



INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DURACON

(PRIMERA PARTE)

D. Nieves Mendoza¹ / C. Z. Nava Veraz¹ / J. C. Rolón Aguilar¹ / R. Garza Flores¹
H. L. Hervert Zamora² / A. Torres Acosta² / M. A. Baltasar Zamora³.

RESUMEN

En este trabajo se describe el proyecto "Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto, DURACON", el cual, se desarrolla en la Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller" (FIANS), y que forma parte de una red de investigación a nivel Iberoamérica. Los investigadores involucrados en el proyecto Duracon pertenecen a diferentes Universidades y centros de investigación tanto de México como de otros 12 países más, como son: Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Chile, Perú, Portugal, España, Bolivia, Uruguay, Paraguay y Venezuela. En este proyecto se busca caracterizar la durabilidad de concretos expuestos en condiciones ambientales reinantes en Iberoamérica, basándose en la exposición de probetas armadas en al menos dos atmósferas distintas (marina y urbana), en cada país iberoamericano participante. Los ensayos están centrados principalmente en la caracterización de los procesos de carbonatación, penetración de cloruros y en la determinación del contenido crítico de cloruros de inicio de corrosión en el con-

creto; en la medida de parámetros electroquímicos que permitan evaluar la cinética de corrosión de las armaduras (velocidad de degradación de las varillas de refuerzo), mediante pruebas electroquímicas como son los potenciales de corrosión y Resistencia a la Polarización Lineal (Rp); y en el registro de parámetros ambientales como la temperatura, humedad relativa, precipitación y dirección y velocidad de los vientos. Toda esta información permitirá, con el uso de modelos específicos, diseñar obras en concreto armado durables, y reparar adecuadamente las ya existentes, lo que repercutirá en una disminución en las pérdidas económicas que actualmente está causando el fenómeno de la corrosión en nuestro país.

INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto son regularmente definidas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en las últimas tres décadas, se ha observado un incremento en agrietamientos y delaminaciones (desprendimiento del recubrimiento) de ele-

mentos de concreto relacionados con la corrosión de la armadura de acero en el ámbito mundial.

La cooperación del concreto para con el acero de refuerzo (o pre-esfuerzo) se basa en que el concreto provee al refuerzo una protección tanto química como física en contra de la corrosión. La protección química se debe a la alcalinidad del concreto, la cual produce una capa de óxido (del orden de un par de nanómetros) en la superficie del acero impidiendo que el acero continúe corroyéndose. El concreto también funciona como una capa física protectora en contra de los agentes ambientales (oxígeno, agua, cloruros, dióxido de carbono) que puedan despasivar al acero e iniciar su corrosión.

Sin embargo en un ambiente marino (o urbano), los iones cloruro del agua de mar (o el CO₂) se acumulan en la superficie del concreto y lentamente se transportan a través del recubrimiento de concreto hasta llegar a la armadura. Cuando la concentración de los iones cloruro en la superficie del acero de las armaduras alcanza valores que exceden un nivel críti-

¹ Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Tampico-Madero, Tampico, Tamaulipas, México.

² Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

³ Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana.

co (o disminución del pH por el CO₂), la protección de la armadura corre el peligro de desaparecer y la corrosión puede desencadenarse. Por otra parte, la carbonatación también es un problema que actualmente esta afectando a muchas estructuras en nuestro país, por esa diversidad de climas que poseemos, aunque en menor escala que el problema con los cloruros, pero se tienen dificultades similares para su predicción. Así, estos problemas tienen una relación directa con los parámetros metereoquímicos del ambiente al cual se encuentran expuestas las estructuras.

Desde el punto de vista de la corrosión de las varillas se ha propuesto un modelo simple, se está intentando definir todos los parámetros que llevarían a poder calcular previamente la vida en servicio o la durabilidad de una determinada estructura en condiciones de servicio con un coeficiente de seguridad suficiente. Esto en conjunto con los modelos que se definirán en el proyecto y los resultados de la evaluación físico-química y electroquímica de las diferentes probetas expuestas, permitirán definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema. Este proyecto es la punta de lanza que ayudará a estar a la vanguardia en este rubro de durabilidad de concreto que, en el ámbito mundial, ha estado desarrollándose de una manera continua.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Generales:

Correlacionar la durabilidad del concreto con las características del medio ambiente.

Estimar los umbrales de cloruros que causan corrosión de la armadura de acuerdo a los climas involucrados.

Proponer los modelos adecuados para predicción de vida útil en los ambientes de estudio.

Específicos:

1. Establecer criterios basándose en ensayos acelerados que orienten el diseño de obras en concreto durables.
2. Elaborar una guía orientativa con criterios mínimos unificados de durabilidad sobre los aspectos necesarios para tomar en cuenta el diseño y la construcción de estructuras de Concreto.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Los concretos estudiados fueron fabricados tomando en cuenta las especificaciones que se dan a continuación:

- 1) Tipo de Cemento: Portland I,
- 2) agregado triturado de 19 mm (grueso),
- 3) Arena cuarzosa,
- 4) Relación a/c: 0.45 y 0.65,
- 5) Adición de plastificante 0.3% vs cemento (tipo Plastiment VZ de Sika o similar),
- 6) Asentamiento 10 más o menos 1.0 cm.,
- 7) Encofrado en madera resinosa, 8) Curado bajo agua por 7 días,
- 9) Se prepararon 6 vigas de concreto con armadura (tres con relación a/c = 0.45 y tres con relación a/c = 0.65).

Preparación de las probetas

Para cada estación fueron preparados 12 vigas de concreto de 15 x 15 x 30 cm, de las cuales 6 eran de concreto simple y los otros 6 de concreto reforzado con 6 varillas de acero del # 3 (9.5 mm de diámetro). Las varillas fueron colocadas dentro de las vigas, ensayando 3 espesores de recubrimiento de concreto: 15, 20 y 30 mm. La Figura 1 muestra la geometría de las probetas del proyecto y la Figura 2 una fotografía de la estación del Proyecto Duración en el Puerto de Tampico Tamaulipas. Las probetas de

concreto simple son utilizadas para ensayos físico-químicos como frente de carbonatación, perfiles de concentración de cloruros y resistividad eléctrica en condiciones de saturación. Los prismas de concreto reforzado son usados para pruebas electroquímicas como potencial de corrosión (E_{corr}), velocidad de corrosión (i_{corr}) y resistividad aparente del concreto (r).

Pruebas de parámetros ambientales

La evaluación de las condiciones ambientales y climatológicas de cada sitio de exposición durante el período de prueba se basa en la metodología establecida por la norma ISO 9233 (1992) para clasificación de la agresividad de las atmósferas. Los parámetros más importantes que se registraron en el proyecto son la humedad ambiental, el tiempo de humectación (TOW), la concentración de cloruro y sulfatos, velocidad y dirección del viento, precipitación pluvial, temperatura y concentración de CO₂. Esta evaluación química y meteorológica de los sitios de exposición fue realizada cada mes.

Pruebas químicas a los prismas de concreto simple

Cada año se evalúan las probetas de concreto simple para determinar cualquier alteración química producto de la interacción con el medio ambiente. El procedimiento consiste en cortar cada año una rebanada de 5 cm de espesor de la viga de concreto simple, en seco, con una máquina diseñada ex profeso. La Figura 3 muestra un esquema del corte y del destino de cada parte de la rebanada. La cara en donde se corta la rebanada es protegida con epoxy. El frente de carbonatación es medido usando un indicador a base de fenolftaleína descrito por DURAR (1997). El análisis de cloruro se hace a partir de

la muestra obtenida de dos testigos de 2.5 cm de diámetro cada uno (ver Figura 3), localizados a 3 cm del borde inferior de la rebanada. Los testigos obtenidos para cloruros son rebanados, triturados y pulverizados para obtener los cloruros libres de acuerdo a DURAR (1997).

Pruebas electroquímicas de corrosión

La evaluación de parámetros electroquímicos Ecorr, icorr y r es determinada mensualmente. La icorr fue medida usando la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal (Rp) de acuerdo a FELIU et al. (1988) y a DURAR (1997). Los especímenes fueron posicionados en la estación con una cara hacia los vientos predominantes. La evaluación electroquímica se hizo en ambas caras. La cara del colado de las probetas, es decir la cara más porosa, siempre fue posicionada hacia abajo para evitar un ingreso preferencial de los agentes agresivos del ambiente.

RESULTADOS

Potencial de Media Celda (Potenciales de Corrosión)

El análisis de los resultados obtenidos de potencial de corrosión en cada una de las vigas en estudio, se analiza de acuerdo

Potencial de Media Celda (mV)
Riesgo de Daño
< -200
10 % de probabilidad de corrosión
-200 a -350
Cierta incertidumbre
> -350
90 % de probabilidad de corrosión

TABLA 1. Interpretación de resultados norma ASTM C876-94.

a los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-876-94, ver tabla 1. Donde se establece los criterios de riesgo de daño o que se este presentando el fenómeno de corrosión.

Velocidad de Corrosión

El análisis de los resultados de icorr obtenidos de cada una de las vigas en estudio, se realiza de acuerdo a la referencia internacional DURAR (1997), ver tabla 2.

COMENTARIOS FINALES

A través de los potenciales de corrosión, se puede establecer termodinámicamente si una estructura de concreto reforzado, esta presentando problemas de corrosión, esto es, únicamente nos proporciona la probabilidad de que haya o no corrosión, y en ningún caso se puede establecer con los potenciales de co-

icorr (mA/cm2)
Nivel de Corrosión
< 0.1
Despreciable
0.1-0.5
Moderado
0.5-1
Elevada
>1
Muy elevada

TABLA 2. Clasificación de icorr en términos de vida útil (DURAR).

rosión, el nivel o velocidad de corrosión.

Mediante la intensidad de corrosión (icorr), es posible conocer con que rapidez o velocidad se esta degradando la varilla de refuerzo, y dependiendo del nivel de corrosión encontrada se puede establecer qué estructuras requieren una intervención de reparación a priori.

Los parámetros ambientales influyen directamente en el comportamiento electroquímico de las estructuras de concreto. Por ejemplo, a una humedad relativa (HR) alta, los potenciales de corrosión tienden a ser más activos, y cuando la humedad relativa (HR) es baja estos potenciales son más nobles. Y en contraparte, Se observó que a medida que la humedad relativa disminuye la intensidad de corrosión es baja y cuando la humedad es alta la intensidad de corrosión se incrementa. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de sus Instituciones para realizar las distintas fases de este proyecto, a el Programa de Mejoramiento al Profesorado PROMEP de la Secretaria de Educación Publica SEP.

REFERENCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, (1991), ASTM C 876-91: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. ASTM, Philadelphia, USA.
- Andrade C. Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección, Vol XV. No. 4, 1984.
- Andrade C. Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras, sept. 1988, CSIC, Madrid, España.
- Andrade, C. "Calculation of Chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements". Cement and Concrete Research, 23, 724-742 (1993).
- Andrade, C., Sanjuán, M.A., Escudero, A. and Río, O. "Calculation of chloride diffusivity in concrete from migration experiments in non-steady-state conditions". Cement and Concrete Research, 24, 1214-1228 (1994).
- Lewis D.A. and Copesnhagen W. J. Industrial Chemist. Vol. 11 No. 10, 1957.
- Oladis Trocónis de Rincón y Miembros de la Red DURAR."Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado". CYTED. ISBN 980-296-541-3 Maracaibo, Venezuela. 1997(1era. Edición). 1998, 2da. Edición.
- Felio S., González J. A., Andrade C., Felio V.; "On site determination of the polarization resistance in a reinforced concrete beam" Corrosion, 44 (10), 761-765, 1988.
- Castro P., Maldonado L., De Coss R.; "Study of chloride diffusion as a corrosive agent in reinforced concrete for a tropical marine environment", Corrosion Science, 35 (5-8), 1557-1562, 1993.