



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

CARBONATACIÓN Y DIFUSIÓN DE IONES CLORURO EN CONCRETO HIDRÁULICO CONTENIENDO ADICIONES ORGÁNICAS

E. F. Hernández¹, P. F. de J. Cano-Barrita¹, U. I. Hernández-Toledo¹, A. A. Torres-Acosta².

1-Instituto Politécnico Nacional- CIIDIR Unidad Oaxaca, Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C.P. 71230, México.

2- Universidad Marista de Querétaro, Marte No. 2, Colonia Centro Histórico, Santiago de Querétaro, Querétaro, C.P. 76000, México. Instituto Mexicano del Transporte, Km 12 carretera Querétaro-Galindo, Sanfandila, Querétaro, C.P. 76703.

RESUMEN

Este trabajo presenta el comportamiento de concreto conteniendo soluciones de mucílago de nopal y alginato al 0.5% de concentración y con relaciones $a/c=0.30$ y 0.60 . Los especímenes elaborados se curaron en húmedo por 0 y 28 días. A 180 días, se expusieron 48 especímenes a un ambiente conteniendo 4.4% de CO_2 con 63% HR y $23^\circ C$ durante 120 días. Los especímenes restantes fueron sometidos a condiciones aceleradas de difusión de cloruros. Los resultados indican que la profundidad de carbonatación se redujo en los especímenes con relación $a/c=0.30$ sin curado conteniendo mucílago de nopal y alginato, con respecto al control. En los especímenes con relación $a/c=0.60$ la profundidad fue menor únicamente en las mezclas que contenían mucílago de nopal. Los resultados de difusión de cloruros muestran una reducción del coeficiente de difusión en los especímenes de concreto conteniendo mucílago de nopal y alginato con respecto al control en ambas relaciones a/c .

Palabras claves: difusión de cloruros, carbonatación, mucílago de nopal, solución de alginato.

ABSTRACT

This paper presents the performance of concretes with w/c ratios of 0.30 and 0.60 when cactus mucilage and alginate solution at 0.5% concentration were added. The specimens were moist cured for 0 and 28 days. At 180 days, 48 specimens were exposed to an environment containing 4.4% of CO_2 with 63% RH and $23^\circ C$ for 120 days. The remaining specimens were subjected to accelerated chloride ion diffusion. Results indicated that carbonation depth was reduced in specimens with $w/c=0.30$, moist cured for 0 days and containing cactus mucilage and alginate solutions, with respect to control. In specimens with $w/c=0.60$ the carbonation depth was lower than the control only in concrete containing cactus mucilage. Results of chloride ion diffusion showed a reduction in the diffusion coefficient in concrete specimens containing cactus mucilage and alginate solutions, with respect to control for both w/c ratios.

Keywords: ion chloride diffusion, carbonation, cactus mucilage, alginate solution.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el principal material en el desarrollo de proyectos en la industria de la construcción, favorecido por su fácil elaboración y bajo costo¹. El concreto reforzado, que es la manera común como se emplea el concreto en la construcción, ha sido destinado principalmente a desempeñar un papel estructural. Aunque se cumplen con los requerimientos estructurales necesarios, la durabilidad de las estructuras dependerá de la resistencia del concreto al deterioro provocado por condiciones ambientales severas a las que se encuentren expuestas^{2,3}.

La corrosión del acero de refuerzo es una de las principales causas del deterioro del concreto reforzado. Esta puede iniciarse principalmente por el ingreso de iones cloruro y la carbonatación del concreto. Debido a que el concreto es un material poroso, estos agentes agresivos penetran a su interior a través de su red de poros capilares interconectados, la cual será definida por la calidad de la matriz cementante producida⁴. Por lo tanto, la permeabilidad del concreto es la característica en particular que va a determinar el comportamiento del ingreso de los agentes agresivos al interior y estará en estrecha relación con la durabilidad de la estructura⁵.

El uso de aditivos, materiales suplementarios y técnicas de protección del acero de refuerzo en estructuras de concreto reforzado, tiene implicaciones negativas de carácter económico y sustentable. Por lo tanto, en esta investigación se pretende mejorar la durabilidad del concreto sujeto a carbonatación e ingreso de cloruros, mediante el empleo de adiciones orgánicas como el mucilago de nopal y la solución de alginato.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se utilizó cemento portland ordinario CPO-30 RS, grava con tamaño máximo de 3/8" (9.50 mm) y arena de río con módulo de finura de 2.67. La caracterización de los agregados se realizó de acuerdo a las normas ASTM C 33, ASTM C 125, ASTM C 70, C 127 y C 566, y ASTM C 29⁶. Se utilizaron mezclas de concreto con relación agua/cemento (a/c) de 0.30 y 0.60, diseñadas según el método de Aitcin⁷ y de volúmenes absolutos del Instituto Americano del Concreto⁸, respectivamente. La Tabla 1 muestra las proporciones utilizadas para elaborar estas mezclas de concreto y la Tabla 2 las propiedades en estado fresco.

Tabla 1. Proporción de ingredientes para elaborar 1m³ de mezcla de concreto

<i>Materiales</i>	<i>Relación agua/cemento en peso</i>	
	<i>a/c=0.30</i>	<i>a/c=0.60</i>
Agregado grueso (Kg)	974	860
Agregado fino (Kg)	672	797
Cemento (Kg)	519	345
Agua (Kg)	157	207
Reductor de agua de alto rango (ml)	4671	

Tabla 2. Propiedades en estado fresco de los concretos elaborados

Tipo de solución empleada en la mezcla	Revenimiento (cm)		Contenido de aire (%)		Temperatura (°C)		Peso Volumétrico (Kg/m ³)	
	a/c=0.30	a/c=0.60	a/c=0.30	a/c=0.60	a/c=0.30	a/c=0.60	a/c=0.30	a/c=0.60
Agua	20.0	16.2	1.5	1.5	24.0	24.5	2331	2260
Mucílago	21.0	19.0	1.9	2.4	24.5	23.5	2341	2245
Alginato	21.0	14.0	2.3	2.5	23.5	22.0	2331	2227
Mucílago/alginato	21.0	15.4	2.1	2.1	22.0	24.0	2349	2231

La extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-índica*) se hizo por el método de escalde⁹ a temperatura de 60 °C durante 3 horas. La preparación de la solución de alginato consistió en mezclar alginato concentrado con agua destilada en proporción 1:1 en volumen, a la que posteriormente se le aplicó baño María con el propósito de facilitar el filtrado a través de un tamiz # 100 para obtener la solución final. La concentración de las soluciones acuosas en sustitución del agua de mezclado se prepararon a una concentración de 0.50%^{10,11}.

Con las mezclas elaboradas se colaron por triplicado un total de 96 especímenes cilíndricos, de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Al día siguiente se desmoldaron y se curaron en húmedo por 0 y 28 días. Los especímenes con cero días de curado en húmedo fueron almacenados en un cuarto a temperatura ambiente y los que fueron curados en húmedo por 28 días se mantuvieron en un cuarto húmedo a 23±3 °C y 95 % HR. Posterior al tiempo de curado, todos los especímenes fueron almacenados a temperatura y humedad relativa del ambiente hasta las edades de prueba.

La prueba acelerada de carbonatación se realizó en especímenes con 180 días de edad empleando una cámara de carbonatación con un ambiente conteniendo 4.4% de CO₂, 60% ± 5% de humedad relativa y temperatura de 23°C± 2°C, durante 120 días de exposición (Figura 1). Para determinar la profundidad de carbonatación se usó una solución de fenolftaleína al 1% aplicada sobre los especímenes al momento de ser fracturados, como un indicador del cambio de pH. Las lecturas de la profundidad de carbonatación se tomaron como se indica en la Figura 2.

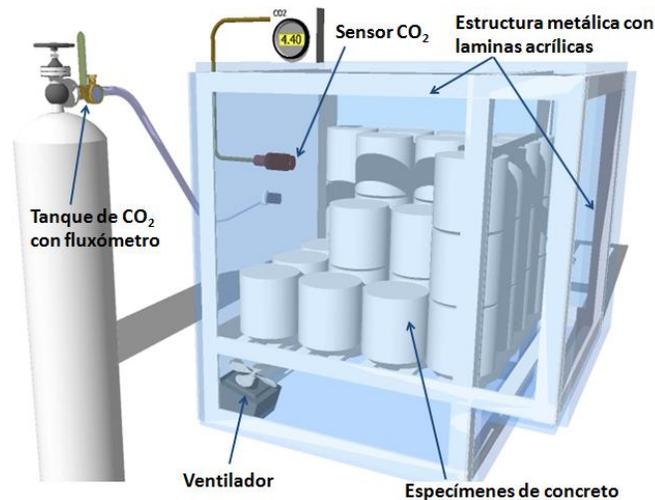


Figura 1. Esquema de la prueba acelerada de carbonatación.

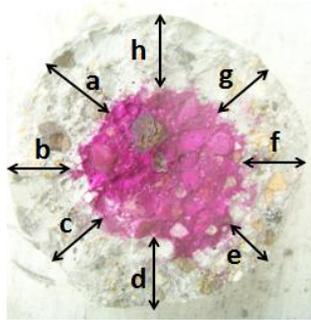


Figura 2. Medición de la profundidad de carbonatación en concreto.

El coeficiente de difusión del ion cloruro se determinó en 48 especímenes con 120 días de edad siguiendo el procedimiento indicado en la norma NORDTEST NT BUILD 443 y a 35 días de exposición a cloruros.

Resultados y discusión

Carbonatación acelerada del concreto

En las Figuras 3 y 4, se presentan los resultados de profundidad de carbonatación de las mezclas de concreto con relación $a/c=0.30$ y $a/c=0.60$. En los concretos $a/c=0.30$, se observa que las mezclas que contienen mucílago de nopal y alginato sin curado, reducen el frente de carbonatación con respecto al control. Estos resultados están relacionados con su baja porosidad¹² que se traduce en una baja permeabilidad. Para el caso de las mezclas que fueron curadas por 28 días en húmedo, únicamente las mezclas que contienen alginato presentan carbonatación, la cual puede ser debida a que estos aditivos forman complejos con iones divalentes de Ca^{2+} que son insolubles en agua¹³, reduciendo disponibilidad del $Ca(OH)_2$ para la formación de $CaCO_3$ y permitiendo por lo tanto una mayor profundidad carbonatada.

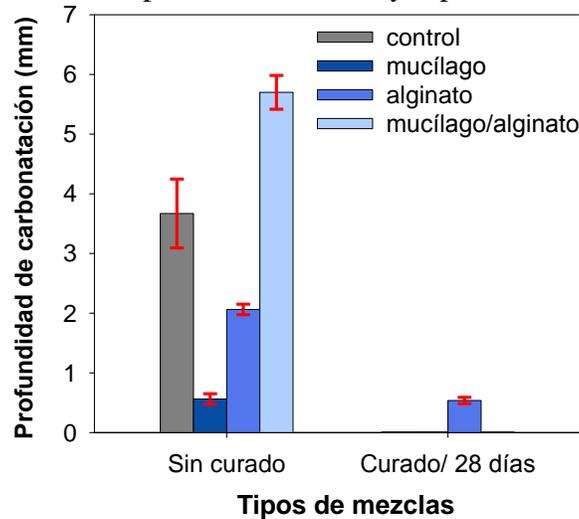


Figura 3. Profundidad de carbonatación en concretos HPC, $a/c=0.30$ a los 180 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.

En los concretos $a/c=0.60$ sin curado, la mayor reducción en el frente de carbonatación se dio en las mezclas que contienen mucílago de nopal, mientras que en los que contienen alginato la profundidad se incrementó en 3% aproximadamente, todo con respecto al control. Este mismo comportamiento se experimentó en los concretos que fueron curados en húmedo por 28 días. El tipo de curado afectó significativamente únicamente a las mezclas control. La explicación por la

cual el mucílago de nopal tuvo mejores resultados que el alginato es el mismo descrito anteriormente para los concretos a/c= 0.30.

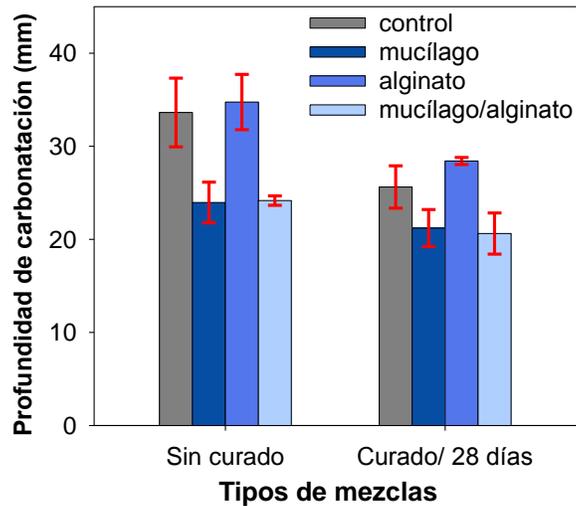


Figura 4. Profundidad de carbonatación en concretos ACI, a/c=0.60 a los 180 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.

Conocida la profundidad de carbonatación y el tiempo de exposición, se procedió a calcular el coeficiente de carbonatación mediante la ecuación siguiente:

$$d = Kt^{0.5}$$

Donde d es la profundidad de carbonatación, t el tiempo de exposición y k el coeficiente de carbonatación. Para el cálculo del coeficiente de carbonatación en condiciones ambientales con base al coeficiente de carbonatación obtenido de la prueba acelerada, se emplea la siguiente ecuación¹⁴:

$$\frac{K_{acc}}{K_{amb}} = \frac{\sqrt{C1_{acc}}}{\sqrt{C2_{amb}}}$$

Donde K_{acc} es el coeficiente de carbonatación de prueba acelerada, K_{amb} es el coeficiente de carbonatación ambiental, $C1_{acc}$ es la concentración de CO_2 en prueba acelerada y $C2_{amb}$ es la concentración de CO_2 ambiental

La Tabla 3 muestra los resultados que indican el beneficio obtenido en el concreto con relación a/c=0.60 con el uso de los aditivos naturales, los cuales incrementan el tiempo para alcanzar un frente de carbonatación a nivel del refuerzo de 25 mm. En el caso de los concretos con relación a/c=0.30 no se registra carbonatación en condiciones ambientales naturales hasta un tiempo de 60 años.

Tabla 3. Predicción del tiempo para carbonatar 25 mm de concreto

<i>Mezcla</i>	<i>K_{acc} (mm/dia^{1/2})</i>	<i>K_{amb} (mm/dia^{1/2})</i>	<i>D=25mm, años</i>
06CS	3.07	0.29	20.0
06MS	2.19	0.21	39.38
06AS	3.17	0.30	18.72
06MAS	2.21	0.21	38.70
06CC	2.34	0.22	34.42
06MC	1.94	0.18	50.25
06AC	2.59	0.25	27.99
06MAC	1.88	0.18	53.13
03CS	0.33	0.03	> 60
03MS	0.05	0.00	> 60
03AS	0.19	0.02	> 60
03MAS	0.52	0.05	> 60
03CC	-	-	> 60
03MC	-	-	> 60
03AC	0.05	0.00	> 60
03MAC	-	-	> 60

Coefficientes de difusión del ion cloruro

La Figuras 5 y 6 muestran los coeficientes de difusión del ion cloruro de las mezclas de concreto con relación a/c=0.30 y 0.60. En ambas relaciones a/c se observa que los concretos que contienen adiciones orgánicas presentaron reducciones considerables en el coeficiente de difusión con respecto al control. En las mezclas a/c= 0.30 los concretos que contenían mucílago de nopal fueron las que mostraron el menor coeficiente de difusión en ambos tipos de curados con respecto al control (46% sin curado y 43% con curado en húmedo). El tipo de curado no tuvo efectos significativos en los resultados.

En las mezclas a/c= 0.60, el coeficiente de difusión de las mezclas que contenían mucílago/alginato tuvieron los menores valores con respecto al control (62% sin curado y 61% con curado en húmedo). Es preciso destacar que las mezclas que contenían únicamente solución de alginato fueron menores en comparación con las que contenían mucílago de nopal. De la misma manera que en las mezclas a/c= 0.30, el tipo de curado no tuvo efectos significativos en los resultados.

En estos tipos de concretos con aditivos orgánicos con una alta relación agua/cemento, nos sugieren que la presencia de polisacáridos en el agua de mezcla es mayor, por lo tanto, al haber una re-saturación de los poros al interior favorece a que ocurra un incremento en la viscosidad de la solución la cual podría actuar como barrera física a la difusión del ion cloruro¹⁵. También es probable la formación de diversos compuestos químicos al momento de la hidratación entre los aditivos orgánicos y el cemento; por ejemplo, la formación del oxalato de calcio que resulta de la reacción entre el ácido oxálico (en el mucílago de nopal) y el hidróxido de calcio, el cual al momento de su formación se precipita como un sólido insoluble y que puede actuar como un

agente tapa poros que reduciría la permeabilidad¹⁶. Sin embargo, esta última posibilidad requiere de mayor estudio en un futuro.

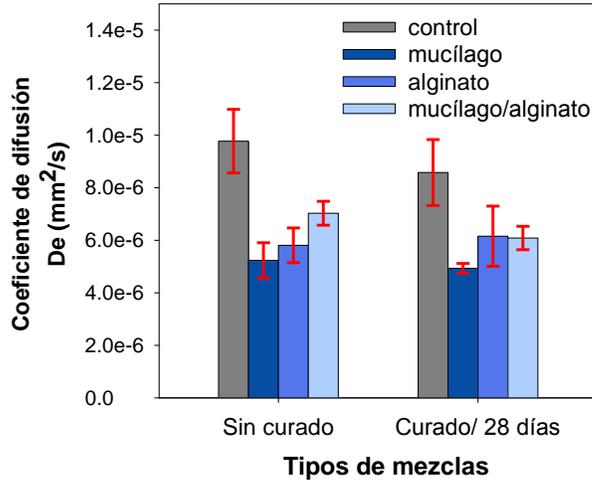


Figura 3. Coeficientes de difusión de Cl- en especímenes de concreto HPC, a/c=0.30 a los 120 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.

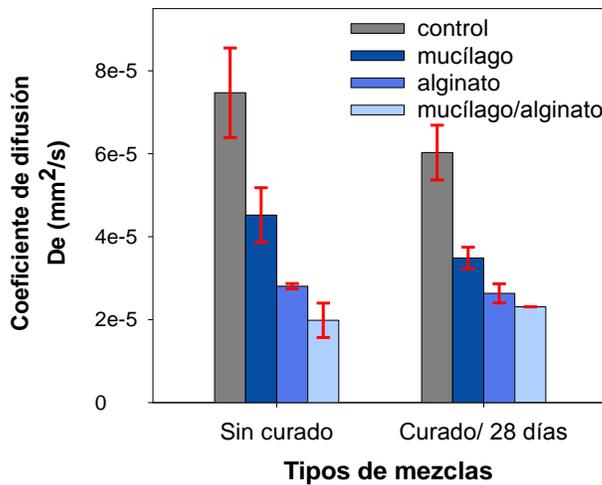


Figura 4. Coeficientes de difusión de Cl- en especímenes de concreto ACI, a/c=0.60 a los 120 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.

CONCLUSIONES

1. Los coeficientes de difusión de iones cloruro de las mezclas conteniendo mucílago de nopal y alginato, en ambas relaciones a/c y tipos de curado, fueron menores que el control.
2. En los concretos con relación a/c=0.30 con mucílago de nopal y alginato se redujo el frente de carbonatación en ambos tipos de curado. En los concretos con relación a/c=0.60, únicamente los que contienen mucílago de nopal redujeron el frente de carbonatación, mientras que los que contienen alginato son similares al control.

REFERENCIAS

1. P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro, *Concreto-estructura, propiedades y materiales*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (1998).
2. C. Domenico, T. Pierpaolo, "Mechanical durability of a polymer concrete: a Vickers indentation study of the strength degradation process", *Construction and Building Materials*, 18 (2004): pp. 561-566.
3. P. C. Aitcin, "Durable Concrete- Current Practice and Future Trends", (1994).
4. E. Roziere, A. Loukili, F. Cussigh, "A performance based approach for durability of concrete exposed to carbonation", *Construction and Building Materials*, 23 (2008).
5. H.W. Song, S.J. Kwon, "Permeability characteristics of carbonated concrete considering capillary pore structure", *Cement and Concrete Research*, 37 (2007): pp. 909-9015.
6. American Society of Testing and Materials. (2000). *Annual Book of ASTM Standards, Section Four, Construction, Volume 04.2 Construction, Concrete and Aggregates*. USA; ASTM; 2000.
7. P.C. Aitcin, K. Metha, "Principles underlying production of high-performance concrete". The American Society for testing and materials, *Cement, concrete and aggregates* 12, 2(1990): pp.70-78.
8. H. Kosmatka, W. Panarese, *Diseño y control de mezclas de concreto*, Instituto Mexicano del cemento y concreto (1992).
9. C. Helen C, *Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*, Limusa. Noriega editores (2000).
10. F.M. León-Martínez, P.F. Cano-Barrita, S. Ramírez-Arellanes, M. Medina-Torres, "adición de biopolímeros en pastas de cemento portland como modificadores de parámetros reológicos", XXXII Encuentro Nacional y 1er Congreso Internacional AMIDIQ. (2011).
11. P.F. Cano-Barrita, L. Lagunes-Rivera, U.I Hernández-Toledo, F.M León-Martínez, F. Ignacio-Caballero, E.F Abad-Zárate, L.V Aquino-González, S. Ramírez-Arellanes, E.F Hernández, "Desarrollo de aditivos, compuestos y energía sustentables para la industria del concreto", Proyecto Conacyt-Herzinc, (2010) Clave 137669.
12. E.F. Hernández, P.F. de J. Cano-Barrita, A.E. Ramírez-Ortiz, A.A. Torres-Acosta, "Resistencia a la compresión axial y permeabilidad a cloruros (ASTM C1202) en concreto conteniendo adiciones orgánicas", ALCONPAT (2012), Los Mochis: Sinaloa (México).
13. T.S. Pathak, J-H. Yun, J, K-J. Paeng, "Effect of calcium ion (cross-linker) concentration on porosity, surface morphology and thermal behavior of calcium alginates prepared from algae (*Undaria pinnatifida*), *Carbohydrate Polymers*, 81(2010): pp. 633-639.
14. K. Sisomphon, L. Franke, "Carbonation rates of concretes containing high volume of pozzolanic materials", *Cement and Concrete Research*, 37 (2007): pp. 1647-1653.
15. P. Bentz, M. Peltz, A. Kenneth, M. Jeffrey, "VERDiCT: Viscosity Enhancers Reducing Diffusion in Concrete Technology", *Concrete International* (2008).
16. E.C Arvaniti, M.G Lioliou, C.A Paraskeva, A.C. Payatakes, T. Ostvold, P.G. Koutsoukos, "Calcium oxalate crystallization on concrete heterogeneities", *ICHEME*, 88 (2010): PP.1455-1460.