

REPRINT | TECNOLOGIA DEL HORMIGÓN
Planteamiento de dos vías para la protección
del hormigón en entornos muy exigentes



REPRINT
PHI 05/18



Planteamiento de dos vías para la protección del hormigón en entornos muy exigentes

■ Dave Ross, Director del servicio técnico de Xypex, Canadá

Los microorganismos productores de ácidos corroen a una velocidad alarmante una infraestructura importante a nivel mundial: nuestros sistemas de aguas residuales. Al final de este complejo proceso, conocido como **corrosión inducida microbiológicamente (Microbial Induced Corrosion - MIC)**, se forma ácido sulfúrico biogénico que puede bajar el valor de pH superficial del hormigón en elementos de sistemas de aguas residuales de forma lenta pero segura a un nivel destructivamente bajo, lo que conduce a un deterioro rápido y potencialmente al colapso de la estructura.

Muchos sistemas de recolección y de tratamiento de aguas residuales en todo el mundo deben repararse o reemplazarse por la pérdida de la integridad estructural debido a la MIC (figura 1) y a otras formas de ataque físico y químico. El deterioro de la infraestructura de aguas residuales conduce a una creciente infiltración del agua de lluvia y el agua subterránea y además permite la salida de aguas residuales al medio ambiente desde las tuberías de aguas residuales dañadas y debido al desbordamiento de las instalaciones de tratamiento.

En el estudio sobre cuencas hidrográficas limpias (Clean Watersheds Needs Survey) de 2016, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environment Protection Agency) determinó que de los 271.000 millones de dólares (aprox. 235.000 millones de euros) que están previstos en los próximos 20 años para reparar los daños de las instalaciones públicas de tratamiento de aguas residuales, más de 51.000 millones de dólares (aprox. 44.000 millones de euros) se deberán invertir en reparaciones del sistema de conductos (es decir, categoría III).

Según el informe, «la creciente demanda de medidas de reparación de categoría III demuestra que los municipios desean asegurar cada vez más la integridad estructural de la infraestructura de los sistemas de conductos existentes, solucionar problemas de drenaje e infiltración y solucionar los problemas relacionados con el desbordamiento de la canalización». De los 51.000 millones de dólares (aprox. 44.000 millones de euros) necesarios para las reparaciones, más de 42.000 millones de dólares (aprox. 36.000 millones de euros)



Fig. 1: La corrosión inducida microbiológicamente (MIC) es un proceso bioquímico complejo, en el que se generan ácidos fuertes que destruyen rápidamente el hormigón y el acero.

se requieren para proyectos de refuerzo y/o reconstrucción de las estructuras en peligro de los tubos de aguas residuales o tubos de desagüe combinados, y los restantes 9.000 millones de dólares (aprox. 8.000 millones de euros) para solucionar problemas de drenaje e infiltración de agua en tubos de aguas residuales o tubos de desagüe combinados de aguas subterráneas, tubos de aguas residuales, canales de agua de lluvia y otras fuentes no deseadas.

Los informes sugieren que los servicios de suministro y eliminación de agua y aguas residuales, que suministran con agua potable a 390 millones de personas en 17 países y eliminan sus aguas residuales, invertirán en los próximos 5 años casi 90.000 millones de euros (aprox. 103.000 millones de dólares) en el saneamiento de la infraestructura de agua potable y aguas residuales.

Ante la magnitud de los trabajos de reemplazo y reparación necesarios, los propietarios de la infraestructura y los responsables de las regulaciones se enfrentan al desafío de determinar métodos de construcción modernos para prevenir la nueva destrucción y lograr una protección contra la MIC. Las medidas preventivas habituales para proteger la infraestructura de canalización como tubos de hormigón armado, pozos, estaciones de bombeo construidas de hormigón in situ, estructuras de derivación y otras construcciones son:

- Revestimientos y recubrimientos resistentes a la corrosión como, por ejemplo, revestimientos de PVC y HDPE, así como recubrimientos con resina epoxi y a base de cemento
- Tubos de PVC como reemplazo de pequeños tubos de hormigón
- Mezclas de hormigón duraderas para reducir la permeabilidad y lograr una mayor resistencia contra los ataques químicos
- Tratamiento de flujos de aguas residuales y aditivos químicos para reducir el contenido de ácido sulfhídrico (por ejemplo, inyección de oxígeno/aire o adición de sustancias químicas como, por ejemplo, peróxido de hidrógeno, cloro, permanganato de potasio, nitrato de calcio, sosa cáustica o hidróxido de magnesio)
- Aditivos antimicrobianos que se pueden añadir al hormigón durante la mezcla o aplicar posteriormente

Existen muchos planteamientos para la protección contra la MIC, pero cada una tiene limitaciones que los propietarios y desarrolladores deben tener en cuenta. Por ejemplo, los revestimientos y recubrimientos ofrecen una protección visible contra la acción de ácidos y sulfatos, pero la aplicación de estas opciones en estructuras ya existentes puede resultar costosa y requerir mucho tiempo. Si no se aplican correctamente, tampoco resultan duraderas.

Los revestimientos de plástico, por ejemplo, pueden ser muy sensibles a la calidad de las uniones soldadas en el lugar de colocación. Los revestimientos y recubrimientos pueden soltarse de la superficie a la que están adheridos a causa de la presión hidrostática. Los recubrimientos se deben aplicar cuidadosamente para evitar la formación de poros, lo que

puede representar un desafío en el caso de tubos fabricados de hormigón rígido. Los tubos de PVC tienen ventajas, pero solo pueden utilizarse para diámetros pequeños. Los aditivos para los flujos de aguas residuales pueden ser costosos y la introducción continua puede resultar compleja.

Para las instalaciones existentes se dispone de incluso menos soluciones para reparar los daños de la MIC:

- Mortero de reparación y revestimiento posterior de resina epoxi resistente a la corrosión
- Mortero de reparación resistente a la corrosión
- Sistemas de tuberías curadas en sitio, incluyendo diferentes técnicas para la reparación y renovación del tubo
- Mortero de reparación con aditivos antimicrobianos
- Aditivos químicos para flujos de aguas residuales tras una reparación

Una de las mayores dificultades de estas estrategias son las condiciones de trabajo frecuentemente muy complejas en una canalización existente. Se requiere una preparación muy cuidadosa de la superficie y un secado profundo antes de la aplicación de materiales sensibles a la humedad como, por ejemplo, la resina epoxi.

Hormigón más duradero

Existen diferentes opciones para aumentar la resistencia del hormigón a los ácidos y otros ataques químicos. La difusión o la penetración de sustancias agresivas en el hormigón a través de las fisuras y espacios huecos capilares conectados entre sí pueden conducir a daños y destrucción de la estructura. Dependiendo del tipo de sustancia que penetra, esta puede atacar el hormigón o la armadura de acero. Tapando los poros y retocando las fisuras se puede reducir el intercambio de masa en el hormigón y aumentar la durabilidad de la estructura.

Los métodos tradicionales para aumentar la durabilidad del hormigón son la reducción del valor agua-cemento y la prolongación del tiempo de fraguado húmedo. Otro método para mejorar la durabilidad y otros factores del hormigón consiste en la sustitución parcial del cemento portland por ligantes minerales como, por ejemplo, cenizas volantes, escoria de alto horno granulada y molida (GGH, de sus siglas en alemán) y humo de sílice.

Está comprobado que una adición de estos materiales aumenta la durabilidad de las estructuras de hormigón. No obstante, se debe conocer la fuente de los materiales cementosos suplementarios, ya que su calidad y su rendimiento pueden ser muy diversos, en particular en el caso de las cenizas volantes.

Impermeabilización cristalina

Otro método que ha demostrado su eficacia para aumentar la durabilidad de las estructuras de hormigón es la impermeabilización cristalina. Existe como aditivo o como recubrimiento a base de cemento. Mediante llenado y sellado de

poros, capilares y microfisuras con una formación cristalina no soluble y resistente se reduce la permeabilidad del hormigón y aumenta su durabilidad. La mayor parte de los causantes de daños penetran por estas vías al hormigón. Esta forma de impermeabilización reacciona con los productos secundarios de la hidratación del cemento y cierra poros, vías capilares y microfisuras (figuras 2 y 3). De este modo se reduce considerablemente la penetración y difusión de líquidos y gases, lo que protege al hormigón de ataques de ácidos, sulfatos y cloruros.

Innovación antimicrobiana

La empresa Xypex Chemical Corporation de Vancouver en Canadá fabrica desde 1970 productos para el sellado cristalino y para la protección, que son distribuidos a través de una red de servicios en más de 80 países. Recientemente, la empresa introdujo en el mercado un producto de protección dual bajo el nombre de Xypex Bio-San C500, que combina la impermeabilización cristalina con una sustancia activa antimicrobiana a base de minerales. Esta destruye las bacterias del género *Thiobacillus* que son responsables de la corrosión inducida microbiológicamente.

Xypex Bio-San C500 es un polvo que se añade al hormigón durante la mezcla. Se puede añadir manualmente o a través de un sistema de dosificación controlado por ordenador. En instalaciones de mezcla centrales también se puede añadir directamente a la mezcladora o antes de la alimentación de las materias primas individuales mediante dosificación en seco, directamente en el vehículo de hormigón preparado. Xypex Bio-San C500 proporciona a los fabricantes de elementos prefabricados y fabricantes de hormigón preparado un producto individual fácil de usar que puede utilizarse en proyectos o productos que requieren una elevada resistencia a la corrosión, impermeabilidad al agua y protección anti-

microbiana. Los componentes antimicrobianos Bio-San están fijados a una matriz mineral que se convierte en un componente del hormigón. Los aditivos antimicrobianos trabajan indefinidamente a nivel celular y destruyen las bacterias dañinas liberando iones metálicos que abren agujeros en la membrana celular de la bacteria y la destruyen desde el interior. No se pueden eliminar por lavado ni gastar.

Bio-San cumpliendo una importante misión

El Roaring Fork Club es un club privado y exclusivo con una superficie de 383 acres en Basalt, una ciudad en el estado de Colorado en EE.UU. El club, a unos 20 minutos de la mundialmente famosa estación de esquí de Aspen, fue construido a finales de los años 1990 y ofrece muchas opciones como, por ejemplo, golf, pesca en el río Roaring Fork, deporte para toda la familia y otras actividades al aire libre.

El actual proyecto de ampliación prevé la nueva construcción de 13 grandes edificios y una urbanización para empleados con 43 unidades. El tratamiento de las aguas residuales para la ampliación está asegurado por el Distrito Sanitario de Basalt a través de una ampliación del sistema de canalización por gravedad. La construcción de la ampliación será ejecutada por Sopris Engineering LLC, una empresa privada local que ofrece asesoramiento, ejecución de obra y servicios de agrimensura.

Para los edificios y la urbanización para empleados se instalará un tubo colector por gravedad de PVC de 8 pulgadas hacia una estación de bombeo de 14 pies (aproximadamente 4,3 m) de altura, con bombas sumergibles, ubicada bajo una elevación. Las bombas transportan las aguas residuales en un conducto de alimentación a presión de 500 pies (aproximadamente 150 m) de largo hasta la canalización principal del Distrito Sanitario de Basalt.

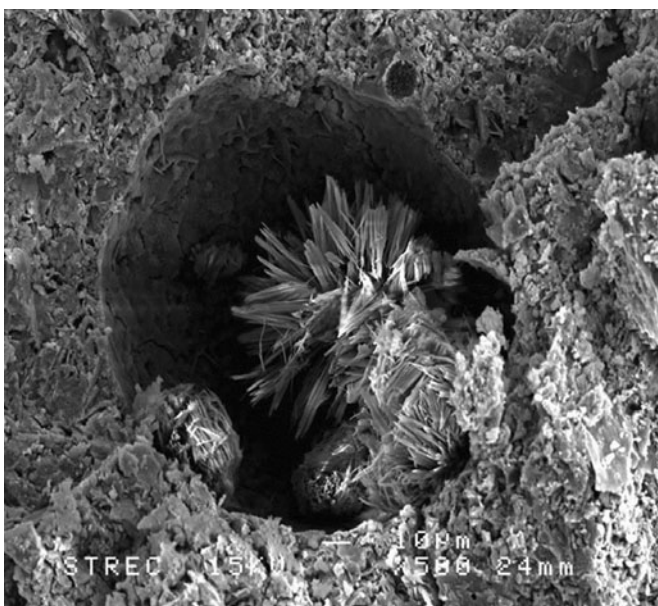


Fig. 2: Creación de una estructura cristalina en un espacio poroso de la matriz de hormigón.

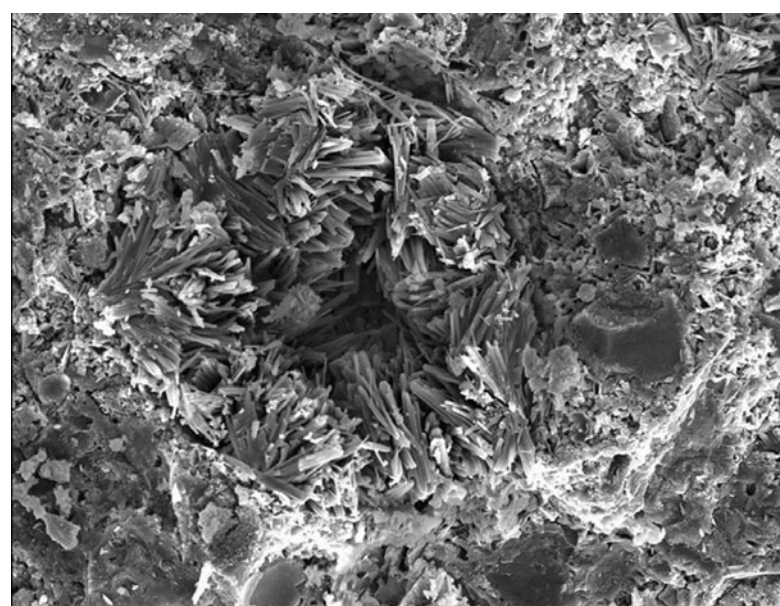


Fig. 3: En esta imagen, la formación cristalina llena los poros completamente y evita que entren o salgan la humedad y las sustancias potencialmente dañinas que podrían difundirse.

Paul Rutledge, ingeniero de desarrollo de Sopris, comenta que la planificación de la canalización de su empresa para la ampliación del club previó desde el comienzo una impermeabilización cristalina con Xypex. «Para proyectar una estación de bombeo para una tubería de aguas residuales, una de las preguntas más importantes es cómo planificar la estación para que resista el mayor tiempo posible, en particular, porque sabemos que será ejecutada en hormigón in situ y estará sometida a un entorno agresivo con ácido sulfhídrico y valores de pH variables».

Rutledge comenta que la empresa anteriormente habría previsto un recubrimiento de resina epoxi para el interior de la estación de bombeo. Pero actualmente, esta opción ya no constituye la primera elección. «Cuando aún no conocíamos los aditivos para hormigón como Xypex, para una estación de bombeo o un pozo que requieren de una protección especial hubiéramos previsto resina epoxi u otro tipo de recubrimiento», explica. «Con la impermeabilización Xypex, y ahora con el Bio-San antimicrobiano, la protección se convierte en

parte de la estructura. No solo mejora las fisuras y los puntos permeables, sino que además evita la formación de una capa viscosa».

La estación de bombeo de hormigón in situ (figura 4) en el Club Roaring Fork tiene una altura de 14 pies (aprox. 4,3 m), una anchura de 12 pies (aprox. 3,6 m) y una longitud de 14 pies (aprox. 4,3 m), cuenta con una losa con un espesor de aprox. 45 cm (figura 5) y una cubierta con un espesor de aprox. 25 cm (figura 6). El alojamiento de la estación de bombeo presenta tres pasos para el tubo de alimentación de PVC de 8 pulgadas, un tubo de desagüe de 2 pulgadas y una entrada de 4 pulgadas para conductos de control y electricidad. United Companies, un proveedor de hormigón preparado para el oeste de Colorado, suministró aproximadamente 32 m³ de hormigón preparado para la estación de bombeo. United Companies recibió el producto Xypex Bio-San C500 en recipientes de 22,7 kg (50 libras) y lo mezcló con el hormigón para el Club Roaring Fork. De Xypex Bio-San C500 se añadió un 1% en peso del total de los ligantes minerales.



Fig. 4: La nueva estación de bombeo de hormigón in situ forma parte de la canalización para la ampliación del exclusivo Club Fork en Basalt, en el estado de Colorado, EE.UU. Al hormigón preparado para la nueva estación de bombeo se le añadió Xypex Bio-San C500, una impermeabilización cristalina y un aditivo antimicrobiano. A la derecha se observa un conducto de alimentación de 8 pulgadas (véase foto pequeña) hacia la estación de bombeo y a la izquierda un conducto de desagüe de 2 pulgadas.

«La decisión de utilizar Xypex Bio-San fue relativamente sencilla ya que habíamos previsto una adición de impermeabilización Xypex», comenta Rutledge. «En uno de nuestros asesoramiento de trabajo con el equipo de desarrollo expliqué las ventajas del uso del nuevo Xypex Bio-San. Les comenté que ahora teníamos la posibilidad de utilizar un producto altamente moderno y estuvieron de acuerdo».

Y añade: «Con el uso de Xypex Bio-San no necesitamos ningún recubrimiento adicional en el interior (figura 7) o el exterior. No necesitamos coordinarnos con socios contractuales independientes para los recubrimientos. De esta forma podemos evitar retrasos y preparaciones especiales. La protección se encuentra «integrada» en la estructura y nos ahorra muchas preocupaciones. Por ejemplo, no necesitamos preocuparnos por tornillos que atraviesan una superficie recubierta con resina epoxi. Podemos atornillar y fijar sin problemas la escalera en el interior, los conductos de fibra de vidrio para las bombas y otros tipos de hardware»

Tras un fraguado suficiente, la estación de bombeo fue sometida a una prueba de exfiltración hidrostática (figura 8). Se cerraron los pasos, la estación de bombeo se llenó hasta completamente con agua y se supervisó durante 7 días, comprobando que no saliera agua... «La comprobación de la estación de bombeo de Roaring Fork fue extremadamente exitosa», comenta Rutledge. «Durante la primera prueba ya no se produjo prácticamente ninguna pérdida de agua, por lo que no fue necesario realizar ninguna reparación. Eso facilitó mucho las cosas. Cuando una estructura es estanca, las fisuras se cierran por sí solas y se evita la formación de una capa viscosa, se puede suponer que es duradera y permitirá ahorrar mantenimiento a lo largo del tiempo. A nadie le gusta volver a excavar una estructura de canalización después de 10 años debido a un desgaste temprano o volver a recubrirla porque el recubrimiento de la superficie ha fallado».



Fig. 5: Para la nueva estación de bombeo se hormigonó una losa con un espesor de aproximadamente 45 cm.

Reparaciones planificadas de la estación de bombeo

La urbanización rural Lamar, Colorado, con aproximadamente 8000 habitantes, se encuentra a orillas del río Arkansas, a unas 6 horas al sudeste del Club Roaring Fork. Lamar cuenta con un sistema de aguas residuales con aproximadamente 56 millas de tuberías de aguas residuales de 6-24 pulgadas, tres estaciones de bombeo en el extremo este del lugar y una estación de bombeo principal que bombea las aguas residuales a depósitos de tratamiento.

A comienzos de 2011 se construyó una nueva estación de bombeo para reemplazar la antigua en desuso. Desafortunadamente, la nueva estación de bombeo está sometida a una corrosión prematura debido al elevado contenido de ácido sulfhídrico gaseoso (H₂S) emitido por las aguas residuales. La corrosión inducida microbiológicamente ha erosionado tan fuertemente el interior de la estación de bombeo que se podrían rascar fácilmente hasta 5 cm de hormigón, especialmente en la parte inferior de la estructura.

Adam Teunissen, ingeniero y director de proyecto de JVA, Inc., una empresa de ingeniería de Boulder, Colorado, comenta: «La estructura no tiene ni 10 años y en toda mi vida profesional no había visto un grado de corrosión tan elevado». Lamar solicitó a JVA la reparación de la parte inferior de la estación de bombeo corroída y la propuesta de contramedidas para evitar las causas de la corrosión: un contenido inusualmente alto de H₂S y la corrosión inducida microbiológicamente.

«Recomendamos reparar la superficie dañada de la estación de bombeo con Xypex Megamix II con Bio-San. Se trata de un nuevo mortero de reparación especial para casos de MIC», explica Teunissen. «Además queremos reducir el nivel de H₂S en la instalación introduciendo un biocida en las aguas residuales en diferentes puntos».



Fig. 6: También se hormigonó una cubierta con un espesor de aproximadamente 25 cm con escotillas de entrada.

Doble protección para reparaciones

Xypex Megamix II con Bio-San es un nuevo mortero de reparación de superficies que combina la técnica de impermeabilización cristalina Xypex con sólidos Bio-San minerales y bioactivos. Megamix II con Bio-San es químicamente resistente a ácidos, sulfatos y cloruros, sella, limita la MIC y rellena espesores de pared perdidos, todo con un producto. Se aplica fácilmente con una pistola o manualmente, se alisa fácilmente y no requiere ningún proceso complejo como, por ejemplo, secado de la superficie, como la mayoría de los recubrimientos.

«Creemos que el uso del nuevo Megamix con Bio-San es la mejor solución para este caso», explica Teunissen. «En comparación con la resina epoxi u otros recubrimientos, se requiere menos trabajo de preparación de la superficie. Y en este caso ya se había aplicado un recubrimiento de resina epoxi cuando se constató por primera vez la rápida destrucción. Pero el recubrimiento no duró mucho tiempo. Yo ya utilizaba Megamix cuando aún trabaja en otra empresa. Nos permitía ahorrar tiempo y dinero y funcionaba perfectamente. Cuando utilizamos Megamix con Bio-San ahorramos más tiempo y dinero y logramos una mayor resistencia a la MIC, especialmente en combinación con el biocida que añadimos a las aguas residuales.

Como parte del programa de supervisión tras la reparación, JVA colocará en la parte inferior probetas de hormigón tratadas y no tratadas que controlará periódicamente para poder medir la eficacia de Megamix II con Bio-San.

No es la primera vez que se evalúa este producto en un entorno de H₂S tan extremo. En un estudio independiente sobre

el efecto antimicrobiano de Xypex Bio-San C500 se añadió el componente activo en un 1% en peso a un mortero de cemento portland y se comparó con probetas de control no tratadas. Las probetas cilíndricas se colgaron durante 10 años en una depuradora que fue elegida por su elevado contenido de H₂S (aproximadamente 50 ppm). Los ensayos mostraron que las probetas tratadas presentaban una pérdida de masa de hormigón 9 veces inferior que las probetas de control no tratadas. La concentración de bacterias en las probetas tratadas seguía siendo mínima, incluso tras 10 años.

«Estábamos un poco preocupados por el contenido inusualmente elevado de H₂S, superior a los 50 ppm del ensayo Bio-San», comenta Teunissen. «Pero creemos que con el biocida el nivel se reducirá a 50 ppm o menos y que Xypex con Bio-San se encargará del resto».

MÁS INFORMACIÓN



Xypex Chemical Corporation
13731 Mayfield Place
V6V 2G9, Richmond BC, Canadá
T +1 604 273 5265
enquiry@xypex.com
www.xypex.com



Figura 7: Vista desde arriba de la nueva estación de bombeo de hormigón in situ, un elemento clave de la infraestructura de aguas residuales para la ampliación del exclusivo Club Fork en Basalt, en el estado de Colorado, EE.UU.



Figura 8: Ya la primera prueba hidrostática arrojó un excelente resultado.

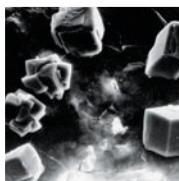
Tecnología Cristalina Antimicrobiana

para máxima protección del hormigón en condiciones extremas de aguas residuales

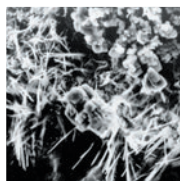
**NO
EQUAL**



Las imágenes del microscopio electrónico son propiedad de Xypex Chemical Corporation y tienen derechos de autor.



Hormigón
(no tratado)



Cristalización Xypex
(iniciada)



Cristalización Xypex
(madura)

Xypex Bio-San C500 es un aditivo de diseño exclusivo para la protección integral y a largo plazo del hormigón en condiciones extremas de aguas residuales con altos niveles de H_2S que causan corrosión microbiana. Bio-San C500 combina una potente protección antimicrobiana con la exclusiva tecnología cristalina de Xypex Admix Serie C. Bio-San C500 previene la corrosión microbiana, detiene la infiltración/exfiltración de agua y proporciona resistencia a ácidos y sulfatos, extendiendo significativamente la vida útil de los sistemas de recolección e infraestructuras de aguas residuales de hormigón.

Llame al +1 604 273 5265 o visite xypex.com

XYPEX[®]