

RESEÑA

CARACTERIZACIÓN DE LA CORROSIÓN EN EL ACERO DE REFUERZO DEL HORMIGÓN ARMADO EN PRESENCIA DE IONES CLORURO.

Ing. Abel Castañeda Valdés.

Investigador Agregado.

Grupo de Protección de Materiales, Departamento de Investigación y Desarrollo, Dirección de Química,
Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y Calle 158, Playa, Apartado Postal 6414,
Ciudad de La Habana, Cuba.

Julio de 2007.

TRABAJO PRESENTADO EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES.

El deterioro de las estructuras de hormigón armado debido a la corrosión en el acero de refuerzo es un problema a nivel mundial. En un principio, se pensaba que este era un material de una gran durabilidad, pero con el decursar del tiempo comenzaron a surgir problemas que mostraron la necesidad de protegerlo. Dicho comportamiento se encuentra estrechamente relacionado con la interacción de sus componentes con el medio de exposición, lo que provoca que en numerosas ocasiones el hormigón experimente una degradación apreciable.

Cuba es un archipiélago con un clima que se caracteriza por presentar más de la mitad del año una temperatura media superior a 25 °C y una humedad relativa media de alrededor del 80 %. Además, dada su configuración y ubicación geográfica, la influencia del aerosol marino llega a casi todo el territorio nacional. Estas condiciones favorecen notablemente el deterioro de las estructuras, no solo de hormigón armado, sino de cualquier otro material metálico. Se ha determinado que la zona de mayor agresividad corrosiva es la franja de territorio ubicada en la vecindad de la costa norte. En zonas de Ciudad de La Habana situadas a orillas de esta costa, se encuentra un gran número de estructuras de hormigón armado dañadas por el fenómeno de la corrosión.

Los elementos antes expuestos justifican plenamente la necesidad de desarrollar investigaciones destinadas a disminuir el deterioro de las estructuras de hormigón armado debido al fenómeno de la corrosión en el acero de refuerzo, ocasionado por la acción de los iones cloruro.

En su introducción, este trabajo se planteó como situación problemática la evaluación de la corrosión en el acero de refuerzo del hormigón armado mediante técnicas electroquímicas.

La solución del problema práctico condujo a trazar como problema científico, la determinación de la influencia de las variables condición de exposición y relación agua/cemento del hormigón armado, en la corrosión del acero de refuerzo en presencia de iones cloruro mediante diferentes técnicas electroquímicas.

De manera general, para brindar posibles respuestas a ambos problemas, se trazó como objetivo de la investigación: evaluar mediante técnicas electroquímicas y convencionales la corrosión en el acero de refuerzo bajo la influencia de iones cloruro, con el empleo de diferentes relaciones agua/cemento y condiciones de exposición. Como objetivos específicos se fijaron: determinar qué técnicas electroquímicas serían las más representativas para caracterizar el proceso de corrosión que en esas condiciones tiene lugar y comparar estadísticamente los resultados obtenidos con las distintas técnicas electroquímicas utilizadas.

La posible solución de las situaciones problemáticas permitió formular las hipótesis siguientes: las técnicas electroquímicas permiten caracterizar el proceso de corrosión en el acero de refuerzo del hormigón armado bajo la influencia de los iones cloruro. La diferencia que existe entre los mecanismos de penetración de los iones cloruro en hormigones expuestos a la intemperie y en aquellos inmersos en agua de mar, permite establecer diferencias en la velocidad de corrosión en los aceros de refuerzo.

La metodología experimental partió de la dosificación de un conjunto de probetas [dos por cada relación agua/cemento utilizada (0,4, 0,5 y 0,6)] con dos aceros de refuerzo de 12 mm de diámetro. Se tomó un área libre de 78,6 cm² para las mediciones electroquímicas. Se utilizó un espesor de 2 cm del recubrimiento de hormigón sobre los refuerzos. El tiempo de curado fue de 28 d bajo inmersión en agua a 23 °C. Se utilizó cemento P-350, un agregado grueso de 19 mm y arena natural de río como agregado fino.

La influencia de los iones cloruro se obtuvo a partir de la aplicación de una niebla salina a la intemperie obtenida con disolución de cloruro de sodio 3 % con el propósito de simular el aerosol marino y las condiciones de inmersión, se lograron empleando la misma disolución para simular el agua de mar, durante 32 meses de exposición.

Las técnicas electroquímicas utilizadas en la caracterización de la corrosión y la determinación de la velocidad electroquímica de corrosión en los aceros de refuerzo fueron: de corriente directa (curvas de polarización y resistencia de polarización) y de corriente alterna (espectroscopia de impedancia electroquímica y armónicos de corriente alterna). Se empleó además, como

técnica no perturbativa, el análisis del ruido electroquímico en el dominio del tiempo y la frecuencia. Esta técnica permite determinar la variable índice de picadura, la cual permite determinar de manera cuantitativa a través de su intervalo de clasificación, el tipo de corrosión electroquímica que tiene lugar de acuerdo con su mecanismo. La velocidad de corrosión determinada por el método directo de la pérdida de espesor en función del tiempo fue tomada como referencia. Este resultado junto a la aplicación de un diseño de experimentos factorial 2^3 , permitió determinar cuál de los dos factores referidos (la relación agua/cemento y el medio de exposición), fue el que más influyó en la corrosión del acero de refuerzo, así como cuál de las técnicas electroquímicas utilizadas fue la más representativa. Los niveles escogidos para la aplicación del diseño fueron las tres relaciones agua/cemento empleadas en la dosificación de las probetas.

Los resultados permitieron concluir que la espectroscopia de impedancia electroquímica y el análisis del ruido electroquímico en el dominio de la frecuencia son las técnicas electroquímicas que presentaron menos diferencias significativas en comparación con la medida directa de la velocidad de corrosión, las cuales mediante diferentes variables electroquímicas (resistencia electrolítica de la capa porosa formada en la interfaz acero/hormigón y de la disolución en los poros del hormigón) y la obtención del circuito modelo presente en esa interfaz, permitieron una mayor caracterización de la corrosión en el acero de refuerzo bajo la influencia de los iones cloruro. Por otra parte, el análisis del ruido electroquímico en el dominio de la frecuencia confirmó también en el dominio del tiempo, a partir de la determinación del índice de picadura que la corrosión que tiene lugar en los aceros de refuerzo es del tipo localizada, lo cual fue oportunamente confirmado a través de su observación visual.

Se confirmó además que el factor que más influye en la corrosión del acero de refuerzo, en presencia de iones cloruro es la relación agua/cemento, así como que, la condición de exposición a la intemperie incide marcadamente en que se produzcan mayores pérdidas por corrosión en el acero de refuerzo, en comparación con las condiciones de inmersión, lo cual debe estar relacionado con la combinación de los ciclos de humectación y secado en el interior del hormigón como resultado del proceso de cristalización de las sales presentes (cloruro de sodio) hasta 1 cm de profundidad, lo que propicia consecuentemente una mayor penetración de los agentes agresivos (Cl^- , O_2 , H_2O).

Entre las recomendaciones, se propone el desarrollo de una metodología no destructiva para el análisis prospectivo de la corrosión del acero de refuerzo en condiciones de explotación, basada en el uso de la espectroscopia de impedancia y en el análisis del ruido electroquímico, con el propósito de que posibilite planificar oportuna y convenientemente la rehabilitación de las estructuras de hormigón armado que se encuentren en explotación en ambientes de agresividad corrosiva elevada y en presencia de iones cloruro. Asimismo, se aconseja utilizar una relación agua/cemento equivalente a 0,4 en la dosificación del hormigón armado para la construcción de estructuras que vayan a ser expuestas bajo tales condiciones ambientales.

En el desarrollo del trabajo se consultaron 72 referencias bibliográficas. De ellas, el 72,3 % de los cinco últimos años.

Los resultados comprendidos en la tesis dieron origen a seis publicaciones [tres nacionales (Revista CENIC Ciencias Químicas) y tres en revistas extranjeras de alto factor de impacto (Revista Materiales de Construcción del IETCC, España; Corrosion Science, Inglaterra y Journal Applied Electrochemistry, Holanda)].

Asimismo, han sido abordados en 20 trabajos presentados en importantes actividades científicas internacionales (Congresos Latinoamericanos de Patologías de la Construcción (COMPAT), Mérida, México, 2003 y Quito, Ecuador, 2007; Congreso Latinoamericano de Corrosión, Santiago de Chile, 2003; II Congreso Internacional de Materiales, VII Congreso Nacional de Corrosión y Protección, Bucaramanga, Colombia, 2003; International Workshop on Atmospheric Corrosion and Weathering Steels, Cartagena de Indias, Colombia, 2004 y XIV Congreso del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, 2005; Metánica 2003, 2004 y 2007 y IX Encuentro Iberoamericano de Materiales y Metalurgia (IBEROMET 2006), Ciudad de La Habana, Cuba.

Además, han permitido la defensa de seis tesis de diploma universitario, de una tesis de maestría y constituyen el tema de una investigación en curso en opción del Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

Y por otro lado, han estado vinculados a tres proyectos de investigación financiados por el Programa Científico-Técnico Ramal (Desarrollo e introducción de tecnologías de avanzada en el campo de los hormigones y los morteros) de la Dirección de Desarrollo Tecnológico, Ministerio de la Construcción de Cuba, cuyos avales han confirmado el alto grado de aplicabilidad de que han sido objeto en todo el país. Todo lo anterior, los hizo acreedores de la Distinción individual (Sello) "Forjadores del Futuro" que otorgan las Brigadas Técnicas Juveniles de Cuba.

Actualmente, se insertan en investigaciones que se acometen en ese campo en Ciudad de La Habana, las cuales permitirán definir las especificaciones que garanticen la durabilidad de las construcciones de hormigón armado que perspectivamente se ejecuten en Ciudad de La Habana y otras regiones del país.