

*Methodology to Obtain
Powder Concrete Samples
for the Analysis of
Chloride and Correlation
Between the Content
of Chloride in the Real
Sea Environment for Five
Years and the Accelerated
Environment for Concrete
Samples*

Metodología de Obtención de Muestras de Hormigón en Polvo para Análisis de Cloruro y Correlación entre el Contenido de Cloruros en Ambiente Marino Real por Cinco Años y Ambiente Acelerado de Muestras de Hormigón



Autores

**CARVAJAL, A. M. -
MATURANA, P. - BENAVIDES F.**

Académicos
Pontificia Universidad Católica de Chile
email: acarvajg@uc.cl

CORTÉS, J. E.

Constructor Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile

Fecha de recepción 26/04/2010

Fecha de aceptación 22/06/2010

Resumen

La contaminación de obras de hormigón armado por agentes químicos agresivos ha sido y sigue siendo un problema grave y de gran relevancia en lo que respecta a la durabilidad y funcionalidad de estas, lo que genera gran preocupación debido a la poca información existente sobre su efecto real y la forma en que se puede afrontar con el fin de otorgar seguridad a obras afectadas por los grandes enemigos del hormigón armado, como lo son los iones cloruro.

Se consultaron normas extranjeras para obtener una metodología de obtención de muestra de hormigón para el posterior análisis del contenido de iones cloruro, ya que las normas chilenas no lo indican. Las normas ASTM C 42/C 42M – 04 “Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete” ASTM C 1218/C 1218M – 99 “Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete” y ASTM C 1152/C 1152M – 04 “Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar

and Concrete” fueron de utilidad para la obtención de una muestra representativa de hormigón para ser empleada en los análisis cuantitativos de iones cloruro. Debido a la importancia de encontrar una metodología para el análisis cuantitativo de este tipo de iones, se analizaron distintas normas que tienen relación con el análisis de iones cloruro, tanto nacionales como extranjeras, y se ha podido comprobar que las fórmulas de cálculo no son consecuentes pues no dan los mismos resultados (ASTM C-114 con NCh 1444 Of 80 y NCh1498 Of 82).

Se ha analizado el contenido de cloruros de probetas de hormigón armado que fueron expuestas durante cinco años al agua de mar, en condición de semiinmersión, en San Antonio, Puertecito, V Región de Valparaíso, como también de probetas gemelas sometidas a ciclos de semiinmersión secado en laboratorio en cámara acelerada, con el fin de comparar ambas situaciones, encontrándose una relación entre estos.

Palabras clave: Determinación de cloruros, ambiente acelerado, ambiente real.

Abstract

Contamination of reinforced concrete structures by aggressive chemical agents has been and remains a serious, very relevant problem with regard to the durability and functionality of said structures. This gives rise to great concern due to little information on its real effect and the form in which it can be dealt with in order to provide security to the structures affected by the great enemies of the reinforced concrete, i. e. the chloride ions.

Foreign standards were consulted to obtain a methodology for concrete samples to be obtained and for the later analysis of the chloride ion content, since Chilean standards do not mention this. Standard ASTM C 42/C 42M - 04 “Standard Test for Method Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”, ASTM C 1218/C 1218M - 99 “Standard Test for Method Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete” and ASTM C 1152/C 1152M - 04 “Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride

in Mortar and Concrete”, were useful for obtaining a representative concrete sample to be used in the chloride ions quantitative analyses.

Due to the importance of finding a methodology for the quantitative analysis of this type of ions, different standards were analyzed that are related to the ion chloride analysis, both national and foreign, and it was proven that the calculation formulas are not consistent, because they do not provide the same results (ASTM C-114 with NCh 1444 Of 80 and NCh1498 Of 82).

The chloride content of reinforced concrete specimens exposed for five years to sea water in San Antonio, Puertecito, V Region of Valparaiso, under semi-immersion conditions was analysed, as well as, chloride content from twin specimens subject to cycles of semi-immersion and dried in laboratory in an accelerated system, so that to compare both situations, and a relation between both cases was found.

Key words: Determination of chlorides, accelerated environment, real environment.

Introducción

En Chile no existe un sistema riguroso y exacto para medir cuantitativamente la penetración de iones cloruro al hormigón armado, por lo que las entidades que realizan los análisis producen distintos resultados, posiblemente por la forma en que se desarrolla el proceso de obtención de la muestra a analizar. Además, las normas existentes no tienen un sistema único de análisis ni de extracción de muestras de hormigón que permitan entregar la conformidad requerida para este tipo de estudios, los cuales requieren la mayor exactitud posible.

Es por esto que es fundamental encontrar una nueva metodología con el fin de determinar cuantitativamente la existencia, lo más cercana a la realidad, de iones cloruro y sulfato en hormigón endurecido.

El objetivo principal de este estudio es analizar cuantitativamente la penetración de iones cloruro a probetas que estuvieron expuestas a ambiente acelerado y otras similares a ambiente real, para encontrar la relación que existe entre ambos. Las probetas de estudio tienen distinto tipo de recubrimiento superficial, factor que ayuda a obtener información adicional sobre la protección relativa que brindan distintos tipos de recubrimiento a las estructuras de hormigón armado expuestas a ambiente marino, pudiendo también comparar los resultados de análisis para ambos ambientes, tanto real como de laboratorio.

Se pretende encontrar una metodología de mayor exactitud que el método de extracción de polvo con taladro, que es un método que presenta dificultades debido a que los áridos en el hormigón pueden producir inexactitud en los resultados, ya que el interior de estos no contiene iones cloruro, y la mezcla en polvo extraído con taladro podría contener solo polvo de un árido, dependiendo de la zona de extracción.

Se pretende identificar el contenido de cloruros por capas de 1,5 cm, para obtener perfil de penetración de iones cloruro, lo cual se puede analizar con respecto a las tolerancias existentes según normas internacionales y llegar a determinar la velocidad de penetración del ión cloruro por medio de la segunda ley de Fick.

El segundo objetivo del estudio fue determinar los potenciales de corrosión de las probetas que estuvieron en el mar por cinco años y comparar los valores con los obtenidos en laboratorio después del proceso de ciclos de inmersión-secado en tiempo acelerado.

Metodología

1. Procedimiento de obtención de polvo

El procedimiento para lograr convertir en polvo las muestras de hormigón de las probetas, consta de 3 etapas:

1. Corte de probetas en seco mediante herramienta a presión
2. Corte de muestras mediante el uso del esmeril angular
3. Transformar muestras en polvo que pasa por malla N° 20

1. Corte de probetas en seco mediante herramienta a presión

El uso de esta herramienta otorga un corte limpio y especialmente en seco, lo cual impide el lavado de contaminantes como los son otros procedimientos de corte. El procedimiento es válido para cualquier forma geométrica de testigo extraído. La Figura 1 muestra el equipo cortador de testigos, que fue diseñado y patentado para el Proyecto DURACON.

Figura 1

Proceso de corte en seco con prensa



Figura 2

Probeta 1. Resultado del corte



2. Corte de muestras mediante el uso del esmeril angular

Se utiliza esmeril angular para obtener las distintas capas de hormigón desde la superficie hacia el interior, con el fin de analizar cuantitativamente los iones cloruro en cada una de ellas y obtener un perfil de penetración de estos iones.

Como se pretende extraer 3 capas de 1,5 cm cada una, se extrae en total 4,5 cm desde la cara superficial.

3. Transformar muestras a polvo que pase tamiz N° 20

Para este procedimiento ha sido necesario informarse a través de normas extranjeras, con las indicaciones que se entregan para realizar correctamente un análisis cuantitativo de cloruros.

Es así como la norma "C1218/C 1218M-99 de la ASTM, Standard Test Methods For Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete" indica claramente el procedimiento, los pasos a seguir en el proceso químico y, lo que más concierne en este trabajo, las características que debe tener la muestra de hormigón.

Esta norma indica que el hormigón debe ser llevado a un tamaño de partícula de no más de 850 µm (micrones), o sea, que pase por tamiz N° 20, sin especificar la forma en que se puede lograr.

Así, para llevar a cabo el procedimiento de triturar el hormigón se necesita una pulverizadora de hormigón, que no existe en el mercado chileno. Debido a esto, se buscó alternativas que pudiera dar el resultado deseado en forma rápida y económica.

Se utilizó un cilindro de hierro de fundición empleado para determinar tenacidad del grano, un combo y un tamiz N° 20 (850 µ). El cilindro de hierro es ideal para este proceso, ya que es limpio, resistente, impermeable, otorga aislación para que no se pierda ni esparza el hormigón una vez golpeado y también es pequeño y manipulable, a pesar de que tiene gran peso.



Figura 3
Cortes de primera, segunda y tercera etapa

Se deben limpiar los elementos a utilizar previo a cada uso, no solo para cada probeta, sino para cada capa y colocar muestras de hormigón que no exceda los 200 gramos.

El procedimiento que corresponde al análisis químico se ha llevado a cabo en Laboratorio según la norma "ASTM C1218/C 1218M-99: Standard Test Method For Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete".

La determinación del porcentaje de cloruro y la cantidad de cloruro por metro cúbico de muestra se ha determinado mediante la norma ASTM C 114 – 06 "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", a través de la siguiente fórmula:

$$\%Cl = \frac{3,3545 * [(V_1 - V_2) * N - 0,10]}{W}$$

Donde:

- V₁ mililitros de 0,05 M de solución de AgNO₃, usada para titulación de muestra (punto de equivalencia)
- V₂ mililitros de 0,05 M de solución de AgNO₃, usada para titulación de muestra (punto de equivalencia)
- N normalidad exacta de 0,5 M de solución AgNO₃
- 0,10 miliequivalencia de NaCl adherida (2,0 mL x 0,05 M)
- W masa de la muestra, g

El valor resultante corresponde a la cantidad de cloruro en gramos, en 100 gramos. Para determinar cuánto hay en un kilo se multiplica por 10, obteniendo la cantidad de gramos de cloruro en un kilo de muestra. Lo anterior equivale a tener (kg x 10⁻³) en un kilo de muestra. De esta forma, conociendo la densidad del hormigón, se multiplica el resultado anterior, obteniendo, finalmente, kg Cl⁻ /m³ de hormigón (última columna de tablas).

El procedimiento anterior se puede simplificar al multiplicar el porcentaje de cloruro obtenido según la fórmula anterior por la densidad del hormigón (kg/m³) y dividiendo por 100. Así:

$$\text{kilos de cloruro por metro cúbico de hormigón} = \frac{\%Cl \times D}{100}$$

Donde:

%Cl porcentaje de cloruros en muestra según norma ASTM C 114 – 06 “Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement”

D densidad de hormigón, en kg/m³

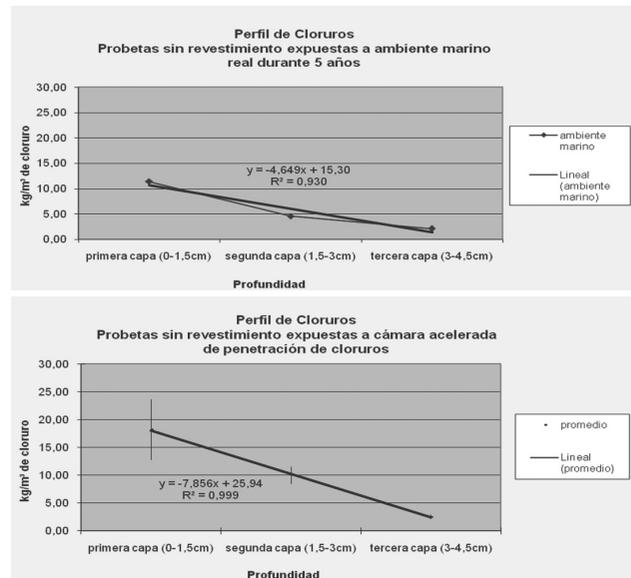
Resultados

A continuación se entregan los resultados de los análisis cuantitativos de iones cloruro para las distintas muestras de hormigón en polvo, obtenidas según la metodología entregada en esta investigación.

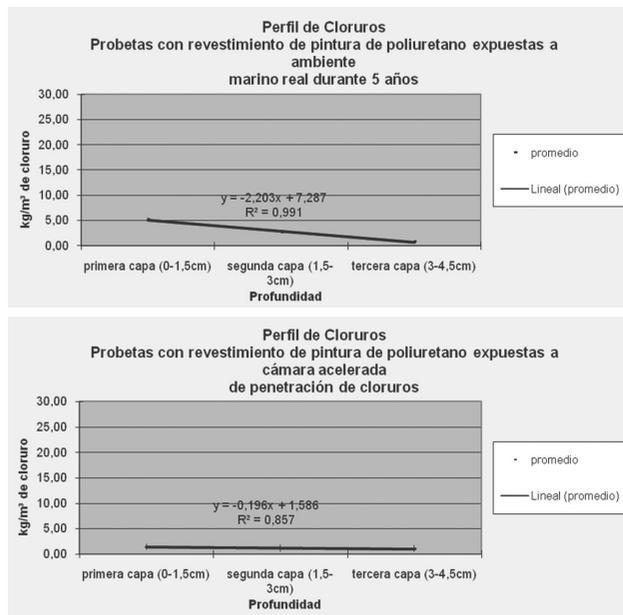
Tabla 1
Revestimiento de pintura de poliuretano

Exposición	Capa	Promedio Kg/m ³ Cl ⁻
ambiente marino (3 y 4)	primera capa (0 - 1,5 cm)	5,20
	segunda capa (1,5 - 3 cm)	2,64
	tercera capa (3 - 4,5 cm)	0,80
cámara acelerada (110 y 150)	primera capa (0 - 1,5 cm)	1,44
	segunda capa (1,5 - 3 cm)	1,10
	tercera capa (3 - 4,5 cm)	1,04

Figuras 6 y 7
Probetas sin recubrimiento expuestas a ambiente real y acelerado



Figuras 4 y 5
Probetas con recubrimiento de PU expuestas a ambiente real y acelerado



Figuras 8 y 9
Probetas con revestimiento acrílico expuestas a ambiente real y acelerado

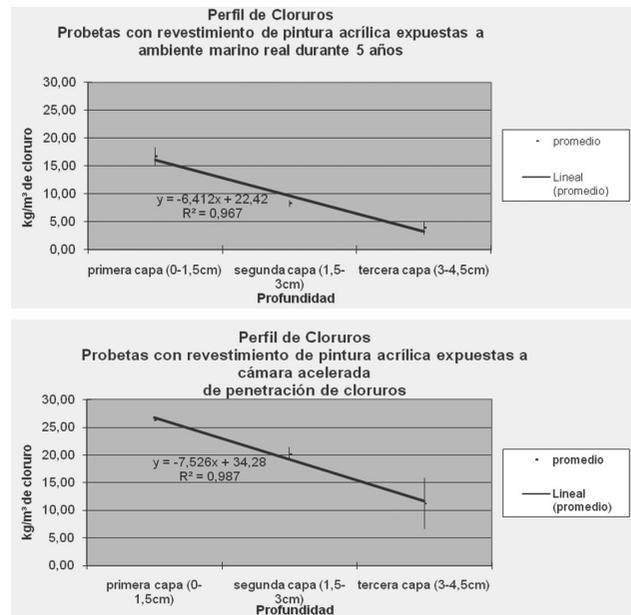


Figura 10

Probeta con revestimiento cementicio expuesta a ambiente real y acelerado

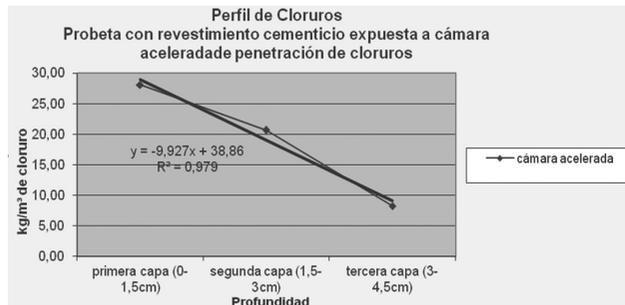
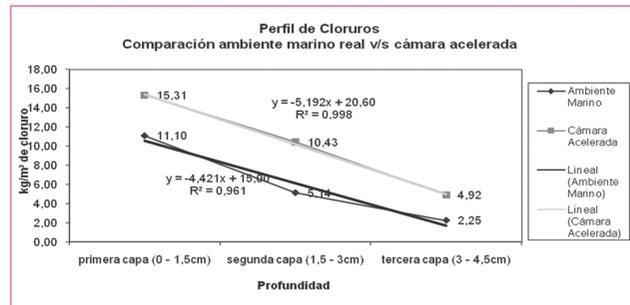


Figura 11

Promedio del contenido de cloruro de todas las probetas a distintas profundidades



Finalmente, se hace un análisis de comparación general entre probetas expuestas a ambiente marino *versus* probetas expuestas a cámara acelerada. Esto, con el fin de observar, a grandes rasgos, la relación existente entre los dos tipos de exposición de las probetas.

Para esto se calcula el promedio de cada capa, de distintos revestimientos, de cada promedio calculado anteriormente, correspondiente a cada revestimiento.

Figuras 12 y 13

Promedio de penetración de cloruros para todas las probetas

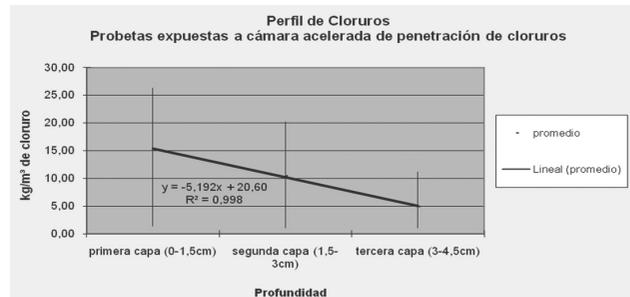
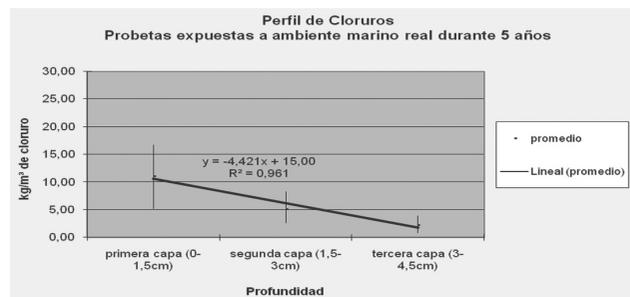


Tabla 2

Probetas expuestas a ambiente marino

Capa	Promedio contenido de cloruro (kg/m³)
primera capa (0 - 1,5cm)	11,10
segunda capa (1,5 - 3cm)	5,14
tercera capa (3 - 4,5cm)	2,25

Tabla 3

Probetas expuestas a cámara acelerada

Capa	Promedio contenido de cloruro (kg/m³)
primera capa (0 - 1,5cm)	15,31
segunda capa (1,5 - 3cm)	10,43
tercera capa (3 - 4,5cm)	4,92

En este análisis se ha excluido las probetas de revestimiento cementicio, ya que no se han podido rescatar del ambiente marino para compararlas con las de ambiente acelerado.

De las Figuras 12 y 13 se puede apreciar que la penetración de cloruros es mayor en el caso de exposición a cámara acelerada, en un orden cercano al doble con respecto a la exposición en ambiente marino real.

Los resultados en probetas revestidas con pintura de poliuretano demuestran que en ambiente acelerado no hubo penetración de cloruros, pero sí existe en ambiente real después de 5 años, principalmente debido a que las probetas en ambiente marino real se encontraban con daño en la pintura por erosión en algunos sectores y en otros por los moluscos adheridos.

Conclusiones

La nueva metodología planteada para obtener la muestra en polvo propone que los resultados de los análisis cuantitativos de cloruros en estructuras de hormigón armado son más confiables y precisos ya que la otra metodología es desechar el árido de mayor tamaño y entregar el resultado en kg de cloruro por kilo de cemento, lo que es menos representativo de la realidad.

Respecto a los resultados del contenido de iones cloruro fue posible notar que el recubrimiento con pintura de poliuretano presenta los mejores resultados, a través de una muy baja penetración de iones cloruro con respecto a las otras alternativas, teniendo en cuenta que el hormigón es el mismo para todas las probetas, tanto las que fueron sometidas a ambiente marino por 5 años como las que estuvieron en cámara acelerada en ciclos de semiinmersión-secado, simulando ambiente marino.

El hecho de que las probetas sin revestimiento presenten menor penetración de cloruro y, por ende, mejor comportamiento que las probetas con revestimiento de pintura acrílica, puede tener relación con el efecto "piel" que se ve aumentado por la presencia de pintura que acumula iones cloruro que difunden hacia el interior del hormigón.

Lo anterior coincide con el comportamiento de las probetas con revestimiento cementicio, que presentan los resultados más negativos en cuanto a la cantidad de iones cloruros a las distintas profundidades. Se ha comprobado que este revestimiento absorbe los iones cloruro, creando una reserva de ellos en todo el espesor del mortero cementicio por lo que estos pueden difundir hacia el interior con una mayor concentración inicial desde la superficie, alcanzando el nivel crítico de concentración de cloruros a nivel de la armadura, en menos tiempo que el resto de las probetas sometidas a ambiente acelerado.

Las probetas expuestas a ambiente marino real han tenido, en la totalidad de los casos, menor penetración de iones cloruro con respecto a las probetas en cámara acelerada, siguiendo una tendencia lineal y constante para todas las muestras analizadas. A través de los resultados obtenidos se pueden preliminarmente encontrar relaciones que determinen la vida útil de una estructura de hormigón armado, extrapolando los días de laboratorio con los cinco años de la estructura expuesta a ambiente real, que aunque aún faltan muchos análisis por realizar, puede ser en el futuro de gran utilidad al momento de diseñar una obra portuaria o expuesta a ambiente marino.

Bibliografía

1. ASTM C 1218/C 1218M – 99 "Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete"
2. ASTM C 114 – 06 "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement"
3. ASTM C 876 – 91 (Reapproved 1999) "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete"
4. Güneyisi E et al., Estimation of chloride permeability of concretes by empirical..., Constr Build Mater (2007), doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.10.022. (Article in press).
5. ASTM C 42/C 42M – 04 "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete"
6. ASTM C 1152/C 1152M – 04 "Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete"
7. Thomas M. Chloride thresholds in marine concrete. Cement Concrete Res 1996;26(4):513-9
8. NCh 1498 Of 82. Hormigón- Agua de Amasado- Requisitos
9. NCh 1444 Of 80. Áridos para morteros y hormigones – Determinación de sales – Parte 1 : Determinación de cloruros y sulfatos