



2º ENCUESTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

DURABILIDAD DE MORTEROS CON ACRÍLICO INCORPORADO
DURABILITY OF MORTAR-TYPE SURFACE COVERINGS

A.M. Carvajal¹, R. Giani¹, R. Lagos¹, F. Catinello¹, C. Gómez¹, R. Vera²

¹ Escuela de Construcción Civil. Pontificia Universidad Católica de Chile
Av Vicuña Mackenna 4860. Fax: 56-2-3544863, Fono 56-2-3544912
acarvaj@uc.cl

² Instituto de Química. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Resumen

Esta investigación presenta análisis y resultados experimentales del comportamiento de recubrimientos superficiales tipo mortero, en probetas de hormigón armado, frente al ataque de CO₂, en un sistema de penetración acelerada de CO₂.

De los resultados obtenidos en la investigación, se determinó que el mortero de 10 mm de espesor con cemento siderúrgico es menos resistente a la penetración de CO₂ que cualquier mortero de espesor 20 mm con distintos porcentajes de acrílico incorporado.

Los valores de potencial de corrosión de los aceros que tenían 2 y 3 cm de recubrimiento de hormigón no aportaron diferencias notables en sus valores. Sin embargo, hay una tendencia general: los valores de potencial de corrosión tienden a ser más negativos a medida que aumenta la profundidad de carbonatación y tiempo de exposición.

Palabras clave: Carbonatación, hormigón armado, morteros, protección, recubrimientos superficiales.

Abstract

This investigation presents experimental results and analysis of the performance of mortar-type surface coverings, in reinforced concrete specimens, against the CO₂ attack, in a system of accelerated penetration of CO₂. The high resistance cement-based mortar (10 mm of thickness) was less resistant than mortars with 10, 15 or 20% of acrylic incorporated and 20 mm of thickness. The corrosion potential values of the steel with 2 or 3 cm of concrete cover did not present remarkable differences in their values. Nevertheless, there is a general tendency: the corrosion potential values tend to be more negative as the carbonation depth and time of exposure increase.

Key words: Carbonation, mortars, protection, reinforced concrete, surface coatings.



2º ENCUESTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

Introducción

Uno de los aspectos de la seguridad en la vida útil de las estructuras de hormigón armado es la del recubrimiento de hormigón, al cual se le atribuye gran importancia dado que éste es el que suministra la protección a la armadura que se encuentra inmersa dentro del hormigón [1]. Si la superficie del hormigón es protegida con recubrimientos superficiales adecuados, es posible inhibir los ataques de sustancias agresivas [2].

La elección de estos tipos de productos de protección, dentro de la vasta gama de revestimientos posibles, se debe al hecho que las emulsiones acrílicas incorporadas a pastas de cemento, morteros de revestimientos así como los sellantes acrílicos, han demostrado, en otras investigaciones realizadas, un aparente buen comportamiento en lo que respecta a la reducción de la porosidad superficial y a la impermeabilidad a líquidos y gases de superficies porosas protegidas con dichos productos [3,4,5].

Los polímeros acrílicos son por sí mismos ligantes, que en combinación con morteros de cemento pueden influir en gran medida sobre el cuadro de características del sistema. Condición previa de un polímero acrílico adecuado para mezclar con cemento es que no pueda producir perturbaciones o efectos secundarios desfavorables con respecto a la trabajabilidad del mortero fresco ni tampoco en el mortero endurecido [6].

Los aditivos de cohesión actúan tanto sobre las propiedades de los morteros frescos como endurecidos, siendo sus principales efectos los siguientes [7].

- a) Sobre el mortero fresco: Aumenta la necesidad de agua en la mezcla, disminuye la exudación, aumenta la incorporación de aire, retarda el fraguado sobre el mortero endurecido, el módulo de elasticidad disminuye, aumentando el alargamiento de rotura, la fisurabilidad disminuye como consecuencia de la disminución del módulo de elasticidad y aumento de resistencia a tracción, aumenta significativamente la adherencia de un hormigón fresco al colocarlo sobre una base de mortero a un hormigón endurecido, aumenta apreciablemente la resistencia al desgaste y a la abrasión.

Los efectos de los aditivos de cohesión dependen básicamente de: la composición del polímero, la dimensión de las moléculas, la presencia de otros aditivos, la proporción polímero/cemento, la edad del mortero y la temperatura ambiente.

El campo de aplicación principal de los morteros modificados con polímeros es la reparación y revestimiento de hormigón, mortero y albañilería, esencialmente aplicables a pisos industriales.



**2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.**

Parte Experimental

Para simular el ambiente industrial se utilizaron cámaras saturadas de CO₂, cuyo objetivo fue lograr el ataque de este agente agresivo en menor tiempo que el real. Las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire se mantuvieron entre los 20 y 25°C y entre 50 y 70% respectivamente, ya que investigaciones anteriores demuestran que estas condiciones resultan las ideales para lograr la mayor velocidad de penetración del CO₂.

Se confeccionaron probetas cúbicas de 15 cm con una misma dosificación, áridos y tipo de cemento. Se colocaron 8 barras de acero A 63-42 H de diámetro 8 mm con resaltes, embebidos en la mezcla de hormigón en estado fresco a 2 y 3 cm cada una de las caras controladas de las probetas y sobresaliendo entre 3 y 4 cm sobre la cara superior para realizar las mediciones de potencial eléctrico. La finalidad de la posición de las barras era tener valores de potencial de corrosión para dos espesores de recubrimiento de hormigón en cada cara de las probetas.

Se fabricaron probetas tal como se muestra en figura 1:

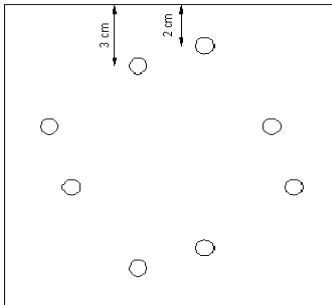


Figura 1. Planta Distribución de Barras

Dosificación de Morteros con Adición de Acrílicos

Se fabricó mortero de relación 1:3, compuesto por 1 parte en peso de cemento portland puzolánico grado corriente y 3 partes en peso de arena fina, tamaño máximo 4 mm, de granulometría continua que cumple con lo recomendado en NCh 2256, más la adición de una emulsión acrílica compatible con los álcalis del cemento.

Para cuantificar el efecto de incorporación de la emulsión acrílica a la masa de mortero fresco, se utilizaron 3 dosis de adición: 10, 15 y 20% del peso del cemento, lo que, para una misma trabajabilidad, como reducido y consistencia plástica, se logró la dosis de acrílico utilizado con la razón agua- cemento en peso (A/C) del mortero según Tabla 1:



2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

Tabla 1. Relación de la Dosis de Acrílico y la Razón A/C utilizada

| Dosis | Razón A/C |
|-------|-----------|
| 10% | 0,38 |
| 15% | 0,36 |
| 20% | 0,32 |

Independiente de la dosis de acrílico utilizado, cada mortero fue colocado sobre las caras expuestas de las probetas en espesores de 10 y 20 mm, en distintas probetas, a fin de evaluar el efecto del espesor del revestimiento en su comportamiento.

Paralelamente a la confección de morteros acrílicos, se confeccionaron morteros en relación 1:3 con cemento Alta Resistencia y arena de características similares a las utilizadas anteriormente.

Dosificación de Hormigones

Para la dosificación de hormigones se utiliza el método Faury modificado [10]. La dosificación de todos los hormigones fue la misma, teniendo como principales características las siguientes:

- Tamaño Máximo Nominal de Áridos (Gravilla) = 20 mm
- Razón Agua / Cemento según NCh 170 = 0.5
- Dosis de cemento = 280 kg./ m³ (portland puzolánico)
- Agua de amasado = 140 litros / m³ (Agua Potable)
- $Y_{d/2} = 67\%$
- $g_1 = 0.45$; $g_2 = 0.44$; $c = 0.11$

En Tabla 2 se muestra la dosificación por metro cúbico:

Tabla 2. Dosificación utilizada en la confección de probetas.

| | Densidad Aparente (kg / m ³) | Masa (kg) | Densidad Real (kg / m ³) | Volumen (litros) |
|--------------|---|--------------|---|---------------------|
| Cemento | - | 280 | 3 | 93 |
| Arena | 1.78 | 1029 | 2.67 | 385 |
| Gravilla | 1.59 | 1036 | 2.71 | 382 |
| Agua | - | 140 | 1 | 140 |
| R A/C | 0,5 | | | |
| CONO | 5 – 8 cm | | | |
| TOTAL | | | | 1000 |



2º ENCUESTRO NACIONAL DE CORROSIÓN Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

Las probetas fueron curadas al aire durante 21 días, cubiertas con lámina de polietileno de 0,2 mm de espesor.

En cuanto a los morteros aplicados, fueron curados al aire, tapados con lámina de polietileno de espesor 0.2 mm durante 7 días, con humedad relativa del aire entre 50 % y 60% y temperatura no inferior a 18° C ni superior a 23° C.

Profundidad de carbonatación.

Para medir la profundidad de carbonatación las probetas se cortaron en dos mitades de 7,5x15x15 cm. Sobre la cara de corte se agregó mediante un rociador una solución de Fenolftaleína, [8] el indicador ácido- base que se torna color Fucsia, si el pH es mayor que 10 e incolora si es menor.

Independientemente de las mediciones de profundidad en las probetas cortadas al final del proceso según RILEM [9], se realizaron medidas periódicas de la penetración, las cuales se realizaron perforando la probeta cada 2 o 3 milímetros hacia el interior, (para obtener un perfil de penetración del agente agresivo) con brocas para hormigón desde 8 mm de diámetro, disminuyendo el diámetro de la broca a medida que se avanzaba, hasta encontrar la coloración fucsia en el polvo extraído con el indicador Fenolftaleína. Las profundidades se fueron midiendo con un pie de metro. El desarrollo del proceso de carbonatación se midió a 1, 2, 5, 7, 14 y 21 días para todas las probetas, ya que de acuerdo a investigaciones anteriores, mediante este tipo de procedimiento es posible determinar la velocidad de ataque. Se ha estimado la máxima profundidad de carbonatación como la penetración de CO₂ hasta el centro de la probeta, lo que corresponde a 75 mm.

Medidas de Potencial de Corrosión

Se realizaron en forma periódica con un milivoltímetro de alta impedancia con respecto al electrodo de referencia Cu/CuSO₄, a cada una de las barras de acero de las probetas, para analizar el riesgo de corrosión de las armaduras.



**2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.**

Resultados y Discusión

Profundidad de carbonatación por análisis de polvo extraído.

El avance de carbonatación se midió a 1, 2, 5, 7, 14 y 21 días de exposición, se utilizó el polvo extraído con taladro y se determinó mediante el indicador fenolftaleína.

Los resultados de las mediciones se muestran a continuación en gráficos, por tipo de recubrimiento utilizado.

En las figuras 2 y 3, es posible notar que la penetración de CO₂ para morteros con acrílico incorporado y 20 mm de espesor, presenta un mejor comportamiento que los de 10mm de espesor, para todo porcentaje de acrílico.

Además, a mayor contenido de acrílico, mejor es el comportamiento contra la penetración de CO₂.

Al analizar la figura 4, se puede notar que la efectividad frente a la penetración de CO₂ de este tipo de morteros, no presenta diferencias notables al tener 10 o 20 mm de espesor. Tiene un efecto barrera respecto del patrón, que es hormigón sin mortero.

Al comparar las figuras 2, 3 y 4, aunque se nota una disminución de la penetración de CO₂ al utilizar cualquiera de estos sistemas de protección, en los morteros con acrílico incorporado de 10 mm de espesor, existe la mayor penetración de CO₂, notándose que incluso en algunos casos se comportan como si no tuvieran acrílico, por tener similar penetración que los patrones correspondientes. También se puede ver que desde los primeros días existen diferencias entre los morteros de alta resistencia y el mortero con acrílico incorporado y 20 mm de espesor, ya que este último es de mayor efectividad frente al ataque de CO₂, presentando menor profundidad de penetración durante los días de exposición.

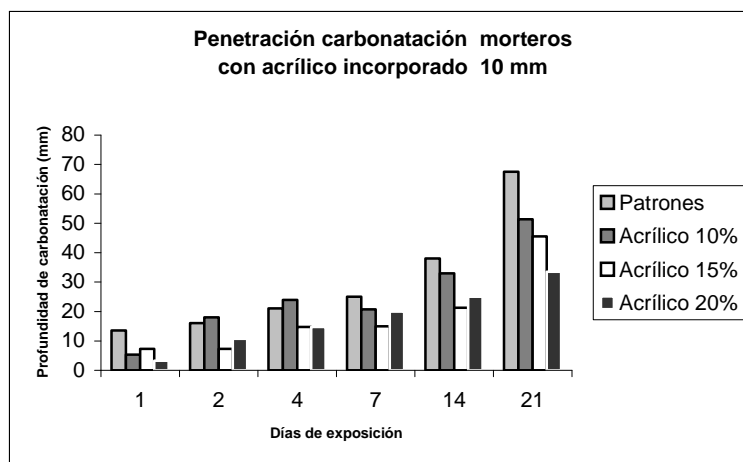


Figura 2. Profundidad de carbonatación probetas con mortero 10mm.

2º ENCUESTO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

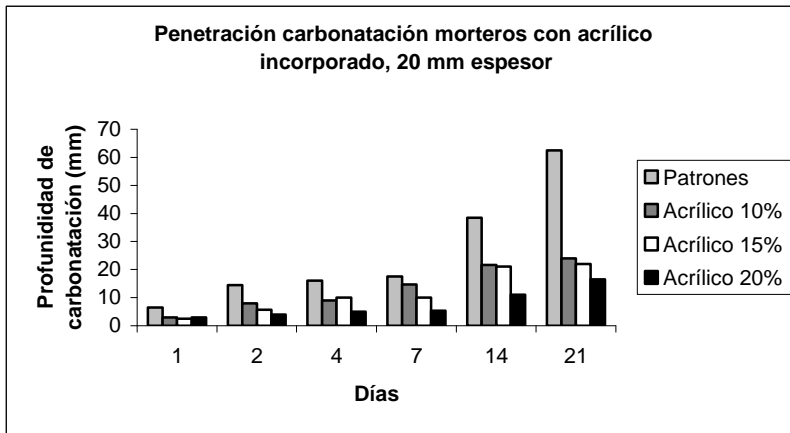


Figura 3. Profundidad de carbonatación probetas con mortero 20mm.

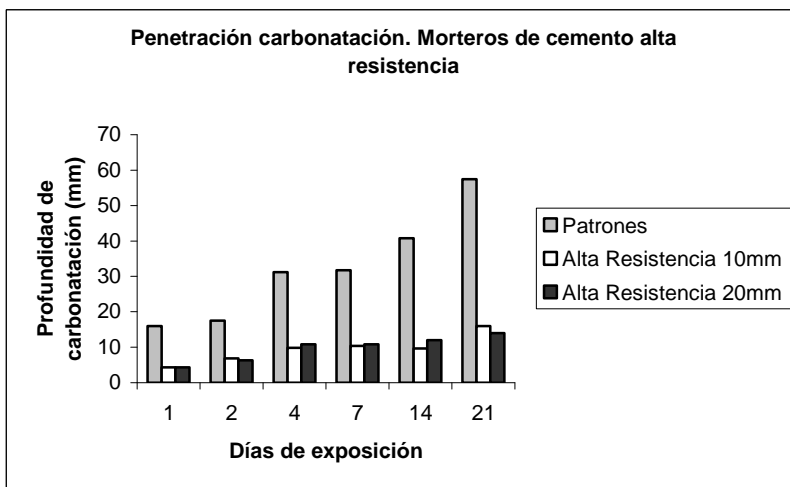


Figura 4. Profundidad de carbonatación probetas con mortero de cemento alta resistencia.

Análisis Profundidad de Carbonatación por corte de probetas.

Las experiencias en cámaras de carbonatación fueron realizadas hasta los 21 días, sin embargo es posible determinar que es suficiente un tiempo de 14 días de exposición para comparar en forma diferenciada el comportamiento de estos tipos de recubrimientos. Lo anterior se dedujo porque algunas de las probetas estudiadas en este medio, a los 21 días presentan máximos de 75 mm de profundidad, lo que indica que toda la probeta está carbonatada.

Para analizar las propiedades de cada recubrimiento, no se considera el día 21 ya que el efecto “esquina” es más notorio y provoca una penetración promedio mayor. Por esto, se comparan los resultados sobre zonas intermedias.

Con el fin de analizar si el método de extracción de polvo con taladro era representativo del comportamiento de las probetas, después de los 21 días de exposición éstas fueron cortadas

2º ENCUESTO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

y se realizaron mediciones de las diferentes profundidades de carbonatación, centímetro a centímetro, después del proceso de carbonatación acelerada; se logra un perfil de carbonatación según la altura de la probeta.

Al comparar las figuras 5 y 6 de morteros con acrílico incorporado, es posible notar que los morteros de 20 mm de espesor con acrílico incorporado tienen un mejor comportamiento que los del mismo tipo pero de 10 mm de espesor.

En la figura 7 es posible apreciar que los morteros de alta resistencia con espesor de 10 y 20mm, tienen un comportamiento muy parecido en cuanto a la penetración de CO₂.

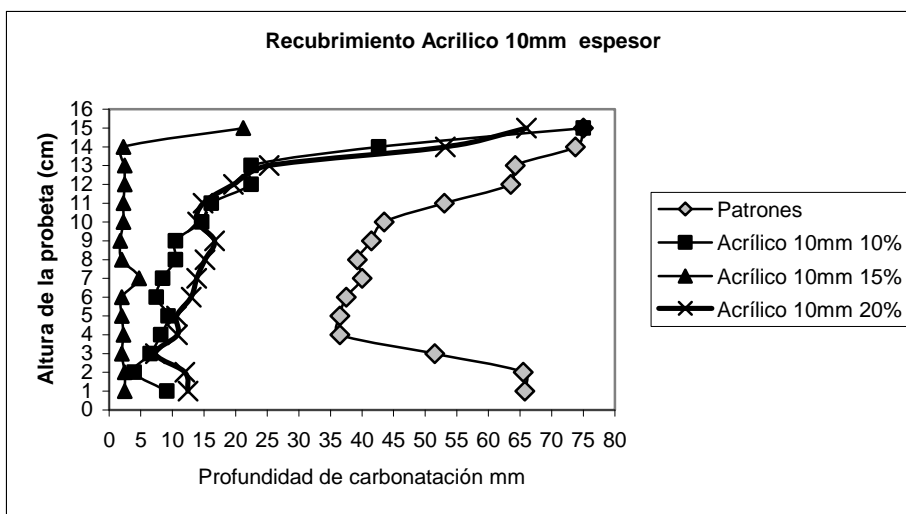


Figura 5. Perfil de profundidad de carbonatación en probetas con mortero de 10mm de espesor, con acrílico incorporado en proporciones de 10, 15 y 20%.

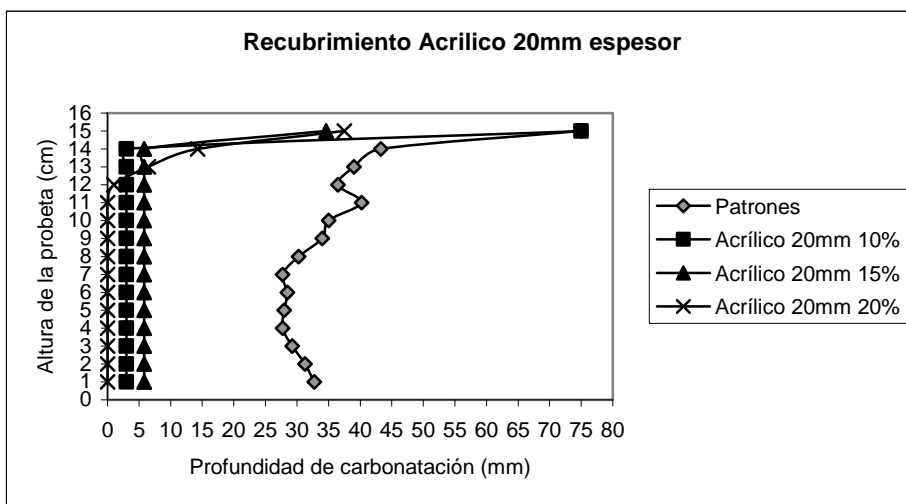


Figura 6. Perfil de profundidad de carbonatación en probetas con mortero de 20mm de espesor y acrílico incorporado en proporciones de 10, 15 y 20%.

2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

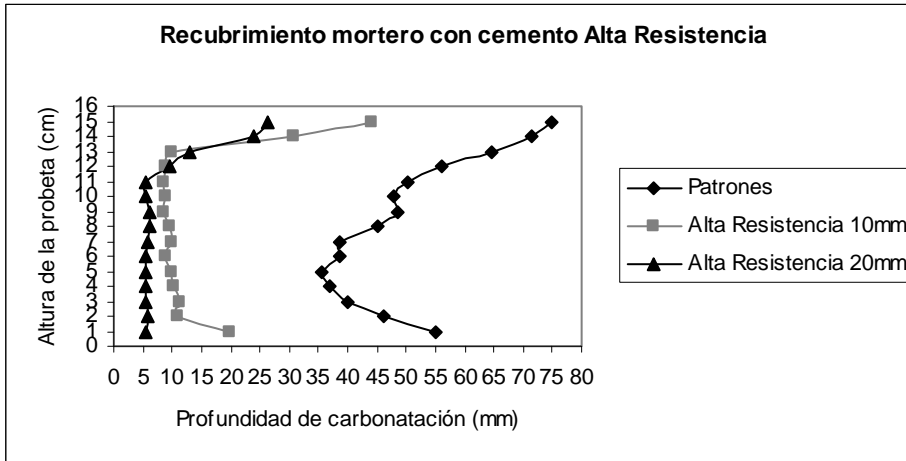
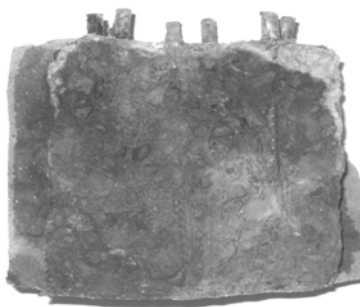


Figura 7. Perfil de profundidad de carbonatación en probetas con mortero de cemento alta resistencia de 10 y 20 mm de espesor.

Las figuras 8 y 9 representan la diferencia entre probetas con mortero de 20 mm de espesor y 20 % de acrílico incorporado, que no presenta penetración de CO₂ y a una probeta sometida al mismo proceso de carbonatación acelerada, que no tiene mortero de protección. Esta última sólo tiene el centro de la probeta sin carbonatar a los 21 días de exposición.



| | |
|--|--|
| Figura 8. | Figura 9. |
| Probeta mortero con acrílico 20 mm en 20%, a 21 días de carbonatación acelerada, impregnada con fenolftaleína. | Probeta patrón a 21 días de carbonatación acelerada, impregnada con fenolftaleína. |



**2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.**

Análisis de Potencial de corrosión

Al planificar distintos espesores de recubrimiento (2 y 3 cm) para las barras de acero dentro de las probetas, se esperaba encontrar diferencias notables entre los aceros ubicados a distintas distancias, sin embargo no existen diferencias fundamentales en los valores de potencial de corrosión para los distintos tiempos de exposición.

En Figuras 10 y 11 se presentan los valores de potencial de corrosión promedio de los aceros de las distintas probetas, con 2 y 3 cm de espesor de recubrimiento, hasta los 21 días de exposición en cámara de carbonatación acelerada.

El potencial de corrosión de los aceros que tenían 2 a 3 cm de recubrimiento de hormigón no entregó diferencias notables en sus valores. Se esperaba que las barras que estaban a 2 cm presentaran valores más negativos en sus potenciales de corrosión. Es posible inferir que en el proceso de carbonatación acelerada, no se alcanza a diferenciar la despasivación de las barras.

En las probetas con morteros de cemento de alta resistencia, los aceros desde el día 5º tienen un valor de alto riesgo de corrosión, a diferencia de las probetas con otro tipo de recubrimiento, cuyos valores se vuelven riesgosos para probetas con mortero con acrílico incorporado de 10 mm de espesor, después del día 14, y sin riesgo alto en todos los días de exposición para las probetas con acrílico incorporado y 20 mm de espesor.

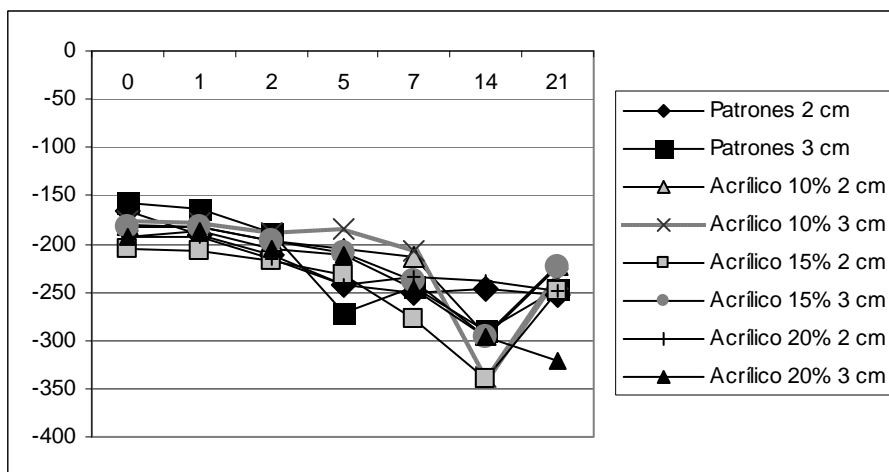


Figura 10. Potencial de corrosión probetas con mortero con acrílico en 20mm.

2º ENCUESTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

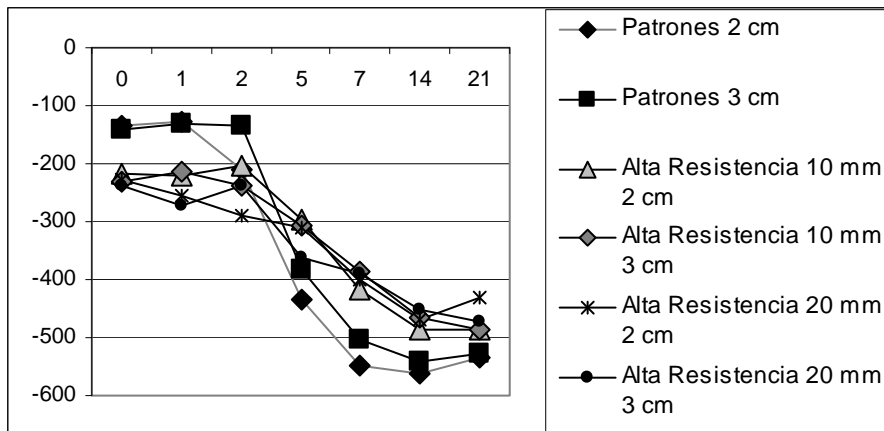


Figura 11. Potencial de corrosión probetas con mortero de cemento alta resistencia.

Respecto de las dos formas de determinar la profundidad de carbonatación, se analizó si existía una relación entre ellas. El análisis de la figura 12 indica que no existe una relación cuantificable entre ambas mediciones. Las mediciones por extracción de polvo corresponden a promedios de medidas realizadas a diferentes alturas de cada probeta, a diferencia de las mediciones después del corte, donde el perfil está claramente identificado. Según esto, la información que se desprende de los datos obtenidos es insuficiente para demostrar que existe relación entre ambas mediciones, por lo que se debe realizar un mayor número de perforaciones para obtener una media aceptable.

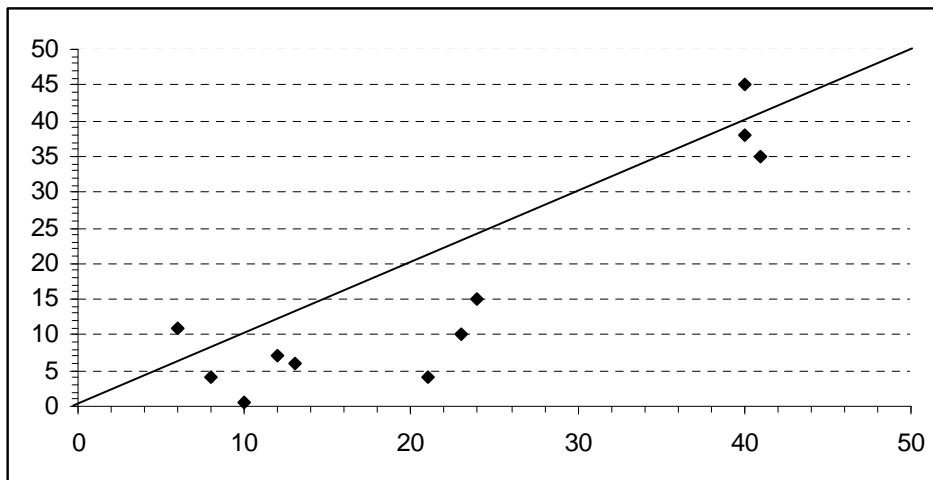


Figura 12. Relación entre mediciones de profundidad de carbonatación: de extracción de polvo con taladro y del corte al final de la experiencia.

Conclusiones



2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

Los morteros con cemento de alta resistencia presentan un mejor comportamiento que los morteros con 10 y 15% de acrílico incorporado y 10 mm de espesor. Por otra parte, los morteros de 20 mm de espesor con acrílico incorporado en sus tres porcentajes superan en comportamiento a los de alta resistencia, y entre ellos, el de mejor comportamiento fue el mortero con 20% de acrílico incorporado, que no tuvo ingreso medible de CO_2 al finalizar los 21 días de exposición.

En las probetas recubiertas con morteros con acrílicos incorporados en distintos porcentajes, la adición de acrílico a morteros con un espesor de 10 mm, (con el % de acrílico incorporado de 20%) mejora en un 50% la impenetrabilidad, comparado con las probetas patrón sin recubrimiento.

En los morteros fabricados con cemento de alta resistencia, de 10 y de 20 mm de espesor, no se evidencia una diferencia sustancial en su comportamiento, presentando ambos un efecto barrera a la penetración de CO_2 . Según esto, un espesor de 10 mm de mortero sería menos costoso para lograr la protección de la estructura.

El comportamiento de las probetas analizadas por ambos métodos, tanto extracción de polvo con taladro como corte de las probetas, es aparentemente similar porque coinciden en forma cualitativa, ya que todas las probetas cortadas tienen un claro perfil, sin embargo en ciertas zonas los áridos de mayor tamaño dieron mediciones que no se ajustaban a la realidad.

Los valores de potencial indican que en todos los casos después de 21 días de carbonatación acelerada, los aceros se encuentran despasivados, lo que coincide con las profundidades de carbonatación, ya que en al menos dos puntos de las probetas hay una penetración superior a 30 mm, que es la mayor distancia a la que se encuentran las armaduras en las probetas.

La tendencia general es que los valores de potencial de corrosión tienden a ser más negativos a medida que aumenta la profundidad de carbonatación y tiempo de exposición.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil, a la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y al Proyecto DURACON (CYTED), por el apoyo brindado.

Bibliografía

[1] CYTED, Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo. Manual de inspección y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Río de Janeiro. Brasil. Junio 1998, 2º Edición, pp 42.

[2] Vera R., Carvajal A. "Evaluación de recubrimientos superficiales en la corrosión del hormigón armado en ambientes industriales", en Revista de la Construcción Vol 4,1. Agosto 2005 Chile, pp13-18.



2º ENCUENTRO NACIONAL DE CORROSIÓN
Asociación Chilena de Corrosión. ACHCORR-2008.

- [3] Carvajal A., Benavides F., Silva C., Valiente J. y Venegas A.. Estructuras portuarias de hormigón armado en Chile. Tesis (Memoria para optar al título de Constructor Civil). Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil, 2003.
- [4] Carvajal A., Vera R. “Recubrimientos con hidrorrepelente, una alternativa de análisis” en memorias del congreso Colloquia 2001, Madrid, España, pp 123-132.
- [5] Carvajal A., Barros E., Vera R.: “Estudio de efectividad de recubrimientos protectores superficiales contra la carbonatación, en viviendas de hormigón armado semi-permeables” en memorias de congreso CONPAT 2003. Méjico.
- [6] Cruces J. y Cordero M. Polímeros acrílicos en morteros. Tesis (Memoria para optar al título de Constructor Civil). Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil, 1988. 34 p.
- [7] Smith, W. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Tercera Edición. España. Editorial McGraw Hill. 1998. pp. 334 – 336.
- [8] Composición: 1 gr de Fenolftaleína + 49 gr de alcohol + 49 gr de agua.
- [9] RILEM Recommendations CPC-18, “Measurement of hardened concrete carbonation depth”, Materials and structures, (Francia) 21: 1988, núm 126, pp 453-455
- [10] R. Giani, A. Solas. El Hormigón y su Tecnología. Edición Universidad Católica de Chile, Chile, pp 38, 39. 2001.