

Deterioro atmosférico del concreto en ambientes urbanos colombianos de diferente agresividad

Esteban A. Correa¹, Rubiela M. Montoya², Sergio L. Peñaranda³,
Félix Echeverría E.⁴, Juan G. Castaño⁵

Resumen

El comportamiento en servicio del concreto depende de las condiciones atmosféricas en las que se encuentra expuesto; la determinación del efecto de la atmósfera en la estabilidad de un material dado depende de varios factores relacionados con el tiempo de humectación de la superficie y la contaminación atmosférica. A pesar de su importancia, en Colombia son pocos los estudios reportados acerca del tema. En este estudio se expusieron probetas cilíndricas de concreto reforzado y sin reforzar en tres ciudades de Colombia de diferentes condiciones atmosféricas (Bogotá, Medellín y Barranquilla). Una vez retiradas, se realizaron sobre las mismas ensayos electroquímicos y pruebas de carbonatación, con el propósito de establecer el grado de deterioro del concreto y de la varilla de refuerzo y su relación con las condiciones atmosféricas de cada ciudad.

Palabras clave: Corrosión atmosférica, concreto, carbonatación, ensayos electroquímicos.

Abstract

The concrete behavior in service depends on the atmospheric conditions where it is exposed. The determination of the atmosphere effect in stability of a given material depends on several factors related with time of wetness and atmospheric pollution. In Colombia, a few studies about this subject had been performed. In this study, cylindrical specimens of mortars, reinforced and non-reinforced, were exposed in Medellín, Bo-

Fecha de recepción: 21 de diciembre de 2007
Fecha de aceptación: 25 de junio de 2008

¹ Estudiante de Ingeniería de Materiales. Grupo de Corrosión y Protección. Universidad de Antioquia. esteban.correa@une.net.co

² Estudiante de Ingeniería de Materiales. Grupo de Corrosión y Protección. Universidad de Antioquia. rubim16@gmail.com

³ Ingeniero Metalúrgico. Grupo de Corrosión y Protección. Universidad de Antioquia. oslpa765@udea.edu.co

⁴ Ph.D. en Corrosión. Grupo de Corrosión y Protección. Universidad de Antioquia. fecheve@udea.edu.co

⁵ Ph. D. en Ciencias Químicas. Grupo de Corrosión y Protección. Universidad de Antioquia. jcasta@udea.edu.co

Dirección: Universidad de Antioquia, Sede de Investigación Universitaria –SIU, Grupo de Corrosión y Protección, Calle 62 N° 52-59, Torre 2, Laboratorio 330, Medellín (Colombia).

Orígenes de los apoyos recibidos: Institucionales

gota and Barranquilla. In order to establish the deterioration degree of mortars, after exposure, electrochemical and carbonation tests were carried out to the reinforced and non-reinforced specimens, respectively.

Key words: Atmospheric Corrosion, concrete, carbonation, electrochemical test.

INTRODUCCIÓN

A la rápida difusión del uso del concreto armado ha contribuido en gran medida el complemento de propiedades de dos materiales: acero y concreto, los cuales, reunidos en un material mixto, le dotan de la destacada resistencia a la tracción del primero y la buena resistencia a la compresión del segundo [1].

La barrera de protección que le proporciona el concreto a la varilla de acero es reforzada por el valor de pH alcalino que se alcanza después de las reacciones de hidratación del cemento, que pasivan al refuerzo y lo protegen químicamente. Sin embargo, la interacción con el medio ambiente provoca que dicha protección se vea disminuida.

Los principales agentes agresivos son los cloruros, que están presentes en el agua de mar, pero es posible que también los desplace el viento de la brisa marina a la zona costera y los deposite en estructuras de concreto cercanas a la orilla [2], y el dióxido de carbono, que produce la carbonatación del mortero en zonas rurales, urbanas e industriales.

El dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio alcalino en carbonato de calcio, que tiene un pH más bajo [3]. Esta disminución en el pH produce la despasivación del acero de refuerzo y, por ende, su resistencia a la corrosión. La combinación de los agentes agresivos tiene un efecto sinérgico, acelerando el proceso de degradación del concreto y la del refuerzo, ya que se produce corrosión localizada sobre esta última, y debilita las estructuras [4].

Para conocer el estado de la barra de refuerzo generalmente se usan técnicas electroquímicas como la Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS). Por medio de esta técnica se puede conocer el valor de la Resistencia a la Polarización (R_p) del sistema estudiado, el cual es inversamente proporcional a la Densidad de corriente (I_{corr}) y está a su vez es directamente proporcional a la Velocidad de corrosión (V_{corr}) [5].

En este trabajo se expusieron probetas de concreto, con y sin varilla de refuerzo, a diferentes ambientes urbanos, con el propósito de estudiar su comportamiento frente a la agresividad de tales atmósferas. Para tal efecto, se realizaron análisis en las probetas expuestas durante 4 meses, por medio de EIS y determinación de perfiles de carbonatación.

METODOLOGÍA

Con el fin de realizar un análisis representativo del deterioro del concreto en diferentes atmósferas colombianas, se eligieron 3 ciudades del país y en cada una de ellas se seleccionaron 3 sitios, en los cuales se instalaron 7 probetas de mortero de la siguiente forma: 4 probetas con refuerzo y 3 probetas sin refuerzo.

Lo anterior arroja un total de 63 probetas de concreto (27 sin refuerzo y 36 con refuerzo). Éstas tienen forma cilíndrica con un diámetro y longitud de 12,5 y 5 centímetros, respectivamente.

Para la construcción de las probetas se utilizaron los siguientes materiales:

- Cemento Portland tipo I.
- Arena de río con granulometría, según norma ASTM C 778 [6].
- Agua.
- Acero estructural bajo carbono de diámetro 1,6 centímetros.

Las probetas fraguaron y se dejaron curando un mes en una cámara con una temperatura de 22-23 °C y humedad relativa mayor que 80%. Durante dicho período se realizaron análisis de EIS a las probetas reforzadas para determinar el estado de pasivación del refuerzo.

El equipo utilizado fue un potencióstato-galvanostato BAS-ZAHNER IM6e. Un esquema de la celda se muestra en la Figura 1.

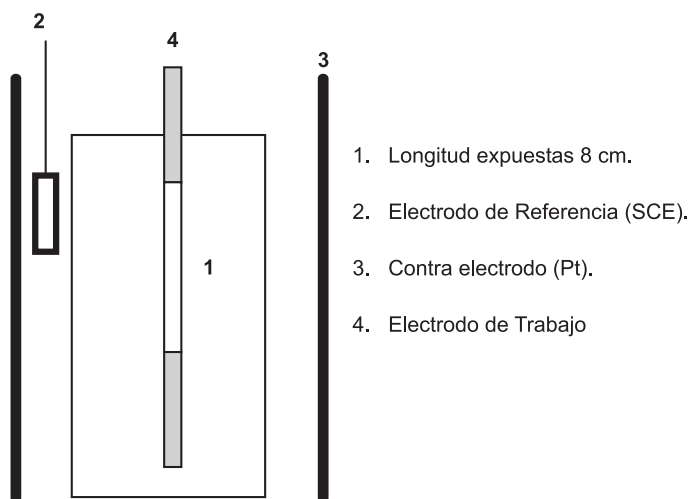


Figura 1. Montaje para la realización del análisis de EIS

Al final de este período, las probetas fueron expuestas en los diferentes ambientes urbanos escogidos. El tiempo total de exposición fue de un año. Dentro de este período y de cada sitio se retiró 1 probeta reforzada cada 4 meses. Para el caso de las probetas sin refuerzo, se retiró una sección de cada una de ellas en el mismo intervalo de tiempo.

Culminado cada período, a las probetas reforzadas se les realizó análisis de EIS y a las secciones sin refuerzo se les determinó el perfil de carbonatación por medio de un indicador de acidez y basicidad (fenolftaleína).

RESULTADOS Y ANÁLISIS

▪ Probetas reforzadas

Durante el período de curado, y gracias a las reacciones de hidratación generadas, se da inicio a la formación de una capa pasiva sobre la barra de refuerzo [4]. Para corroborar lo anterior se realizaron una serie de análisis de EIS a diferentes días de curado.

La Figura 2 muestra los diagramas de impedancia a 6, 14 y 30 días para una de las probetas en este período. Se observa un aumento progresivo de la resistencia a la polarización del sistema, lo cual estaría directamente relacionado con el crecimiento de la capa pasiva sobre el refuerzo.

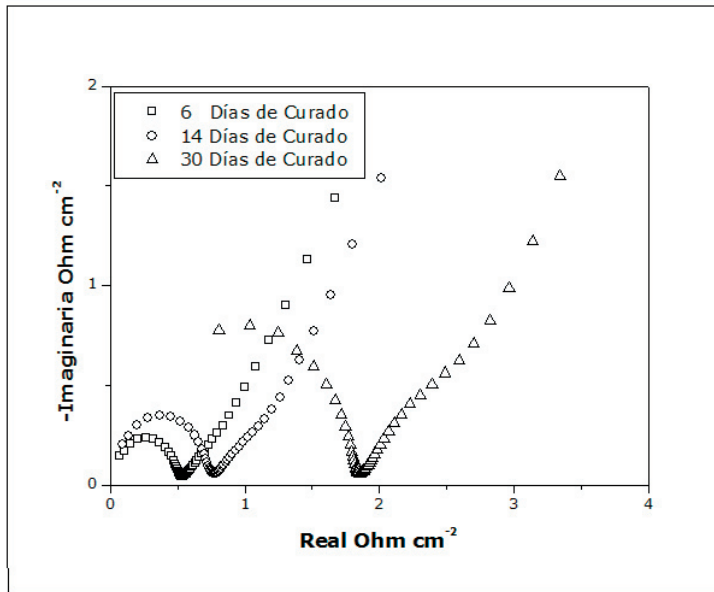


Figura 2. Diagrama de Nyquist para probeta reforzada durante el curado

Tras 4 meses de exposición, a la probeta retirada se le realizó análisis de EIS en el laboratorio. Los resultados muestran que el crecimiento de la capa pasiva sobre la barra de refuerzo aún sigue en proceso, ya que la resistencia a la polarización del sistema está aumentando durante la exposición, como se muestra en las Figuras 3, 4 y 5 para una probeta en cada una de las estaciones en los tres sitios de exposición.

Adicionalmente, se puede afirmar que hasta el momento no hay ningún tipo de ataque sobre la barra causado por iones despasivantes, especialmente en zonas costeras donde las probetas están expuestas a mayores concentraciones de cloruros.

La Tabla 1 muestra las diferentes estaciones con los valores de concentración de cloruros.

Tabla 1
 Datos de contaminantes, temperatura y humedad relativa durante los primeros 4 meses de exposición

Estación	Primer Bimestre			Segundo Bimestre		
	Cl mg/d m2)	T °C prom	%HR prom	Cl mg/d m2)	T °C prom	%HR prom
Nueva Barranquilla	18,62	24,6	65,8	20,84	27,1	82,9
Termo Barranquilla	14,70	29,1	*	11,27	15,0	80,1
Termo Flores	53,93	30,4	78,8	36,67	29,9	91,1
Muñía	1,34	14,8	79,3	2,06	14,5	82,4
Salitre	0,57	18	58,7	1,62	17,9	66,3
Castellana	0,70	16,1	67,2	1,66	16,0	*
Guayabal	1,38	23,5	65,9	7,11	23,1	72,7
Colombia	0,45	23,2	69,6	2,49	22,9	73,2
San Diego	0,67	23,9	62,6	2,91	23,5	69,1

* Datos no reportados

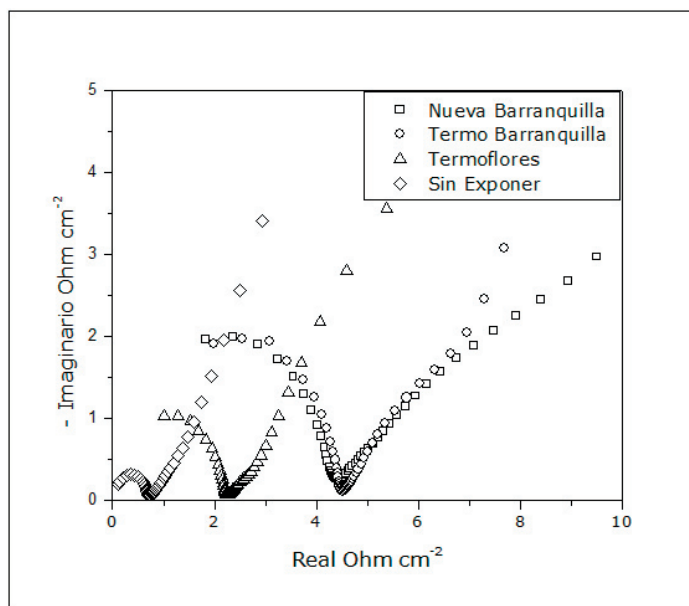


Figura 3. Diagrama de Nyquist para los puntos de muestreo de la ciudad de Barranquilla. Se incluye la curva de una probeta sin exponer.

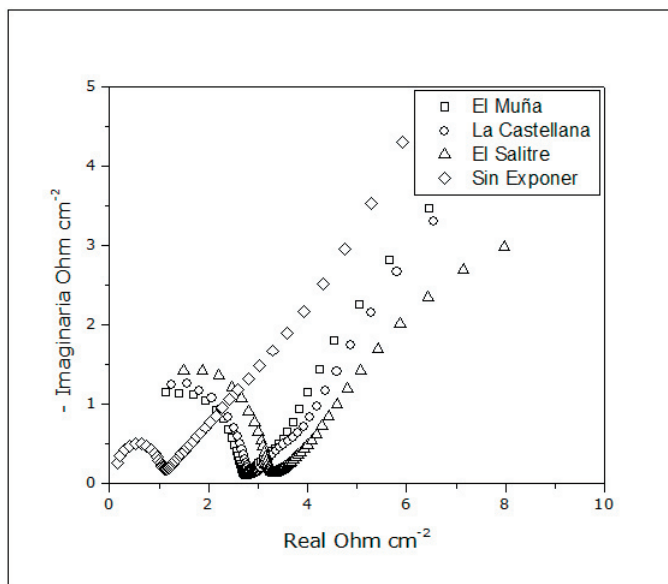


Figura 4. Diagrama de Nyquist para los puntos de muestreo de la ciudad de Bogotá. Se incluye la curva de una probeta sin exponer.

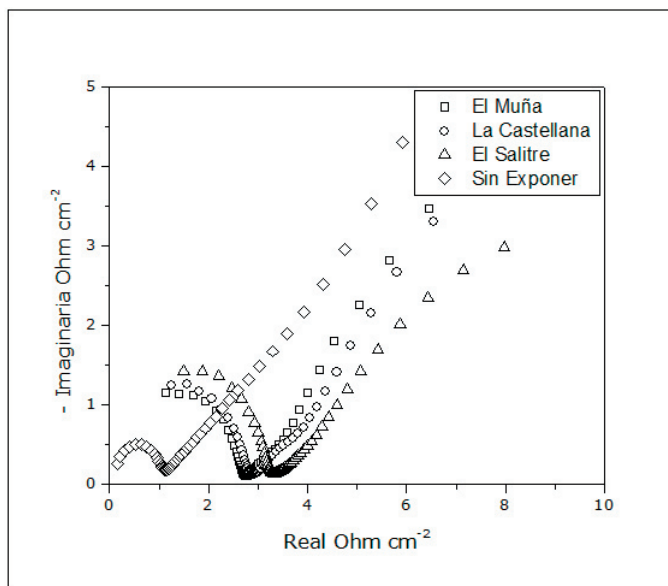


Figura 5. Diagrama de Nyquist para los puntos de muestreo de la ciudad de Medellín. Se incluye la curva de una probeta sin exponer.

▪ **Probetas sin refuerzo**

Como se indicó en la metodología, al término de los cuatro primeros meses de exposición, fueron retiradas secciones de las probetas de aproximadamente 3 centímetros, a las cuales se les determinó el perfil de carbonatación con la ayuda del indicador fenolftaleína. Los resultados obtenidos en una de las probetas de cada sitio de exposición se muestran en la Imagen 1. En la Tabla 2 se pueden observar los valores promedios de penetración de la carbonatación y porcentajes de áreas carbonatadas en las diferentes estaciones.

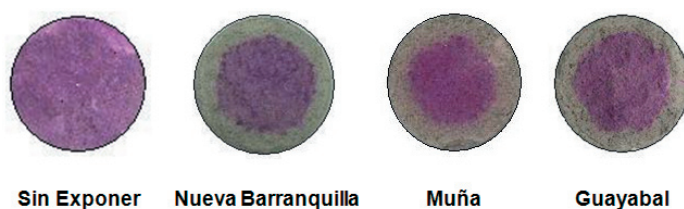


Figura 6. Perfil de carbonatación para las probetas sin refuerzo

Tabla 2
Perfiles de carbonatación de las estaciones de ensayo para los primeros 4 meses de exposición.

Estación	Profundidad de penetración (mm)	Porcentaje de penetración
Nueva Barranquilla	2,05	37,89
Termo Barranquilla	2,08	38,43
Termo Flores	1,78	32,96
Muña	1,66	30,59
Salitre	2,02	37,40
Castellana	1,83	33,73
Guayabal	1,86	34,29
Colombia	1,93	35,71
San Diego	1,88	34,66

Los resultados muestran que al término de los primeros 4 meses de exposición se ha presentado un perfil de carbonatación en las probetas de todas las estaciones. Inicialmente, este comportamiento acelerado de carbonatación puede estar relacionado con las altas temperaturas y las bajas humedades que se registraron en los meses iniciales de exposición

(ver Tabla 1), las cuales causan que los poros de las probetas de mortero se encuentren secos y permitan el ingreso con mayor facilidad del CO₂ atmosférico [4]. Por otro lado, hasta el momento no se evidencia una gran diferencia en el proceso de carbonatación que muestran las probetas en las tres diferentes ciudades.

Adicionalmente, a partir de estos resultados (ver Figura 6), se puede confirmar el estado pasivo de la barra de refuerzo, ya que el centro de la probeta no ha sufrido carbonatación.

CONCLUSIONES

Las pruebas de carbonatación muestran que el interior de la probeta donde se encuentra alojada la barra de refuerzo aún se conserva en un medio básico, lo que permite concluir que el refuerzo no está activo. Lo anterior lo confirma el análisis realizado mediante EIS a las muestras.

Aunque el tiempo de exposición aún es muy corto para explicar el mecanismo de penetración del CO₂, se puede concluir que éste se encuentra relacionado con los períodos con bajas humedades relativas y altas temperaturas registrados en el primer período.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo económico recibido por COLCIENCIAS y la Universidad de Antioquia, indispensables para la realización de este proyecto. También agradecemos la colaboración de los ingenieros Jorge Alejandro Vergara, Darling Perea, y la estudiante de Ingeniería de Materiales Natalia Carvajal.

REFERENCIAS

- [1] H. BARRERA, S. HENRÍQUEZ Y D. SALGADO. "Influencia del cemento y sus adiciones en la corrosión del acero en hormigón armado". Memoria título de ingeniero civil en obras civiles. Universidad de Santiago de Chile, 2004.
- [2] H. GIRÓN. "Ataque por cloruros en el concreto". Revista *Construcción y Tecnología*. México, octubre, 1998.
- [3] R. MONTANI. "La carbonatación, enemigo olvidado del concreto". Revista *Construcción y Tecnología*. México, diciembre, 2000.
- [4] A. VALLE, T. PÉREZ Y M. MARTÍNEZ, "El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado". Instituto Mexicano del Transporte.
- [5] D. A. KOLEVA ET AL. "Quantitative characterization of steel/cement paste interface microstructure and corrosion phenomena in mortars suffering from chloride attack". *Corrosion Science*, article in press.
- [6] ASTM C 778-02, Standard specification for "Standard Sand", Philadelphia, 2002.