarias.**



La formación del ácido sulfhídrico,  $H_2S$ , se produce por digestión anaerobia en el interior del efluente y las condiciones que facilitan su desarrollo son:

- Temperaturas altas.
- Velocidades del fluido bajas o nulas provocando el aumento del tiempo de retención o incluso situaciones de estancamiento.
- Falta de aireación en las conducciones.

En conductos trabajando a sección llena, el ácido sulfhídrico gaseoso,  $H_2S$ , se mantiene disuelto en el líquido efluente hasta alcanzar algún punto de descarga o vertido, donde se libera, y es, por tanto, el lugar donde se concentran los malos olores y los problemas de corrosión.

En conductos que no trabajan a sección llena, cualquier turbulencia en el régimen hidráulico, hace que el ácido sulfhídrico pase del líquido efluente al aire en la propia conducción.

En la pared no sumergida de los conductos de saneamiento y en presencia de humedad crecen los Thiobacillus, que son unas bacterias aeróbicas que realizan la transformación del ácido sulfhídrico,  $H_2S$ , en ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$  (Figura 11). El ácido sulfúrico formado ataca al hormigón.

Las estrategias de defensa contra este problema, van en diversas direcciones:

- Evitar la formación del ácido sulfhídrico, actuando sobre el diseño.
- Evitar su transformación en ácido sulfúrico.
- Hacer el producto más resistente al ataque de ácidos.
- Dotar a los conductos de un espesor de sacrificio.
- Emplear material de relleno de naturaleza caliza cuando el ataque sea externo.
- Utilizar áridos calizos que ayuden a neutralizar la acción de los ácidos.

El espesor de sacrificio se puede evaluar con la fórmula de Richard D. Pomeroy [15] para un tiempo de vida útil establecido. La forma de estimar el espesor de sacrificio [16] es mediante la ecuación [2].

$$c = 0,45 \cdot k \cdot \varnothing_{sw} / A \text{ [pulgadas/año]} \quad [2]$$

Siendo:

$k$  – Constante variable entre 0,3 (formación rápida del ácido) y 1 (formación lenta del ácido).

$$\varnothing_{sw} = 0,45 \cdot J \cdot DS \cdot b/p' \cdot (s \cdot v)^{0,375}$$

$J$  – Proporción de  $H_2S$  disuelto en el agua.

$DS$  – Sulfatos disueltos del efluente (miligramos/litro).

$b$  – Anchura de lámina (pies).

$p'$  – Perímetro expuesto (pies).

$s$  – Pendiente en tanto por uno.

$v$  – velocidad media (pies/seg).

$A$  – Valor de la alcalinidad.

(1 pulgada = 25,4 mm y 1 pie = 12 pulgadas).

## 10. Lixiviación por aguas puras

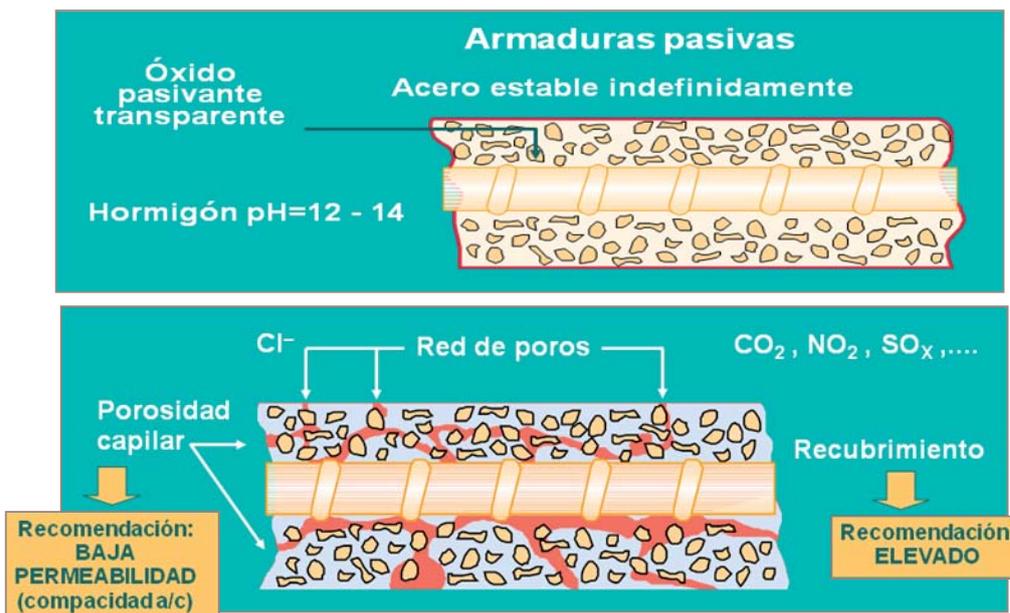
El ataque debido a la lixiviación por aguas puras se produce cuando el agua de riachuelos de montaña, la del deshielo o cualquier agua con valores bajos del residuo seco, se canaliza en tuberías de hormigón originando el deslavado de la pasta del hormigón por disolución de los constituyentes más débiles del cemento, dejando libres y sin unión a los áridos del hormigón de la zona interna de la tubería o canalización que la contiene. La portlandita o hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  tiene una solubilidad en agua destilada de 1.700 mg /litro a 20 °C, a medida que aumenta la cantidad de iones en el agua, esta solubilidad disminuye. Por otro lado, los silicatos de calcio hidratados o gel C-S-H presentan una solubilidad mucho menor de tan sólo unos 50 mg/l, expresada como CaO. Por tanto, cuanto menor portlandita tenga la pasta de cemento hidratada, mayor durabilidad presentará el hormigón frente a las aguas puras.

Este tipo de ataque es superficial, a menos que existan fisuras de gran anchura que puedan facilitar un ataque más profundo.

■ *Figura 12. Obra de drenaje transversal.*



■ *Figura 13. Corrosión de la armadura del hormigón.*



En estas condiciones se recomienda el uso de cementos de adición puzolánica (cenizas volantes silíceas, puzolanas naturales o humo de sílice) o escorias granuladas de horno alto. En cuanto a los áridos, son recomendables los silíceos por su carácter ácido.

Conviene evitar velocidades altas y, en caso necesario, se puede recurrir a la protección de la superficie del hormigón en la zona mojada de manera continua.

## 11. Resistencia a la reacción árido-álcali

La mayoría de los áridos de buena calidad españoles presentan un comportamiento inerte cuando forman parte integrante del hormigón. Sin embargo, en casos puntuales se ha encontrado que algunos áridos pueden disolverse parcialmente a lo largo del tiempo, cuando entran en contacto con alguna disolución alcalina como es el caso de la fase acuosa que contiene el hormigón en sus poros. Esta reacción se produce en ambientes con una elevada humedad (superior al 80%). Por tanto, la falta de humedad limita esta reacción.

Hay que considerar la gran influencia del tamaño de los áridos reactivos, ya que partículas grandes de áridos reactivos pueden producir tensiones locales elevadas y expansiones localizadas que conllevan una importante degradación del hormigón circundante. Sin embargo, áridos reactivos de pequeño tamaño (arenas de 0-4 mm, en algún caso ligeramente superior) y homogéneamente distribuidos en el seno del hormigón pueden producir pequeñas expansiones deslocalizadas que no llevan asociadas una degradación significativa.

La prevención de este fenómeno se hace seleccionando áridos que cumplan las especificaciones que la EHE-08 fija en el apartado 28.7.6 'Reactividad álcali-árido' que desarrolla este tema.

■ Figura 14. Tubos circulares de campana acopiados en obra.



## 12. Resistencia a la corrosión de la armadura embebida en el hormigón

En las armaduras, cuando sufren un proceso de corrosión se producen óxidos de gran volumen que crean tensiones internas en el hormigón, perdiendo la adherencia y la capacidad resistente.

Las causas que provocan este fenómeno son la reducción del pH del hormigón y la penetración de cloruros, dándose básicamente en hormigones de mala calidad con valores de porosidad elevados y recubrimientos de la armadura del hormigón escasos.

En un estudio realizado en 17 instalaciones marítimas situadas en Sydney, Melbourne, Brisbane y Hobart de Australia, en base a los resultados de unas 30 inspecciones realizadas durante 69 años, se ha confirmado que las tuberías de hormigón armado con un recubrimiento de la armadura de más de 15 mm expuesto a un ambiente marino de carrera de marea presentan una vida en servicio de más de 100 años [17].

Las tuberías de hormigón tienen unos coeficientes de difusión de cloruros muy bajos, lo que implica que tengan unos periodos de iniciación de la corrosión de la armadura muy elevados, superiores a 50 años, y periodos de propagación igualmente largos como consecuencia del elevado contenido de cemento, baja relación agua/cemento y elevado grado de compactación, lo que conduce a un hormigón bastante impermeable que hace que haya un acceso de oxígeno limitado.

## 13. Conclusión

Los conductos de hormigón se utilizan habitualmente en las redes de aguas residuales y drenaje de aguas pluviales, empleando formas de instalación y condiciones de uso diversas, además, pueden encontrarse en contacto con suelos de diferente agresividad. Como resultado de la evaluación de los diferentes efectos mecánicos, físicos y químicos que pueden afectar negativamente a los conductos de hormigón se puede concluir en que los conductos de hormigón son la mejor solución para esta aplicación.

## 14. Referencias

- [1] Henry Reid. "Portland Cement its Manufacture and Uses". Ed., Spoon. 1877.
- [2] A. M. Neville. "Properties of concrete: fourth and final edition standards updated to 2002". 844 pp. Longman, Reino Unido, 2002. ISBN 9780582230705.
- [3] T. Haktanir, K. Ari, F. Altun y O. Karahan. "A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel-fibre concrete pipes under three-edge-bearing test". *Construction and Building Materials*, 21(7), pp. 1.702–1.708 (2007).
- [4] Varios autores. "2<sup>nd</sup> International RILEM Workshop on Frost Resistance of Concrete". *Proceedings pro024*. Editado por M. J. Setzer, R. Auberg y H. - J. Keck. ISBN: 2-912143-30-6. e-ISBN: 2351580370. 400 pp. Publicación: 2002.
- [5] M. Fernández Cánovas. *Hormigón*. Editorial: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 01-10-2007. 666 pp. ISBN: 978-84-380-0364-0. EAN 9788438003640.
- [6] Datos obtenidos tras el accidente en el aeropuerto internacional de O'Hare, Chicago, Illinois. Chicago-O'Hare International Airport, IL profile: <http://aviation-safety.net/database/airport/airport.php?id=ORD#general>.
- [7] TS Interim Amendment n° 23 Implementation of BS 8500-1:2006 - Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1. TRANSPORT SCOTLAND (Agency of the Scottish Government). Object ID:A2264320. Rev 2, February, 2012. 13 pp.
- [8] F. Massazza. "Additions and durability of concrete", *World Cem.*, 21(1), pp. 19–44 (1999).
- [9] M. A. Sanjuán y C. Argiz. La nueva norma europea de especificaciones de cementos comunes UNE-EN 197-1:2011. *Mater. Construcc.*, vol. 62, 307, 425-430, julio-septiembre 2012. ISSN: 0465-2746. doi: 10.3989/mc.2012.07711.
- [10] M. A. Sanjuán, Carmen Andrade y M. Cheyrezy. Ensayos de carbonatación natural y acelerada de conglomerantes hidráulicos fabricados con cemento portland. *Cemento Hormigón*, n° 884. Enero 2006.
- [11] M. A. Sanjuán, César del Olmo. "Carbonation Resistance of Industrial Mortars used as concrete coatings". *Building and Environment* 36 (2001) 949-953.
- [12] P. Castro, M.A. Sanjuán y J. Genescá. "Carbonation of concretes in the Mexican Gulf". *Building and Environment* 35 (2)(2000) 145-149.
- [13] A. Attal. "Biological mechanisms of H<sub>2</sub>S formation in sewer pipes". *Water Science and Technology*, 26, p. 907 (1992).
- [14] V. Rostami, Y. Shao y A.J. Boyd. "Durability of concrete pipes subjected to combined steam and carbonation curing". *Construction and Building Materials*. 25 (2) 3345–3355 (2011).
- [15] Pomeroy, 1959. "Generation and Control of Sulfide in Filled Pipes". *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 31, 1082-1095.
- [16] Anexo D de la Norma UNE 127010:1995.
- [17] C. A. Baker. "Concrete Technology. "Durability of Concrete Pipe in a Marine Environment". *Pipe Association of Australia*. Julio, 2000. 157pp.