



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

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL Y PERMEABILIDAD A CLORUROS (ASTM C 1202) EN CONCRETO CONTENIENDO ADICIONES ORGÁNICAS

**E. F. Hernández<sup>1</sup>, P. F. de J. Cano-Barrita<sup>1</sup>, A. E. Ramirez-Ortiz<sup>1</sup>, A. A. Torres-Acosta<sup>2</sup>.**

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. Se evaluó la resistencia a la compresión y permeabilidad a cloruros (ASTM C 1202) a los 60 y 120 días de edad. Los resultados de resistencia a la compresión muestran que únicamente los concretos con relación  $a/c=0.60$  sin curado y conteniendo mucílago tuvieron incrementos con respecto al control. Los resultados de la prueba rápida de permeabilidad a cloruros indican que las adiciones orgánicas en concretos  $a/c=0.30$  reducen el paso de carga con respecto al control, con ambos curados y edades de prueba. En los especímenes con relación  $a/c=0.60$  conteniendo adiciones, el paso de carga fue menor con respecto al control hasta los 120 días de edad para ambos tipos de curados.

**Palabras claves:** resistencia a la compresión, permeabilidad a cloruros, 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. Concrete compressive strength and chloride permeability (ASTM C 1202) were evaluated at 60 and 120 days age. Results of compressive strength showed that only concrete containing cactus mucilage with  $w/c=0.60$  and moist cured for 0 days, increased compared to the control specimens. Results of the rapid chloride permeability tests indicated that both additives in concrete with  $w/c=0.30$ , reduce the total charge passed, as compared to control specimens, in both curing regimes and testing ages. In specimens with  $w/c=0.60$  containing additives, the charge passing was lower than the control at 120 days age in both curing regimes.

**Keywords:** compression resistance, chlorides permeability, cactus mucilage, alginate solution.

## INTRODUCCIÓN

El concreto reforzado es el material de construcción más usado alrededor del mundo<sup>1</sup>. En ausencia de agentes agresivos tales como dióxido de carbono y cloruros, las estructuras de concreto reforzado de buena calidad y con suficiente recubrimiento sobre el acero de refuerzo pueden alcanzar una vida de servicio con poco o ningún mantenimiento<sup>2</sup>.

La alcalinidad del concreto (pH alrededor de 13) permite la formación de una capa de óxido protectora alrededor de las barras de acero<sup>3</sup>. Sin embargo, la exposición del concreto al CO<sub>2</sub> ambiental, produce el fenómeno de carbonatación, que ocasiona la pérdida de la capa protectora por la disminución del pH (pH<9). También la cercanía a un ambiente marino ocasiona que los iones Cl<sup>-</sup> ingresen al interior de concreto y una vez que alcanzan el acero de refuerzo a una cierta concentración pueden despasivar dicha capa protectora. En ambos caso se puede iniciar el fenómeno de la corrosión del acero de refuerzo, que contribuye al deterioro de las estructuras<sup>4</sup>.

En la búsqueda de una respuesta a la problemática de durabilidad en las estructuras de concreto reforzado, se ha implementado el uso de aditivos químicos y materiales suplementarios con el propósito de lograr concretos con un mejor desempeño, adicional a las prácticas recomendadas de diseño y construcción de las estructuras<sup>5</sup>. El inconveniente del uso de estos aditivos y materiales, es que el costo del concreto se incrementa significativamente

Este trabajo presenta el uso del mucílago de nopal y la solución de alginato como alternativa de bajo costo para mejorar la resistencia a la compresión axial y la permeabilidad a iones cloruro (ASTM C 1202) en concreto hidráulico.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se utilizó cemento portland ordinario CPO-30 RS, grava con tamaño máximo de 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 29<sup>6</sup>. Se utilizaron mezclas de concreto con relación agua/cemento (a/c) = 0.30 y 0.60, diseñadas según el método de Aitcin<sup>7</sup> y de volúmenes absolutos del Instituto Americano del Concreto<sup>8</sup>, 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 1m<sup>3</sup> 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**

<i>Tipo de solución empleada en la mezcla</i>	<i>Revenimiento (cm)</i>		<i>Contenido de aire (%)</i>		<i>Temperatura (°C)</i>		<i>Peso Volumétrico (Kg/m<sup>3</sup>)</i>	
	<i>a/c=0.30</i>	<i>a/c=0.60</i>	<i>a/c=0.30</i>	<i>a/c=0.60</i>	<i>a/c=0.30</i>	<i>a/c=0.60</i>	<i>a/c=0.30</i>	<i>a/c=0.60</i>
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 escalde<sup>9</sup> a temperatura controlada no mayor 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%<sup>10,11</sup>.

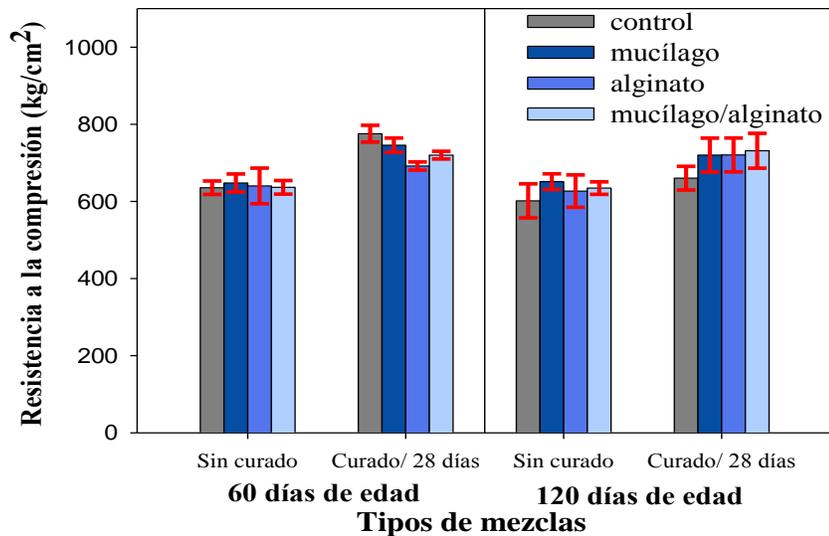
Con las mezclas elaboradas se colaron por triplicado un total de 192 especímenes cilíndricos, de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Al día siguiente se desmoldaron y se curaron en húmedo por 0 y 28 días. Los especímenes con cero días de curado en húmedo fueron almacenados en un cuarto a temperatura 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.

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión axial y de permeabilidad a cloruros (ASTM C 1202) a los 60 y 120 días de edad. Para la prueba de compresión se empleó una prensa hidráulica marca ELVEC de 120 toneladas y para la prueba rápida de permeabilidad a cloruros se utilizó un equipo PROOVE'it marca– Germann Instruments, Inc. También se determinó el porcentaje de volumen de poros a los 120 días según la ASTM C 642.

## RESULTADOS

### Resistencia a la compresión axial

En la Figura 2 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión axial de especímenes de concreto con relación a/c de 0.30 a 60 y 120 días de edad. Se observa que las mezclas que contienen adiciones orgánicas con cero días de curado en húmedo, no presentan incrementos significativos con respecto al control. En las mezclas con adiciones orgánicas y curadas por 28 días en húmedo a la edad de 60 días, los valores de resistencia fueron menores que el control. Los especímenes que contenían mucílago de nopal fueron menos afectados en comparación que los que contenían alginato y mucílago/alginato. Sin embargo, a pesar de esta situación observada en la resistencia a la compresión, las adiciones orgánicas dentro del concreto pueden proporcionar algunos beneficios en sus propiedades químicas al momento de evaluar su permeabilidad a iones cloruros.



**Figura 2. Resistencia a la compresión axial en especímenes de concreto con relación a/c de 0.30, a 60 y 120 días. Las barras de error indican una desviación estándar**

A los 120 días de edad se puede observar que la resistencia de los especímenes control se reduce, principalmente en los que fueron curados en húmedo (15%) con respecto a los 60 días de edad. El método de Duncan de comparación de pares de medias confirma que únicamente el control con curado en húmedo a 28 días tiene estadísticamente diferencias significativas entre ambas edades de prueba. Los resultados de las mezclas con adiciones orgánicas a los 120 días se mantuvieron similares a las de 60 días.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto con relación a/c de 0.60 a los 60 y 120 días. A los 60 días, los especímenes sin curado conteniendo mucílago de nopal presentan incrementos en resistencia del 18% con respecto al control, en cambio, las mezclas que contienen alginato y curado en húmedo por 28 días, muestran reducciones. De manera similar a los resultados de la resistencia a la compresión en los concretos con relación a/c de 0.30 a la edad de 120 días, las mezclas con relación a/c de 0.60 presentan reducciones de resistencia en los especímenes controles y en los que contienen mucílago de nopal con curado (7%).

Con base en lo anterior, se puede afirmar que el uso del mucílago de nopal en concretos con relación a/c de 0.30 no afecta la resistencia a la compresión. En concretos con relación a/c de 0.60 y sin curado, la adición de mucílago de nopal mejora la resistencia a la compresión con respecto al control. Para el caso de los especímenes que contenían alginato, en los concretos con relación a/c de 0.30 el aditivo no afectó los valores de resistencia a la compresión con respecto al control, en cambio, en las mezclas con relación a/c de 0.60 los redujo inicialmente a los 60 días y a los 120 días los incrementó.

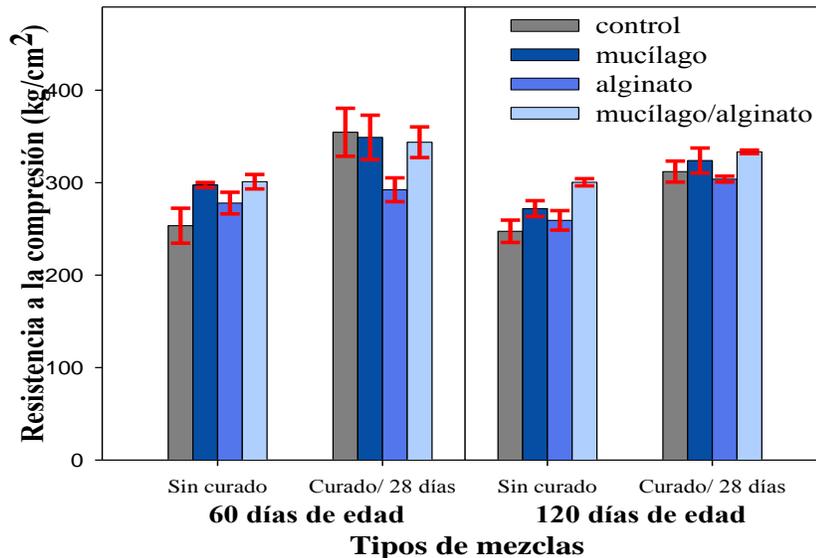


Figura 3. Resistencia a la compresión axial en especímenes de concreto con relación a/c de 0.60, a 60 y 120 días. Las barras de error indican una desviación estándar

En la Figura 4 se muestra el volumen de poros en los concretos con relación a/c de 0.30 con adiciones orgánicas. Se observa que tienen menor volumen de poros que el control, excepto cuando se utilizan combinados (mucílago/alginato), por lo tanto sugiere que poseen menor permeabilidad al agua. Para el caso de los concretos con relación a/c de 0.60 (Figura 5), los valores de porosidad son ligeramente mayores que el control y similares en ambos tipos de curado. Este mayor volumen de vacíos no afectó la resistencia a la compresión debido a que el mucílago de nopal y el alginato tienden a formar enlaces fuertes al momento de la hidratación del cemento, creando una matriz cementante densa que hizo posible la conservación de su resistencia hasta los 120 días de edad<sup>12,13</sup>.

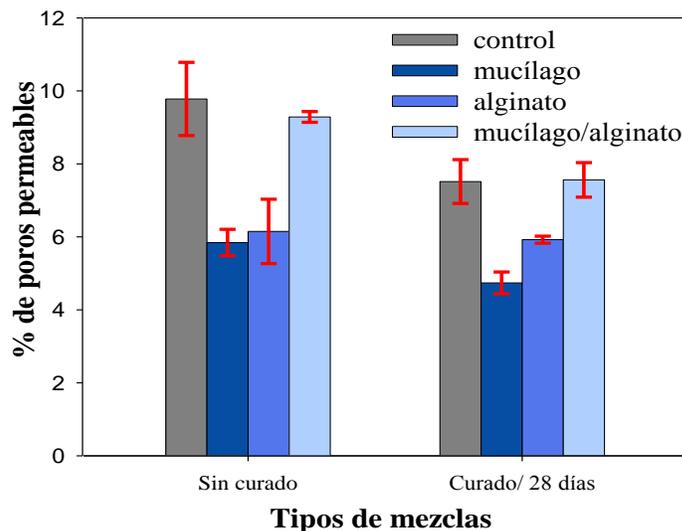
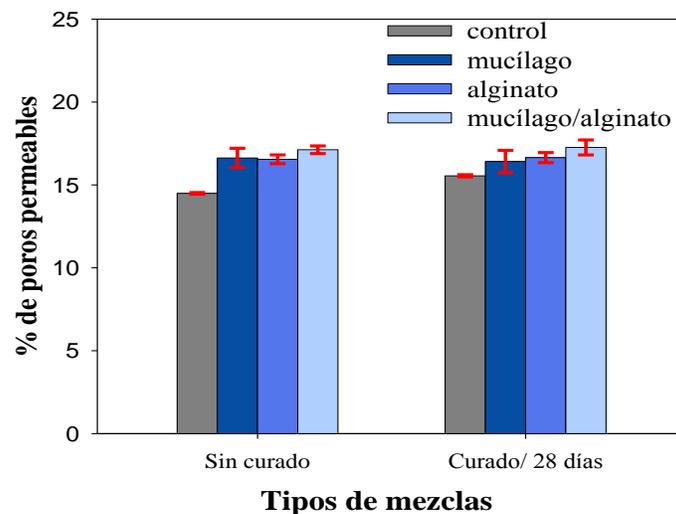


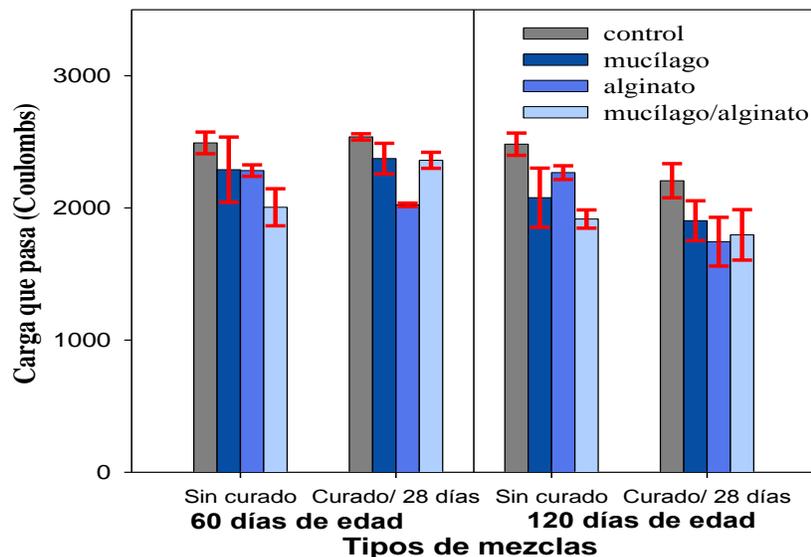
Figura 4. Volumen de poros permeables en cilindros de concretos relación a/c=0.30 a los 120 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.



**Figura 5. Volumen de poros permeables en cilindros de concretos relación a/c=0.60 a los 120 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar.**

### Permeabilidad rápida a cloruros– ASTM C1202

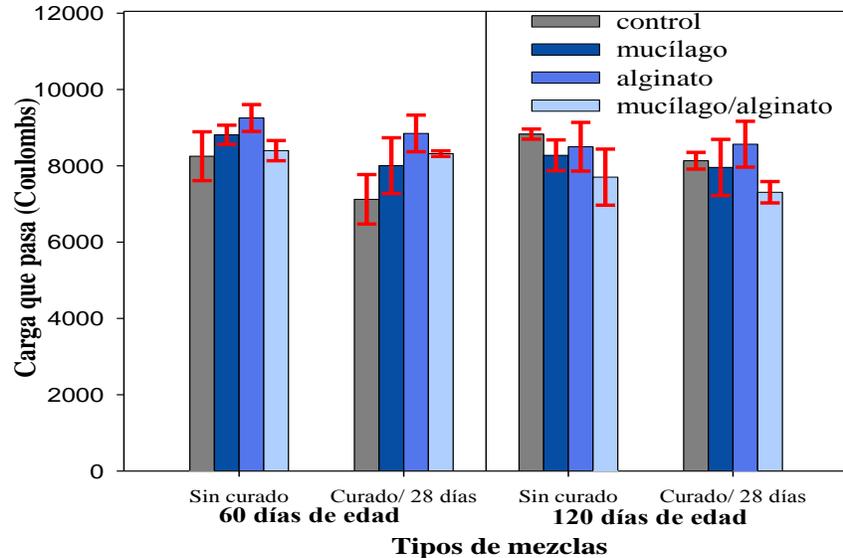
La prueba ASTM C 1202, es un método para evaluar la permeabilidad del concreto a iones de  $Cl^-$  y por lo tanto de su calidad<sup>14</sup>. Los resultados obtenidos de las mezclas con relación a/c de 0.30 en las dos edades de prueba se muestra en la Figura 6. Al observar la gráfica, es evidente que las adiciones orgánicas tanto de mucilago de nopal como de alginato, influyen en la reducción en los valores de paso de carga de los especímenes en ambos tipos de curados y edades de prueba. A los 60 y 120 días de edad, los especímenes que mostraron menor paso de carga con respecto al control fueron los concretos que contenían mucilago/alginato sin curado (19 % a 60 días, 22% a 120 días) y los que contenían alginato con curado (20% a 60 y 120 días). Esto nos sugiere que el empleo de estas adiciones orgánicas en concreto puede ser de provecho en la búsqueda de incrementar la durabilidad de estructuras de concreto reforzado en lugares cercanos a ambientes marinos.



**Figura 6. Paso de carga (Coulombs) en especímenes de concreto con relación a/c de 0.30, a 60 y 120 días. Las barras de error indican una desviación estándar.**

La Figura 7 muestra los resultados de la prueba rápida de permeabilidad a iones cloruros de los concretos a/c de 0.60 a los 60 y 120 días de edad. A los 60 días de edad se observa que los especímenes control son lo que tienen el menor valor de paso de carga en ambos tipos de curado, con respecto al resto de mezclas. A los 120 días de edad los especímenes conteniendo adiciones

de mucílago/alginate sin y con curado presentan reducciones en el paso de carga con respecto al control. El análisis estadístico de los datos a 60 y 120 días de edad mediante una ANOVA multivariable, indica que existen cambios significativos en los resultados debido al tipo de curado y la interacción entre el tipo de mezcla y la edad.



**Figura 7. Paso de carga (Coulombs) en especímenes de concreto a/c= 0.60, a 60 y 120 días. Las barras de error indican una desviación estándar.**

### CONCLUSIONES

1. Estadísticamente, los resultados obtenidos de resistencia a la compresión axial de concretos con relación a/c=0.30, con y sin aditivos orgánicos son similares.
2. Estadísticamente la adición de mucílago de nopal y alginate sólo mejoró la resistencia a la compresión axial de los concretos con relación a/c=0.60 sin curado en ambas edades.
3. El volumen de poros se redujo en los concretos con relación a/c=0.30 que contenían ambas adiciones orgánicas con ambos tipos de curado. En los concretos con relación a/c=0.60, la porosidad incrementa.
4. La permeabilidad a cloruros en los especímenes con relación a/c=0.30 con aditivos se redujo significativamente en ambos tipos de curado y edades de prueba. Para el caso de los especímenes con aditivos con relación a/c=0.60, a los 60 días de edad fueron más permeables que el control, sin embargo a los 120 días de edad esta se redujo, principalmente en las mezclas sin curado.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Conacyt por el apoyo financiero del proyecto: Resonancia magnética nuclear como técnica no destructiva y no invasiva para estudiar microestructura y fenómenos del transporte en medios porosos, Clave Conacyt CB 103763.

A la SIP del IPN por financiar el proyecto: Resonancia magnética nuclear para la evaluación no destructiva del desarrollo de propiedades mecánicas y refinamiento de porosidad en materiales basados en cemento, Claves SIP-IPN 20100391, 20110616 (2009-2011).

## REFERENCIAS

1. P. K Mehta, "Advancements in Concrete Technology", Concrete International, (1999): pp. 69-76.
2. K.K Sideris, A.E. Savva, "Durability of mixture containing calcium nitrite based corrosion inhibitor", Cement & concrete composites, (2004).
3. P. Ghods, O.B. Isgor, G. McRae, T. Miller, "The effect of concrete pore solution composition on the quality of passive oxide films on black steel reinforcement", Cement & Concrete Composites, 31 (2009): pp. 2-11.
4. Y.K. Ann, H.S. Jung, H.S. Kim, S.S. Kim, H.Y. Moon, "Effect of calcium nitrite-based corrosion inhibitor in preventing corrosion of embedded steel in concrete", Cement and Concrete Research, (2005).
5. B. Branston, "How Concrete is Made and the History of Concrete", (2005).
6. American Society of Testing and Materials. (2000). Annual Bo-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-Herrozinc, (2010) Clave 137669.
12. A. Cárdenas, W.M., Arguelles, F.M. Goycoolea, "On possible role of Opuntia Ficus Indica mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings", Profesional Association for Cactus Development, 3 (1998).
13. S. Chandra, J. Aavik , "Use of cactus in mortars and concrete", Cement and Concrete 28, 1(1998): pp. 41-51.
14. J. Prakash, J.C. Chan, "Rapid chloride permeability testing", Hanley-Wood, (2002).