



Conductos prefabricados de hormigón. Respuesta ante las acciones químicas

Miguel Ángel Sanjuán Barbudo doctor en Ciencias Químicas, jefe del Área de Cementos y Morteros del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)

Cristina Argiz Lucio doctora en Ciencias Químicas, profesora ayudante de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)

José Rodríguez Soalleiro ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, asesor técnico de Canalizaciones de la Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón (Andece)

Los conductos de hormigón han sido el pilar de los sistemas de saneamiento y drenaje de las ciudades europeas desde la segunda mitad del siglo XIX. Ofrecen un sinfín de ventajas de las que, en síntesis, hay que subrayar su rápida instalación, su buena resistencia mecánica y los bajos costes de mantenimiento. Además, un hormigón sano y compacto presenta una buena durabilidad cuando se encuentra sometido a las condiciones ambientales habituales a las que se exponen las tuberías de hormigón. En este artículo se analiza la acción de los agresivos químicos que pueden afectar a la durabilidad de los conductos de hormigón utilizados en saneamiento y drenaje, con el fin de entender su modo de acción y, así, poder adaptar el producto a las condiciones del medio a través de las actuaciones adecuadas en las fases de proyecto, fabricación y puesta en obra.

Palabras clave

Conductos prefabricados, tuberías de saneamiento, drenaje, hormigón, acciones químicas, durabilidad.

Precast concrete pipelines. Response against chemical attack

Concrete pipes have been the pillar of sanitation and drainage systems of the European cities from the second half of the 19th century. They offer an endless number of advantages of which, in particular among them, it is necessary to highlight his fast installation, good mechanical strength and low maintenance cost. In addition, a healthy and compact concrete presents good durability permanence when concrete pipelines are submitted to the usual environmental conditions. In this paper, the mechanism of attack of chemically aggressive products which can affect negatively to the concrete pipelines durability used in sanitation and drainage systems will be presented, in order to better understand the reaction mechanism. This knowledge will allow adapt the product to the environmental conditions just in the project, execution or installation phases.

Keywords

Precast pipes, sanitation pipes, drainage, concrete, chemical actions, durability.



1. Introducción

La durabilidad que deben garantizar los conductos de hormigón (**Figura 1**) es un aspecto esencial a considerar con el fin de que mantengan sus cualidades durante, al menos, la vida útil proyectada. Deben resistir, entre otras, acciones ambientales de tipo químico y microbiológico debido a su contacto con aguas residuales, pluviales y suelos de diferentes agresividades.

La durabilidad de una estructura de hormigón se puede definir (según la Instrucción EHE-08) como su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural. Las principales características que la controlan son la cantidad y tipo de cemento, el espesor del recubrimiento, la relación agua/cemento y, sobre todo, tratar que el hormigón sea muy compacto para evitar la entrada y propagación de los agentes agresivos.

Los conductos de hormigón cuentan con la normativa europea armonizada que se indica en las **Tablas 1, 2 y 3**.

La acción química se debe a la presencia de sales solubles, sulfatos y ácidos; o a los procesos de carbonatación, reacción árido-álcali y corrosión de la armadura embebida en el hormigón. La acción microbiológica sobre el hor-



migón 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 España. No obstante, y para aquellos casos en los que se prevea la existencia de condiciones excepcionales, a continuación se evalúan los diferentes efectos químicos y biológicos que pueden actuar sobre las tuberías de hormigón de las redes de saneamiento y drenaje [2], así como las medidas preventivas a adoptar en esos casos.

Tabla 1. Normas que se 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-EN 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-EN 127917:2005	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 se aplican a los marcos de hormigón.

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

Tabla 3. Normas comunes que se 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

2. Resistencia 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 desconchamiento superficial. En un hormigón compacto, poco permeable, es muy poco probable que se presente esta acción sobre el material (**Figura 2**).

3. Resistencia 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 estos con el aluminato tricálcico que hay en los cementos portland.

Los sulfatos pueden provenir de la naturaleza (agua de mar y suelos) y 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 etringita secundaria que producen tensiones mecánicas internas y la fisuración del hormigón.

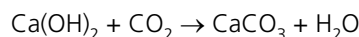
Los cementos recomendados para evitar este ataque son los resistentes a los sulfatos de la norma europea UNE-EN 197-1:2011 (SR) o de la norma española UNE 80303-1:2013 (SRC) con adiciones de puzolanas naturales, cenizas volantes silíceas o escorias de horno alto [3, 4]. La utilización de cemento con 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 clinker, cumplen

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 determinarán 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 y CEM III/C, los cuales, en razón de sus elevados contenidos de escoria de horno alto, son siempre resistentes a los sulfatos [5] (**Figura 3**).

4. 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 en contacto con el aire se puede producir una reacción química 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 [6, 7, 8].

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 (iniciación más propagación) superiores a 100 años. Los valores antes considerados son habituales en la fabricación de elementos prefabricados para conducciones de hormigón (**Figura 4**).

Figura 2. Tubería se saneamiento.



Figura 3. Marcos de hormigón armado.





Figura 4. Hinca de tubos de hormigón armado.



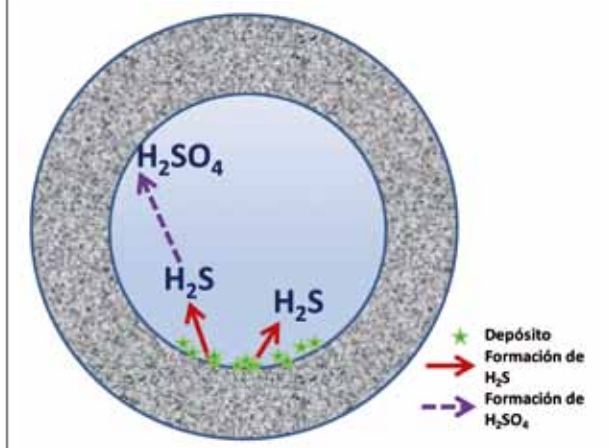
5. Resistencia a los ácidos

Los ácidos reaccionan con el hidróxido cálcico de la fase acuosa del hormigón formando sales solubles que provocan la disolución de la pasta 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 solo 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 [9] y ácido sulfúrico [10] en las tuberías de agua residual de las conducciones sanitarias, o bien del propio líquido que se transporta (**Figura 5**). Este último caso podría ser puntual, 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 5. Formación de ácido sulfhídrico en colectores de aguas sanitarias.



La formación del sulfhídrico 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 gas sulfhídrico, SH_2 , 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 gas 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*, bacterias aerobias que realizan la transformación del ácido sulfhídrico en ácido sulfúrico. 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 [11] para un tiempo de vida útil establecido. La forma de estimar el espesor de sacrificio [12] es mediante la siguiente ecuación:

$$c = 0,45 \cdot k \cdot \varnothing_{sw} / A \text{ (pulgadas/año)}$$

siendo:

- k = constante variable entre 0,3 (formación rápida de ácido) y 1 (formación lenta de ácidos).
- $\varnothing_{sw} = 0,45 \cdot J \cdot DS \cdot b/p' \cdot (s \cdot v)^{0,375}$.
- J = proporción de SH_2 disuelto en el agua.
- DS = sulfatos disueltos del efluente (mg/l).

Figura 6. Obra de drenaje transversal.

- b = ancho 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).

6. 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tiene una solubilidad en agua destilada de 1.700 mg/l a 20 °C. A medida que aumenta la cantidad de iones en el agua, esta solubilidad disminuye. Así mismo, los silicatos de calcio hidratados o gel C-S-H presentan una solubilidad mucho menor, de tan solo 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. En estas condiciones se recomienda el uso de cementos de adición puzolánica (cenizas volantes, puzolanas naturales o humo de sílice) o escorias de horno alto. En cuanto a los áridos, son recomendables los silíceos por su carácter ácido (**Figura 6**).

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.

7. Resistencia a la reacción árido-álcali

La mayoría de los áridos 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 muy altas y expansiones localizadas que conlleven 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 conlleven 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.

8. Resistencia a la corrosión de la armadura embebida en el hormigón

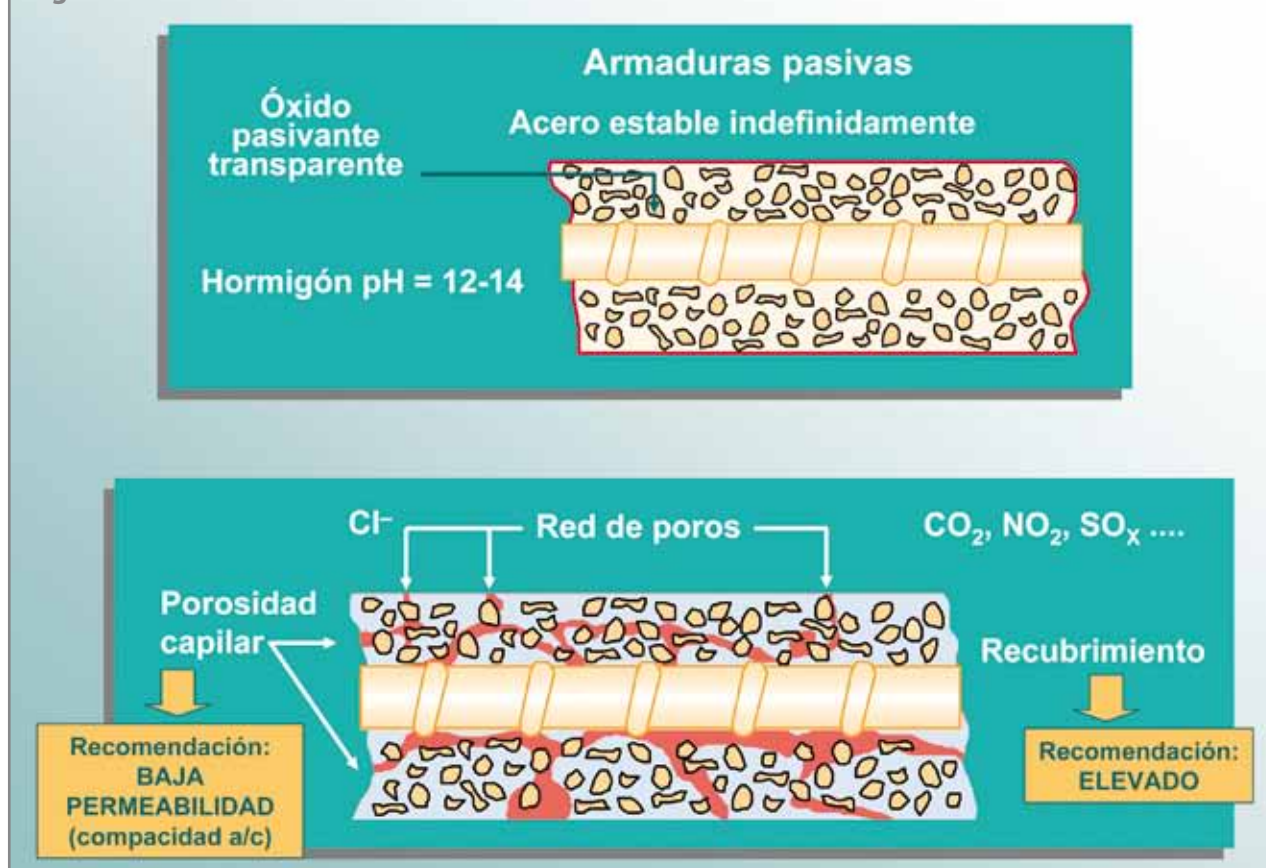
En las armaduras, cuando sufren un proceso de corrosión, se producen óxidos de gran volumen que crean tensiones internas en el hormigón, perdiendo la adherencia y la capacidad resistente. Las causas que provocan este fenómeno son la reducción del pH del hormigón y la penetración de cloruros, dándose básicamente en hormigones de mala calidad con índices de porosidad elevados y recubrimientos de la armadura del hormigón escasos (**Figura 7**).

En un estudio realizado en 17 instalaciones marítimas situadas en Sydney, Melbourne, Brisbane y Hobart (Australia), según los resultados de unas 30 inspecciones realizadas durante 69 años, se ha confirmado que las tuberías de hormigón armado expuesto a un ambiente marino de carrera de marea tienen una vida en servicio de más de 100 años con un recubrimiento de la armadura de más de 15 mm [13].

Las tuberías de hormigón tienen unos coeficientes de difusión de cloruros muy bajos, lo que lleva asociado 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, la baja relación agua/cemento y el elevado grado de compactación, lo que conduce a un hormigón bastante impermeable que hace que haya un acceso de oxígeno limitado (**Figura 8**).



Figura 7. Corrosión de armaduras.



9. Conclusiones

Los conductos de hormigón se utilizan habitualmente en las redes de aguas residuales y drenaje de aguas pluviales y están en contacto con suelos de diferente agresividad. Después de evaluar los diferentes efectos químicos que pueden provocar el daño de las tuberías de hormigón y siempre que se adopten las medidas oportunas en diseño y producción en función de las condiciones ambientales, se concluye que el comportamiento de los conductos de

hormigón y su vida útil son los adecuados, incluso en ambientes químicos hostiles.

Bibliografía

- [1] Reid, H. (1877). Portland cement, its manufacture and uses. Ed. Spoon
- [2] Haktanir, T.; Ari, K.; Altun, F.; Karahan, O. (2007). A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel-fibre concrete pipes under three-edge-bearing test. *Construction and Building Materials*, núm. 21(7), págs. 1.702-1.708.
- [3] TS Interim Amendment No 23 Implementation of BS 8500-1:2006 - Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1 (2012). Transport Scotland (Agency of the Scottish Government). Object ID:A2264320. Rev. 2, 13 págs.
- [4] Massazza, F. (1999). Additions and durability of concrete. *World Cem.*, núm. 21(1), págs. 19-44.
- [5] Sanjuán, M.A.; Argiz, C. (2012). La nueva norma europea de especificaciones de cementos comunes UNE-EN 197-1:2011. *Mater. Construcc.*, vol. 62, núm. 307, págs. 425-430. ISSN: 0465-2746, doi: 10.3989/mc.2012.07711.
- [6] Sanjuán, M.A.; Andrade, C.; Cheyrezy, M. (2006). Ensayos de carbonatación natural y acelerada de conglomerantes hidráulicos fabricados con cemento portland. *Cemento y Hormigón*, núm. 884.
- [7] Sanjuán, M.A.; del Olmo, C. (2001). Carbonation resistance of industrial mortars used as concrete coatings. *Building and Environment*, núm. 36, págs. 949-953.
- [8] Castro, P.; Sanjuán, M.A.; Genescá, J. (2000). Carbonation of concretes in the Mexican Gulf. *Building and Environment*, núm. 35(2), págs. 145-149
- [9] Attal, A. (1992). Biological mechanisms of H₂S formation in sewer pipes. *Water Science and Technology*, núm. 26, págs. 907.
- [10] Rostami, V.; Shao, Y.; Boyd, A.J. (2011). Durability of concrete pipes subjected to combined steam and carbonation curing. *Construction and Building Materials*, núm. 25(2), págs. 3.345-3.355.
- [11] Pomeroy, R.D. (1959). Generation and control of sulfide in filled pipes. *Sewage and Industrial Wastes*, vol. 31, págs. 1.082-1.095.
- [12] Anexo D de la Norma UNE 127010:1995.
- [13] Baker, C.A. (2000). Durability of concrete pipe in a marine environment. *Concrete Pipe Association of Australasia*, 157 págs.

Figura 8. Tubos circulares de campana acopiados en obra.

