
NOTAS TECNICAS

CORROSION DEL HORMIGON CAUSADA POR BACTERIAS

INTRODUCCION

Entre las diversas formas de corrosión que pueden producirse en el hormigón, la provocada por agentes biológicos, y principalmente por microorganismos, es tal vez la menos conocida. Ella se presenta de preferencia en instalaciones de alcantarillado, aunque puede presentarse también en otros tipos de elementos, como por ejemplo se ha encontrado en aguas de recirculación de sistemas de enfriamiento¹. En estos casos el ataque se produce también en elementos metálicos.

Existen también otras formas varias de ataque biológico al hormigón, tanto de origen animal como vegetal². Entre los primeros se pueden citar algunos moluscos que perforan las rocas, pilotes de hormigón u otros elementos en que se alojan. El ataque de origen vegetal se puede producir por plantas de diversos grupos, como fanerógamas, criptógamas, muscíneas, talófitas, etc.

En la presente nota se limitará el análisis al daño causado por la acción de bacterias.

El estudio del problema de la corrosión de alcantarillas se inició en 1918, a raíz de la comprobación de daños producidos en la red de alcantarillado de El Cairo³. Posteriormente su conocimiento se ha perfeccionado merced a experiencias e investigaciones hechas en diversos países.

El presente trabajo resume los resultados de estas experiencias e investigaciones, dando una visión general del problema, analizando su causa, su evolución, los diversos factores que intervienen, y dando una reseña de las soluciones posibles. Con ello esperamos contribuir a la eliminación del peligro que él representa para el buen servicio y economía de las instalaciones.

El ataque al hormigón de alcantarillado se puede presentar cuando hay gran cantidad de materia orgánica, y así ocurre muy especialmente en descargas de industrias de alimentos y mataderos⁴. La presencia de compuestos de azufre es la que "alimenta" la acción de las bacterias, produciéndose la co-

rosión de origen microbiológico.

RESEÑA DEL FENOMENO

El proceso comienza por la reducción de los sulfatos y otros compuestos de azufre (orgánicos e inorgánicos) que forman parte de la constitución de las materias que se encuentran en las aguas de alcantarillado.

Esta primera fase es provocada por las bacterias anaerobias del grupo *Sporovibrio desulphuricans*. Estas se alojan de preferencia en el fango que se acumula por decantación en el fondo del conducto. El resultado de esta primera etapa es la formación de ácido sulfhídrico, que poco a poco se va desprendiendo en estado gaseoso y pasa a la atmósfera de la alcantarilla.

En una segunda fase actúan las bacterias aerobias - de las que hay muchas variedades -, las que oxidan al H_2S produciendo primero anhídrido sulfuroso, luego anhídrido sulfúrico, que finalmente se combina con el agua formando ácido sulfúrico, cuya concentración sobre las paredes húmedas del conducto puede llegar¹ hasta un 5%.

La oxidación no es completa, y se forman otros ácidos (tiosulfúrico y politiónicos⁶). El H_2SO_4 ataca al hormigón con formación de un depósito blanco. Más adelante la pasta se reblandece, provocando la caída del árido y, por lo tanto, la desintegración lenta del hormigón.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

Se pueden enumerar como sigue:

- a) El proceso biológico es favorecido por la temperatura. (Como regla general, un alza de temperatura de $10^{\circ}C$ eleva el monto de la reacción al doble). Como consecuencia lógica de esto, la producción de H_2S es mucho mayor en verano que en invierno.
- b) El pH de las aguas. Los límites entre los cuales la reacción se desarrolla más fácilmente son aproximadamente 5 y 8. Bajo $pH = 5$ la mayor parte de las bacterias no subsisten (aunque algunas especies aerobias se encuentran hasta con $pH = 1$)⁷.
- c) La velocidad de escurrimiento. Un escurrimiento lento ayuda a la decantación de sólidos y a la proliferación de microorganismos productores de ácido sulfhídrico. Además, todo cambio brusco de velocidad o de dirección produce turbulencias que también favorecen el desprendimiento gaseoso.
- d) La presencia de anhídrido carbónico en la atmósfera de la alcantarilla tiene importancia, puesto que se requiere que esté en una concentración alta pa-

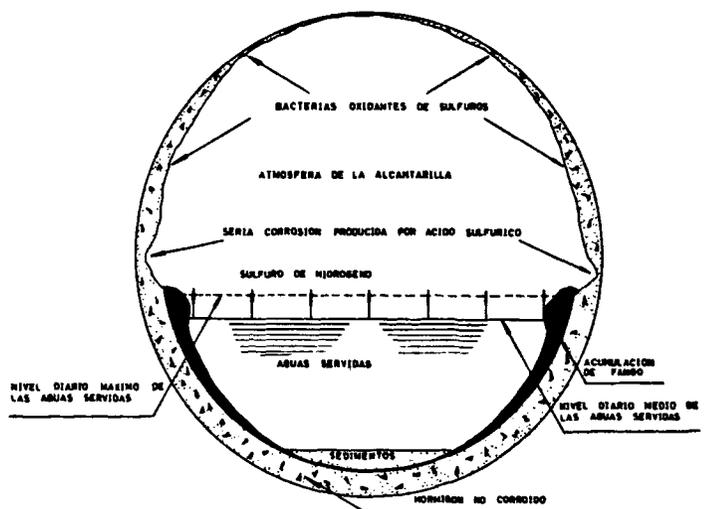
ra el desarrollo de la reacción a partir del H_2S . (En la atmósfera ordinaria su concentración es de 0,03% en volumen mientras que en las alcantarillas es de 0,67 a 1,8% en volumen). Su influencia estriba en que contribuye a hacer bajar el pH de las aguas y posiblemente influye en el metabolismo de las bacterias oxidantes del ácido sulfhídrico³.

- e) La ventilación. Por su intermedio se secan las paredes, lo que impide la proliferación de bacterias, que no pueden vivir sin humedad. Además, en esas condiciones ya no es posible la disolución del ácido sulfhídrico en las paredes y su transformación en sulfúrico. Un tercer efecto de la ventilación es el de desalojar el H_2S de la atmósfera de la alcantarilla. Sin embargo estos efectos sólo se logran con ventilación forzada. La ventilación natural no es suficiente.
- f) El desprendimiento de H_2S de las aguas servidas depende también de su concentración y del poder de retención de este ácido por parte de ellas. La concentración depende a su vez de la velocidad de formación del ácido, del pH y de la presencia de iones de metales pesados, como hierro, cobre o zinc. El poder de retención de H_2S depende de su difusión en el agua, lo que está influenciado por la turbulencia⁶.

DISTRIBUCION DEL DAÑO

La corrosión en un conducto abarca toda la zona comprendida entre el nivel de las aguas servidas y la clave. La zona más afectada es la clave misma, que en algunos casos se destruye totalmente (Fig. 1). Desde allí el daño disminuye hacia los lados y aumenta luego, justo antes de llegar al nivel de las aguas.

Fig. 1. Esquema tipo de corrosión provocada por bacterias en una alcantarilla de hormigón.



En este punto la reacción es favorecida por la presencia constante de humedad por capilaridad. En general la corrosión se produce en todos aquellos puntos que, estando en contacto con la atmósfera del co ducto, presentan humedad: ya sea por infiltraciones del terreno, como en la juntura de tubos o zonas permeables; por condensación, lo que ocurre en la clave y regiones vecinas, o por capilaridad, como ya se ha dicho.

La zona que está permanente o frecuentemente en contacto con las aguas está cubierta por una capa de fango y no presenta corrosión. La ausencia de ataque se debe a la falta de condiciones aerobias que permitan la oxidación del H_2S y su transformación en ácido sulfúrico. La Figura 2 ilustra un ejemplo de este tipo de ataque. Sin embargo, experiencias hechas con probetas sumer-

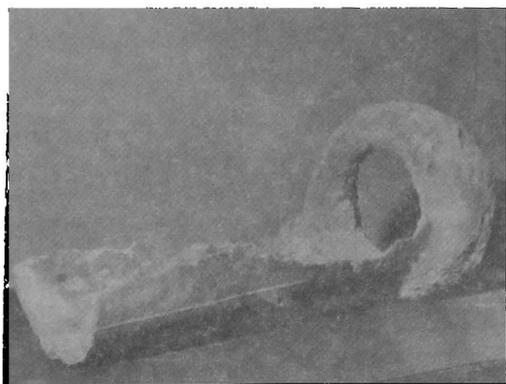


Fig. 2. Ejemplo de ataque provocado por bacterias.

agua a la atmósfera.

El ataque es mayor también en puntos donde se producen turbulencias (puntos de acceso de descargas, cambios bruscos de dirección, curvas pronunciadas, cambios de nivel, etc.).

En cámaras profundas el ataque es más fuerte en la parte superior, bajo la losa, y decreciente hacia abajo. En cambio, en cámaras poco profundas, la corrosión, si se presenta, es pequeña y homogénea. El daño más grande se produce en el muro de salida de la cámara: el gas de la alcantarilla, saturado con vapor de agua, surge del tubo de acceso a la cámara y

gidas en el agua muestran que allí también se puede producir corrosión, aunque relativamente pequeña y en cantidad decreciente en el sentido del avance de las aguas⁶. En este caso la corrosión se debería a la acción de los ácidos tiosulfúrico y politiónicos disueltos en el agua. En cambio, en las probetas suspendidas en la atmósfera, fuera de ser más atacadas, el daño fue creciente en el sentido del escurrimiento. Esto se explica por el paso progresivo del H_2S del

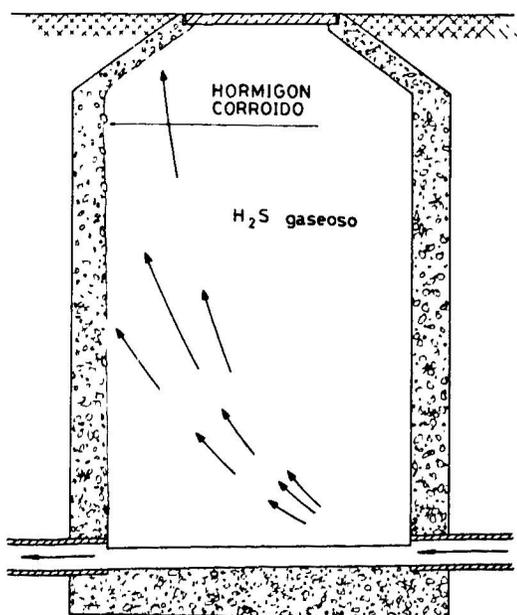


Fig. 3. Corrosión en una cámara.

choca contra el muro opuesto y hacia arriba, causando en esas zonas la corrosión más severa (Fig 3).

REMEDIOS

Se han estudiado distintos métodos, que se proponen sea impedir el ataque, sea neutralizarlo o reducirlo. A los primeros los llamaremos pasivos, y a los segundos activos.

Métodos pasivos

Proyecto adecuado de los conductos

Es conveniente que trabajen a sección llena; esto presenta dificultades por cuanto el caudal no es constante. Además, se deben evitar las turbulencias y las velocidades bajas.

Empleo de hormigón de mayor resistencia a los ácidos

Cabe aclarar que no hay ningún hormigón completamente inmune al efecto de los ácidos, si bien pueden confeccionarse ciertos tipos de hormigón que son más resistentes a ese ataque.

Hay varios procedimientos que suelen recomendarse para lograr un hormigón resistente a los ácidos. En general son los mismos empleados en la práctica corriente de hormigones resistentes al ataque por sulfatos o aguas sulfatadas⁸⁻¹⁰. Mencionaremos: el empleo de cementos especiales (aluminosos, sobresulfatados, puzolánicos, de alto horno, portland con bajo contenido de aluminato tricálcico o - más ampliamente - cementos con alto contenido de sílice y bajo contenido de cal); fabricación de un hormigón lo más compacto posible; empleo, como árido, de piedra caliza, dolomita u otro árido básico, con el objeto de que éste reaccione también con el ácido, con lo cual ya no es la pasta de cemento sola la que debe resistir al ataque^{4,6}.

Sin embargo, hay experiencias que han dado resultados que contradicen el empleo de cementos especiales⁶. Según ellas, el mejor método, con resultados realmente positivos, es el empleo de árido de piedra caliza.

Aunque se use hormigón especial es aconsejable emplear otros medios de eliminación de bacterias o de protección superficial.

Protección de la superficie del hormigón

El material protector debe ser resistente al ataque de los ácidos, impermeable y que adhiera totalmente al hormigón.

Existen varios tipos de materiales que han sido empleados para proteger alcantarillas de hormigón. El más empleado es el bitumen. Sin embargo, su du-

ración es limitada, ya que se desprende al cabo de cierto tiempo. Basta que haya un pequeño agujero en esta película protectora para que el ácido sulfúrico penetre y se inicie el ataque, que acelerará el desprendimiento de la capa de protección.

En los últimos años se ha iniciado - especialmente en los Estados Unidos - el empleo de productos plásticos, principalmente el cloruro de vinilo, para recubrir las paredes internas de tubos de hormigón destinados a alcantarillado. Este recubrimiento ocupa una superficie correspondiente a un ángulo de 260° de la sección transversal. Queda descubierta solamente la zona que ocupará el fondo de la alcantarilla y que estará siempre cubierta de agua. Se emplean especialmente en grandes colectores. Este método es el más efectivo hasta la fecha y se estima que su duración es prácticamente ilimitada. En esta forma se compensaría su alto costo inicial⁵.

Otro medio de protección que da buenos resultados es el revestimiento con tejas de arcilla vitrificada. Sin embargo, éste sólo es efectivo si en las juntas entre las placas se emplea un material resistente al ataque por ácidos. En efecto, si se utiliza mortero o pasta de cemento, la junta es atacada y destruida. En experiencias efectuadas en Los Angeles (EUA) se comprobó que en lugares en que el ataque es moderado, el mortero puede resistir, pero en caso contrario hay que emplear otros medios. Pardee y Studley¹¹ efectuaron en este sentido ensayos con diversos productos. En estas experiencias encontraron tres productos que dieron buen resultado al respecto: un compuesto a base de goma sintética que seca al aire; alquitrán de hulla, caliente, y un compuesto plástico especial para juntas de alcantarillas.

Limpieza

Una limpieza hecha periódicamente, extrayendo todo el fango depositado y lavando completamente las paredes de los colectores puede impedir la deterioración de éstas por la acción de las bacterias. También se ha ensayado el lavado químico para eliminar el fango, pero con resultados menos positivos que el lavado mecánico.

Métodos activos

Empleo de bactericidas

Hay diversas formas de aplicación: incorporados a la masa del hormigón, aplicados en su superficie (como un barniz), y añadidos al agua. Entre los primeros se pueden mencionar el polvo de cobre y el óxido verde de cromo^{1,6}.

Aunque el cloro es conocido como bactericida no es efectivo contra las bacterias reductoras de sulfatos. Esto se debe, según se cree, a que reacciona con los sulfatos y con las materias que rodean a las bacterias, con lo que el

residuo que pudiera actuar como bactericida es o muy escaso o inexistente.

Además de los mencionados se han ensayado diversos otros bactericidas, con resultados variados. Así por ejemplo, policlorofenatos, cuaternarios especialmente de los grupos alquil aril y alquil heterocíclicos, aminas grasas, etc. Los mejores resultados se obtuvieron con una mezcla de cuaternarios con aminas grasas¹.

Se puede afirmar que el tratamiento químico de las aguas es caro y no siempre efectivo.

Por lo que se sabe hasta ahora, los bactericidas, añadidos al agua, son más efectivos que los incluidos en la masa del hormigón.

Ventilación

La ventilación natural no basta, y hay que recurrir a la ventilación forzada. Con ésta se pueden conseguir dos objetivos: mantener secas las paredes, no permitiendo que allí vivan bacterias (que sólo pueden sobrevivir en superficies húmedas) ni que se disuelva el ácido sulfhídrico, y a la vez, eliminar en gran parte el gas de la alcantarilla. No obstante, su realización no es simple si se trata de una red vasta, además del inconveniente presentado por la necesidad de desodorizar al aire. Esto es especialmente importante y difícil en ciudades grandes.

REFERENCIAS

1. TEHLE Jr., E. Sulfate reducing bacteria in water cooling systems. *Materials Protection*, vol. 5, nº 12 (diciembre 1966), pp. 21 - 22.
2. Quelques aspects de la corrosion biologique des mortiers et bétons. *Revue des Matériaux de Construction*, nº 485 (febrero 1956), pp. 50 - 52.
3. *Corrosion of concrete sewers*. South African Council for Scientific and Industrial Research. Series DR 12, 1958.
4. van AARDT, J.H.P. Chemical and physical aspects of weathering and corrosion of cement products with special reference to the influence of warm climates. *Symposium RILEM on concrete and reinforced concrete in hot countries, Haifa, July 1960*.
5. Concrete sewers should last 100 years. *Materials Protection*, vol. 5, nº 11 (noviembre 1966), pp. 13 - 14.
6. FORRESTER, J.A. *An unusual example of concrete corrosion, induced by sulphur bacteria in a sewer*. Cement and Concrete Association, TRA/320, (julio 1959).
7. GARCIA DE PAREDES G.P. *Durabilidad del hormigón*. Monografías del Instituto Eduardo Torroja, nº 232. Madrid, 1963, pp. 53 - 54.
8. LEA, F.M. y DESCH, H.C. *The chemistry of cement and concrete*. Edición revisada por F.M. Lea. Ed. Arnold, Londres, 1956.
9. ASTM C 151-54. *Standard method of test for autoclave expansion of portland cement*.
10. KLEINLOGEL, A. *L'influence des divers éléments physicochimiques sur les bétons*. Dunod, París, 1960.
11. PARDEE, L.A. y STUDLEY, E.C. Concrete sewer protection. *Water and Sewage Works*, abril 1957. (Citado en Ref. 5).