



Por Jim Caruth

Gerente de Servicio Técnico
Xypex Chemical Corporation

El deterioro prematuro de estructuras de concreto reforzado se ha convertido en un problema a nivel mundial debido a su costo excesivo, al impacto ambiental y a cuestiones de seguridad. Desde hace muchos años, diferentes países y autoridades han tratado de cuantificar el impacto en términos financieros y las cifras han sido sorprendentes.

Varios estudios efectuados entre 1998 y 2002 mostraron, aún entonces, que solamente en los Estados Unidos, la corrosión ocasionaba pérdidas estimadas en cerca de \$14 mil millones de dólares anualmente en los activos de drenaje. En Bélgica, la cifra se estimó en 4 millones de libras esterlinas por año (5.7 millones de dólares americanos aproximadamente). En Alemania, el costo de la rehabilitación del drenaje que dañado por corrosión fue de 100 millones de euros (109 millones de dólares americanos). En Sídney, Australia, la rehabilitación de las tuberías de drenaje fue estimada en \$40 millones de dólares australianos (28 millones de dólares americanos), debido a la corrosión.

Es posible encontrar tanto daño físico como ataque químico del concreto en sistemas sépticos y de drenaje, pero el más dañino es, por mucho, el ataque químico. Las dos formas más comunes de ataque en este ambiente son el ataque ácido y el de sulfatos. En la industria de aguas residuales, el mecanismo de ataque ácido se conoce como corrosión microbiana inducida (MIC por sus siglas en inglés). Éste es un proceso en donde los sulfuros presentes en las corrientes de aguas residuales son transformados, a través de reacciones biológicas, en ácido sulfúrico y los compuestos de azufre producidos por esta reacción entrarán en el sustrato del concreto para iniciar un ataque de sulfatos.

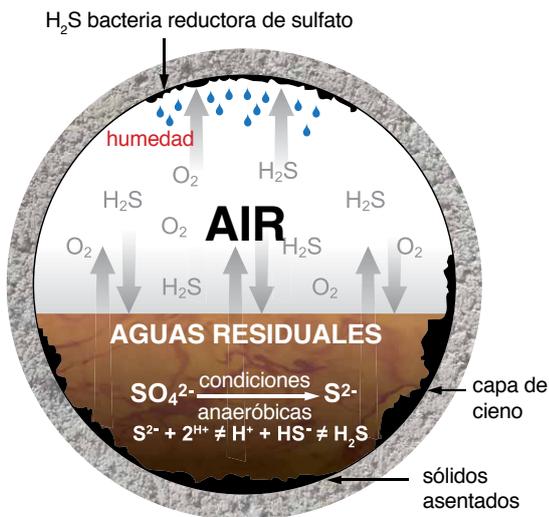


Deterioro por Corrosión Microbiana Inducida (MIC) en la estructura de captación de una planta de tratamiento de aguas residuales con una pérdida aproximada de 2 pulgadas de concreto.

El drenaje doméstico y algunos residuos industriales contienen materia orgánica que se descompone y degrada en un periodo de tiempo relativamente corto. Esta biodegradación es la disolución química de los materiales del drenaje por bacterias, hongos u otros medios biológicos. En un ambiente residual o séptico, la principal causa de esa biodegradación son las bacterias reductoras de sulfatos (SRB, por sus siglas en inglés) que residen en una capa de lodo por debajo del nivel del agua.

Las bacterias SRB, una de las más antiguas formas de microorganismos cuya historia se remonta a alrededor de 3,500 millones de años, pueden reducir sulfatos en grandes cantidades para obtener energía y, a su vez, producir compuestos de azufre como material de desecho. Estos compuestos de azufre se quedan en el agua y, en donde no haya suficiente turbulencia para introducir una cantidad adecuada de aire en el agua, el oxígeno será mermado rápidamente. Esto da como resultado una condición anaeróbica (ausencia de oxígeno), donde las bacterias formarán sulfuro de hidrógeno (H₂S) mejor conocido como ácido sulfhídrico, como producto de desecho.

Mientras una parte del gas de sulfuro de hidrógeno se dispersará fuera del agua, algún porcentaje se mantendrá en disolución. Si el flujo del agua residual es agitado, otra cantidad importante de gas de sulfuro de hidrógeno saldrá inmediatamente de la disolución y se acumulará en áreas de mayor turbulencia de agua tales como fosos de registro, cárcamos y estructuras de captación de plantas de tratamiento de aguas residuales.



Proceso de Corrosión Microbiana Inducida (MIC)

Aunque el gas de sulfuro de hidrógeno por sí mismo no daña al concreto, al permanecer sobre la superficie del agua residual, por ser más pesado que el aire, se mantiene en constante circulación al interior de la estructura de la tubería debido a corrientes convergentes de aire. Al mismo tiempo que esto ocurre, otro gas - dióxido de carbono- que se encuentra normalmente en las estructuras de drenaje, se disolverá en la humedad que se adhiere a las paredes del concreto por encima de la línea de agua, formándose un ácido sulfúrico débil y un ácido carbónico en la superficie interior de la estructura de drenaje. El resultado de esto trae una reducción del nivel de pH en la superficie del concreto de 12.5 a 9.

Mientras más altos los niveles de pH, la superficie alcalina del concreto no permite la colonización de bacterias, pero con el paso del tiempo, el pH de la misma se reduce lentamente por carbonatación y el efecto neutralizante del sulfuro de hidrógeno en forma de ácido sulfúrico diluido. Una vez que el pH de la superficie del concreto baja a menos de 9 y hay suficientes nutrientes, al igual que la presencia de humedad y oxígeno, comenzará la colonización de bacterias de azufre, lo cual iniciará el proceso de corrosión microbiana inducida conocida como MIC.

Bacteria Acidithiobacillus

Rangos de Crecimiento de Especies	Substrato preferido	pH preferido
T. Thioparus	H ₂ S, S ⁰ , S ₂ CO ₃ ²⁻	5-9
T. Novellus	S ₂ CO ₃ ²⁻	2.5-8
T. Intermedium	S ₂ CO ₃ ²⁻	2.5-8
T. Neapolitanus	S ⁰ , S ₂ CO ₃ ²⁻	3-7
T. Thiooxidans	H ₂ S, S ⁰	0.5-3

Generalmente todo comienza con T. Thioparus que es la primera cepa de bacteria que coloniza la superficie de estructuras sanitarias y de drenaje séptico. Como esta cepa particular continúa consumiendo compuestos de azufre también produce materiales de desecho con un ácido más concentrado, lo cual reduce el nivel de pH en la superficie del concreto. Cuando este nivel baja, se produce la colonización de otra especie de bacteria que es capaz de existir en un medio más bajo de pH, mientras la bacteria original muere debido al pH reducido que hay en la superficie del concreto.

Este ciclo de colonización y extinción de diferentes bacterias continúa hasta la colonización final de T. Thiooxidans que tiene la capacidad de vivir en un ambiente donde el nivel de pH es tan bajo como 0.5, lo cual equivale aproximadamente a una solución al 5% de ácido sulfúrico. Al alcanzar este punto, se producirá un severo ataque ácido y como los iones de sulfato penetran en el substrato del concreto, causará también un extenso ataque de sulfatos exponiendo todavía más la vulnerabilidad del concreto a una mayor destrucción.

En términos de corrosión, el MIC se presenta en lugares y tiempos específicos por lo que no todas las estructuras de concreto en un sistema de recolección de aguas residuales sufren este tipo de ataque. Mientras la velocidad de flujo en el drenaje sea de 2 pies por segundo o mayor, no habrá problema en términos generales. Como un estimado aproximado, alrededor de 5% de un sistema de drenaje será susceptible a la corrosión, y la mayoría de las autoridades municipales saben en dónde se localizan las áreas que tendrán problemas, basándose en el conocimiento local e histórico o por software de modelos de sulfuro de hidrógeno.

No todo concreto que se encuentre en ambiente de drenaje se verá severamente afectado, pero una vez que la superficie del concreto ha reducido su rango de pH entre 4.5 - 5, se puede iniciar el deterioro de las estructuras de cemento Portland. Dependiendo del volumen de gas de sulfuro de hidrógeno, el rango de deterioro puede estar entre 1 y 20 mm por año.

Hay varias formas de incrementar la resistencia del concreto a los ácidos. Éstas incluyen el diseño adecuado de la mezcla para reducir la permeabilidad del concreto, un diseño de mezcla mejorado para resistir un ataque por ácido leve y finalmente, en casos extremos, el uso de un recubrimiento adecuado para protegerlo de ataque de ácidos y sulfatos.

La difusión o penetración de sustancias agresivas en el concreto a través de los poros interconectados (p.e. tractos capilares) y grietas causa degradación material y deterioro de la estructura. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias difusivas, éstas pueden atacar el concreto o el acero de refuerzo. Al bloquear los poros y al sellar las grietas, la proporción de traspaso en la masa de concreto se verá disminuida, lo cual resultará en una mejora de la durabilidad del concreto y la extensión de la vida de servicio de la estructura.

Los medios tradicionales para mejorar la durabilidad del concreto consisten en la reducción de la relación agua/cemento y un incremento del tiempo de curado en húmedo. Recientemente, el reemplazo parcial del cemento Portland por materiales cementosos suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés) como ceniza volante y escoria de alto horno granulada y triturada se ha vuelto más popular para incrementar la durabilidad del concreto expuesto a ambientes agresivos, pero se ha observado que estos criterios con frecuencia no son suficientes por sí mismos para producir un concreto durable y de alto desempeño.

A pesar de todos los esfuerzos e intentos para aumentar la durabilidad del concreto expuesto a ambientes residuales severos, el problema continúa existiendo. Esto ha motivado la producción de aditivos que reduzcan la permeabilidad y que puedan reducir considerablemente la humedad y la transferencia química en el concreto. Sin embargo, estos aditivos no deberían tan sólo reducir la permeabilidad del concreto sino también mejorar su resistencia al ataque químico.

Tecnología por Cristalización

La tecnología por cristalización de Xypex es una solución para reducir la permeabilidad del concreto que ha mostrado una mejora significativa en incrementar el desempeño de la durabilidad del concreto. Este material está diseñado para reaccionar con los subproductos de la hidratación del cemento en los tractos capilares y los vacíos del concreto para producir una estructura de cristalización capaz de bloquear la porosidad natural que forma parte del concreto.



Formación de cristalización en un poro de concreto tomada con microscopio electrónico.

Todas las formas de deterioro tienen que seguir estos pasajes o caminos vacíos para penetrar en el concreto. Si se bloquean los poros, tractos capilares y micro-grietas se disminuye de manera importante la proporción de difusión de esos líquidos y gases y, en consecuencia, se protegen las estructuras de concreto contra los efectos de ataque de ácidos y sulfatos.



Fosos de registro en concreto prefabricado con tecnología decristalización que incorpora un pigmento rojo para facilitar su identificación.

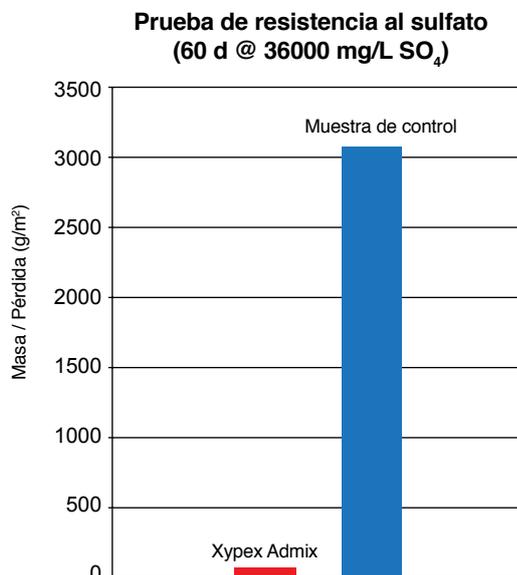
Además de la evidencia visual de la formación de cristalización en los vacíos del concreto, a través de imágenes por microscopio electrónico, análisis independientes confirman la capacidad de la tecnología por cristalización para extender en forma importante la vida de servicio de estructuras de concreto. El resultado de esta durabilidad y longevidad incrementadas se refleja en menos trabajo de mantenimiento y reparación y, en consecuencia, una sustentabilidad drásticamente mejorada.

Los materiales de cristalización están disponibles en forma de polvo que puede ser incorporado como un

aditivo en un diseño de mezcla de concreto para nuevas estructuras, o mezclado con agua para una aplicación líquida con brocha o mediante aspersión, en la superficie de estructuras de concreto ya existentes.

La tecnología por cristalización de Xypex es un modo efectivo y económico de ayudar a proteger al concreto en ambientes ácidos con un pH tan bajo como 3, mientras que también actúa como una segunda línea de defensa (redundante) en ambientes altamente ácidos. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) estima que 95% de los fosos de registro están en un ambiente con un nivel de pH 3 o superior, lo cual los convierte en candidatos ideales para usar únicamente el tratamiento de impermeabilización y protección química de Xypex. El restante 5% de registros que están en un ambiente aun más agresivo se beneficiarían con el tratamiento de la tecnología por cristalización de Xypex en conjunto con alguna otra protección contra tan agresivo ataque ocasionado por MIC.

En una prueba acelerada de corrosión por sulfatos, cubos de 150 mm fueron preparados usando concreto de clasificación C30/37 y expuestos a una solución altamente concentrada de sulfato (36,000 mg/l) durante 60 días. Después del período de exposición, todas las muestras fueron pesadas y examinadas buscando deterioro en la superficie. Las muestras tratadas con Xypex Admix C-1000 NF tuvieron una pérdida de peso de entre 38.6 y 90.5 g/m², y el examen visual mostró tan sólo un deterioro menor en los bordes, mientras que las muestras de control tuvieron una pérdida de masa de entre 2,473 y 3,693 g/m² y el examen visual reveló un deterioro importante en toda la superficie de los cubos. En base a esta prueba, existe clara evidencia de la efectividad de la química por cristalización de Xypex al proveer un importante incremento de resistencia a condiciones difíciles de exposición a sulfatos.



Resultados de prueba acelerada de corrosión por sulfatos.

Caso de Estudio

Xypex Admix C-1000 Rojo fue utilizado para la manufactura de aproximadamente 30 fosos de registro en concreto prefabricado en 1999 para el Proyecto Clinton Street de Recolección de Drenaje en Terrebonne Parish, Louisiana. Xypex Admix fue especificado para impermeabilización y para proporcionar protección química contra el deterioro de las superficies de concreto expuestas a ataques de ácidos y sulfatos. Xypex Admix fue utilizado con un pigmento rojo para permitir una fácil identificación y verificación de las estructuras tratadas.



Los registros de Terrebonne Parish en los que se usó Admix con tecnología de cristalización muestran un deterioro mínimo después de 10 años de servicio.

Los registros para dicho proyecto fueron revisados en agosto de 2010 y se encontraron en excelente condición, sin mostrar signo alguno de deterioro después de más de 10 años de exposición.

Conclusión

La durabilidad del concreto depende de diversos parámetros. En un ambiente de drenaje, la permeabilidad y la resistencia química del concreto son especialmente importantes. La tasa de difusión de sustancias agresivas es controlada por la permeabilidad del concreto. Una permeabilidad baja significa que es más difícil para el agua y los agentes corrosivos penetrar en el mismo. Para producir un concreto hermético, se deben considerar los factores de influencia en su permeabilidad tales como la proporción agua/cemento, contenido de cemento, proporciones de agregados gruesos, dosificación de los agregados en conjunto a buenas prácticas de colocación como vibrado así como el apropiado uso y duración de curado del concreto. El efecto de Xypex Admix en la permeabilidad del concreto y su resistencia química está bien documentado. Todos los resultados de pruebas confirman que Xypex Admix mejora considerablemente la calidad e impermeabilidad de estructuras de concreto prefabricado.

Referencias:

1. Brongers, M.P.H., Virmani, P.Y., Payer, J.H., 2002. Sistemas de Agua Potable y Drenaje en Costos de Corrosión y Estrategias Preventivas en Estados Unidos. Departamento de Transportes de Estados Unidos, Administración Federal de Autopistas
2. E. Vincke y E. Van Wanseele, "Influencia de la adición de polímeros en el ataque biogénico de ácido sulfúrico en el concreto", Biodeterioro y Biodegradación Internacional, 49, vol. 4, 2002, pp. 283-292.
3. W. Kaempfer y M. Berndt, "Mortero modificado con polímeros de alta resistencia a corrosión ácida por un ácido sulfúrico biogénico", en Proc. del IX Congreso ICPIC, Bolonia, Italia, 1998, pp 681-687.
4. Oficina de Aguas de Sidney, Gastos anuales 2012/2013/2014.



Jim Caruth es un graduado de Ingeniería Civil de la Universidad de Waterloo en Ontario, Canadá. Es miembro de la Asociación de Ingenieros Profesionales de Columbia Británica y tiene 25 años de experiencia. experiencia en la industria de la construcción en concreto. Los antecedentes de Jim incluyen experiencia en la administración de una empresa importadora y distribuidora de cenizas volantes, así como en la administración de la división de transporte marítimo de una gran planta de concreto premezclado y como gerente de operaciones de 500,000 yardas cúbicas por año de operación de mezcla preparada. Jim también tiene experiencia en ventas técnicas para un fabricante y líder mundial en las áreas de restauración y protección de concreto de la cual tiene amplios conocimientos.

Los antecedentes de Jim también incluyen tiempo en varios comités de ACI y como miembro de la Junta del Capítulo de Columbia Británica de ACI. Ha sido miembro con derecho a voto del comité del Compendio de materiales cementosos A-3000 de CSA. Jim también ha trabajado y presidió varios comités para la BC Ready Mixed Concrete Association, que incluye un Premio de Liderazgo y Contribución en 1998 y el Premio BCRMCA 2003 por su destacada contribución a la Industria del Concreto.

Contacto:**Les Faure**

Director de Publicidad y Promoción

Xypex Chemical Corporation
13731 Mayfield Place, Richmond, BC V6V 2G9
Tel: 604-273-5265 | Fax: 604-270-0451
les.faure@xypex.com

Visite nuestra página web

www.xypex.com

Síguenos:

www.facebook.com/xypex/
www.linkedin.com/company/xypex-chemical-corporation
www.twitter.com/xypexglobal
www.youtube.com/user/xypexchemicalcorp