



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



PROPUESTA DE NORMA MEXICANA PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN

E.E. Maldonado-Bandala^{1*}, P. Castro-Borges¹, E.I. Moreno²,

1 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Mérida. Departamento de Física Aplicada. Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

2 Universidad Autónoma de Yucatán – Facultad de Ingeniería FI-UADY. Av. Industrias no Contaminantes Apdo. Postal 150. Mérida, Yucatán, México

* emaldonado@mda.cinvestav.mx

RESUMEN

Este documento explica la importancia que tiene el crear una normatividad preparada y dirigida a la industria de la construcción, especialmente a la durabilidad del concreto reforzado, adecuada para el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C. (ONNCCE), dentro de las Normas Mexicanas (NMX). La norma y método para la medición de velocidad de corrosión, formará parte de un conjunto de normas, que pretenden explicar la manera apropiada de realizar monitoreos para la evaluación, prevención y programación de actividades de mantenimiento en estructuras de concreto reforzado (ECR's), tratando de acercarse a la comunidad industrial de nuestro país, y así mismo ayudar a dar soluciones para hacer frente al problema de la corrosión que tanto aqueja a la infraestructura nacional.

Palabras claves: Normatividad, velocidad de corrosión, estructuras de concreto reforzado.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



ANTECEDENTES

El concreto reforzado (CR) es el material de construcción de mayor consumo a nivel mundial, por su facilidad de adquisición, economía, trabajabilidad, altas resistencias a sollicitaciones mecánicas y además por la amplia adecuación en cualquier clima y terreno. Es por esta razón que en nuestro país se ha empleado en la construcción de una gran cantidad de estructuras públicas y particulares, como las que integran la infraestructura vial y de transporte, en las que se pueden ejemplificar puentes, pasos a desnivel, túneles, muelles, etc. Sin embargo, la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado (ECR's) es limitada por la presencia de condiciones físicas y químicas severas, como la exposición de agentes agresivos (CO_2 , SO_4^{2-} , Cl^-) [1-5], causando degradación por corrosión en el acero de refuerzo. La corrosión del acero de refuerzo es uno de los principales problemas por los cuales se disminuyen las capacidades estructurales y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural, impidiendo cumplir con la vida de servicio de diseño.

En 1992 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), implementó un programa llamado Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), el cual permitió contar con un inventario de la totalidad de los puentes de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyeron las características, ubicación y estado físico. Ello permitió efectuar una priorización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con planes de lograr una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo a la seguridad de los usuarios.

Para 1996 en México se contaba con 40,000 Km. de red federal de carreteras, donde existían aproximadamente 5,000 puentes con una longitud del orden de 200 Km., que representan una inversión inicial superior a los 8 billones de pesos. Un nivel mínimo recomendable de inversión para la conservación de estructuras viales es el 2% de la inversión inicial. Lo que conduce a definir un presupuesto anual de 160 mil millones de pesos como mínimo necesario para la conservación de esas obras. Desafortunadamente, por muchos años los presupuestos asignados fueron nulos o mucho menores a la cifra señalada, lo que ha propiciado una grave acumulación del deterioro.

En una evaluación reciente de los puentes de la red federal, se estimó que, aproximadamente en 3,000 de ellos (el 60% del total), se requerían acciones importantes de rehabilitación, de los cuales 270 presentaban daños provocados por corrosión. Esto se ve reflejado en pérdidas económicas considerables, las que se pueden prevenir con una inspección correcta y oportuna de las ECR's, mediante técnicas adecuadas y personal operativo calificado, que brinden resultados con niveles de confiabilidad y veracidad elevados.

Por tal motivo se propone realizar un método estandarizado, que se base en obtener niveles de servicio actuales de la estructura y sugiera periodos de intervención (inspección, evaluación, mantenimiento). Este método no sólo estudiará el tipo de estructura, sino también el proceso de corrosión, a través de técnicas termodinámicas (Potenciales de Corrosión) y electroquímicas (Resistencia a la Polarización Lineal, R_p). El método será especialmente diseñado para



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



instituciones públicas o privadas, que posean una cantidad importante de estructuras y cuyo primer nivel sea el establecimiento de jerarquía de intervención en función de unos presupuestos siempre limitados.

La velocidad de corrosión es un parámetro que indica la cantidad de metal que se transforma en óxido por unidad de superficie de la barra de acero y tiempo. La cantidad generada de óxidos está directamente relacionada con la fisuración del recubrimiento de concreto y la pérdida de adherencia, mientras que la reducción de la sección transversal del acero afecta a la capacidad de la estructura. Por tanto, la velocidad de corrosión es un identificador de la velocidad de descenso de la capacidad portante de la estructura

Existen normas internacionales para realizar esta medición, como la ASTM G 59 (Método Estándar para la Prueba de Resistencia a la Polarización Potenciodinámica) [6], donde se describe de manera detallada el procedimiento para realizar la prueba. Sin embargo, esta norma no describe las recomendaciones y adecuaciones que se deben de hacer en el sistema acero-concreto, tampoco los aparatos y limitaciones, para hacer las mediciones in-situ.

El conocimiento de las limitaciones, ventajas y bondades de la R_p , resultará en un uso correcto y una clara interpretación de los resultados que se obtengan al aplicar esta técnica en sistemas simples y complejos. En la medicación de la velocidad de corrosión en ECR's existen factores externos que pueden causar errores para la interpretación precisa de los datos, como corrientes erráticas o vagabundas, vibraciones, cambios de temperatura, secciones heterogéneas en la superficie o matriz del concreto, humedad, etc, que sólo podrían ser controladas en laboratorio y mediante uso de accesorios sofisticados como *cajas de Faraday*. La medición de la R_p en laboratorio e in-situ se maneja de diferente manera, donde interviene el equipo, accesorios y metodología diferentes para cada caso.

En la preforma de velocidad de corrosión se darán detalles para poder realizar la medición en concreto reforzado. Se explicaran los requerimientos mínimos con que deben cumplir los equipos comerciales para su óptimo funcionamiento; la manera de seleccionar los electrodos de referencia que más convengan, la necesidad de emplear anillos de guarda para el confinamiento y definición de un área determinada de polarización en el acero de refuerzo, así como el cálculo que se debe de realizar para la estimación de niveles de corrosión (despreciables, moderados y muy altos).

PRIORIDAD DE LA NORMA MEXICANA PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

El nivel de la certificación y normalización en México es incipiente. En algunos sectores industriales quizá con más presencia que en otros. Sin embargo, sí ha tenido una velocidad importante a partir de la última década, cuando la apertura comercial, la sociedad y los



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



compradores, exigen cada vez más que se les demuestre que sus servicios son de calidad o que se cumple con una regulación.

Por otro lado, existe la Ley de Adquisiciones y Servicios de Obra Pública y Servicios relacionados con las mismas, la cual indica con claridad que las dependencias federales deben tomar en consideración el cumplimiento de las normas obligatorias (NOM), de las normas mexicanas (NMX), y en su defecto las normas internacionales, en sus licitaciones y convocatorias.

La necesidad de homologar los procedimientos es una necesidad actual, para poder ser competitivos a nivel nacional e internacional.

Existe documentación nacional publicada en la Normativa Mexicana, NMX-C-403-ONNCCE-1999, con el título de “Concreto Hidráulico para su uso Estructural” [7] donde el apéndice informativo “J” describe brevemente aspectos de Durabilidad, y el subíndice “J3” menciona algunos detalles sobre protección del acero de refuerzo contra la corrosión, dando información con poca profundidad. Esta normativa no presenta métodos de evaluación, como la velocidad de corrosión.

La Pre-norma Mexicana para la Medición de la velocidad de Corrosión en Estructuras de concreto reforzado, pretende dar detalles y aspectos tecnológicos de una manera sencilla, que conduzca correctamente al operador durante la realización de mediciones in-situ y en laboratorio, obteniendo resultados confiables y de fácil interpretación.

RECURSOS DISPONIBLES

Actualmente nuestro país cuenta con diversos grupos los cuales conforman una gran comunidad científica dedicada a realizar investigación sobre la durabilidad del concreto reforzado, incluyendo especialistas en corrosión, preocupados en difundir y dar soluciones a los problemas que atañen a la población por el deterioro de las estructura; aunado a que México ha ingresado a los tratados de libre comercio y en la globalización internacional, principalmente, lo cual exige que los productos y servicios cumplan con estándares mínimos, relacionados con la calidad y seguridad. Se propone realizar la primer normativa sobre Durabilidad de Estructuras de Concreto Reforzado, donde se pretende incluir la Propuesta de Norma Mexicana para la Medición de Velocidad de Corrosión, de esta manera se podrá dar un acercamiento de la técnica a la población en general, ayudando a prevenir problemas mediante inspecciones oportunas.

Existe una cantidad muy grande de información generada por los diferentes grupos de trabajo nacionales, con datos reales de concretos reforzados en diferentes climas, con los cuales se podría comenzar a trabajar para llegar a términos adecuados.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



DESARROLLO DE PRE-NORMA

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

METODO PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

-OBJETIVO

-CAMPO DE APLICACIÓN

Se dará una explicación amplia de los usos de la técnica de R_p para realizar la evaluación del daño por corrosión en las ECRs, así como sus diferentes aplicaciones en laboratorio y campo.

-RESPONSABILIDAD

-DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Se complementará la norma con las normas mexicanas vigentes o propuestas

Preparación de superficies

Potencial de corrosión (E_{corr})

Potenciostatos

Corrosímetros de campo (Gecorr)

Electrodos de referencia

-DEFINICIÓN

-APARATOS Y EQUIPO DE PRUEBA

Potenciostatos: características mínimas que debe de cumplir para realizar la prueba, rango de medición de potencia, rango de medición de corriente, etc.

Corrosímetro de campo (Gecorr)

Electrodo de referencia: Electrodo saturado de calomel, electrodo de cobre-sulfato de cobre. Ventajas y desventajas

Agente humectante: agua

-ESPECIFICACIONES

GENERALIDADES

Donde se hablará sobre el fundamento básico del daño en las estructuras de concreto reforzado (ECR) causado por corrosión, y la ecuación de Stern y Geary, mediante la técnica de R_p

-MÉTODO DE PRUEBA

Se describirán los pasos a seguir para realizar la prueba correspondientes a laboratorio y a campo



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



En Laboratorio:

- Realizar la conexión de los tres electrodos (ET, ER, EA) al potenciostato y colocar esquema
- Realizar la limpieza y preparación de la superficie de acuerdo a la norma (propuesta)
- Humectar debidamente la zona a evaluar
- Registrar el potencial de corrosión de acuerdo a la norma (propuesta)
- Aplicar un potencial más negativo que el potencial registrado.
- Aplicar potencial de barrido
- Terminar el barrido cuando se alcanza un valor de 10 mV más positivo que el potencial de corrosión.
- Graficar la curva de polarización

En campo:

(De acuerdo al manual del equipo Gecorr, además de las indicaciones de acuerdo a la experiencia del grupo de trabajo con el equipo)

-VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Se trata de una técnica no destructiva pues emplea bajas perturbaciones.
- Proporciona la velocidad de corrosión instantánea.
- No hace falta instrumentación muy sofisticada pues solamente se necesita un potenciostato y, en consecuencia, es una técnica económica.
- Para aplicar la metodología no hace falta personal altamente especializado.

Desventajas o limitaciones:

- Es necesario que el potencial sea estable.
- Caída óhmica en sistemas altamente resistivos, lo que la hace poco recomendable.

-CONSIDERACIONES DE COMPENSACIÓN DE LA IR, PROVOCADA POR LA ALTA RESISTIVIDAD DEL CONCRETO.

Explicar por que se hace necesario realizar esta compensación en el sistema acero concreto y como lo realiza el potenciostato y el Gecorr.

-CONSIDERAR LA NO LINEALIDAD DE LA CURVA OBTENIDA

En los casos que en laboratorio no se obtenga la linealidad teórica de la curva dar recomendaciones para realizar el cálculo.

-CRITERIO DE EVALUACIÓN.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Método de cálculo, para obtener el nivel de corrosión actual que cuenta la estructura, o espécimen de prueba (despreciable, moderado, alto muy alto), y así saber si se hace oportuno programar una inspección futura o intervención de reparación.

-APENDICES

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo parcial de CONACYT mediante los proyectos: Ciencia Básica 57420 y CIAM 54826

REFERENCIAS

1. J. Zuquan, S. Wei, Z. Yunsheng, J. Jinyang, L. Jianzhong “Interaction between sulfate and chloride solution attack of concretes with and without fly ash” *Cement and Concrete Research*, 37 No.8 (2007) p.p. 1223-1232
2. Ki Yong Ann, Ha-Won Song “Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete” *Corrosion Science*, 49, No.11(2007) p.p. 4113-4133
3. F. Barberon, V. Baroghel-Bouny, H. Zanni, B. Bresson, J. d'Espinose de la Caillerie, L. Malosse, Z. Gan “Interactions between chloride and cement-paste materials” *Magnetic Resonance Imaging*, 23, No. 2 (2005) p.p.267-272
4. In-Seok Yoon, Oğuzhan Çopuroğlu, Ki-Bong Park “Effect of global climatic change on carbonation progress of concrete” *Atmospheric Environment*, 41, No. 34 (2007) p.p. 7274-7285
5. F. Houst, H. Wittmann “Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO₂ and O₂ through hydrated cement paste” *Cement and Concrete Research*, 24, No. 6, (1994) p.p. 1165-1176
6. ASTM G 59-97 “Standard Test for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements” *American Society for Testing Materials Annual, Book of ASTM Standards*, Vol. 03.02 West Conshohocken USA (1997)
7. NMX-C-403-ONNCCE-1999 “Concreto Hidráulico para su uso Estructural” *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. México D.F.* (1999)