

PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES

Octubre ■ 2006



EDITADO POR EL INSTITUTO MEXICANO
DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO



Cemento y concreto resistentes a sulfatos

Ilustraciones: Felipe Hernández

9
SECCIÓN
COLECCIONABLE

Cemento y concreto resistentes a sulfatos

El concreto expuesto a soluciones de sulfatos puede ser atacado y sufrir deterioro en un grado que depende de los constituyentes del concreto, la calidad del concreto en el lugar, así como el tipo y la concentración del sulfato.

Es necesario el conocimiento de las características del concreto resistente a sulfatos, de modo que puedan darse los pasos apropiados para minimizar el deterioro del concreto expuesto a soluciones de sulfatos. En años recientes, el cemento resistente a sulfatos ha sido caracterizado por su comportamiento (véase norma NMX-C-414-ONNCCE-1999).

En este espacio se revisan los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto, buscando poner en perspectiva su influencia y permitiendo así que se tomen medidas prácticas y efectivas para producir concreto resistente a sulfatos, los cuales pueden estar presentes en los efluentes y desechos industriales, como las industrias asociadas con la fabricación de químicos, baterías, aluminio y en la industria minera.

Ataque de sulfatos al concreto

- **Ocurrencia:** a veces se encuentran sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, que ocurren naturalmente en el suelo o disueltos en el agua que corre por el suelo o presentes en agregados (por ejemplo, piritita). El sulfato puede estar presente en los efluentes y desechos industriales tales como los de las industrias asociadas con la fabricación de químicos, baterías, aluminio y en la minería. El agua empleada en las torres de enfriamiento también puede contener sulfatos debido a la acumulación gradual de sulfatos provenientes de la evaporación.

- **Mecanismos:** hay dos reacciones químicas involucradas en el ataque de sulfatos al concreto.

1. Reacción del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso).

2. Reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, formando sulfoaluminato de calcio (etringita).



Estas dos reacciones dan como resultado un incremento en el volumen de sólidos, causa de la expansión y descomposición de los concretos expuestos a soluciones de sulfatos. Debe señalarse que los sulfatos y los químicos en general raramente, si acaso lo hacen, atacan el concreto si se encuentran en una forma sólida o seca. Para que resulte un ataque significativo en el concreto, los sulfatos deben estar en solución y por encima de alguna concentración mínima.

La severidad del ataque de sulfatos al concreto depende de lo siguiente:

- **Tipo de sulfatos.** Los sulfatos de magnesio y amonio son los más dañinos al concreto.

- **Concentración de sulfatos.** La presencia de sulfatos más solubles es más perjudicial al concreto.

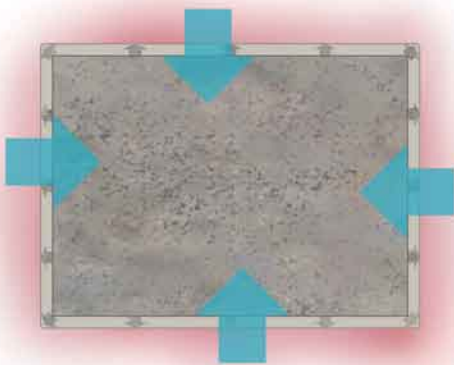
Tabla 1. Recomendaciones para concreto expuesto a sulfatos

Concentración de sulfatos, SO_4^{2-}

En agua (mg/L)	En suelos (%)	Tipo de cemento	Relación máxima a/c	Contenido mínimo de cemento (kg/m^3)	Curado mínimo - curado húmedo equivalente (días)	Se necesita protección adicional	Recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo (mm)
<400	<0.4	CPP	0.55	300	3	No	50
400-600	0.4-0.6	CPP	0.5	330	3	No	50
		RS	0.55	300	7	No	50
600-3000	0.5-1.2	RS	0.5	330	7	No	65
3000-6000	1.2-20	RS	0.45	370	7	No	65
>6000	>2.0	RS	0.45	370	7	Si	50

La mayoría de las recomendaciones toman en cuenta la cantidad de sulfatos presente al clasificar la severidad del ataque.

- **Si la solución del sulfato está estancada o fluyendo.** La severidad del ataque se incrementa en el caso de las aguas que fluyen. Así, la naturaleza y el contacto entre el sulfato y el concreto son importantes. El ataque más intensivo tiene lugar en el concreto que está expuesto a ciclos de mojado y secado que en el concreto completa y continuamente sumergido en la solución.



- **Presión.** La fuerza del ataque aumenta debido a que las presiones tienden a forzar la solución del sulfato en el concreto.

- **Temperatura.** Al igual que sucede con cualquier reacción química, la velocidad de la reacción se incrementa con la temperatura.

- **Presencia de otros iones en la solución del sulfato.** Afectan la potencia del ataque. Un ejemplo típico es el agua de mar, que contiene sulfatos y cloruros. Generalmente, la presencia de iones de cloruro altera la extensión y la naturaleza de la reacción química, produciendo menor expansión en el concreto debido a los sulfatos en el agua de mar.

Como puede verse, la intensidad del ataque de sulfatos es una cuestión compleja influida por muchos factores. Sin embargo, en la práctica es difícil consi-

derar todos los factores involucrados y en la mayoría de los casos, la severidad del ataque está relacionada principalmente con la concentración de sulfatos, y la manera de combatirlo se especifica de acuerdo con cada caso.

Factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto

El ataque de sulfatos al concreto tiene lugar cuando la solución de sulfato penetra en el concreto y reacciona químicamente con sus constituyentes, principalmente con la matriz de cemento. Así pues, los factores que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son solamente aquellos que influyen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y la calidad total del concreto.

- **Cementos.** La relación entre la resistencia a sulfatos del cemento Pórtland y su contenido de aluminato tricálcico (C_3A) está bien establecida. El cemento Pórtland que contiene menos de 5% de C_3A ha sido clasificado como un resistente a sulfatos, y se usa como el criterio de especificación de muchos reglamentos y normas para el cemento en todo el mundo.

Figura 1. Efecto de diferentes cementos Pórtland y contenido de cemento en la velocidad de deterioro de concreto expuesto a suelos que contienen sulfatos (de acuerdo con Verbeck).

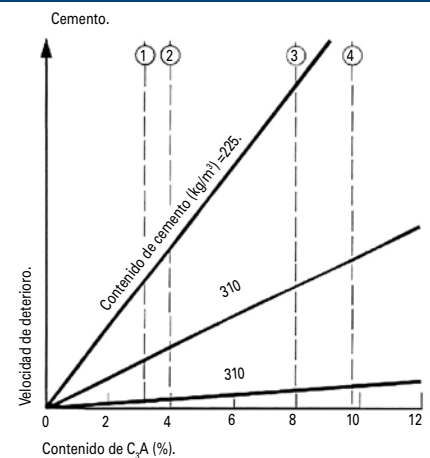


Figura 2. Efecto de diferentes cementos Pórtland y combinados y contenido de cemento, en la exposición de concreto expuesto a una solución de sulfatos

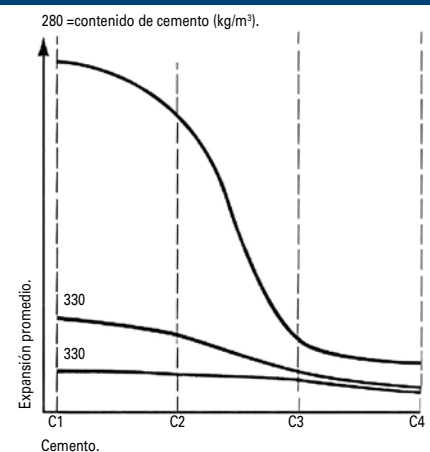
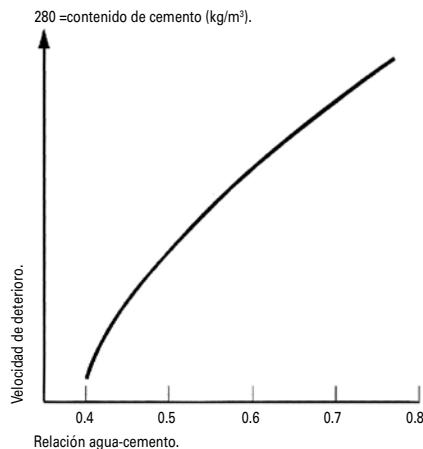


Figura 3. Efecto de la relación agua-cemento sobre la velocidad de deterioro del concreto expuesto a sales que contienen sulfatos (de acuerdo con Verbeck).



Los estudios han demostrado que los cementos que contienen potencialmente menos hidróxido de calcio en la hidratación se comportan bien en exposición de sulfatos.

Debe señalarse que el uso de cemento tipo RS por sí mismo no garantizará la producción de un concreto resistente a sulfatos. Tal como se delinea en este artículo están involucrados otros factores y deben ser considerados, pues su efecto puede ser más importante que el del cemento de la resistencia a sulfatos del concreto.

La fuerza del ataque de sulfatos depende del tipo y concentración del sulfato y se incrementa con el mojado y el secado.

- **Contenido de cemento del concreto.** Afecta significativamente su resistencia a sulfatos, sin importar la composición del cemento, tal como se hace evidente de las figuras 1 y 2.

Los datos presentados en estas figuras representan un rango de cementos

Pórtland y combinado. La velocidad de deterioro disminuye al incrementarse el contenido de cemento, aún en concretos hechos con cemento Pórtland ordinario.

En otras palabras, para producir concreto resistente a sulfatos, la utilización de un cemento resistente a sulfatos debe combinarse con el uso de un contenido mínimo de cemento. Esta conclusión se refleja en las recomendaciones para producir concreto resistente a sulfatos.

- **Relación agua-cemento.** La permeabilidad del concreto es un factor significativo que influye en su resistencia al ataque de sulfatos. Cuando se tiene materiales de buena calidad, proporcionamiento satisfactorio y una buena práctica, la permeabilidad del concreto es una función directa de su relación agua-cemento y del tiempo de curado. En otras palabras, siendo todos los otros factores iguales, la resistencia a sulfatos del concreto se incrementa al disminuir su relación agua-cemento.

Este efecto de la relación agua-cemento se muestra en la tercera figura, basada en los datos obtenidos de las pruebas de exposición.

- **Aditivos.** Hay muchos tipos de aditivos disponibles para su incorporación en el concreto para mejorar ciertas propiedades, para economizar o para ambas cosas.

Generalmente, el efecto de los aditivos en las propiedades del concreto depende no sólo de su formulación y su interacción con el cemento, sino también de las variaciones o ajustes que provocan en las proporciones de la mezcla de concreto. De este modo, los aditivos que provocan una reducción en la relación agua-cemento y/o incrementan la trabajabilidad, pueden aumentar la resistencia del concreto a sulfatos, a condición de que no se usen para reducir su contenido de cemento.

Está bien establecido que los aditivos que contienen cloruro de calcio afectan adversamente la resistencia del concreto a sulfatos.

- **Práctica de construcción.** La colocación, compactación y curado del concreto son factores importantes para producir concreto de baja permeabilidad.



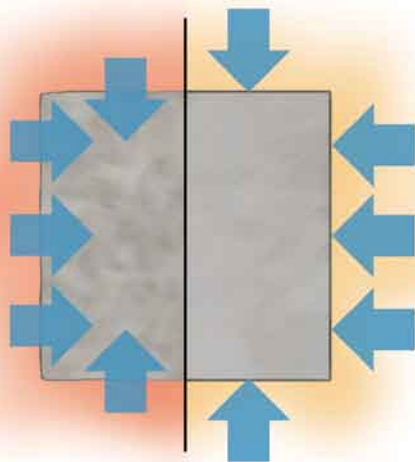
Agregar más agua en el sitio durante la colocación del concreto para restablecer el revenimiento o para ayudar al acabado final, perjudicará la resistencia del concreto a sulfatos. Se requiere de compactación adecuada y curado apropiado para producir concreto denso con capilares discontinuos (baja permeabilidad). Dar un acabado al concreto para proporcionar una superficie densa, libre de agujeros y defectos, puede mejorar la resistencia a sulfatos.

- **Diseño y detallado.** Las estructuras y los elementos apropiadamente diseñados y detallados deben proporcionar un refuerzo adecuado, y correctamente localizado para minimizar el agrietamiento. Es importante el detallado para minimizar la inundación y/o las áreas de turbulencia para reducir la intensidad del ataque de sulfatos, aumentando así la resistencia del concreto a sulfatos.

Concreto resistente a sulfatos

Por lo antes expuesto, la resistencia del concreto a los sulfatos puede mejorarse significativamente produciendo un concreto impermeable y denso, hecho de cemento resistente a sulfatos, una baja relación de agua-cemento con suficiente contenido de cemento, y que sea apropiadamente colocado, compactado y curado.

Varias autoridades han clasificado la agresividad en un número de categorías de severidad progresiva. Considerando esta clasificación y los tipos de cemento actualmente disponibles. La tabla 1



brinda recomendaciones para concreto expuesto a cinco clases de sulfatos de severidad progresiva.

Al usar esta tabla hay que tener presente lo siguiente:

- En vista de los múltiples factores que afectan la intensidad del ataque de sulfatos y los que influyen en la resistencia del concreto a sulfatos, como se discutió antes, estas clasificaciones y recomendaciones deben de considerarse como una guía, y ser examinadas en relación con las condiciones particulares que se encuentren en la práctica.

- La presencia de condiciones de acidez en el caso del ácido sulfúrico puede requerir que se tomen medidas de seguridad adicionales, tales como la provisión de membranas y barreras protectoras, dependiendo de la concentración y la temperatura de la solución agresiva. Además, el sulfato de magnesio es más agresivo que el sulfato de sodio. En presencia de grandes cantidades de iones de magnesio (> 1000 mg/l) es necesario tomar medidas de seguridad adicionales.

- Tal como se mencionó antes, el cemento Tipo RS puede ser Pórtland, que cumpla con la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999. Los cementos combinados pueden contener ceniza volante o escoria o humo de sílice o una combinación de éstos.

Conclusión

Nunca está de más enfatizar la importancia de las muchas influencias en la resistencia del concreto a sulfatos. Mientras que la repercusión del tipo de cemento es importante, obviamente no es la única influencia. Por supuesto, en la mayoría de las situaciones otros factores tendrán una influencia igual o tal vez mayor. Es el diseño de la mezcla del concreto, el reducido contenido de agua, el contenido incrementado de cemento, la colocación apropiada, la compactación adecuada y el curado efectivo, todo esto producirá un concreto resistente a sulfatos. ♻️

REFERENCIAS

Drying Shrinkage of Cement and Concrete, Concrete Data, July 2002. Cement and Concrete Association of Australia.