

MEDIDAS DE POTENCIAL DE CORROSIÓN EN SISTEMA DE PENETRACIÓN ACELERADA DE IONES Cl^- , EN HORMIGÓN ARMADO

AUTORES: *Ana María Carvajal*
Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Construcción Civil
acarvajg@uc.cl

Carmen Silva
Pontificia Universidad Católica de Chile
Tesis Escuela de Construcción Civil
Carmen@uc.cl

Jorge Valiente
Pontificia Universidad Católica de Chile
Tesis Escuela de Construcción Civil
jorovliente@yahoo.com

Andrés Venegas
Pontificia Universidad Católica de Chile
Tesis Escuela de Construcción Civil
asvenega@uc.cl



RESUMEN

Esta investigación presenta un estudio y análisis experimental de las variables: tipo de cemento y razón agua/cemento, que inciden en la durabilidad de las estructuras portuarias de hormigón armado, frente a la acción del agente agresivo Cl^- .

Se utilizaron cuatro tipos de cemento: Portland corriente, Portland Puzolánico, Portland Siderúrgico y Siderúrgico y tres razones agua/cemento: 0,45; 0,50 y 0,55.

Se fabricaron 88 probetas de hormigón de dimensiones 15 x 15 x 15 cm con acero en el interior para realizar los distintos análisis.

Se desarrolló un nuevo sistema de penetración acelerada de iones cloruro, que permite comparar los materiales frente a la acción de este agente agresivo.

Se realizaron mediciones de potencial de corrosión como también análisis químicos cualitativos de profundidad de penetración de Cl^- , en probetas que se diseñaron para estos fines.

El método analítico cualitativo de penetración de cloruros desarrollado en esta investigación, indica la presencia de cloruros en estructuras de hormigón en forma tan expedita como es la conocida fenolftaleína para la profundidad de carbonatación.

El sistema acelerado de penetración de cloruros permitió comparar los distintos tipos de cemento y razones agua/cemento y diferenciarlos según la resistencia que presentaron a la penetración de cloruros. Entre los resultados obtenidos, el cemento Portland Puzolánico presentó un mejor comportamiento para la razón a/c 0,45 penetrando sólo 1,1 cm, en este sistema.

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten pensar que se contará con una herramienta importante para predecir el comportamiento de los materiales y sistemas frente a la acción de los agentes químicos agresivos estudiados.

Palabras claves: hormigón armado, corrosión, durabilidad

ABSTRACT

This investigation meet the study and experimental análisis of the variables, type of cement and water/cement ratio, that impacting of the durability of the port structures of reinforced concrete, in the face of the action of aggressive agent cholride.

It is utilized four types of cement: current Portland, Pozzolanic Portland, Siderurgical Portland and Siderurgical and three water/cement ratio: 0,45, 0,50 and 0,55.

It is manufactured 88 test tubes of concrete of dimensions 15 x 15 x 15 cm with steel in the interior for to realize the different analysis.

It is realized measurement of corrosion potential as also qualitative chemical analysis on the penetration depht of Cl^- , in test tubes that design for this purposes.

It is developed a new system of accelerated penetration of chloride ions that enable to compare the materials in the face to the action of the mentioned aggressive agents.

The qualitative analytic method developed in this investigation, indicate the presence of chloride in the structures of concrete in form as quick as the well know phenolphthalein for the carbonation depth.

The acceleration system of chloride penetration that enable comparing the different types of cement and water/cement ratio and differentiate it according the resistance that show it of the chloride penetration. Between the results obtained, the cement Pozzolanic Portland show a best conduct for the a/c ratio 0,45 penetrating only 1,1 cm, in the system.

The results obtained in this investigation we enable us to think that it is counted whit a tool for to predicting the conduct of the materials and systems in the face to the action of the chemical aggressive agents studied.

Key words: reinforced concret, corrosion, durability

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas en el tema corrosión, coinciden al afirmar que la agresividad del medio marino e industrial, principalmente la presencia de cloruros y el fenómeno de la carbonatación, puede causar consecuencias desfavorables sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.¹

De estudios realizados sobre las estructuras portuarias en el Ministerio de Obras Públicas de nuestro país,² fue posible constatar la gran cantidad de recursos que el país debe destinar a la reparación de estructuras dañadas por corrosión. Debido a que en la mayoría de los casos no se siguen las indicaciones sobre el adecuado mantenimiento de estas obras.

En la durabilidad del hormigón armado influye extraordinariamente la corrosión de las armaduras, ya que puede producir una sensible reducción de su sección y la aparición de fisuras como consecuencia de la presión que ejercen dichas armaduras corroídas sobre el hormigón. Consecuentemente, la adherencia entre el acero y el hormigón se pierde casi por completo y la contribución del primero a la resistencia se reduce sensiblemente.³

Por otra parte, los problemas causados por la corrosión de las armaduras, antes del final de la vida útil de la estructura, son tan severos que hay que proceder a su demolición o a realizar reparaciones de elevado costo económico.^{4 5}

Por estas razones, nuestro interés es aportar con nuestra investigación, al mejoramiento en la construcción de estructuras portuarias, aumentando su durabilidad y consecuentemente, su vida útil y condiciones de servicio, lo que permitirá reducir los costos por mantención y reparación a lo largo de la vida de servicio de dichas estructuras.

En la práctica, aparece gran cantidad de factores agresivos de distinta intensidad que afectan a las estructuras durante su vida útil y que hacen muy complicada la tarea de decidir correctamente la elección de materiales, dosificaciones y procedimientos.⁶ Es por esto que el objetivo de nuestra investigación es analizar las principales variables que inciden en la durabilidad de las estructuras portuarias de hormigón armado: tipo de cemento y relación agua/cemento, con la finalidad de entregar las recomendaciones técnicas para obtener un hormigón más estable frente a la acción del ambiente marino, a través de análisis de resultados obtenidos en cámaras de cloruros donde se han acelerado los procesos estudiados.

Con objeto de estudiar la acción dañina del ambiente marino sobre las estructuras portuarias de hormigón armado en nuestro país, se trabajó con distintos tipos de cementos, a distintas relaciones agua cemento y con un sistema artificial controlado que nos permitió, en corto tiempo, estudiar el fenómeno de la penetración de cloruros.

Exponiendo las probetas a este agente agresivo, se pretende conseguir una amplia información sobre la evolución del ataque en el tiempo y un conocimiento de la influencia de cada factor sobre la corrosión de las armaduras.

Consideramos que es de gran importancia acotar que este tipo de investigación científico - tecnológica es necesaria e importante, por el hecho de tener el agente activo de la corrosión en todo el litoral chileno.

Por ello, la durabilidad es una cualidad que se debe tener en cuenta durante la realización de un proyecto, ya que las medidas preventivas suelen ser las más eficaces y menos costosas para la protección frente a los agentes físicos y químicos agresivos.

¹ MATERIALES de construcción, Madrid, 41 (221). Enero/ febrero/ marzo 1991.

² Catastro de proyectos ejecutados entre 1945 y 2002. M.O.P.

³ MATERIALS and structures, France, 29. October 1996. 476-484 pp.

⁴ MATERIALES de construcción, 45 (237). Enero/ febrero/ marzo 1995.

⁵ MATERIALS and structures, France, 32 (217). April 1999.

⁶ Ibid.

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN ARMADO

Existe una impresión general que el hormigón armado es un material altamente durable y además extensamente reconocido como el material preferido para construcciones en estructuras portuarias. Esto se debe a la rápida difusión y creciente utilización del hormigón armado en la industria de la construcción, por motivos del costo relativamente bajo del acero y del hormigón, unido a las excelentes propiedades mecánicas y de durabilidad frente a agentes agresivos, del producto resultante de la combinación de ambos. Sin embargo, la historia del hormigón armado en ambiente marino revela que ningún material de construcción es ciertamente durable en agua de mar, ya que es uno de los ambientes naturales más corrosivos en el mundo.^{7 8 9}

Se considera que un hormigón es más durable mientras mayor sea su resistencia, pero por otro lado, la resistencia por sí sola no puede considerarse como una medida de durabilidad, ya que ésta depende de otros muchos factores: tipo, clase y cantidad de cemento, características, granulometría y tamaño máximo del árido, colocación, compactación y curado del hormigón y, sobre todo, de la relación agua/cemento. Es por esto, que el hormigón para cumplir su misión como material de construcción, debe ser no sólo resistente, sino también durable.¹⁰

Medición de potenciales¹¹

La medida del potencial de corrosión de la armadura es una magnitud que indica aproximadamente la situación de corrosión o pasividad de la misma, medida directamente sobre la estructura. Se trata de un parámetro termodinámico, por lo que entrega indicaciones meramente cualitativas que conviene utilizarlas como complemento de otro tipo de ensayos.

La medida consiste en la determinación de la diferencia de potencial eléctrico entre el acero de las armaduras y un electrodo de referencia que se coloca en contacto con la superficie del hormigón, como indica la figura 1.

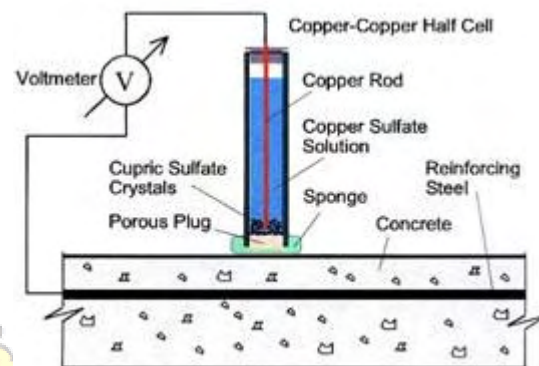


Figura 1
Montaje para la medida del potencial de corrosión in situ.¹²

El equipo de medida es un voltímetro de alta impedancia interna (1 mega ohm), figura 2-8, en donde se hace contacto con la armadura y con el hormigón. Para asegurar un buen contacto se utiliza papel húmedo y las armaduras se conectan al polo positivo (+) y el electrodo de referencia (Cu-CuSO₄) al polo negativo (-).

Tabla 1
Interpretación de las medidas de potencial en relación al riesgo de corrosión producida por cloruros.

Ecorr (mV)	Riesgo de corrosión
> -200	5%
-200 a -350	50%
-350 a -600	95%
< -600	100%

⁷ MEHTA, P. Op. Cit. 59 p.

⁸ MATERIALS and structures, France, 34 (236). March 2001.

⁹ MATERIALES de construcción, España, 41 (221). Marzo 1991.

¹⁰ JIMÉNEZ Montoya, Pedro. Hormigón Armado. 14ª Edición. 2000. 48 p.

¹¹ MATERIALES de construcción, España. 51 (263-264). Julio-septiembre/octubre-diciembre 2001.

¹² CRUZ, M. Op. cit. 12 p.

RESULTADOS

Resistencia a la compresión

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, a probetas de igual amasada a las expuestas a los

ataque de Cl⁻, para verificar que cumplen con lo exigido para los hormigones preparados con distintas razones a/c

En la figura 2 se comparan los valores de resistencia a compresión para todos los tipos de hormigones preparados.

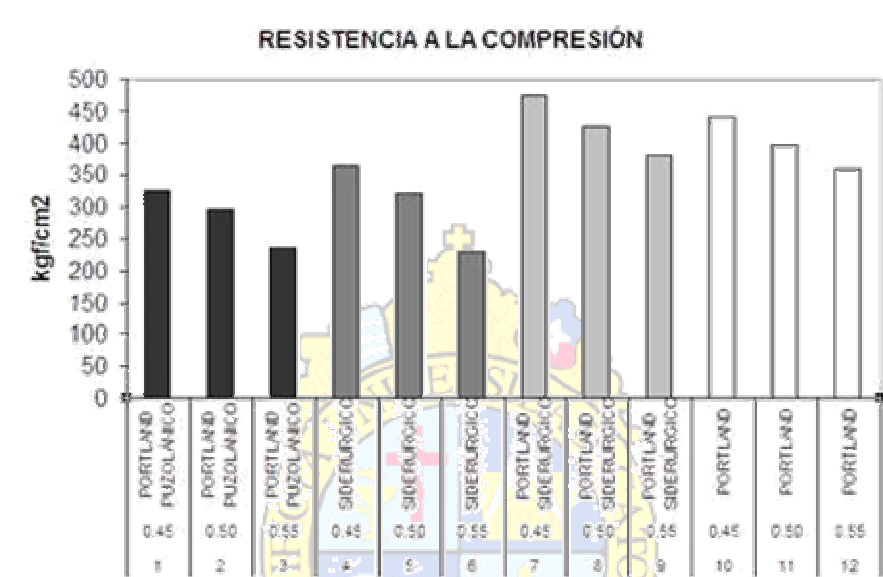


Figura 2
 Resistencia promedio a la compresión a los 28 días,
 para las distintas muestras.

Penetración de cloruros

La profundidad de penetración se mide después de cortar verticalmente la probeta en la mitad, se aplica solución de nitrato de plata, se espera un minuto y se aplica en forma de rocío dicromato de potasio, con lo

cual se puede identificar a simple vista cambios de coloración: color terracota indica ausencia de cloruros; coloración blanca-amarilla indica presencia de cloruros. Las figuras siguientes son un ejemplo de este tipo de análisis

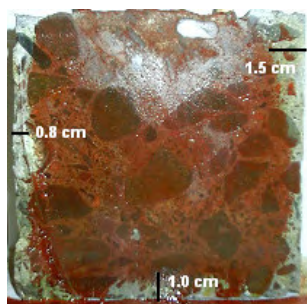


Figura 3
 Cemento Portland Puzolánico
 de razón a/c = 0,45.

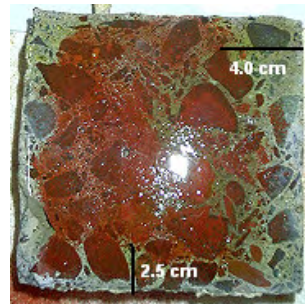


Figura 4
 Cemento Portland
 Siderúrgico de razón a/c = 0,45

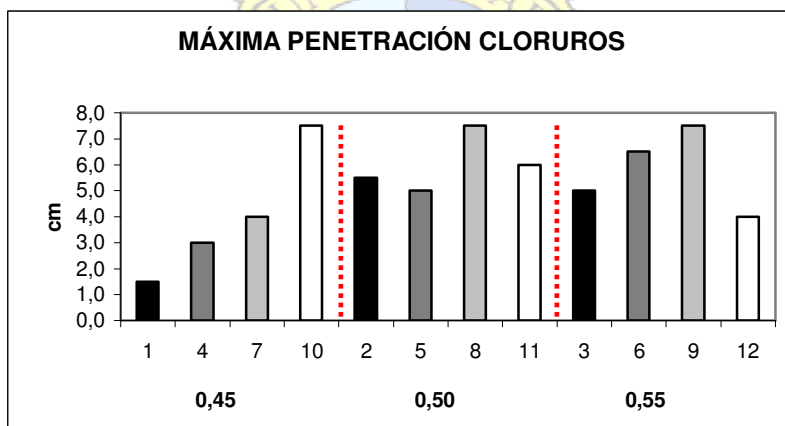


Figura 5
 Máxima penetración de Cl^- , para los distintos tipos de cemento, a igual razón agua/cemento.

Los números 1 al 12, indican los tipos de cementos, según se indica en la figura 1.

Las penetraciones fueron medidas con pie de metro

Medición de potencial de corrosión a probetas contaminadas con cloruros

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 barra de acero durante cinco días de la semana y cuyo promedio por muestra, se indica en la tabla 2.

Medidas de potencial de corrosión

Se realizaron en forma periódica con un milivoltímetro de alta impedancia con respecto al electrodo de referencia Cu/CuSO_4 , a cada uno de los aceros de las probetas, para analizar el riesgo de corrosión de las armaduras.



Figura 3
 Fotografía probeta.

Tabla 2

Promedio de las medidas de potencial tomadas a las barras de acero embebidas en las distintas muestras de hormigón expuestas a Cl⁻.

POTENCIALES DE CORROSIÓN (mv) (días 1 al 15)											
MUESTRA N°	1	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
1	-130	-429	-477	-486	-491	-532	-541	-574	-565	-579	-582
2	-151	-570	-574	-608	-620	-643	-644	-648	-645	-647	-645
3	-109	-434	-492	-555	-577	-589	-629	-618	-589	-634	-609
4	-173	-569	-568	-579	-589	-599	-620	-623	-621	-635	-630
5	-264	-354	-348	-381	-460	-473	-559	-563	-581	-589	-584
6	-174	-436	-452	-453	-491	-550	-590	-595	-593	-609	-615
7	-175	-323	-381	-419	-463	-443	-472	-491	-529	-543	-572
8	-189	-413	-414	-509	-536	-535	-567	-569	-580	-579	-580
9	-144	-448	-454	-529	-535	-526	-588	-576	-593	-585	-576
10	-159	-334	-334	-497	-536	-544	-565	-567	-592	-596	-594
11	-169	-426	-481	-543	-545	-546	-584	-584	-598	-606	-613
12	-166	-268	-288	-334	-396	-411	-503	-513	-538	-570	-559

DISCUSIÓN

En lo que respecta a la acción de los cloruros, los resultados obtenidos mediante el corte de las probetas, nos indicaron que los mejores resultados se obtienen con el cemento Portland Puzolánico para la razón 0,45, en el que se pudo observar una penetración 27% menor que con el cemento Siderúrgico de razón agua/cemento 0,45, que fue segundo en el orden. Sin embargo para las restantes razones agua/cemento, el comportamiento del cemento Portland Puzolánico fue notoriamente más deficiente, observándose penetraciones más de tres veces mayores. En segundo lugar se ubicó el cemento Siderúrgico, que presentó un comportamiento más parejo en cuanto a las razones agua/cemento. Se comprobó que a mayor razón agua/cemento mayor penetración.

En el análisis de las razones agua/cemento, la tendencia general fue que a menor razón agua/cemento se obtuvo menor penetración de cloruro. Se puede notar que la penetración en la razón agua/cemento 0,45 fue aproximadamente un 50% menor que en las restantes razones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- CATASTRO de proyectos ejecutados entre 1945 y 2002. M.O.P Chile
- 2.- CRUZ, María. Medidas preventivas contra la corrosión. Curso sobre patología del hormigón. (3) 14, Junio 1996
- 3.- DE GUTIÉRREZ, Ruby, DELVASTO, Silvio and TALERO, Rafael. Chloride binding capacity of blended mortars. LATINCORR 2000, Cartajenda de Indias, Colombia. September 2000.
- 4.- DURAR, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, CYTED, 2ª Edición, Julio, 1998. Durar.
- 5.- IMCYC, Infraestructura de concreto armado: deterioro y opciones de preservación, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1ª Edición, 2001.
- 6.- INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile). Hormigón-Requisitos Generales. NCh 170: Of 85. Santiago, Chile, 1985, 44p.
- 7.- JIMÉNEZ Montoya, Pedro. Hormigón Armado. 14ª Edición. 2000. 48p.
- 8.- MATERIALES de construcción. Madrid, 41 (221) Enero/Febrero/Marzo 1991.
- 9.- MATERIALES de construcción, 45 (237). Enero/Febrero/Marzo 1995.
- 10.- MATERIALS and structures, France, 29. October 1996. 476-484 pp.
- 11.- MATERIALS and structures, France 32 (217). April 1999
- 12.- MATERIALS and structures, France, 34 (236). March 2001
- 13.- MATERIALES de construcción, España. 51 (263-264). Julio-Septiembre/Octubre-Diciembre 2001.
- 14.- MEHTA, Provindar K. Concrete in the marine environment. London, Elsevier Applied Science, 1991, 59p.