

Estudio de Aditivos Inhibidores de Corrosión para Estructuras de Hormigón Armado. Análisis de Potencial de Corrosión

Autores: **A. María Carvajal¹, Francisca Guzmán²**

1. Docente Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.

2. Constructora Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.

emails: acarvajg@uc.cl, fguzmanf@uc.cl

Fecha de recepción : 03/10/05

Fecha de aceptación : 20/10/05

Study of Corrosion Inhibiting Admixtures for Steel Reinforced Concrete Corrosion Potential Analysis

Resumen

El presente trabajo presenta un análisis sobre la efectividad de dos aditivos inhibidores de corrosión usados en hormigón: nitrito de calcio y microsilíce. Para ello se fabricaron 96 probetas cúbicas (15 cm de arista) en hormigón de cemento portland puzolánico, con una relación a/c 0,55; para lograr mayor porosidad relativa, con cuatro barras de acero en el interior para realizar los distintos análisis.

Cada hormigón fue sometido a ensayos de penetración acelerada de cloruros, en una cámara dispuesta para tal fin. Las mediciones de potencial de corrosión permitieron concluir que el nitrito de calcio fue el aditivo que tuvo el mejor comportamiento, con valores de potencial en el rango de pasividad de las barras de acero, en cambio el comportamiento de la microsilíce fue similar al de un hormigón sin aditivos después del tercer ciclo de penetración acelerada de cloruros.

Palabras clave: Durabilidad, hormigón armado, inhibidores de corrosión.

Abstract

This paper presents an analysis on the effectiveness of two inhibiting additives of corrosion in concrete: calcium nitrite and microsilica. Ninety six cubic specimens were made (15 cm of edge) with Pozzolanic Portland cement, and w/c 0.55, to obtain greater relative porosity, with four steel bars in the interior.

The concrete specimens were investigated in an accelerated chloride penetration system. Measurements of corrosion potential allowed analyzing the risk of corrosion of the bars. Calcium nitrite was the additive of best behavior, with potential values of the steel bars in the passivity zone. The behavior of the microsilica was similar to concrete without additives after the third cycle of accelerated chloride penetration.

Key words: Durability, armed concrete, corrosion inhibitors.

INTRODUCCIÓN

La durabilidad del hormigón armado está directamente relacionada con la corrosión de sus armaduras. El fenómeno de corrosión de las armaduras tiene tres grandes efectos en el hormigón armado: fisuración y desprendimiento del hormigón por

aumento de volumen inicial del acero, pérdida de sección efectiva de la armadura y, por último, pérdida de adherencia acero-hormigón, necesaria para una buena transmisión de cargas (De la Peña B., 2000). En algunos casos la corrosión puede ser lo suficientemente severa para originar el colapso de las estructuras.

El ataque de las sales provenientes del mar es la causa principal del deterioro de las estructuras expuestas al ambiente marino. Los cloruros pueden estar presentes también en efluentes industriales, plantas de tratamiento de agua, o incluso, en algunos aditivos acelerantes de vieja tecnología que los contengan. Para que se

produzca corrosión es necesario que los iones cloruros avancen desde el exterior hacia el interior a través de los poros y capilares del hormigón hasta llegar al nivel de la armadura. Una vez que llegan al acero, se acumulan hasta alcanzar una concentración crítica, la cual tiene la capacidad de romper la estabilidad de la película pasiva y dar inicio al proceso de corrosión.

Los aditivos inhibidores de corrosión actúan sobre la superficie metálica anulando en ella la reacción anódica, catódica o ambas. Se utilizan como protección preventiva en estructuras de hormigón armado. La gran ventaja de estos métodos es que no necesitan mantención. Existen tres tipos de inhibidores según su mecanismo de ataque: anódico, catódico y mixto; y dos tipos según su formación química: orgánicos e inorgánicos.

Gaidis y Rosemberg mostraron que la adición de 2% de nitrito de calcio (inorgánico) en masa elevaba la concentración crítica de cloruro a niveles que eran lo suficientemente altos para inhibir la corrosión del acero.

Los inhibidores anódicos, tales como el nitrito de calcio, funcionan minimizando la reacción anódica promovida por los iones cloruro. Esta es la razón por la que la cantidad de iones nitrito presente, relativa a la cantidad de iones cloruro en la vecindad de la superficie del acero, determina si habrá de lograrse la protección contra la corrosión o no.

Se necesita investigar sobre estos temas para establecer la posibilidad de usar estos aditivos, que si bien se utilizan

en otros países exitosamente, no se ha logrado vencer las barreras de la tradición de usar mayores dosis de cemento en vez de usar estos aditivos inhibidores de corrosión.

Debido a estas inquietudes, se decidió investigar uno de ellos, el inorgánico, y confrontarlo con microsílce como aditivo, como un avance de futuros estudios sobre la acción de estos materiales en hormigones chilenos.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se analizó el efecto de dos aditivos inhibidores de corrosión sobre las variables: nivel de penetración de iones cloruro, potencial de corrosión y resistencia a compresión.

Para fabricar las probetas se utilizó disolución comercial de nitrito de calcio (30 l/m³ de hormigón) y microsílce (15% por peso de cemento), además de fabricar probetas similares sin aditivo.

El tiempo límite de exposición en cámara acelerada de penetración de iones cloruro correspondió a diez días, dividido en 5 ciclos de inmersión parcial- secado.

Se realizaron mediciones de potencial de corrosión, usando como electrodo de referencia el de Cu/CuSO₄, como también medidas de resistencia a compresión y profundidad de penetración de cloruros, después de cada ciclo de inmersión parcial-secado, para analizar la eficacia de ambos aditivos y compararlos con los resultados obtenidos de las probetas sin aditivos.

El potencial de corrosión fue medido con milivoltímetro de alta impedancia, cuyos valores fueron relacionados con rangos de riesgo de corrosión de uso internacional.

Se mantuvo fijo los factores: espesor de recubrimiento, tipo de áridos, humedad ambiental, temperatura ambiental, tipo de cemento, razón agua/cemento, dosificación del hormigón, condiciones de curado, influencia del agua, tiempo de mezclado, forma de llenado y compactación, concentración de disolución de cloruro de sodio y calidad del acero, para que no afectaran a los valores comparativos obtenidos de riesgo de corrosión, resistencia a compresión e ingreso de cloruros al hormigón.

Diseño de las probetas

Se fabricaron probetas cúbicas de 15 cm de arista con dos tipos de aditivos inhibidores de corrosión y también sin aditivo.

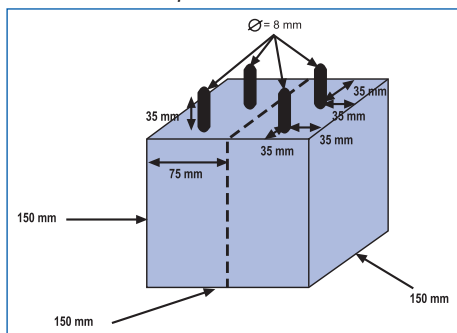
Tipos de probetas:

- 1- Sin aditivos
- 2- Microsílce + Superplastificante
- 3- Nitrito de calcio

Se utilizó una razón a/c de 0,55 para obtener un hormigón más poroso que permitiera obtener resultados a corto plazo, con tamaño máximo de árido de 20 mm y cantidad de cemento de 355 kg/m³ de hormigón.

Cada probeta contiene cuatro barras con resalte de acero tipo A 44-28 H de 8 mm de diámetro y 15 cm de longitud. Cada barra está ubicada a 3,5 cm de cada borde (Figura1).

Figura 1:
Esquema Probeta



DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las probetas fueron confeccionadas con una dosificación para una resistencia especificada de H-20 con un nivel de confianza de 95% y se utilizó un recubrimiento de 3,5 cm (Figura 1).

Las probetas se sometieron a medición de diferencia de potencial y de masa antes de cada inmersión parcial (7,5 cm de altura de probeta), en disolución acuosa de NaCl 4,27 Molar durante 24 horas y posterior secado a 30° C por otras 24 horas. Los tiempos de exposición ante cloruros fueron medidos en ciclos. Se consideraron 5 ciclos de 48 horas.

Cada una de las sesenta probetas contiene cuatro barras de acero, a las cuales

se les mide su potencial de corrosión con respecto al electrodo Cu/CuSO₄.

Es posible determinar en cuáles hay mayores posibilidades de que la corrosión se produzca en un menor tiempo, es decir, que tenga una mayor velocidad de corrosión.

Aunque los valores de potencial de corrosión solo indica probabilidades, internacionalmente se acepta que:

- Si el potencial de corrosión es mayor

Tabla 1:
Especificaciones de Cada Tipo de Muestra, Según su Tipo de Aditivo

Muestra nº	Tipo de aditivo
1	sin aditivo
2	microsilíce
3	nitrito de calcio

a -200 mV habrá un 5% de riesgo de corrosión.

- Si este potencial se ubica entre -200 y -350 mV habrá un 50% de posibilidades.

Figura 2:
Potenciales de Corrosión Promedio Versus Tiempo de Exposición

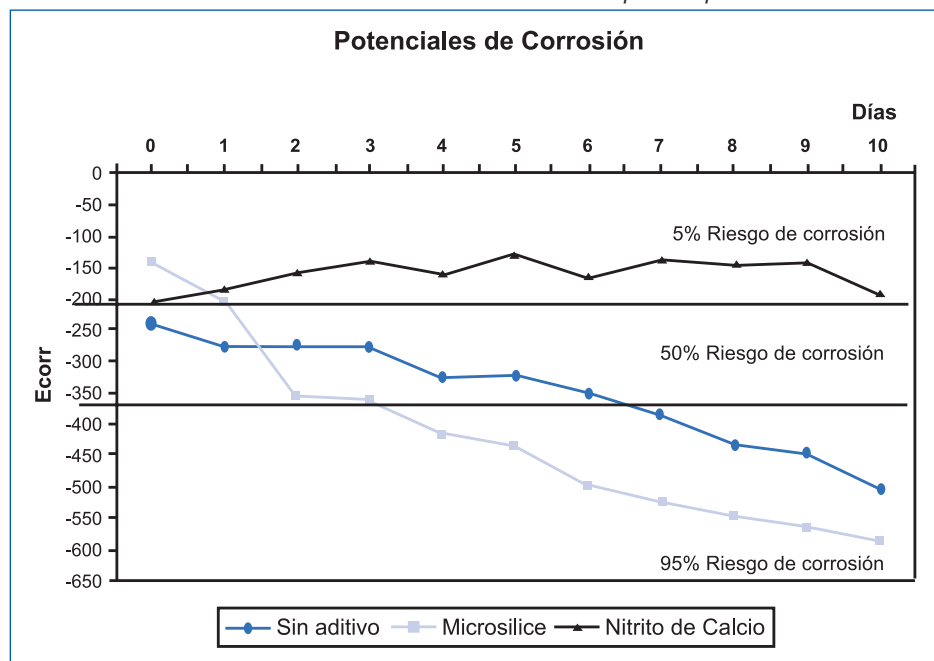


Tabla 2:
Promedio de las Medidas de Potencial de Cada Muestra

Muestra Nº	Potenciales de corrosión (mV)												
	Días												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	-240	-261	-265	-304	-272	-276	-326	-323	-352	-385	-433	-446	-504
2	-141	-195	-185	-229	-357	-361	-419	-437	-498	-523	-547	-564	-585
3	-207	-197	-182	-180	-159	-138	-159	-129	-168	-137	-145	-142	-193

- Si el potencial es menor a -350 mV la corrosión será inminente, con un 95% de posibilidades de que ocurra (Cruz M., Andrade M., 1996).

Este ensayo consta de tres tipos de muestras, cada una de ellas contiene 20 probetas con cuatro aceros cada una, las cuales son señaladas en la Tabla 1.

Para determinar la posibilidad de corrosión de las armaduras embebidas en los distintos tipos de hormigón causada por la penetración de cloruros, se midieron los potenciales de cada una de las cuatro barras de acero, para cada una de las 60 probetas, durante los días que fueron necesarios para llegar a valores de potencial de alto riesgo (10 días) y cuyo promedio se muestra en la Tabla 2.

El hormigón sin aditivos presenta una disminución constante de su potencial de corrosión respecto al tiempo en contacto con los cloruros. Luego de 5 ciclos en la cámara de penetración de cloruros, la armadura de este hormigón tiene un 95% de posibilidades de que se corroa (LATINCORR, 2003).

La microsílíce fue el aditivo que presentó inicialmente valores menos negativos ya que es probable que la absorción capilar sea una fase lenta para hormigones con este tipo de aditivo, que disminuyen la porosidad del hormigón. Luego que los cloruros logran entrar a la matriz del hormigón estos se desplazan por difusión que muestra una mayor rapidez, ya que se inicia el proceso de despasivación de las armaduras desde el tercer ciclo, según lo indican los valores de potencial de corrosión, y que luego disminuyen rápidamente

hasta ser los más negativos, con un 95% de probabilidades de que en su armadura se produzca corrosión (Figueredo E. *et al.*, 1999).

Por último, es posible ver que el nitrito de calcio es el aditivo que más ayuda a prevenir la corrosión, ya que después de estar 5 ciclos en la cámara de penetración acelerada de cloruros solo presenta un 5% de posibilidades de que en su armadura se produzca corrosión. Este hormigón mantuvo casi constantes sus potenciales después de haber estado en contacto con cloruros, con esto se comprueba que los nitritos ayudan a mantener, reparar y fortalecer la capa pasivada de las armaduras.

CONCLUSIONES

De los resultados experimentales se pudo establecer que la microsílíce, siendo un material más fino que el cemento, actúa como una barrera inicial de entrada de agresivos, debido a que su acción está relacionada con la disminución de la porosidad del hormigón y, por lo tanto, permite disminuir su permeabilidad.

Esto es conocido, pero, sin embargo, pudo notarse que después de un ciclo inicial, la difusión de los iones cloruro fue lo suficientemente alta como para lograr difundir hacia niveles interiores del hormigón.

En cuanto al segundo aditivo, el nitrito de calcio, que se ofrece como una alternativa para evitar la corrosión del acero actuando como una barrera sobre este y, por consiguiente, es un tipo de sustancia iónica que también tiene capacidad

de difundir, ya que se espera que llegue hasta el acero, se pudo comprobar efectivamente que el nitrito de calcio actúa como barrera sobre el acero, debido a que los potenciales de corrosión correspondientes presentaron rangos de mínimo riesgo durante todos los ciclos realizados para esta investigación.

Según esto, se puede concluir que el nitrito de calcio cumple con su función a pesar de existir al interior del hormigón iones cloruro para competir por difusión. Se pudo determinar que este hormigón tenía altas concentraciones de cloruro en su interior mediante el ensayo de penetración de cloruros. Por otra parte, si el acero se mantiene con valores de potencial de corrosión no riesgosos, implica que el nitrito de calcio actuó impidiendo que se debilitara la capa pasivadora formada por óxido férrico, la cual es adherente y estable en la superficie del acero.

Con respecto a los potenciales de corrosión, las mediciones señalaron que el nitrito de calcio es un aditivo inhibidor que previene e inhibe la corrosión, ya que según sus valores de potencial de corrosión, las armaduras de las probetas tenían un 5% de posibilidades de corroerse: es el mínimo riesgo.

Las probetas con microsílíce, por el contrario, tuvieron muy buenas medidas iniciales, sin embargo, al pasar los ciclos, los potenciales de corrosión se fueron haciendo más negativos, coincidiendo con las mayores profundidades de penetración de cloruros, hasta llegar a niveles de potencial de corrosión tales, que correspondían a un 95% de posibilidades de corrosión en sus armaduras, según

los rangos que se manejan internacionalmente.

En las probetas de hormigón sin aditivos, los potenciales de corrosión fueron siendo riesgosos a medida que pasaban los ciclos hasta terminar con valores de potencial de corrosión con el mismo 95% de posibilidades de riesgo de corrosión activa que el hormigón con microsilíce, estos valores fueron menos negativos, es decir, resultó menos riesgoso el hormigón sin aditivos que el con microsilíce. Este hecho podría estar relacionado con la capilaridad y la capacidad de difusión de los cloruros por capilares más finos, como es el caso de los hormigones con microsilíce.

Se puede concluir que el nitrito de calcio fue el aditivo más efectivo a pesar de que hubo penetración de cloruros, ya que los potenciales de corrosión fueron menos negativos, lo que permite asegurar que los aceros se encuentran en estado pasivo.

Aunque este aditivo no puede impedir totalmente el ataque, lo reduce considerablemente y permite, en consecuencia, alargar la vida en servicio de la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arcilla Carlos. "Avances Tecnológicos en Inhibidores de Corrosión para el Concreto". En: Reunión Iberoamericana de Durabilidad de las Armaduras (CITAD), Cartagena de Indias, Colombia, 2000.
2. De la Peña Bernardo. "Inhibidores de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado", BIT, Desarrollo Tecnológico en la Construcción. Chile, septiembre, 2000.
3. Calderón F. Almeraya, Gaona Tiburcio C. y Martínez A. "Monitoreo y Control de la Corrosión en Estructuras de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Ciudad de México, México, 1998.
4. Calleja José y Andrade M. Carmen. "Prevención de la Corrosión de Armaduras en el Hormigón Mediante Aditivos Inhibidores", CEMCO, XV Curso de Estudios Mayores en la Construcción, 2001
5. Cruz M. y Andrade M. Carmen. "Diagnosis de la Corrosión de Armaduras. Ensayos para la Caracterización del Hormigón y las Armaduras". En: Curso Sobre Patologías del Hormigón del Consejo Superior de la Universidad Científica, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, España, 1996.
6. Figueredo E. P., Estefani C., Leão S. y Castro P. "Utilization of Inhibitors to Prevent and to Control the Corrosion of the Steel Reinforcement". En: Proceedings of the International Conference Held at University of Dundee, Scotland, UK, 1999.
7. "Determinación Cuantitativa y Cualitativa de Propiedades" (Análisis Químico de Aditivos y del Acero, pH, Resistencia a Compresión, Flexión y Porosidad). En: LATINCORR (8º, 2003, Santiago, Chile). Santiago, Chile, 2003.
8. Maeder U., Carvajal Ralf y Bollatti Marcos. "Evaluation of Corrosion Inhibitors by Electro Chemical Potential and Ultrasonic Energy Measurements". En: LATINCORR (7º, 2000, Cartagena de Indias, Colombia). Cartagena de Indias, Colombia, 2000.
9. Nava-Galve R. G. y Arce-Estrada E. M. "Study of the Effect of Organic and Inorganic Inhibitors of Corrosion in Reinforced Concrete", México. En: LATINCORR (7º, 2000, Cartagena de Indias, Colombia). Cartagena de Indias, Colombia, 2000.