

La carbonatación en el concreto reforzado

Continuamos con este interesante tema de buscar informar acerca de algunos de los tópicos más frecuentes en materia de concreto reforzado.

En torno a la pregunta de ¿cuáles son los síntomas de la carbonatación en una estructura de concreto? Cabe decir que para que la carbonatación sea reconocida a simple vista es preciso advertir en ella una zona descolorida en la superficie de concreto. Este fenómeno igualmente puede ser visualizado utilizando un indicador de fenolftaleína (prueba cualitativa de la fenolftaleína), disponible a partir de los proveedores de productos químicos. Para su uso como un indicador, la fenolftaleína debe quedar disuelta con un disolvente adecuado tal como el alcohol isopropílico (isopropanol) en una solución al 1%. El ensayo consiste en aplicar el indicador a la superficie de la muestra de concreto, lo que produce una coloración rosa oscuro cuando está en presencia de un medio básico o de PH alto (Fig.3).

Considerando entonces que la coloración rosácea es un indicador de que el nivel del pH del concreto está por encima del valor estandarizado como límite (9.5), en la Fig. 1 puede observarse que en la parte izquierda de la fotografía no

I. y E. Vidaud

(Segunda parte)

existen riesgos de carbonatación; sin embargo, en la parte derecha se exhibe un concreto en el cual hacia la superficie de la muestra es evidente la existencia de la carbonatación, al no cambiar de coloración el concreto roseado con la fenolftaleína.

La prueba del indicador de fenolftaleína es recomendada sólo para establecer un estimado de la profundidad que ha alcanzado la carbonatación (profundidad del frente de carbonatación). Para llegar a una confirmación de este alcance es preciso la microscopía

Fig. 1



Ensayo con indicador de fenolftaleína para evaluar carbonatación en el concreto; la parte que toma el color rosáceo no esta carbonatada, en cambio la zona que no cambia de color si lo está.

Fuente: ATE IMCYC.



1972 En junio, en canal 4, se transmite el documental *Hablando en concreto*, creado por un grupo de especialistas del Conacyt.

1972 En el Hotel Disney, se utilizan adhesivos epóxicos en el concreto, en vez del mortero común.



óptica o bien, la microscopía electrónica, incluso a profundidades superiores a las que evidencia la prueba cualitativa de la fenolftaleína. A través del microscopio se reconoce el fenómeno de carbonatación en el concreto por la presencia de cristales de calcita, y la ausencia de hidróxido de calcio, etringita y granos de cemento deshidratados. Cabe decir que la prueba del indicador de fenolftaleína resulta muy útil como un medio de hacer una evaluación inicial de la presencia de carbonatación en el concreto; es rápida, fácil de ejecutar y ampliamente utilizada en la actualidad.

Hoy en día, en el mercado de tecnología encaminada al estudio del concreto y sus propiedades, existen otras sustancias que con una aplicación similar a la de la fenolftaleína, llegan incluso a dar un estimado del nivel de pH del concreto en la zona roseada por el producto. Tal es el caso del indicador colorimétrico "Rainbow Indicator" (Indicador Arcoíris). Con éste, al comparar la coloración resultante en el concreto muestreado (posterior a la aplicación del producto, con un perfil de colores preestablecido que viene impreso en el mismo recipiente del producto) es posible determinar el nivel de pH asociado. En la Fig.2 se presenta el producto, con el perfil de colores preestablecido marcado en su recipiente.

Fig. 2



Indicador colorimétrico de estimación del nivel de carbonatación "Rainbow Indicator". La zona de la superficie, enmarcada en color rojo, toma un color verde que se corresponde con un pH de aproximadamente 9. En cambio, la parte restante, asociada al interior del elemento, toma un color azul que se corresponde con un pH de 13.

Fuente: ATE IMCYC.

Una manera más exacta de estimar los niveles de carbonatación en una masa de concreto, es el uso del "potenciómetro". Se trata de una prueba fundamentada por medio de la Norma ASTM-D1293, en donde se determina el nivel de alcalinidad del concreto de muestras extraídas por medio de una extracción con agua destilada, a

la que se le determina posteriormente el nivel de pH con el equipo calibrado con soluciones patrón (Fig. 3).

Un aspecto interesante a considerar en el estudio de la carbonatación en el concreto es el tiempo en que puede producirse este fenómeno. Nos ocupa a continuación entonces atender

1973 Se informa en la revista que el IMCYC fue nombrado miembro del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento, en Madrid.

1973 La revista tiene un tiraje de 10 mil ejemplares.



Fig. 3

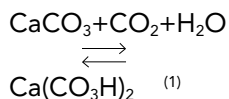


Equipo potenciómetro para la medición del pH de muestras de concreto.

Fuente: ATE IMCYC.

la interrogante de: ¿cuánto suele demorar el avance del frente de carbonatación?

El avance del frente de carbonatación hacia el interior del elemento de concreto se produce cada vez de manera más lenta hasta que se detiene. Esto se debe a que el carbonato de calcio, que es poco soluble, al continuar en un medio húmedo y con la presencia del CO_2 , se descompone en bicarbonato de calcio (ver Ecuación 1), que sí es un compuesto soluble.



Al ser una reacción reversible, con la solubilidad del bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$) se producirá

la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3) cuando el agua y el CO_2 tiendan a migrar hacia el exterior en periodos de secado. De esta manera los poros del concreto se sedimentarán con el tiempo y se detendrá el avance del frente de carbonatación.

Muchos especialistas en el tema coinciden en que el proceso avanza gradualmente a una velocidad proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. Además, puede afirmarse que el proceso de la carbonatación no describe una función lineal. Su estimación cambia con el tiempo y la profundidad. Un proceso de carbonatación normal en un concreto de buena calidad resulta ser muy lento, aproximadamente 0.04 pulgadas (1.0 mm) al año. Un concreto de buena calidad, sería

en este caso, denso, de baja permeabilidad, y con una baja relación agua-cemento (a/c).

Siguiendo este análisis, pasados 35 años, la profundidad de carbonatación en la superficie de este concreto se podría estimar en aproximadamente 1.5 pulgadas (38 mm). Entonces, la carbonatación restante (para 0.5 pulgadas ó 13 mm de recubrimiento de concreto) tomará alrededor de 12 años en producirse. Algunas investigaciones sugieren que en el caso de un concreto más poroso y permeable, en cuya mezcla se haya utilizado una elevada relación a/c, el fenómeno de la carbonatación puede presentarse a razón de hasta 5 mm por año.

Un modelo interesante para la correlación entre el período de tiempo (t), necesario para que se desarrolle la carbonatación en una profundidad de frente (d), lo establece la Instrucción del Hormigón Estructural EH-08, del Ministerio de Fomento y del Gobierno de España, como se muestra en la siguiente expresión:

$$t = \left(\frac{d}{Kc} \right)^2 \quad (2)$$

En donde Kc, se conoce como coeficiente de carbonatación, y se puede determinar como una función del medio de exposición, de la porosidad del concreto, del tipo de cementantes en la mezcla y de



1973 Para la construcción del Centro de Convenciones de Acapulco, se informa en la revista, se utilizan elementos prefabricados de concreto.

1973 Los descubrimientos de yacimientos petrolíferos en el Mar del norte, generan al diseño de plataformas de concreto para perforaciones en el mar.

la resistencia media del concreto a la compresión.

Cabría entonces preguntarnos ¿cómo puede evitarse la carbonatación? El empleo de barreras, a menudo resulta una buena opción como método preventivo. Los selladores o recubrimientos tienen la función de proteger al acero de refuerzo minimizando la entrada de humedad en el concreto. Estos productos deben cumplir algunos requisitos, pues sus propiedades estarán condicionadas por las características de exposición y solicitaciones a las que será sometida dicha estructura. De forma general, a estos productos puede exigírseles las siguientes propiedades: resistencia al intemperismo; buena adherencia; impermeabilidad al agua y a los cloruros; resistencia a la difusión de gases como el CO₂, el vapor de agua y el oxígeno; resistencia a la abrasión y a los cambios de temperatura; resistencia a los agentes químicos, y por último, estética.

Una vez que el fenómeno de la corrosión se ha iniciado debido a que el frente de carbonatación ha alcanzado al acero de refuerzo y el concreto ya no protege al acero, se debe recurrir a métodos correctivos. El más común es el que estipula quitar todo el concreto que ya no protege al acero y que está dañado; pudiéndose entonces limpiar y tratar al acero descubierto. Posteriormente, se podrá reconstruir la sección con un mor-

tero de reparación especialmente comercializado para este fin.

Otros métodos como los electroquímicos y el uso de inhibidores de corrosión, persiguen controlar la corrosión desde la superficie del concreto. En términos generales, las reparaciones convencionales muchas veces no son lo suficientemente eficaces, a no ser que el concreto carbonatado se retire y reemplace completamente. Sin embargo, esta acción puede resultar peligrosa y provocar problemas de adherencia entre el concreto original y el mortero de reparación. En otro orden, los métodos electroquímicos suelen ser eficaces, pero también pueden resultar en extremo costosos. De acuerdo a lo anterior, es importante que de inicio los concretos se elaboren de buena calidad, poco porosos, densos y con buenas prestaciones mecánicas; garantizándose además un buen nivel de recubrimiento en el acero de refuerzo. Estas especificaciones son especialmente importantes en estructuras expuestas a medioambientes agresivos.

Respecto a la carbonatación, las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal para Diseño y Construcción de Estructura de Concreto de 2004 establecen en su apartado de "Diseño por Durabilidad", que de acuerdo a las características de exposición, las estructuras deberán cumplir con un cierto nivel de resistencia a la compresión, y adicionalmente

el acero de refuerzo deberá tener un nivel de recubrimiento determinado. Así, por ejemplo, una estructura con un nivel de exposición medioambiental agresiva (ambiente de exposición C), deberá considerar niveles de recubrimiento entre 6.0 y 7.5 cm, y niveles de resistencia a la compresión altos, incluso mucho mayores a los 300 kg/cm², con mezclas elaboradas con relación agua/cemento no mayor a 0.40, y una cantidad de cemento en donde no deben de sobrepasarse los 350 kg/m³.

De acuerdo a lo referido en este escrito, es importante decir que la concepción de concretos de buena calidad, sin duda debe ser un importante parámetro a la hora de evitar el desarrollo del fenómeno de la carbonatación. Esta situación a su vez atenuará el desarrollo de la corrosión en el acero de refuerzo, fenómeno que resulta común en estructuras ubicadas en zonas medioambientalmente agresivas, en donde internacionalmente se suelen invertir importantes montos económicos, en la resolución de estas situaciones. **C**

Referencia:

Gobierno del Distrito Federal (2004). "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto".
Gobierno de España, Ministerio de Fomento (2010), en "EH-08: Instrucción del Hormigón Estructural", España.
Machado, L. R. (----), "Carbonatación vs. Aluminosis", en Kimialberica, www.kimialberica.es, Valencia, España.

1974 Se informa en la revista que el rector de la UNAM, Guillermo Soberón, presidió la ceremonia de clausura simbólica de los cursos, seminarios y conferencias IMCYC. **o**



1974 La revista informa que ese año el IMCYC organizó 58 cursos y seis seminarios, así como 100 eventos en 20 ciudades de la República Mexicana, y dos en Honduras.