



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Carvajal, A.M; Jorquera, C

Estudio del efecto del ambiente marino-industrial en estructuras de hormigón armado que poseen
protección superficial de mortero con acrílico incorporado

Revista de la Construcción, vol. 9, núm. 2, diciembre, 2010, pp. 108-115
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127619215011>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

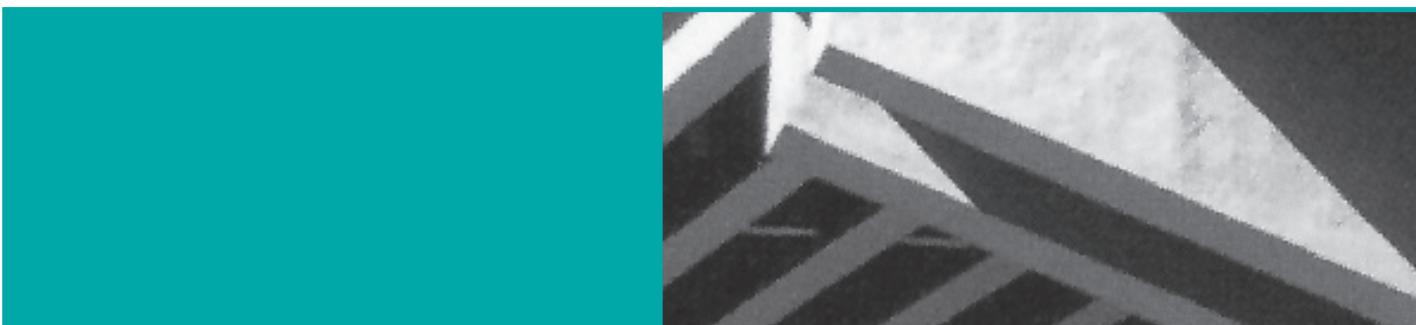
redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Effect of marine-
industrial environment
on reinforced concrete
structures with
superficial protection
of acrylic-
incorporated mortar*

Estudio del efecto del ambiente marino- industrial en estructuras de hormigón armado que poseen protección superficial de mortero con acrílico incorporado



Autores

- CARVAJAL, A. M.** Académica Escuela de Construcción Civil
Pontificia Universidad Católica de Chile
acarvajg@uc.cl
- JORQUERA, C.** Constructor Civil PUC, Licenciado en Construcción
Pontificia Universidad Católica de Chile

Fecha de recepción 06/07/2010

Fecha de aceptación 01/12/2010

Resumen

Esta investigación presenta análisis y resultados experimentales del comportamiento de recubrimientos superficiales tipo mortero, en probetas de hormigón armado, sometidas a un ambiente agresivo marino-industrial, en un sistema acelerado para observar sus efectos en menos tiempo. De los resultados obtenidos en la inves-

tigación, se determinó que el ambiente acelerado marino industrial es más adverso para el hormigón armado que un ambiente marino o industrial por separado. Entre los recubrimientos de mortero con 10%, 15% y 20% de acrílico no se aprecia un comportamiento más ventajoso para el de mayor porcentaje de acrílico, salvo en la primera exposición a cloruros.

Palabras clave: Carbonatación acelerada, cloruros, hormigón armado, morteros con acrílico incorporado.

Abstract

This research provides analysis and experimental results on the behavior of mortar-type superficial coatings, in reinforced concrete specimens exposed to an aggressive marine-industrial environment, in an accelerated system to observe its effects in less time.

From the results obtained in the investigation it was found that the marine-

industrial accelerated environment is more adverse for reinforced concrete than marine or industrial environments separately. Among mortar coatings with 10%, 15% and 20% acrylic, a more advantageous behavior for the type with highest acrylic percentage is not noted, except for the first exposure to chloride.

Key words: accelerated carbonation, chlorides, reinforced concrete. acrylic-incorporated mortars

1. Introducción

Actualmente las estructuras de hormigón están expuestas a ambientes física y químicamente adversos desde la etapa de construcción y los daños causados por estos agentes agresivos afectan la calidad final del hormigón y de la estructura.

Dos de los factores más importantes que pueden afectar el comportamiento del hormigón armado son: la corrosión de las barras de acero debido a los iones cloruro y la carbonatación; la resistencia que el hormigón pueda ofrecer ante estos agentes agresivos dependerá, entre otros, de su composición química, de la microestructura de la matriz de cemento y de las condiciones ambientales a las cuales la estructura vaya a estar sometida [10,11,15].

Así, por ejemplo, en ausencia de oxígeno y/o humedad, el proceso corrosivo no se originará o será tan lento que no modificará la vida útil de la estructura [3,4, 7].

Sin embargo, los productos de corrosión ocupan un volumen mucho mayor al del acero, generando presiones expansivas en el hormigón que rodea a la barra de acero provocando el inicio y la propagación de la fisuración [4, 7,13, 15].

Por otro lado, en ambientes con altas concentraciones de gases nocivos, como CO_2 , SO_2 , H_2S o HF , el ambiente alcalino que el hormigón provee al acero puede desaparecer y por lo tanto la película pasiva que recubre la superficie del acero también puede perderse; la corrosión de las barras de acero es más probable que suceda [9]. Aunque la carbonatación es considerada menos severa que el ingreso de cloruros, es mucho más generalizada porque implica el dióxido de carbono del aire. Además, la carbonatación combinada con el ingreso de cloruros reduce la durabilidad del hormigón, ya que acelera el ingreso de cloruros [14]. De este modo, cuando el hormigón se encuentra carbonatado, la agresividad del ión cloruro se incrementa [7], asimismo, cuando la carbonatación se produce en un hormigón que tiene cloruros, los efectos que producen cada uno se suman, y además, debido a la acción del CO_2 sobre las fases sólidas del cemento, los cloroaluminatos se pueden disgregar y dejar libres los cloruros combinados [3].

El contenido de humedad del hormigón tiene un rol importante, ya que favorece la penetración y disolución de los agentes agresivos, y además suministra el medio para que la corrosión progrese [3, 15]. Las tasas de carbonatación más altas se presentan cuando la humedad relativa es mantenida entre 50% y 75%. Bajo el 25% de humedad relativa, el grado de carbonatación es prácticamente insignificante, ya que el CO_2 no puede

reaccionar sin la existencia de un medio líquido; sobre el 75% de H.R., la humedad en los poros restringe la penetración de CO_2 [1, 3]. En cuanto a las concentraciones de CO_2 , en promedio en la atmósfera hay alrededor de un 0.03%. Se ha reportado que en una gran ciudad o una zona industrial el contenido de CO_2 podría alcanzar un valor de 0.3% y a veces incluso el 1% [3,9].

El ingreso de iones agresivos o moléculas dentro de los hormigones es gobernado por varios mecanismos de transporte. Básicamente hay cuatro mecanismos de transporte: absorción capilar, difusión, permeabilidad y una mezcla entre absorción capilar y permeabilidad [7]. La difusión a menudo predomina, dado que el transporte es debido a las gradientes de concentración entre la red de poros y el medio ambiente del hormigón [14].

Los tratamientos superficiales en el hormigón son cada vez más usados para limitar la penetración de cloruros y aumentar la resistencia a la corrosión inducida por cloruros de las barras de acero embebidas en hormigón. De acuerdo a Zhang y Buenfeld [16], el perfil de cloruro obtenido provee información de la distribución de cloruros a través de la profundidad del espécimen, dando una medida directa de la penetración de iones cloruro. Hasta ahora no existiría un solo método reconocido para interpretar los perfiles de cloruro en hormigones tratados superficialmente, debido sobre todo al complicado análisis matemático que implicaría.

De acuerdo a Aggarwal, Thapliyal y Karade [2] los polímeros son incorporados ya sea como agregado en la mezcla de cemento o usado como aglutinante único. Los materiales que contienen polímeros, cemento y agregados son llamados morteros modificados con polímeros (MMP) u hormigones modificados con polímeros (HMP), mientras que los compuestos hechos con polímeros y agregados son llamados morteros poliméricos (MP) u hormigones poliméricos (HP). Dado que los polímeros son costosos, el primer tipo de aplicación es preferido sobre el último en la mayoría de los casos.

Es decir, 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 [5,8,13].

Sin embargo, hay varias interacciones entre los polímeros y los productos de la hidratación, las cuales dependen del tipo de polímeros y cementos [12].

Debido a lo anterior, es importante estudiar y analizar el comportamiento de hormigones locales con el tipo de protección que se desea analizar, ya que las propiedades de los polímeros agregados al cemento varían, dependiendo del tipo de cemento utilizado, por lo que en este estudio se presentan los resultados de las experiencias con cemento local de mayor uso en Chile.

2. Procedimiento experimental

2.1 Descripción de los ensayos acelerados

Ambiente marino

Las probetas se colocaron en un recipiente de acrílico de dimensiones 0.8 x 0.5 x 0.2 m de polietileno de alta densidad con una solución acuosa de cloruro de sodio (4,27 M NaCl). Este primer proceso se realizó en tres ciclos de semiinmersión y secado.

Ambiente industrial

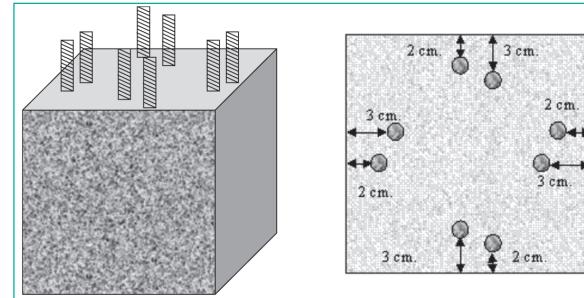
Después de salir de las cámaras de penetración de cloruros, y antes de ingresar las probetas a la cámara de carbonatación se realiza el secado de las probetas en estufa por 48 horas a 40°C. El secado o estabilización del peso es necesario antes de la carbonatación para equilibrar la humedad interna del hormigón con humedad relativa entre 40 a 60% dentro de la cámara de carbonatación. Esta humedad relativa es la adecuada para permitir que haya suficientes poros abiertos para que el gas alcance el interior del hormigón y provea la suficiente capa de agua en los poros para permitir una rápida reacción con el material alcalino.

Luego, 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 25 y 26°C y entre 60 y 65%, respectivamente.

Las probetas son 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 resaltos, embebidos en la mezcla de hormigón en estado fresco, a 2 y 3 cm de cada una de las caras 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 pro-

betas [29]. Se utilizaron probetas tal como se muestra en Figura 1:

Figura 1 Esquema de probeta y 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 3:

Profundidad de carbonatación

Para medir la profundidad de carbonatación las probetas se cortaron en dos mitades mediante una máquina hidráulica cortadora de probetas.

Independientemente de las mediciones de profundidad en las probetas cortadas al final del proceso según RILEM [13], se realizaron medidas periódicas de la penetración, perforando la probeta cada 5 milímetros hacia el interior 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. Esta perforación se realizó a una altura de 8 a 10 cm medidos desde la base de la probeta. El desarrollo del proceso de carbonatación se midió a 0, 5, 7 y 14 días para todas las probetas.

Medidas de potencial de corrosión

Se realizaron en cada una de las barras de acero de las probetas, en forma periódica, con un milivoltímetro de alta impedancia con electrodo de referencia Cu/CuSO₄, con el fin de analizar el riesgo de corrosión de las armaduras durante las distintas etapas de la investigación

3. Resultados y discusión

Potencial de corrosión

El potencial de corrosión se midió durante el proceso de inmersión y secado a los 0, 1, 4 y 8 días y luego durante el proceso de carbonatación se midió a los 0, 5, 7 y 14 días. Para poder determinar los riesgos de corrosión de los aceros, se utiliza la norma ASTM C876, donde se definen los límites de probabilidad de actividad del acero en función del potencial de corrosión.

Entre las probetas que entran a la primera etapa de exposición a cloruros, las probetas patrón comienzan a mostrar potenciales inferiores a -400 mV después del segundo ciclo de inmersión y secado. En cambio todas las probetas con mortero acrílico se mantienen con valores mayores a -300 mV incluso después del segundo ciclo de inmersión en cloruros (etapa I), lo que significa la pasividad del acero en el interior del hormigón.

Después del tercer ciclo las probetas con 20% de mortero acrílico son las que poseen un menor riesgo de corrosión al tener un potencial mayor a -250 mV.

Los valores de potencial de corrosión de las probetas expuestas solo a carbonatación acelerada al día 14

tienen valores mayores a -350 mV. En cambio, las probetas sometidas a carbonatación después de la primera exposición a cloruros, al día 5 todas tienen potenciales de corrosión menores a -400 mV.

En la segunda etapa de penetración de cloruros, los potenciales de corrosión para todos los aceros de las distintas probetas, presentan valores más negativos que -450 mV, lo que indica el estado activo de todos los aceros. No existe diferencia significativa con las probetas patrón, y tampoco existe diferencia para los dos espesores de recubrimiento de hormigón para cada acero.

Valores de potencial de corrosión según espesor de recubrimiento

El espesor de recubrimiento de hormigón (2 y 3 cm) en los aceros de cada probeta no fue una variable a través de la cual se pudiera observar diferencias de valores en el potencial de corrosión. Este mismo comportamiento se repitió en cada una de las etapas. Según esto, la diferencia de recubrimiento entre 2 y 3 cm no aporta mayor protección a los aceros en las probetas de hormigón armado.

Profundidad de carbonatación

El avance de la carbonatación se midió a los 0, 5, 7 y 14 días de exposición, para esto se utilizó el polvo extraído de la perforación con taladro y se determinó mediante el indicador fenolftaleína.

Se pudo apreciar que entre las probetas no existe una diferencia importante en relación a las profundidades de carbonatación al término del ensayo. Sin embargo,

Figuras 2 y 3 Potencial de corrosión por exposición a cloruros y carbonatación, Etapa I

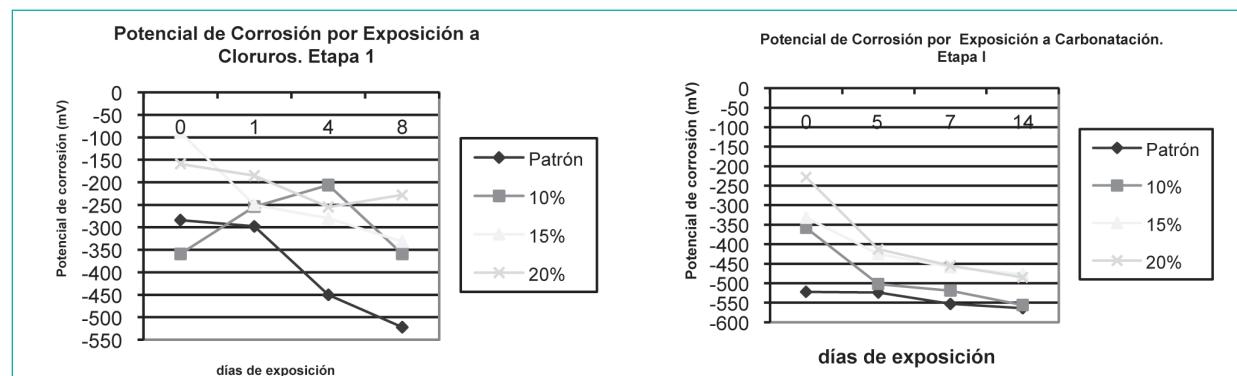


Figura 4 Valores de potencial de corrosión en la segunda etapa de penetración de iones cloruro

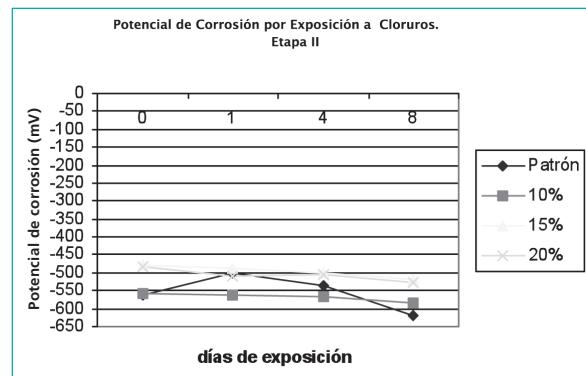
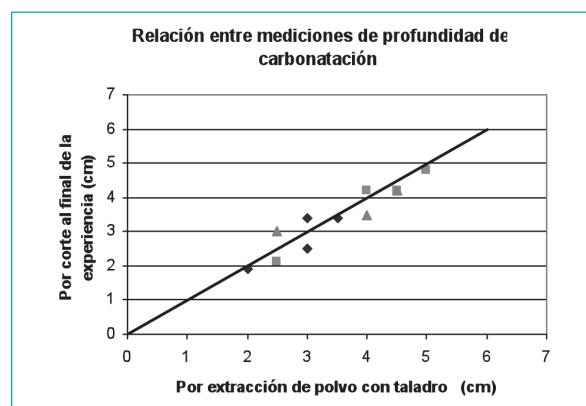
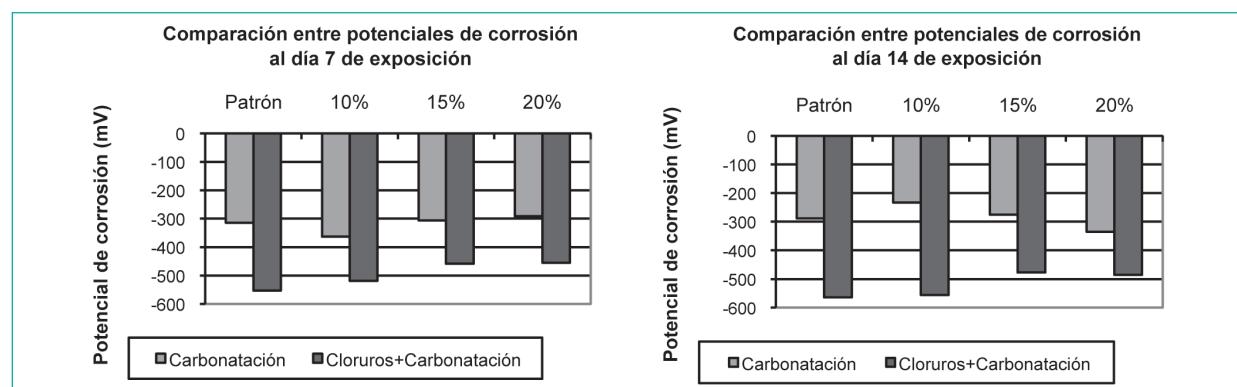


Figura 5 Relación directa entre el análisis de profundidad de carbonatación por polvo extraído con taladro y el corte de probeta. (Ambas con indicador fenolftaleína)



Figuras 6 y 7 Comparación de potenciales de corrosión entre probetas sometidas solo a carbonatación y cloruros+carbonatación



en los primeros días de exposición, el mortero que contiene 20% de acrílico, muestra un mejor comportamiento frente al ataque de cloruros y posterior proceso de carbonatación.

Las que presentarían un mejor comportamiento son las probetas con 20% de acrílico en los primeros 7 días de exposición a carbonatación acelerada. Hasta el día 7 el patrón presenta menor protección a la acción del CO_2 . Sin embargo, entre los hormigones recubiertos con mortero acrílico y aquellos que no lo contienen, prácticamente no existe diferencia al día 14 de exposición, después de haber estado en el proceso de penetración de cloruros.

En la Figura 5 se muestran los resultados de las profundidades de carbonatación tanto por extracción de polvo con taladro como la obtenida al final del proceso mediante corte de la probeta y posterior aplicación de fenolftaleína.

Los resultados permiten deducir que las mediciones hechas con taladro comparadas con las probetas cortadas por la mitad son muy parecidas. Este resultado puede tener una buena proyección para el diagnóstico de estructuras reales.

Comparación de potenciales de corrosión entre probetas sometidas a carbonatación y a cloruros+carbonatación

Las Figuras 6 y 7 muestran las diferencias notables en valores de potencial cuando hay exposición solo a carbonatación y cuando además hay exposición a cloruros.

Variación de peso durante el proceso de investigación

Todas las probetas eran pesadas antes y después de cada etapa, por lo anterior se pudo determinar que las probetas que aumentaron en mayor porcentaje su peso fueron las probetas patrón, seguido por las de 10%, 15% y 20%, dándose una lógica en estos valores, lo que sugiere que es un posible método de comparación del comportamiento de un hormigón frente a los distintos ambientes agresivos. Lo anterior se puede apreciar en la Tabla 1.

La penetración de cloruros por difusión es menor para las probetas que tienen mortero con 20% de acrílico, y todas las probetas tienen resultados esperables ya que el patrón presenta mayor diferencia de peso, seguido de las que tienen 10% de acrílico, luego las de 15% y por último las de 20% de acrílico incorporado en el mortero.

Esta situación podría deberse a que estando con mayor cantidad de cloruros proveniente de la primera etapa, la siguiente etapa de exposición a carbonatación las probetas se encuentran con los poros saturados de cloruro, como es el caso de los patrones, en los que no se registra diferencia de masa por carbonatación porque ha habido un aumento notable de masa debido a la primera etapa de penetración de cloruros.

Comparación entre la penetración de cloruros y los valores de potencial de corrosión

En las Figuras 8 y 9 se aprecia la penetración de cloruros una vez finalizados los procesos descritos anteriormente. Para esto las probetas fueron partidas por la mitad, una de las cuales se utilizó para medir la penetración de cloruros y la otra para medir la profundidad de carbonatación.

En cuanto a la penetración de cloruros, es posible relacionar los valores de potencial de corrosión más negativos, que corresponden a los aceros de probetas que tienen mayor profundidad de penetración de cloruros.

Figura 8 Probeta 1:
15%: -354 mV

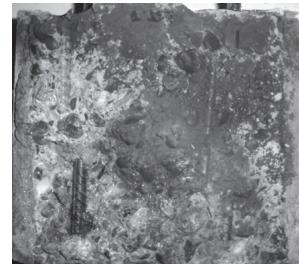


Figura 9 Probeta 2:
15%: -608 mV



Como ejemplos, las probetas que resumen el comportamiento frente a los reactivos: nitrato de plata y cromato de potasio. Coloración oscura indica que no ha penetrado cloruro, en cambio blanco indica que sí hay cloruros hasta esa profundidad. En la probeta 2 se puede notar que a la profundidad donde se ubican los aceros todo está con coloración blanca y solo queda un mínimo sector central con coloración oscura.

4. Conclusiones

En el ambiente marino industrial acelerado se presenta una mayor agresividad que en el ambiente también acelerado, marino e industrial por separado. Aunque es un fiel reflejo de la realidad, es interesante notar que en un tiempo mínimo de 20 días se ha logrado emular el comportamiento real de las estructuras, que demora muchos años en el proceso de despasivación y corrosión del acero. En forma rápida se puede investigar un tipo de recubrimiento y compararlo con otros. Es un método de referencia para futuras pruebas de calidad de los materiales.

Entre los morteros con 10%, 15% y 20% de acrílico no se aprecia un comportamiento más favorable para el de mayor porcentaje de acrílico, salvo en la primera

Tabla 1 Variación de peso durante todo el proceso

	Patrón	Probeta 10%	Probeta 15%	Probeta 20%
Peso inicio investigación (kg)	8.320	10.340	10.530	10.820
Peso final investigación (kg)	8.816	10.857	10.992	11.208
Δ de peso (kg)	0.496	0.517	0.462	0.388
Δ % de peso	+5.96	+5.00	+4.39	+3.59

exposición a cloruros, en que al término de esta etapa las probetas con 20% de acrílico tienen un valor de potencial de corrosión menos negativo que el resto. Esto es interesante, ya que el acrílico en mayor porcentaje es solo más costoso pero no más protector.

Las mediciones realizadas con taladro y comparadas luego con las probetas abiertas coinciden casi en un 100%, por lo que se puede concluir que es posible hacer un diagnóstico de una estructura por carbonata-

ción, basándose en la perforación con taladro en zonas intermedias de los paramentos verticales.

Las mínimas diferencias registradas en los potenciales de corrosión para acero que se encontraban a 2 y 3 cm de la superficie, permiten deducir que para la distancia de 3 cm existe mayor costo involucrado, pero al parecer no mayor protección, al menos, cuando las probetas están protegidas con recubrimiento tipo mortero con acrílico incorporado.

Referencias

1. ACI Committee 201. Guide to durable concrete. 2001.
2. Aggarwal L.K, Thapliyal P.C, Karade S.R. Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions. *Construction and Building Materials* 21 2005, pp. 379-383.
3. Barrera H., Pérez H., Sandoval R. La Carbonatación en edificios de Santiago. www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar_HorPer_RamSan.pdf
4. Barrera H., Henríquez S., Salgado D. Influencia del cemento y sus adiciones en la corrosión del acero de hormigón armado. www.seconstruye.com/jh2003/PDF/trabajos/HugBar_SerHen_DieSal.pdf
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. México.
6. 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.
7. Carvajal A., Catinello F., Lagos R. Estudio de morteros con acrílicos incorporados y pinturas acrílicas, aplicadas sobre hormigón armado para ambientes marinos e industriales. Incidencia en su durabilidad mediante ensayos acelerados. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil, 2005.
8. Carvajal A., Vera R. "Recubrimientos con hidrorrepelente, una alternativa de análisis" en memorias del congreso Colloquia 2001, Madrid, España, pp. 123-132.
9. Chang J, Yeih W, Huang R, Chen C. Suitability of several current used concrete durability indices on evaluating the corrosion hazard for carbonates concrete. *Materials Chemistry and Physics* 84 2003, pp. 71-78.
10. Moon H.Y, Shin D.G, Choi D.S. Evaluation of the durability of mortar and concrete applied with inorganic coating material and surface treatment system. *Construction and Building Materials* 21 2005, pp. 362-369.
11. Moreno E., Solís-Carcaño R.G, Arias-Palma C.A. Desempeño de las pinturas vinil-acrílicas contra la carbonatación del concreto. *Ingeniería Revista Académica* 12 (1) (2008), pp. 31-39.
12. Nepomuceno A, Andrade C, Steel protection capacity of polymeric based cement mortars against chloride and carbonation attacks studied using electrochemical polarization resistance. *Cement and Concrete Composites* 28 2006, pp. 716-721.
13. RILEM Recommendations CPC-18, "Measurement of hardened concrete carbonation depth", Materials and structures, (Francia) 21: 1988, núm 126, pp. 453-455.
14. Rozière E, Loukili A, Cussigh F. A performance based approach for durability of concrete exposed to carbonation. *Construction and Building Materials* 2008, pp. 1-10.
15. Vico A., Morris W., Vázquez M. Evaluación del avance de la corrosión de refuerzos en estructuras de hormigón. División Corrosión, Universidad Nacional de Mar del Plata. www.aeende.org.ar/sitio/biblioteca/material/core/MARCELA.pdf
16. Zhang J.Z, Buenfeld N.R. Chloride profiles in surface-treated mortar specimens. *Construction and Building Materials* 14 2000, pp. 359-364.