

# La carbonatación en el concreto reforzado

Considerado como el material ideal para nuestras estructuras, el concreto reforzado exige de alta tecnología por las necesidades que tiene de conservación y mantenimiento; dado el proceso de corrosión que ataca al acero de refuerzo.

**E. Vidaud**

(Primera parte)

Una de las condicionantes del proceso corrosivo del acero de refuerzo en las estructuras de concreto, es precisamente el fenómeno de la Carbonatación (Fig. 1). El concreto del recubrimiento de cualquier elemento estructural, puede perder la alcalinidad que mantiene protegida a la varilla de acero de refuerzo, lo que puede producir una herrumbre que se puede expandir a toda la armadura, proceso que termina por hacer "explotar" y desprender el concreto que la recubre (recubrimiento). A partir de este instante, la varilla de acero pierde parte de su sección transversal original, lo que también, con el tiempo, puede conducir al deterioro de la propia estructura.

Generalmente, el fenómeno de la carbonatación <sup>(1)</sup>, es un proceso físico-químico complejo que modifica lentamente en el tiempo la estructura del concreto, induciendo a cambios en sus propiedades físicas. Por lo general, el fenómeno avanza del exterior al interior de la masa de concreto del elemento; ahí tiene mucho que ver el tiempo y la profundidad de afectación. La carbonatación



penetra a través de los poros del concreto hasta alcanzar y despassivar al acero de refuerzo. Este momento es conocido por los especialistas como Avance del frente de carbonatación.

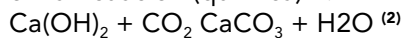
**¿Qué aspectos pueden condicionar este fenómeno en el concreto reforzado y cuál es el mecanismo de su desarrollo?**

La carbonatación debe su presencia en el concreto al dióxido

<sup>(1)</sup> De acuerdo al ACI 116R-00 (Cement and Concrete Terminology), la carbonatación (carbonation) es la reacción entre el dióxido de carbono y un hidróxido o un óxido para formar un carbonato, especialmente en una pasta de cemento, mortero o concreto; la reacción con los compuestos de calcio produce carbonato de calcio.

de carbono(CO<sub>2</sub>) presente en el ambiente en forma de gas anhídrido carbónico; máximo en zonas urbanas o con elevados niveles de contaminación, donde sus concentraciones son mayores. La humedad y la temperatura ambiente, son factores igualmente importantes como veremos más adelante en este escrito.

La carbonatación es un tipo de reacción ácida que puede afectar de manera importante la durabilidad del concreto. Se trata de un proceso lento, que resulta de una reacción química en la que el hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), presente en la pasta de cemento, reacciona con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, y forma carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>); tal y como se representa en la Ecuación (química) 1.



Producto del efecto físico-químico resultante de esta reacción, se produce una degradación lenta y de continuo avance; desde la superficie hacia el interior del elemento de concreto. El pH(2\*) del concreto, en condiciones normales de trabajo, oscila entre valores de 12 ó 13. No olvidemos que en el proceso de hidratación del cemento Portland se produce Ca(OH)<sub>2</sub> (también llamado Portlandita) a partir de la combinación de los grupos puros de silicatos y de aluminatos con el agua. La Portlandita o hidróxido de calcio, junto con los álcalis de sodio y de potasio aportados por las arcillas, es el mayor responsable de la elevada alcalinidad (basicidad) de la pasta en el concreto.

Se afirma en diversas fuentes especializadas que la pasta de cemento contiene entre un 25 y un 50 % en peso del cemento de hidróxido de calcio; lo que redundará en que la pasta de cemento fresco tenga un pH de 12 como

mínimo. En este caso, dada la elevada alcalinidad del concreto, las varillas de acero se encuentran recubiertas por una capa de óxido pasivante que las protege frente a riesgos de oxidación (o corrosión). Por otra parte, el contenido de dióxido de carbono en el aire oscila alrededor del 0.03%; puede llegar a alcanzar, en ambientes agresivos, valores superiores al 0.10% El CO<sub>2</sub> puede penetrar al concreto a través de los poros y reaccionar así con el Ca(OH)<sub>2</sub>, revirtiéndose entonces la basicidad del material.

El mecanismo de reacción ácida por el cual se produce la carbonatación genera un descenso del pH del concreto, lo que provoca la destrucción de la capa pasivante sobre el acero, y con ello un ascenso en la velocidad de corrosión de las armaduras. Según los especialistas, se establece un valor crítico para el pH, alrededor de 9.5; por debajo del cual ya no puede garantizarse la protección (pasivación) de la armadura y puede comenzar un proceso de corrosión por carbonatación. El nivel de pH de un concreto completamente carbonatado, suele oscilar entre 7 y 8.

El espesor del recubrimiento del acero de refuerzo juega un papel importante al tener responsabilidad en la variabilidad del tiempo de neutralización del CO<sub>2</sub> que se propaga por los poros llenos de aire del concreto, hasta producir el carbonato de calcio. Se le atribuye al anhídrido carbónico y al hidróxido de calcio la responsabilidad del proceso de carbonatación del cemento Portland, o a la formación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en el concreto; en presencia de humedad y mediante su combinación química, tal y como se evidencia en la gráfica que a continuación se presenta en la Fig. 2.

El contenido de humedad favorece el proceso de carbonatación en el concreto reforzado. Si regresamos la atención a la Ecuación 1 (y/o la Fig. 2), podemos darnos cuenta que esta reacción química, necesariamente se produce en un medio acuoso. El dióxido de carbono se disuelve en el agua formando ácido carbónico, el que reaccionará con el hidróxido de calcio; obteniéndose como resultado el carbonato de calcio, además del agua.

(\*) El potencial de hidrógeno, comúnmente conocido como pH, es una medida de la acidez o la alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias.

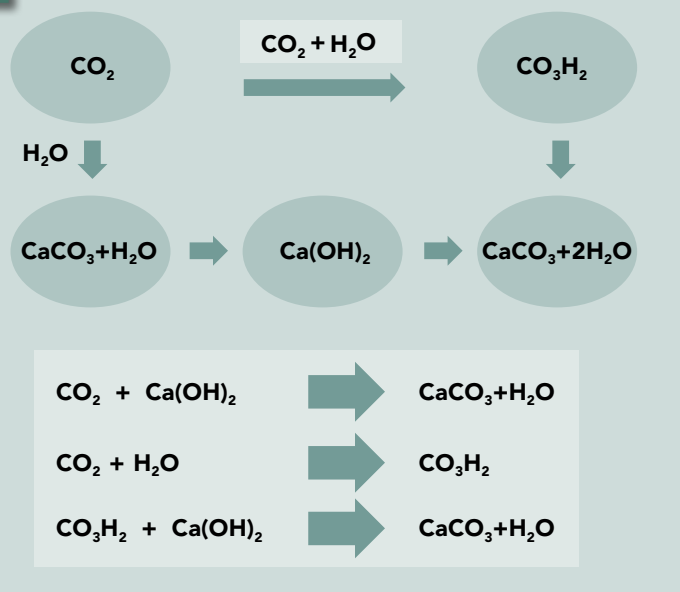
La sigla significa "potencial de hidrógeno" (pondusHydrogenii o potentiaHydrogenii; del latín pondus, n. = peso; potentia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés Sørensen, quien lo definió como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:  $\text{pH} = -\log_{10} [\text{a}_{\text{H}_3\text{O}^+}]$

Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno. Por ejemplo, una concentración de [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 1 × 10<sup>-7</sup> M (0,0000001) es simplemente un pH de 7 ya que:  $\text{pH} = -\log[10^{-7}] = 7$ .

La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución), y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua).

**Fuente:** Transcrito de: <http://es.wikipedia.org/wiki/PH>

Fig. 2



Formulación básica de los procesos de carbonatación en el cemento Portland. Fuente: Adaptado de Machado R., Carbonatación vs. Aluminosis, Informe Técnico, Kimia Ibérica.

Si el concreto está demasiado seco (Humedad Relativa menor al 40%) el  $\text{CO}_2$  no se disuelve y no se produce el fenómeno de la carbonatación; si por el contrario el concreto se encuentra demasiado húmedo (Humedad Relativa mayor al 90%) el  $\text{CO}_2$  no puede penetrar al concreto y por tanto este, tampoco puede ser carbonatado. La literatura especializada refiere que las condiciones óptimas para que se produzca la carbonatación, es cuando la humedad relativa se encuentra entre 40 y 90%. Respecto a lo anterior, se comenta que en el proceso de difusión de la carbonatación, la humedad relativa del aire de los poros existentes en la masa de concreto, juega un papel decisivo, debido a que el coeficiente de difusión del  $\text{CO}_2$  es mucho mayor en el aire que en el agua, por tanto, si los poros están

saturados de agua la penetración del gas es muy débil y la reacción es prácticamente inexistente.

La carbonatación, como ya se dijo, tiene un efecto adverso sobre el grado de alcalinidad del concreto y su capacidad para proteger al acero de refuerzo; sin embargo, los efectos físicos de este fenómeno suelen ser también positivos en este material. Niveles normales de carbonatación provocan una estructura más densa; aumentan la resistencia y disminuyen la permeabilidad del concreto. Este hecho garantiza que sea la carbonatación una ventaja en estructuras de concreto masivo, resultando todo lo contrario en el concreto reforzado. Baste decir que este fenómeno también aumenta la contracción en el concreto fraguado, lo que puede provocar la aparición de grietas y fisuras que lo vuelvan permeable

y susceptible al desarrollo de la corrosión.

Las grietas en el concreto, como es fácil de suponer, permiten el acceso del dióxido de carbono a través de la superficie del elemento, y se produce la carbonatación. Los especialistas consideran que el coeficiente de difusión activo del  $\text{CO}_2$  en una grieta de 0.20 mm de ancho de abertura, como promedio es de aproximadamente tres órdenes de magnitud (1000 veces), mayor que en un concreto sano, libre de grietas. Esta es la razón por la que en ambientes agresivos, se debe de establecer un proceso de cuidado estricto en la colocación del concreto, a fin de evitar indeseados procesos de contracción, que incidan en el desarrollo de agrietamientos en las primeras edades.

Puede afirmarse que el avance del frente de carbonatación será mayor en el elemento de concreto cuanto mayor sea la porosidad del material, de ahí que una buena medida de atenuar la velocidad de corrosión en un elemento de concreto es precisamente el empleo de concretos densos, perfectamente vibrados y colocados, en donde el nivel de porosidad sea mínimo. Lo anterior traerá consigo, por supuesto, una mayor pérdida de alcalinidad; fundamentalmente en las capas más superficiales, en donde precisamente se ubica el acero de refuerzo.

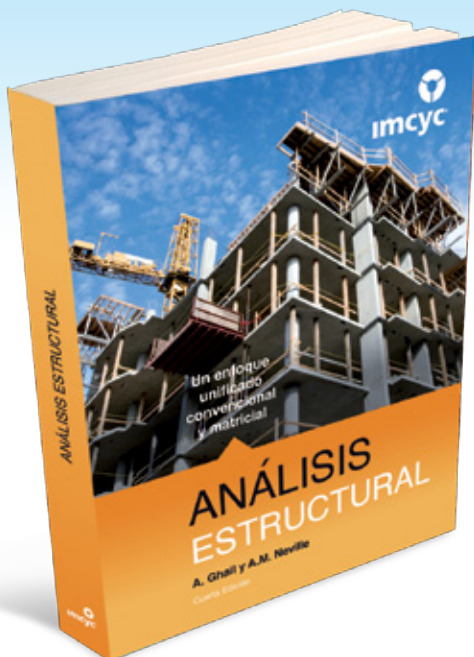
El grado de carbonatación en el concreto, está influenciado principalmente por la permeabilidad y por el contenido de calcio en la mezcla de concreto; aunque también son significativas las condiciones medioambientales y atmosféricas, tales como: la cantidad de dióxido de carbono, la humedad relativa y la temperatura. **C**

# SERVICIOS IMCYC

## Publicaciones



*“Un mundo de  
soluciones  
en concreto”*



## ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Se presentan 2 diferentes enfoques de análisis:

- 1.) El método de las fuerzas.
- 2.) El método de los desplazamientos, así como los métodos elásticos de analogía de columna y de distribución de momentos, métodos para obtener líneas de influencia para vigas, marcos, retículas y armaduras. El análisis de muros de cortante que se usan comúnmente en edificios modernos.

**\$440 M.N.**

Más gastos de envío.

[www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)



**CONTACTO:**

Michael López Villanueva

Tel.: 01 (55) 5322 5740

Ext. 210

Fax: 01 (55) 5322 5745

E-mail: [mlopez@mail.imcyc.com](mailto:mlopez@mail.imcyc.com)