

Luis Emilio Rendón Díaz Mirón



# ¿Qué es el **biodeterioro** del **concreto**?

En la actualidad no se conoce material alguno que permanezca completamente inerte ante los cambios químicos o bioquímicos, y que sea inmune al deterioro físico. El concreto no es la excepción, pero bajo lo que pueden considerarse condiciones normales de trabajo tiene una larga vida; el concreto hecho por los romanos antiguos a partir de cementantes naturales sigue hoy en excelentes condiciones. La mayoría de los cementos modernos no resisten el biodeterioro, que es una consecuencia del proceso por el cual se reutiliza el azufre en la naturaleza a través de ciertas bacterias.

**M**i buen amigo el Dr. Lorenzo Martínez Gómez, en un artículo que publicó en el periódico *La Crónica de Hoy*, describe así el proceso del deterioro del drenaje:

“El agua de drenaje suele contener sustancias ácidas, salinas o muy corrosivas que penetran en las grietas o microgrietas que suelen darse en el concreto. Al penetrar la humedad acidificada y hacer contacto con el acero se reduce la alcalinidad del concreto, dejando al acero desprotegido y se inicia la oxidación. Al oxidarse el hierro se expande porque los óxidos de hierro son mucho más voluminosos que el hierro. Las fuerzas expansivas de los óxidos de hierro aumentan notablemente el tamaño de las grietas en el concreto, y en consecuencia la penetración del agua de drenaje se facilita más. Se produce entonces un proceso muy grave que lleva al desmoronamiento del concreto reforzado con acero. Se ha encontrado que la parte superior del entubado es la zona más vulnerable del drenaje profundo, debido a que muchos de los agentes ácidos del drenaje tienden a evaporarse y condensarse en la parte interna superior del entubado. Las evidencias reportadas del daño estructural del drenaje profundo son los trozos de concreto desprendidos por el efecto expansivo de la corrosión de las barras de refuerzo, principalmente en la parte superior del drenaje profundo. Las barras de refuerzo que quedan expuestas al agua se van disolviendo y acaban con la integridad de la estructura.”





Esta explicación tendría que ser más amplia, pues no dice qué sucede cuando el concreto no está reforzado con varillas de fierro. Por mucho tiempo el biodeterioro del concreto en los sistemas de drenaje se explicó como una reacción química del concreto con los sulfatos. Los expertos en cemento y concreto hablan del cemento resistente a los sulfatos. Existe una gran variedad de sulfatos en las aguas residuales; uno que está siempre presente en ellas es el sulfato de calcio, que es parcialmente soluble. La reacción de este sulfato con el aluminato de calcio hidratado del cemento forma ettringita, un sulfo-aluminato de calcio que se expande al hidratarse, provocando el desmoronamiento del concreto. Pero se requiere una gran cantidad de sulfatos solubles para producir este efecto, lo cual no es muy frecuente. Además, en el proceso de deterioro del concreto en los drenajes hay desprendimiento de sulfuro de hidrógeno y presencia de azufre elemental, de manera que se necesita algo más que una reacción entre el aluminato de calcio hidratado y los sulfatos para explicar el deterioro de los sistemas de drenaje de concreto; se trata entonces de un fenómeno que es más complejo.

### ● ¿Es el deterioro del concreto un ataque químico directo?

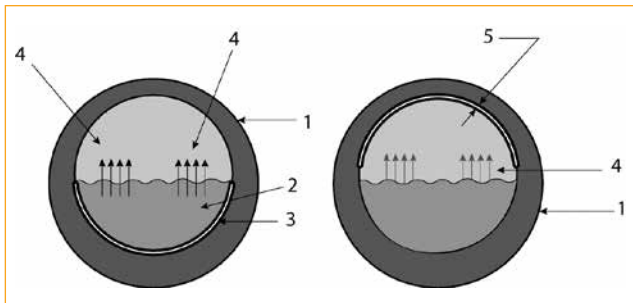
¿Hay en el agua del drenaje sustancias ácidas, salinas o muy corrosivas, suficientes para provocar un ataque químico directo? Esta pregunta nos lleva a otra explicación muy popular del deterioro del concreto. Las industrias descargan ácidos y sustancias corrosivas en grandes cantidades, las cuales corroen directamente la superficie del concreto. Como señala Lorenzo Martínez en su artículo, los “agentes ácidos en el agua del drenaje tienden a evaporarse y condensarse en la parte interna superior del entubado”, lo que deteriora la corona interior de los tubos. No obstante, por alarmante que sea, esta situación no es muy común, o al menos no tan común como el deterioro de los sistemas de drenaje de concreto, por lo que hay que buscar otra explicación.

### ● Deterioro microbiológicamente inducido

La Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha reconocido un fenómeno que denominó *corrosión microbiológicamente inducida del concreto*. Esto significa que existen bacterias que disuelven el concreto de la infraestructura hidráulica para agua residual. Son bacterias que generalmente forman una película gelatinosa que se pega en la parte seca de los tubos de drenaje, la llamada corona interior, y generan ácido sulfúrico que disuelve el concreto. Para que esto ocurra se necesita una porción seca del tubo, de manera que las reacciones bioquímicas de generación de ácido sulfúrico se lleven a cabo de una manera protegida y así no se lave ni disuelva el ácido sulfúrico biogenerado.

### ● El mecanismo del biodeterioro

En el fondo de los tubos de drenaje, donde se encuentran residuos sólidos (azolve) sumergidos en un agua residual con una mínima cantidad de oxígeno disuelto, es posible encontrar sulfatos. En este ambiente anaerobio las bacterias reductoras de sulfatos (BRS), como la del género *Desulfovibrio*, reducen estas sustancias y producen sulfuros (sulfuro de hidrógeno, Figura 1). Los sulfuros generados se disuelven parcialmente en el to-



**Figura 1.** Ilustración del mecanismo del biodeterioro. (1) Tubo de concreto; (2) torrente de agua residual; (3) biopelícula con bacterias anaerobias reductoras de sulfatos; (4) atmósfera interna saturada de  $H_2S$  que se desprende del torrente; y (5) biopelícula con bacterias oxidantes de azufre (BOA).



**Figura 2.** Pared del pozo de visita cubierta con azufre elemental.

rrente y se desprenden de éste por la turbulencia; entonces se difunden en la atmósfera interior del tubo de albañal, donde parte de ellos son oxidados a azufre elemental que se deposita en la superficie del tubo y en los respiraderos del drenaje (Figura 2).

En la atmósfera interior del tubo el sulfuro de hidrógeno en forma de gas, así como parte del azufre elemental suspendido como polvo muy fino, penetran la biopelícula de las bacterias oxidantes de azufre (BOA) en la corona del tubo, en donde son oxidados a ácido sulfúrico; con este ácido biogenerado, las bacterias disuelven el concreto y extraen una nueva cantidad de sulfatos y minerales de azufre.

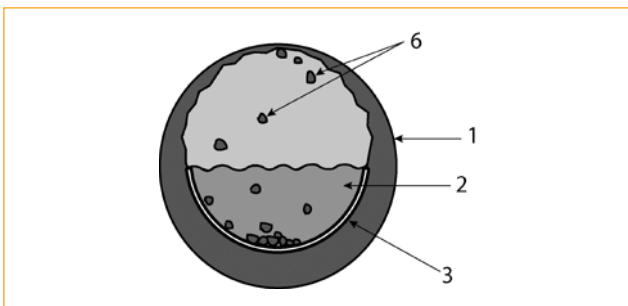
El concreto que se desprende, rico en minerales de azufre y sulfatos, cae al fondo del tubo (Figura 3), con lo que provee a las bacterias reductoras de sulfatos (BRS) de nueva materia prima rica en sulfatos para producir más sulfuros.

Es necesario mencionar que el adelgazamiento de la corona del tubo también provoca un debilitamiento estructural.

La Figura 4 muestra la imagen de un video tomado en el interior de un drenaje. En ella puede corroborarse que el biodeterioro afecta principalmente a la corona interior del tubo.

### ¿Azufre para tiempos de escasez?

En los pozos de visita de los drenajes es común encontrar azufre elemental depositado (Figura 2). Pareciera que los microorganismos guardarán azufre para



**Figura 3.** Corrosión de la corona del tubo, (6) derribos de tubo de concreto que caen al fondo del tubo y enriquecen los azolves con sulfatos.



**Figura 4.** Apariencia de los tubos de concreto cuando son afectados por el biodeterioro.

tiempos de escasez. Este fenómeno, que se origina por la oxidación del sulfuro de hidrógeno a azufre elemental, puede muy bien ser un tipo de simbiosis de bacterias como la *Beggiatoa*, la *Chromatium* o la *Chlorobium* para que toda bacteria que necesite azufre lo use, mostrando así su preferencia por las reservas de azufre sólido insoluble.



Son tres los criterios que normalmente se siguen para diagnosticar el biodeterioro en los drenajes:

- a) La medición de un pH ácido en las paredes de los pozos de visita.
- b) La detección de bacterias neutrófilas del azufre en los tubos.
- c) La presencia de depósitos de azufre elemental en las paredes de los pozos de visita de los drenajes.

La EPA se ha dedicado con ahínco a tratar de determinar cómo se desarrolla este fenómeno, al caracterizar mediante técnicas genéticas los consorcios bacterianos responsables de la corrosión del concreto, y dilucidando los mecanismos que lo hacen posible. Sin embargo, dado que el concreto es un producto manufacturado, la respuesta a esta problemática debe enfocarse en el porqué; así, las preguntas obvias son: ¿por qué se corroe el concreto?; y, ¿qué debemos hacer para mitigar este biodeterioro?



La respuesta a la primera pregunta es que el concreto se corroe porque contiene una importante cantidad de compuestos de azufre. Estos compuestos y los sulfatos se consideran esenciales en la composición del concreto y pueden clasificarse como sulfato de calcio añadido como coadyuvante del fraguado, y minerales de azufre que naturalmente se hallan presentes en las materias primas utilizadas para fabricar el cemento Portland, como arcanita (sulfato de potasio), aftitalita (sulfato doble de potasio y sodio), singenita, langbeinita, thenardita y un sinnúmero de minerales que contienen sulfatos.

En consecuencia, la respuesta a la segunda pregunta –¿qué debemos hacer para mitigar el biodeterioro?– es eliminar toda traza de azufre de la composición del concreto. Sin embargo, corregir la composición del cemento Portland y la del concreto no es trivial, sino algo muy complicado por dos razones: la primera, que el fabricante de cemento está convencido de que el azufre es benéfico para el cemento; y, la segunda, que retirar todo compuesto de azufre de la materia prima puede ser difícil y costoso.

### ● ¿Existe un concreto resistente al biodeterioro?

Hasta ahora no se conoce material alguno que permanezca completamente inerte ante los cambios químicos o bioquímicos, y que 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. Hay concreto hecho por los antiguos romanos a partir de cementantes naturales que sigue en excelentes condiciones.

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), características de los agregados, alcalinidad total, espesor de la cubierta de concreto sobre el refuerzo y los aditivos. Para lograr el mejor desempeño del cemento Portland, cuando se anticipa la exposición del concreto al deterioro característico de las aguas residuales, usualmente se recomienda utilizar cemento tipo RS; esto es, resistente al ataque

de los sulfatos. El concepto de “resistente al ataque de los sulfatos”, referido en la norma oficial NMX-C-414-ONNCCE-1999, especifica: “Se consideran cementos resistentes al ataque de los sulfatos, aquéllos que por su comportamiento cumplan con el requisito de expansión limitada de acuerdo con el método de prueba establecido”. Sin embargo, como este cemento también contiene sulfato de calcio y compuestos de azufre, no resiste el biodeterioro.

Motivados por la gran problemática que representa el mantenimiento de los túneles del sistema de drenaje del Distrito Federal, nos abocamos a obtener un cemento y un concreto resistentes al biodeterioro. Para ello, se formularon varios cementos sin sulfatos ni compuestos de azufre; después de varios años de investigación, el resultado fue una patente ya otorgada con el título # 282541, que puede consultarse en este enlace: <[http://www.pymotec.gob.mx/patentex.php?pn\\_num=MX0008444&pn\\_clasi=A&pn\\_fecha=2002-03-12](http://www.pymotec.gob.mx/patentex.php?pn_num=MX0008444&pn_clasi=A&pn_fecha=2002-03-12)>.

Esta patente y otra más (WO 2013191524 A1), ampliada y corregida (<http://www.google.com/patents/WO2013191524A1?cl=es>), que se encuentran en proceso de producción y explotación comercial, especifican claramente que para proteger el concreto de un ataque microbiológico, éste se debe formular totalmente sin azufre.

### Se recomienda revisar la norma

La Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE (2004) para la fabricación del cemento tipo Portland, no toma en consideración alguna la variable del biodeterioro ni el mecanismo por el que actúa. Además, recomienda utilizar indistintamente cemento ordinario, cemento puzolánico y cemento compuesto (que la misma norma considera similares en su resistencia al deterioro en aguas residuales), sin tomar en cuenta que el cemento compuesto contiene grandes cantidades de calcita altamente reactiva al ataque del ácido biogénico, por lo que es fácilmente disuelta.

Es interesante notar que cuando la contaminación del agua residual llega al extremo de impedir la proliferación bacteriana, difícilmente hay biodeterioro del concreto. Por el contrario, cuando el agua residual es

rica en materia orgánica y además permite la proliferación de consorcios bacterianos, el biodeterioro se presenta en todo su esplendor y parece ser que es el concreto su proveedor y fuente de energía.

**Luis Emilio Rendón Díaz Mirón** estudió en la Universidad de Texas en Austin. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, docente, empresario, científico, consultor e investigador. Actualmente desempeña funciones de investigación, innovación tecnológica y desarrollo tecnológico en ciencia de materiales y prevención del biodeterioro a la infraestructura para agua residual, en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

lerendon@tlaloc.imta.mx



### Bibliografía

- Lara-Magaña, M. E., X. Li-Liu y L. E Rendón-Díaz Mirón (2009), “La importancia de la composición del cemento Portland en la mitigación del biodeterioro en la infraestructura hidráulica de concreto”, *Ingeniería hidráulica en México*, XXIV(2): 139-146. Disponible en: <<http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/46/1/216150.pdf>>. Consultado el 28 de noviembre de 2014.
- Martínez, Lorenzo (2007), “Drenaje profundo... el factor corrosión”, *Crónica*, México, 25 de julio. Disponible en: <[http://www.cronica.com.mx/nota.php?id\\_nota=313847](http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_nota=313847)>. Consultado el 28 de noviembre de 2014.
- Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. (2004), *Diario Oficial de la Federación*, 27 de julio de 2004.
- Rendón, L. E., M. E. Lara y M. Rendón (2012), “The Importance of Portland Cement Composition to Mitigate Sewage Collection Systems Damage”, *MRS Proceedings*, 1488. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1557/opl.2012.1547>>.