

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	La importancia de la composición del cemento portland en la mitigación del biodeterioro en la infraestructura hidráulica de concreto.
<i>Autor / Adscripción</i>	María Eugenia Lara-Magaña Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México  Xiangyue Li Liu Luis Emilio Rendón Díaz Mirón  Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 24(2): 139-146
<i>Fecha de publicación</i>	2009
<i>Resumen</i>	El biodeterioro que se presenta en los sistemas de drenaje de concreto se define como el estropicio causado a la infraestructura de ese material por la actividad microbiana y los productos del metabolismo microbiológicos, principalmente ácido sulfúrico, por lo que también es conocida como corrosión ácida. En este trabajo se expone el diagnóstico de este tipo de biodeterioro del concreto en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, México, y se dan algunas recomendaciones para mitigarlo, siendo la más importante revisar la norma mexicana de cemento tipo portland (ONNCCE, 2004), que no toma en consideración la variable “biodeterioro del concreto” ni su mecanismo.
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/1181">http://hdl.handle.net/123456789/1181</a>

# La importancia de la composición del cemento portland en la mitigación del biodeterioro en la infraestructura hidráulica de concreto

María Eugenia Lara-Magaña

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Xiangyue Li-Liu

Luis Emilio Rendón-Díaz-Mirón

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

*El biodeterioro que se presenta en los sistemas de drenaje de concreto se define como el estropicio causado a la infraestructura de ese material por la actividad microbiana y los productos del metabolismo microbiológicos, principalmente ácido sulfúrico, por lo que también es conocida como corrosión ácida. En Canadá y la parte norte de Estados Unidos, este tipo de fallas en los sistemas de drenaje por corrosión-ácida no son tan frecuentes. Ciudades como Boston, Edmonton, Montreal y Nueva York han reportado (al menos en los diarios o en la literatura comercial) varios casos de corrosión en concreto. Sin embargo, en la parte sur de los Estados Unidos, el rápido deterioro de la infraestructura para el manejo de agua residual está causando problemas serios y caros de resolver. En la frontera México-americana, con una población combinada de más de 15 millones de habitantes, la problemática es particularmente alarmante. Por ello, en este trabajo se expone el diagnóstico de este tipo de biodeterioro del concreto en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, México, y se dan algunas recomendaciones para mitigarlo, siendo la más importante revisar la norma mexicana de cemento tipo portland (ONNCCE, 2004), que no toma en consideración la variable "biodeterioro del concreto" ni su mecanismo.*

**Palabras clave:** biodeterioro de concreto, corrosión microbiológicamente inducida de concreto, corrosión en drenaje, composición de cemento portland, norma mexicana del cemento portland.

## Introducción

En Canadá y la parte norte de Estados Unidos, las fallas en los sistemas de drenaje por corrosión-ácida no son tan frecuentes; ciudades como Boston, Edmonton, Montreal y Nueva York han reportado (al menos en los diarios o en la literatura comercial) varios casos de corrosión del concreto. Sin embargo, en la parte sur de Estados Unidos, el rápido deterioro de la infraestructura para el manejo de agua residual presenta problemas serios y caros de resolver. En la frontera México-americana, este tipo de biodeterioro está afectando la infraestructura

hidráulica en casi todas las ciudades que se localizan en el corredor del río Bravo.

Según lo establecido por los tratados de 1848 y 1853, el límite internacional entre los Estados Unidos y México sigue el centro del Río Grande o Bravo desde su desembocadura en el Golfo de México, recorriendo una distancia de 2 019 kilómetros (1 254 millas) hasta un punto cercano, aguas-arriba de El Paso, Texas, y de Ciudad Juárez, Chihuahua. La región, denominada corredor del río Bravo a lo largo de la frontera, caracterizada por desiertos, montañas rugosas y abundante sol, tiene dos importantes ríos: el propio río Bravo y el río

Colorado, que proporcionan, a lo largo de las riberas, el agua que da vida a esta tierra árida, pero fértil. Dicha región de la frontera está constituida por siete pares de ciudades hermanas que se sostienen por la agricultura; el comercio de las importaciones y exportaciones; el servicio; el turismo, y en años recientes, por un sector en vigoroso crecimiento de la industria de maquila.

La población de la frontera se estima, para 2010, en una proyección alta en 14.9 millones y en una proyección baja en 13.3 millones de habitantes (Peach y Williams, 2003). Cada ciudad ubicada a lo largo de la frontera sufre las consecuencias económicas o salubres del extendido biodeterioro ácido del concreto. Las fugas de agua residual en los sistemas de drenaje constituyen una importante pérdida del líquido vital, que muy bien podría ser reutilizado en estas áreas tan intensamente áridas. Las ciudades del lado estadounidense han tomado previsiones para solucionar el problema, pero las del lado mexicano han hecho menos esfuerzos para resolverlo. Deben tomarse serias medidas, y reinvertir en la renovación y el mantenimiento de la infraestructura hidráulica de los sistemas de distribución de agua subterránea y agua superficial, para mantener, al menos, el paso en el crecimiento y las condiciones salubres en las ciudades de ambos lados de la frontera. Se ve claramente que, a largo plazo, la previsión para proveer de agua a esta región tan árida no podrá ser separada por la frontera política; será necesario tomar todo tipo de medidas técnicas y políticas a lo largo de la frontera México-americana, entre ellas, aumentar los parámetros de calidad del concreto, para detener y controlar el biodeterioro en su infraestructura hidráulica.

### Biodeterioro del concreto

La corrosión que se presenta en los tubos de drenaje, cárcamos, pozos de visita, canales, plantas de tratamiento e infraestructura en general hechos de concreto, se define como el estropicio causado a ese material por la actividad microbiana y los productos del metabolismo microbiológico, principalmente el ácido sulfúrico. Es conocida también como corrosión ácida o corrosión microbiológicamente inducida del concreto (CMIC), uno de los problemas más serios con los que nos enfrentamos hoy en día. No sólo es particularmente costoso el reemplazo de la infraestructura hidráulica cuando está en constante uso, sino que además su reparación provoca un sinnúmero de molestias a la sociedad, así como interrupciones en los servicios más necesarios. Por lo tanto, es de la mayor trascendencia encontrar maneras de controlar este tipo de biodeterioro y fundamentalmente importante entender su causa y

mecanismo (Nica et al., 2000; Hernández et al., 2002; Roberts et al., 2002).

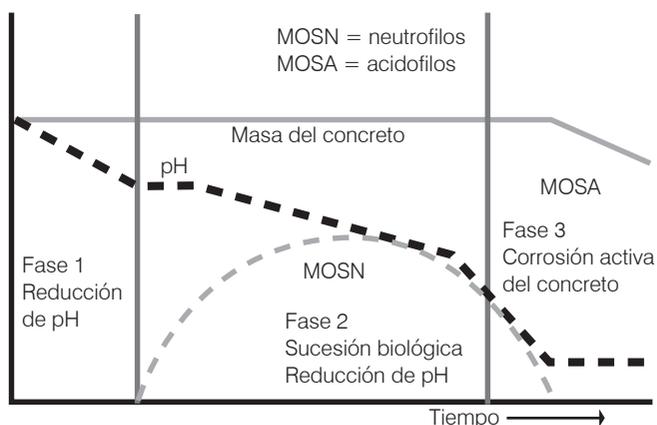
La corrosión microbiológicamente inducida del concreto se conoce desde 1945, cuando Parker la descubrió y estudió de manera intensiva (Parker, 1945a, 1945b; 1947, 1951). Este biodeterioro es el resultado final de una secuencia de procesos que involucra las transformaciones bioquímicas de compuestos orgánicos e inorgánicos de azufre por la acción de bacterias aeróbicas y anaeróbicas. En la ilustración 1 se delimitan tres áreas que representan los tres cambios importantes del pH y disminución de masa que se dan durante el proceso de corrosión del concreto. En la primera, la reducción del pH se puede atribuir enteramente a un efecto químico del sulfuro de hidrógeno:



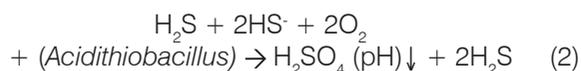
En la segunda, los cambios paulatinos del pH son provocados por una secuencia microbiana de organismos neutrófilos y acidófilos; finalmente, en la tercera sección, altas concentraciones de *Acidithiobacillus thiooxidans* son asociadas con pH de entre 0.5 y 1.0 en la superficie del concreto, que termina por disolverse (fenómeno estudiado por Rigdon y Beardsley, 1956; Milde et al., 1983; Sand, 1987).

Cuando este fenómeno se presenta en los tubos de albañal (ilustración 2), la parte sumergida del tubo se encuentra típicamente cubierta de una biopelícula (representada por una línea oscura, en el círculo de lado izquierdo, mitad inferior) compuesta de un amplio consorcio microbiano. Cuando el contenido de oxígeno disuelto en el agua residual es menor a 0.1 (en mg·l<sup>-1</sup>), en esta biopelícula se puede presentar un ambiente anaerobio, que provee las condiciones necesarias para

**Ilustración 1. Cambios en el pH y masa del concreto, al efectuarse la sucesión microbiana.**



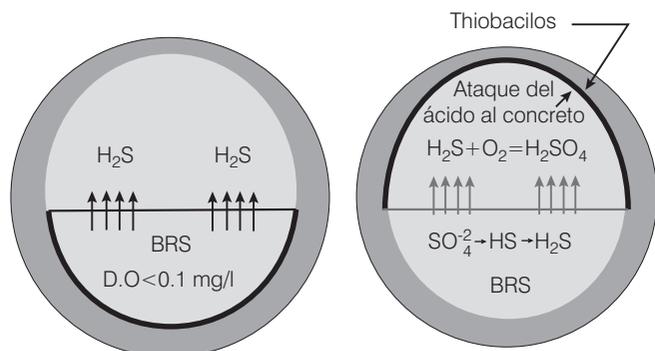
el crecimiento de las bacterias reductoras de sulfatos (Diercks *et al.*, 1991; Islander *et al.*, 1991; Mori *et al.*, 1992). En los sedimentos del albañal se encuentran disponibles diversos sulfatos; las bacterias reductoras de sulfatos utilizan la energía liberada en estos procesos de oxido-reducción del azufre, y transforman ácidos orgánicos y alcoholes, producto de varios tipos de procesos de fermentación anaeróbica, en aldehídos y sulfuro de hidrógeno, con la concomitante reducción de sulfatos a sulfuros (Smith, 1993). El sulfuro de hidrógeno producido se difunde fuera de la biopelícula y se disuelve en el cuerpo del agua que fluye en el albañal, a las condiciones de pH de la mayoría de las aguas residuales. El sulfuro de hidrógeno se disocia en hidrosulfuro ( $\text{HS}^-$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Estos productos, que se encuentran disueltos, se desprenden rápidamente como gases a la atmósfera interior del tubo y terminan por ser absorbidos por la biopelícula en la parte seca de la corona interior del tubo (representada por una línea negra, círculo derecho, parte superior en la ilustración 2). Ahí, el gas (mezcla de  $\text{HS}^-$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ) puede ser metabolizado hasta ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) por las bacterias oxidantes del azufre (*Acidithiobacillus*) (Cho y Mori, 1995; Sydney *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 1998):



El ácido sulfúrico resultante es utilizado por la bacteria para disolver el hidróxido de calcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y aun parte del silicato de calcio ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) del concreto, lo que lleva a la corrosión del tubo (ilustraciones 3 y 4).

El concreto, cuando es nuevo, tiene un pH relativamente alto, baja permeabilidad y sólo una pequeña parte de sus poros son lo suficientemente grandes como para ser penetrados por los microorganismos. Sin embargo, sin importar qué tan pequeños sean los poros, no se

**Ilustración 2. Mecanismo de corrosión en un tubo de albañal.**



**Ilustración 3. Video del interior de un tubo de albañal mostrando la corrosión.**



**Ilustración 4. Video de la corona interior de un tubo de albañal mostrando la corrosión.**



puede impedir el paso de los compuestos que disuelven el concreto (estos compuestos pueden estar constituidos de diferentes tipos de ácidos poliónicos, aparte del característico ácido sulfúrico). Tales ácidos penetran, interconectan y agrandan los poros. Durante el proceso de corrosión, el medio microbiano de la superficie del concreto se difunde de manera tridimensional. La estructura porosa del concreto permite que los compuestos y los organismos se distribuyan a través del volumen que se extiende bajo la superficie expuesta. De manera similar, el sulfuro de hidrógeno en fase gaseosa se disuelve en las áreas húmedas de la superficie del tubo, penetra y se difunde dentro del concreto, ahora en sus fases líquida y gaseosa.

La subsiguiente oxidación microbiana proporciona el impulso que contribuye a que el sulfuro de hidrógeno penetre profundamente la estructura porosa y sea transformado en ácido sulfúrico; este ácido sirve de herramienta a las bacterias para neutralizar las sustancias alcalinas del concreto y propiciar su disolución, permitiendo que el ácido mismo penetre cada vez más adentro del cuerpo del concreto. Al mismo tiempo, el producto de la solubilización es expulsado a la superficie. Este producto expulsado, compuesto por una mezcla de sales disueltas, se seca en el exterior y es de apariencia espumosa. Es por esto que el concreto corroído generalmente está cubierto por una capa blanca esponjosa, constituida principalmente por sulfato de calcio (ilustración 5).

De manera cíclica, en el interior del concreto, y con la ayuda y formación de nuevas biopelículas, se establecen rápidamente nuevos gradientes químicos dentro de los poros. Cada vez, y con el tiempo, la disolución de compuestos como carbonato de calcio, hidróxido de calcio y aun silicato de calcio aumenta la porosidad, acelerando así el proceso de corrosión del concreto y permitiendo el libre paso de los microorganismos a su interior, donde buscan activamente los minerales que forman parte de la composición del cemento portland, como el yeso (sulfato de calcio) y la ettringita (compuesto que se forma durante el proceso de calcinación o elaboración del clínker), y que estabiliza la presencia de sulfatos y compuestos de azufre dentro de la estructura final del propio cemento portland.

La producción de ácido sulfúrico es dominada por miembros del género *Thiobacillus thiooxidans*, recientemente reclasificado como *Acidithiobacillus* por Kelly y Wood (2000). Ya en 1951, los trabajos de Parker (1951) indicaban la importancia del *Acidithiobacillus*

**Ilustración 5. Las bacterias en el concreto corroído producen capas de  $\text{CaSO}_4$ .**



*thioparus* y del *Acidithiobacillus thiooxidans*. Investigadores del Departamento de Drenaje del municipio de Hamburgo encontraron *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus neapolitanus*, *Acidithiobacillus intermedius* y *Acidithiobacillus novellus* en los productos de corrosión de los tubos de drenaje (Sand y Bock, 1984).

## Parte experimental

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se abocó al estudio de las causas, tratamiento y prevención del fenómeno CMIC, como parte de las actividades concernientes a la conservación de la infraestructura hidráulica en el país, particularmente de los sistemas de drenaje de las ciudades fronterizas.

En la ciudad fronteriza de Reynosa, Tamaulipas, se tomó un video del interior de un drenaje cercano a la zona industrial (ilustraciones 3 y 4). La corrosión interior de los tubos estaba bastante avanzada; se podía ver cómo el agregado ya había sido expuesto.

Se siguieron tres criterios para diagnosticar la CMIC en drenajes:

- a) La medición del pH.
- b) La detección de bacterias neutrófilas del azufre en los tubos.
- c) La observación de depósitos de azufre elemental en los pozos de visita de los drenajes.

De la corona interior de los tubos que presentaban corrosión se recolectaron varias muestras en donde abundaba la bacteria *Acidithiobacillus*. Fue incubado a 45 °C y un pH de 2.5, en una solución de sales que contenía (en  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ):  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 3.0;  $\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , 3.2; KCl, 0.1;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0.05;  $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.5;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0.01 y trazas de los siguientes elementos (en  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ):  $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 11.0;  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0.5;  $\text{HBO}_3$ , 2.0;  $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0.8;  $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.6 y  $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.9. Como fuente de energía se usó tetrathionato de potasio (5 mM  $\text{K}_2\text{S}_4\text{O}_6$ ; Sigma, E.U.) o 0.5% (w/v) de azufre elemental (flores de azufre; Riedel-de Haen, Seelze, producto alemán). Los microorganismos fueron cultivados aeróbicamente con aire enriquecido con  $\text{CO}_2$  (2%, v/v), y finalmente recolectados en su última etapa de crecimiento ( $D_{440}$  entre 0.240 y 0.250) mediante centrifugación a 10 000 g y a 4 °C. Las células se lavaron dos veces con una solución Buffer 50 mM fórmica, pH 3.0.

Se encontró que la corrosión se presenta cuando el *Acidithiobacillus* está en concentraciones de  $5.0 \times 10^6$  células/mg de proteína total. Además, se confirmó la presencia de las cinco colonias características en este tipo de biodeterioro. Dos de ellas fueron las más

comúnmente encontradas, mismas que se describen y listan a continuación:

1. *Acidithiobacillus thioparus*, bacteria móvil gram-negativa, con un flagelo polar. Las colonias son circulares (1-2 mm de diámetro), usan tiosulfato como fuente de energía, y bicarbonato y carbonato como fuente de carbón, en vez de glucosa. También crecen en caldo de tetrionato.
2. *Acidithiobacillus novellus* es gram-negativa, sin ser móvil. Su morfología colonial fue pequeña en agar con tiosulfato, brillante, redonda y de color claro. Crece óptimamente a 28° C; pH entre 6 y 8. Como fuente de nitrógeno fue usada una sal de amonio. También crecieron en caldo de tetrionato.

Las muestras fueron recolectadas durante la temporada de lluvia, de manera que es muy probable que la mayor parte del ácido sulfúrico haya sido lavado y, por tanto, *Acidithiobacillus thioparus* y *novellus* fueron las colonias predominantes en estas condiciones resultantes de pH (6.8); hecho previamente reconfirmado por Karavaiko y Pivovarova (1973).

Los resultados (Rendón, 1999; Lara, 2004) confirman tentativamente que este tipo de biodeterioro es el que está destruyendo los drenajes de la ciudad de Reynosa. Tal estropicio fue típico en casi todas las ciudades ubicadas a lo largo del corredor del río Bravo.

### Discusión, el cemento portland y el biodeterioro

En la actualidad, no se conoce material alguno que permanezca completamente inerte ante los cambios químicos o bioquímicos, y sea inmune al deterioro físico. El concreto (mezcla de un cemento y agregados pétreos) no es la excepción; bajo lo que pueden considerarse condiciones normales de trabajo, el concreto tiene una larga vida. Concreto hecho por los romanos a partir de cementantes naturales está trabajando y en excelentes condiciones después de años de servicio.

Los principales factores que influyen en la durabilidad del concreto son su resistencia a la compresión, densidad, absorción, contenido y tipo de cemento (composición del cemento), las características de los agregados, la alcalinidad total, el espesor de la cubierta de concreto sobre el refuerzo y los aditivos.

Para lograr el mejor comportamiento del cemento portland, cuando se anticipa la exposición de los tubos de concreto al deterioro característico de las aguas residuales, se debe:

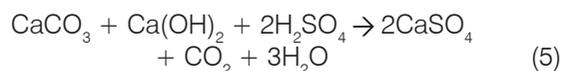
1. Utilizar cemento tipo SR, esto es, resistente al ataque

de los sulfatos (en la literatura comercial, el término "sulfatos" no incluye el sulfuro de hidrógeno ni el ácido sulfúrico y éstos jamás son mencionados).

2. Utilizar cemento con adiciones minerales que tengan actividad puzolánica. Esto significa que los productos de hidratación del cemento disminuyen. Por ejemplo, las adiciones minerales fijan el óxido de calcio (CaO) e impiden la formación del hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$  para obtener como producto un silicato de calcio hidratado  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$  (HCS):



Esto aumenta las características de resistencia, e impermeabilidad del concreto, así como su durabilidad. La actividad puzolánica impide la formación de la portlandita  $[Ca(OH)_2]$ , que es más reactiva y tiene menos resistencia y durabilidad. Cuando el mineral agregado es calcita ( $CaCO_3$ ), no existe actividad puzolánica; la portlandita  $[Ca(OH)_2]$  persiste junto con la calcita ( $CaCO_3$ ) y ambos compuestos son altamente reactivos en caso de presentarse el biodeterioro ácido:



3. Reducir la proporción agua-cemento a menos de 0.45% (una fracción de 1%) como máximo. Esto reduce la permeabilidad del concreto y limita el acceso de fluidos agresivos al interior de la masa.

La implementación de estas tres recomendaciones requiere un entendimiento del comportamiento de la pasta de cemento y de la microestructura que une los agregados pétreos, su densidad (disminución de porosidad) y el proceso de manufactura del concreto, incluyendo el proceso de curado. La durabilidad de los tubos de concreto depende de la combinación de estos tres factores. Sin embargo, el "biodeterioro del concreto" nos ha enseñado que aún queda mucho por aprender y muchas áreas al respecto están sin explorar. Toda información en la literatura concuerda que la corrosión microbiológicamente inducida es un tipo de biodeterioro ácido. Se necesita investigación básica para determinar las críticas interacciones de las bacterias autótrofas y heterótrofas asociadas con este fenómeno, así como la cinética de la formación de

ácido sulfúrico y su correspondiente aplicación en un modelo práctico para entenderla y predecirla. También es menester mencionar que en los Estados Unidos se acostumbra activar las fosas sépticas con bacteria anaerobia (que produce una coloración púrpura; ver ilustraciones 5 y 6); es posible que ésta sea una de las principales causas del biodeterioro en la frontera.

En 2004, el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., expidió la última revisión a la norma mexicana de calidad NMX-C-414-ONNCCE-2004, en donde se ignoró por completo la existencia de la variable biodeterioro y se eliminaron las recomendaciones generales para el uso del cemento portland, que en la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999 estaban como Apéndice Informativo “Recomendación general para el uso de los cementos”.

En dicho apéndice se expresaban una serie de recomendaciones “relativamente” útiles al usuario promedio del cemento portland. Este tipo de recomendaciones han sido eliminadas en la nueva norma ONNCCE-2004, en donde sólo aparece un apéndice normativo: “Recomendación para la selección de los cementos”, con consejos muy generales. Además, es patente el hecho de que al elaborar esta norma, que propone utilizar indistintamente el *cemento ordinario*, el *cemento puzolánico* y el *cemento compuesto* —que la norma considera similares y con las mismas propiedades relativas a la resistencia al deterioro característico de las aguas residuales— se ignoró por completo la existencia de la variable biodeterioro, su mecanismo y su más importante consecuencia: la corrosión microbiológicamente inducida del concreto.

**Ilustración 6. Un registro de drenaje altamente corroído en la frontera.**



## Resultados

De acuerdo con el estudio de este fenómeno, en los sistemas de drenaje de la ciudad de Reynosa, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se puede considerar que este tipo de corrosión tan severa (ilustraciones 3 y 4) es la principal causa de las fallas en la infraestructura hidráulica.

En México no ha habido una respuesta apropiada a este tipo de destrucción, y se duda que dicho biodeterioro sea la principal causa del rápido menoscabo de la infraestructura para el manejo de aguas residuales hecha de concreto. Como consecuencia, hasta ahora, poco o nada se han tomado en consideración la variable biodeterioro y su mecanismo.

Ratificamos los resultados de la investigación:

- a) La información presentada aquí, aunada a una tesis que está por publicarse, además de la experiencia desplegada por otros países a través de múltiples publicaciones, demuestra plenamente que este tipo de biodeterioro ácido está ampliamente difundido, en el sur de los Estados Unidos, en la república mexicana, principalmente, en la frontera con los Estados Unidos.
- b) La corrosión microbiológicamente inducida del concreto es sin lugar a dudas un hecho, un tipo de estropicio que se ha estado presentando en México durante mucho tiempo, sin que haya sido correctamente diagnosticada.
- c) Como corolario de esta investigación, en lo que respecta a la composición del cemento portland y del concreto que será utilizado en sistemas de drenaje, la práctica de adicionar calcita molida al cemento como material de relleno que no tiene actividad puzolánica es altamente indeseable, ya que la corrosión ácida destruirá este concreto con relativa facilidad (ver ecuación (5)).

## Recomendaciones

1. Recomendamos que la norma mexicana ONNCCE (2004) sea revisada, tomando en consideración la variable biodeterioro y su mecanismo, ya que las indicaciones que esta norma emite para utilizar indistintamente el *cemento ordinario*, el *cemento puzolánico* y el *cemento compuesto* —que en consecuencia la norma considera similares, y con las mismas propiedades relativas a la resistencia al deterioro característico de las aguas residuales— no toma en cuenta la ineficacia del cemento compuesto, que contiene grandes

cantidades de calcita, ante el ataque ácido de origen microbiológico.

2. Recomendamos hacer un amplio y serio estudio y/o trabajos de investigación, cuyo objetivo sea corroborar el comportamiento del *cemento compuesto* ante la CMIC, la dimensión de esta problemática en el país y cómo resolverla.
3. Recomendamos, entonces, que esta norma sea revisada nuevamente o, al menos, que se emita una advertencia al respecto.

Recibido: 05/02/2008  
Aprobado: 19/11/2008

## Referencias

- CHO, K.S., and MORI, T. A newly isolated fungus participates in the corrosion of concrete sewer pipe. *Water Science and Technology*. Vol. 31, no. 7, 1995, pp. 263-271.
- DAVIS, J., NICA, D., SHIELDS, K. and ROBERTS, D.J. Analysis of concrete from corroded sewer pipe. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 42, 1998, pp. 75-84.
- DIERCKX, M., SAND, W. and BOCK, E. Microbial corrosion of concrete. *Experientia*. Vol. 47, 1991, pp. 514-516.
- HERNÁNDEZ, M.T., MARCHAND, D.J., ROBERTS, D.J. and PECCIA, J.L. In situ assessment of active *Thiobacillus* species in corroding concrete sewers using fluorescent RNA probes. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 49, 2002, pp. 271-276.
- ISLANDER, R.L., DEVINNY, F., MANSFELD, A., POSTYN, A. and SHIH, H. Microbial ecology of crown corrosion in sewers. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 117, 1991, pp. 751-770.
- KARAVAIKO, G.I. and PIVOVAROVA, T.A. Oxidation of elementary sulfur by *Thiobacillus thiooxidans*. *Microbiologiya*. Leningrad. Vol. 42, no. 3, 1973, pp. 389-395.
- KELLY, D.P. and WOOD, A.P. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. Vol. 50, 2000, pp. 511-516.
- LARA, M.E. *Corrosión microbiológicamente inducida en la tubería de concreto del drenaje urbano*. PhD Tesis. Cuernavaca, México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos (en proceso), 2004.
- MILDE, K.W., SAND, W. and BOCK, E. *Thiobacilli* of the corroded concrete walls of the Hamburg sewer system. *J. Gen. Microbiol.* Vol. 129, 1983, pp. 1327-1333.
- MORI, T., NONAKA, T., TAZAKI, K., KOGA, M., HIKOSAKA, Y. and NODA, S. Interactions of nutrients, moisture, and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipe. *Water Resources*. Vol. 26, 1992, pp. 29-37.
- NICA, D., DICKEY, J., DAVIS, J., ZUO, G., and ROBERTS, D.J. Isolation and characterization of sulfur oxidizing organisms from corroded concrete in Houston sewers. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 46, 2000, pp. 61-68.
- ONNCCE. *Norma Mexicana (NMX-C-414-ONNCCE-2004)*. Declaratoria de vigencia publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el día 27 de julio de 2004. México, D.F.: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- PARKER, C.D. The corrosion of concrete 1. The isolation of a species of bacterium associated with the corrosion of concrete exposed to atmospheres containing hydrogen sulfide. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* Vol. 23, 1945a, 81 pp.
- PARKER, C.D. The corrosion of the concrete II. The function of *Thiobacillus concretivorus* nov. spec. in the corrosion of concrete exposed to atmospheres containing hydrogen sulfide. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* Vol. 23, 1945b, pp. 91-98.
- PARKER, C.D. Species of sulfur bacteria associated with the corrosion of concrete. *Nature*. Vol. 159, no. 4039, 1947, pp. 439-440.
- PARKER, C.D. Mechanisms of corrosion of concrete sewers by hydrogen sulfide. *Sewage Industrial Wastes*. Vol. 23, no. 12, 1951, pp. 1477-1485.
- PEACH, J. and WILLIAMS, J. *Population dynamics of the U.S.-Mexican border region*. Unpublished, forthcoming SCERP monograph. San Diego: SCERP/SDSU Press [en línea] <http://www.scerp.org/population.htm>, 2003.
- RENDÓN, L.E. Proyecto HC-9915 *Diagnóstico de la corrosión en los tubos de concreto en los sistemas de drenaje de las ciudades de Reynosa y Torreón*. Reporte interno. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1999.
- RIGDON, J.H. and BEARDSLEY, C.W. Corrosion of concrete by autotrophs. *Corrosion*. Vol. 14, 1956, pp. 60-62.
- ROBERTS, D.J., NICA, D., ZUO, G. and DAVIS, J. Quantifying microbially induced deterioration of concrete: initial studies. *International Biodeterioration and Biodegradation*. Vol. 49, no. 4, 2002, pp. 227-234.
- SAND, W. and BOCK, E. Concrete corrosion in the Hamburg sewer system. *Environmental Technology Letters*. Vol. 5, 1984, pp. 517-528.
- SAND, W. Importance of hydrogen sulfide, thiosulfate, and methylmercaptan for growth of *Thiobacilli* during simulation of concrete corrosion. *Appl. Microbiol.* Vol. 53, no. 7, 1987, pp. 1645-1648.
- SMITH, D.W. Ecological actions of sulfate-reducing bacteria. In *The sulfate-reducing bacteria: contemporary perspectives*. Odom, J.M. and Singleton, R. (editors). New York: Springer-Verlag, 1993, pp. 161-188.

#### Abstract

LARA-MAGAÑA, M.E., LI-LIU, X. & RENDÓN-DÍAZ-MIRÓN, L.E. *The importance of portland cement composition in mitigating biodeterioration of concrete hydraulic infrastructure.* Hydraulic engineering en Mexico (in Spanish). Vol. XXIV, no. 2, April-June, 2009, pp. 139-146.

*The biodeterioration of concrete is defined as the damage of hardened concrete by the byproducts of microorganisms, such as sulfuric acid. Concrete biodeterioration has always been detectable in gravity sewer pipes. In Canada and the northern part of the United States, sewer failures from sulfuric acid corrosion are not very frequent, but in the southern part of the United States and Mexico, concrete biodeterioration is a serious and expensive problem and is causing the rapid deterioration of sewage collection systems. The Mexican-American border, with a combined population of more than 15 million people, faces a common problem of rapidly corroding sewer infrastructure and limited water reclamation options. We describe here the importance of the composition of Portland cement as a mitigation measure of the concrete biodeterioration problem that plagues almost every city along the U.S.-Mexico border.*

**Keywords:** *biodeterioration of concrete, microbiologically induced corrosion of concrete, drainage corrosion, Portland cement composition, Mexican standard for portland cement.*

#### Dirección institucional de los autores:

*Dra. María Eugenia Lara-Magaña*

Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
Avenida Universidad 1001  
Colonia Chamilpa  
62209 Cuernavaca, Morelos, México  
teléfono: + (52) (777) 3297 000  
marudecori@yahoo.com

*Dr. Xiangyue Li-Liu*

*Dr. Luis Emilio Rendón-Díaz-Mirón*

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532  
Colonia Progreso  
62550 Jiutepec, Morelos, México  
teléfono: + (52) (777) 3293 677, extensión 166  
xli@tlaloc.imta.mx  
lerendon@tlaloc.imta.mx