



Efecto de la adición de un suelo lacustre o ceniza volante en las propiedades de concretos hidráulicos

A. Martínez-Hernández¹, P. Montes-García¹, E. Moreno², A. Fernández-González¹

¹ CIIDIR Oaxaca, IPN. Calle Hornos No. 1003, Sta. Cruz Xoxocotlán, CP 71230, Oaxaca, México.

² Facultad de Ingeniería, UADY, Av. Industrias no Contaminantes x Anillo Periférico Norte s/n Apartado Postal No. 150 Cordemex, CP 97310, Yucatán, México.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i3.16>

Artículo recibido el 01 de Julio de 2011, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 11 de Septiembre de 2011. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores se publicará en el segundo número del año 2012 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primero de 2012.

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el efecto de la adición de un suelo lacustre o ceniza volante como material suplementario en las propiedades de concreto ordinario y de altas prestaciones. El porcentaje de sustitución fue de 20% para el suelo y de 20 y 40% para la ceniza volante. El estudio comprendió pruebas en estado fresco, tales como revenimiento, temperatura, peso volumétrico y contenido de aire. En estado endurecido se determinó la resistencia a la compresión y el índice de actividad resistente a los 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días; finalmente, se estimó el coeficiente de penetración de cloruros. Los resultados indican que la adición de suelo lacustre natural como material suplementario no afecta de manera importante las propiedades del concreto en estado fresco. Sin embargo, en estado endurecido la incorporación de dicho material promovió la disminución de resistencia a la compresión y afectó desfavorablemente su resistencia a la penetración de iones cloruros.

Palabras clave: concreto de altas prestaciones; índice de actividad resistente; materiales suplementarios.

© 2011 Alconpat Internacional

ABSTRACT

This investigation evaluated the addition of a lakeside soil or fly ash as a supplementary material in the properties of ordinary and high strength concretes. The replacement levels were of 20% for both materials, while the fly ash was also used at 40%. The tests in the fresh condition included slump, temperature, volumetric weight and air content; while on the hardened state the tests included compressive strength and reactivity index after 1, 3, 7, 13, 28, 56 and 90 days. The coefficient of chlorides penetration was also analyzed. The results indicated that the lakeside soil did not show a noticeable effect on the fresh state characteristics of the concrete; nonetheless, on the hardened state, it reduced the strength and favored the penetration of chlorides.

Keywords: high strength concrete; activity index; supplementary materials.

Autor de contacto: Pedro Montes-García (pmontesgarcia@gmail.com)

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 1, No. 3, Septiembre - Diciembre 2011, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2011.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

1. INTRODUCCIÓN

Al ser la industria del cemento un alto consumidor de energía y una fuente importante de emisión de dióxido de carbono ha creado enorme preocupación ambiental. Esto aunado a un incremento en el número de incidentes, donde las estructuras de concreto experimentan severo deterioro en medio ambientes extremos (Kuber et al., 2008), han contribuido a la reducción del consumo de cemento, y la intensificación de las investigaciones para explorar las posibilidades de aumentar la resistencia, durabilidad y reducción de la corrosión a través del uso de puzolanas y materiales cementantes suplementarios. En años recientes la utilización de adiciones minerales en concreto, ya sean industriales (ceniza volante, escoria de alto horno y el humo de sílice) o naturales han tenido un gran auge.

El metacaolín (MK) como una puzolana para el concreto ha recibido considerable interés. El metacaolín es un material térmicamente activado obtenido mediante la calcinación de la arcilla caolín dentro de un rango de temperatura de 700 a 850°C (Kostuch et al., 1993). Durante el calentamiento es esencial convertir el caolín no reactivo a metacaolín reactivo. Esta actividad puzolánica permite a este material reemplazar parte del cemento en el concreto, para incrementar su durabilidad y resistencia (Calderone et al., 1994).

Caolinita y caolín de productos originados por la industria del papel también se han estudiado para incorporarlas como puzolanas para concreto. En este estudio se encontró que el uso de estas arcillas activadas promueve un incremento de 40% en la resistencia mecánica de los morteros producidos con un reemplazo de 35% de cemento por metacaolín, comparados con su mortero de referencia. Estos resultados muestran claramente el potencial de estos materiales para obtener concreto de alta resistencia con bajo uso de cemento (Lima Souza y Dal Molin, 2005).

Las arcillas calcinadas aunque contribuyen a los cambios en la micro estructura del concreto, que resulta en una baja permeabilidad de la matriz cementante (Barger et al., 2001), requieren de un gran consumo energético para su producción; por lo tanto, es apremiante estudiar materiales alternativos que no requieran activación térmica.

Por ejemplo, en Nigeria se estudió la arcilla de los montículos de termitas (CSAMC) como material cementante de reemplazo. El estudio mostró que CSAMC es un material débilmente puzolánico (índice de actividad 77%), y puede reducir el calor de hidratación alrededor del 17% cuando el cemento fue reemplazado con 40 % con CSAMC y de igual forma mostró disminuir el tiempo de fraguado del concreto así como un incremento en la trabajabilidad. La resistencia a la compresión mezclas de de mortero conteniendo 10 % de CSAMC de reemplazo superó la mezcla de referencia cuando fue curada alrededor de 60 días (Elinwa, 2005).

En México, se estudiaron pastas y morteros elaborados con arcilla natural y arcilla tratada térmicamente. Se encontró que las mezclas que contenían arcilla natural presentaban contracción plástica, grietas distribuidas aleatoriamente generando una matriz uniforme con un alto contenido de partículas de cemento sin hidratar. Los especímenes de pastas y mortero elaborados con arcilla natural con un 20% de incorporación presentaron una posible regresión de resistencia a la compresión (Martínez, 2007).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de un suelo lacustre o ceniza volante como material suplementario en las propiedades de concreto ordinario y de altas prestaciones.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Diseño experimental

Los factores estudiados así como niveles y respuestas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño del experimento

Factores	Niveles	Respuestas en estado fresco	Respuestas en estado endurecido
HPC	HPC1 HPC2 HPC3 HPC4	- Revenimiento - Temperatura	- Índice de actividad resistente - Resistencia a la compresión - Coeficiente de difusión de cloruros
ACI	ACI1 ACI2 ACI3	- Peso volumétrico - Contenido de aire	
Abrams	ABR		

CV = ceniza volante, SUE = Suelo lacustre, CPC = cemento portland compuesto
 HPC1=0.41 CPC,
 HPC2=0.41 CPC+20% CV,
 HPC3=0.41 CPC+20% SUE,
 HPC4=0.41 CPC+40% CV,
 ACI1=0.40 CPC,
 ACI2=0.48 CPC,
 ACI3=0.48 CPC+20% SUE,
 ABR=0.55 CPC

2.2 Materiales

El agregado grueso consistió de roca caliza triturada con un tamaño máximo de agregado de 3/4" y el agregado fino de arena de río. La caracterización de los agregados se realizó conforme a normas ASTM C29/C29M07, C3307, C7006, C12507, C12707, C12707, C12807a y C13606 (Tabla 2). Se utilizó agua destilada para el mezclado (ASTM C94/C94M07).

Tabla 2. Diseño experimental

Material	pvss (kg/m ³)	pvsc (kg/m ³)	g.e	absorción (%)	humedad (%)	módulo de finura	TMA
Agregado grueso	1354.55	1477.48	2.7	0.57	0.13	3/4"	
arena	1480.25	1644.01	2.64	1.83	1.48	3.05	

Detalles de las composiciones químicas de los materiales cementantes utilizados se muestran en la Tabla 3. El cemento utilizado fue portland compuesto, CPC 30R, y de acuerdo al contenido de óxidos mayores corresponde a un cemento puzolánico tipo I según la ASTM C15007, con una gravedad específica de 3.02 (ASTM C18895). El suelo utilizado fue areno-arcilloso cuya suma de óxidos mayores (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂) fue de 65.83% valor muy cercano al 70% establecido en la norma ASTM C61808 para considerar a un material con potencial puzolánico. La ceniza volante fue la Tipo F, cuya suma fue de 84.46%. Lo anterior permite suponer el uso del suelo lacustre como material puzolánico. El superplastificante empleado fue Plastol 4000®, el cual es un aditivo hiperfluidificante a base de policarboxilatos (Tabla 4). Cumple con la norma ASTM C494/C494M08 como reductor de agua de alto rango Tipo F. Este aditivo no contiene iones

cloruros adicionados y está formulado para cumplir con las especificaciones para aditivos de la norma ASTM C494 y ASTM C1017/C1017M07 como aditivo Tipo I.

Tabla 3. Composición química de materiales aglutinantes

Composición	CPC	SUE	CV	Composición	CPC	SUE	CV
Al ₂ O ₃	5.16	10.09	20.58	MnO	0.04	0.01	0.05
CaO	64.75	13.45	4.83	Na ₂ O	1.88	2.64	1.28
Fe Total	2.0	2.5	3.50	P ₂ O ₅	0.08	0.13	0.22
Fe ₂ O ₃	1.43	0.82	2.78	PXC a 950 °C	5.67	11.06	3.69
FeO	1.28	2.47	2.11	SiO ₂	16.46	54.92	61.1
K ₂ O	0.62	1.46	1.3	TiO ₂	0.14	0.52	0.72
MgO	1.66	2.28	1.2	Densidad (g/cm ³)	3.02	2.9	2.6

Tabla 4. Propiedades del fluidificante

Material	Generación	Tipo	Gravedad Específica	Contenido de sólidos	Contenido de líquido	Dosificación
Plastol 4000 ®	4	F	1.09	30%	70%	2 a 15 cm ³ /kg de cemento

2.3 Métodos

Los concretos estudiados fueron aquellos que son comúnmente utilizados o aquellos en los que se tenía interés para su posible implementación en México. Se diseñaron mezclas de concreto utilizando tres métodos: de altas prestaciones (HPC) (Mehta y Aitcin, 1990), de volúmenes absolutos (Kosmatka et al., 2004) y Abrams (CFE, 1998).

Se elaboraron las mezclas de concreto siguiendo los procedimientos de la ASTM C17208, C31/C31M08a. Uno de los requerimientos para el diseño de las mezclas fue que la resistencia a la compresión a los 28 días debería ser menor de 70 MPa, esto con el objeto de que los concretos pudieran ser utilizados en zonas sísmicas (Arnal, 2005); además, que el revenimiento no fuera menor a 60 mm siguiendo un criterio de trabajabilidad. En la Tabla 5 se muestran los resultados de las dosificaciones para cada mezcla de concreto en estudio en la cual también se observa la notable disminución del consumo de cemento portland que provee el uso de adiciones minerales.

Tabla 5. Materiales utilizados para elaborar 1 m³ de concreto de las mezclas en estudio.

Mezcla	a/c	Cemento (Kg)	Adición (Kg)	Agua (Kg)	Grava (Kg)	Arena (Kg)	Superplastificante (ml)
1 HPC1	0.41	443.8	---	183.0	1054.4	697.6	2498
2 HPC2	0.41	355.0	88.8 CV	183.0	1054.4	697.6	1874
3 HPC3	0.41	355.0	88.8 SUE	183.0	1054.4	697.6	6252
4 HPC4	0.41	266.3	177.5 CV	183.0	1054.4	697.6	1874
5 ACI1	0.40	512.5	---	205.0	880.2	750.3	1250
6 ACI2	0.48	427.1	---	205.0	899.5	820.3	---
7 ACI3	0.48	341.7	85.4 SUE	205.0	880.2	813.7	5002
8 ABR	0.55	343.2	---	188.8	1035.4	861.6	---

En estado fresco se determinaron: revenimiento (ASTM C143/C143M08), temperatura (ASTM C1064/C1064M08), peso volumétrico (ASTM C138/C138M08) y contenido de aire (ASTM C23108b). En estado endurecido: resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M05 y C1231/C1231M08a), adaptación del índice de actividad resistente a los 1, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días, utilizado en morteros (Payá et al., 2002), y coeficiente de penetración de cloruros (NT BUILD 208 y 443).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Propiedades en estado fresco

La Tabla 6 muestra los resultados de los concretos en estado fresco. Las mezclas fueron trabajables o llegaron a serlo con el uso del superplastificante. La mezcla Abrams con la a/c más alta (0.55) tuvo un revenimiento menor que el de la mezcla HPC con una a/c 0.41. El aumento en el revenimiento se debió a que el superplastificante polariza las partículas de cemento con carga negativa generando un rechazo entre ellas, de esta forma existe más agua disponible para lubricar la mezcla y alcanzar una mayor fluidez (Young et al., 1998). Las temperaturas obtenidas al momento de la elaboración de todas las mezclas de concreto fueron similares debido a que el mezclado se llevó a la intemperie. Sin embargo, los valores no sugieren un efecto anómalo en el proceso de hidratación del cemento. El contenido límite de aire atrapado en las mezclas de concreto analizadas está en el rango de 1.8 a 2%, lo cual es validado por la literatura que establece de 1 a 3% en mezclas de concretos sin aire incluido (Kosmatka et al., 2004). Finalmente, los pesos volumétricos obtenidos corresponden a concretos de peso normal compuestos por arena natural y grava o agregados de roca triturada (Mehta y Monteiro, 1998). La variación de pesos volumétricos de las mezclas de concreto está en función del nivel y tipo de sustitución, esto es debido a la diferencia de densidades de cada material, también es afectado por el método de diseño.

Los resultados también muestran el efecto de la ceniza volante en el revenimiento en las mezclas con 20% y 40% de sustitución, en donde éste se incrementa a medida que aumenta la sustitución, sin que se produzcan cambios en el consumo de superplastificante. En la literatura se reportan reducciones de 5 a 15% en la demanda de agua del concreto que contiene ceniza volante en comparación con una mezcla conteniendo únicamente cemento portland para un mismo revenimiento del cono de Abrams (Ravina, 1996; Rahhal y Talero, 2004; Neville, 1999). Esto redundaría en una mejora en la trabajabilidad, además que los concretos con ceniza volante normalmente presentan menos sangrado (exudación), segregación y un calor de hidratación más bajo que el concreto conteniendo únicamente cemento portland; al concreto que contiene la ceniza volante se le puede dar el mismo acabado o mejor que el concreto que no la contiene. La influencia de la ceniza volante sobre las propiedades del concreto en estado fresco está vinculada con la forma esférica y tamaño de las partículas de la ceniza volante que actúan como lubricante entre las partículas del cemento (Kosmatka et al., 2004; Ravina, 1996; Rahhal y Talero, 2004).

En el caso de las mezclas que contenían suelo lacustre que requirió una importante cantidad de superplastificante para ser trabajables; el incremento en el consumo de superplastificante en estas mezclas se debió al incremento en la demanda de agua generada por los carbonatos de las partículas de suelo (Martínez-Reyes et al., 2010). Con base en los valores obtenidos de las propiedades de los concretos en estudio se puede descartar una interacción negativa entre los ingredientes; es decir, que alguna de las combinaciones provoque el aumento del contenido de aire atrapado haciendo el concreto poroso.

Tabla 6. Propiedades en estado fresco.

Mezcla		Revenimiento (mm)	Temperatura °C	Peso volumétrico (Kg/m ³)	Contenido de aire, (%)
1	HPC1	90	24.8	2414	1.8
2	HPC2	77	23.7	2389	2.0
3	HPC3	65	24.8	2399	2.0
4	HPC4	87	24.5	2344	1.9
5	ACI1	73	24.5	2319	2.0
6	ACI2	79	25.8	2349	2.0
7	ACI3	72	24.0	2369	1.9
8	ABR	71	23.8	2369	1.9

3.2 Propiedades en estado endurecido

Los resultados en la Tabla 7 corroboran que los concretos con a/c bajas, HPC (0.41) y ACI (0.40) obtuvieron las resistencias más altas en todas las edades; además, se observó un incremento en las resistencias más allá de los 28 días. La resistencia más baja correspondió al concreto Abrams (0.55), y en este caso a edades mayores a 28 días no hubo cambios significativos. Para el concreto HPC con 20% de ceniza volante, la reducción en resistencia fue de aproximadamente 16%, y para 40% de sustitución de 35%. La ceniza volante tiene un efecto físico de mejoramiento de la microestructura de la pasta de cemento hidratado (Rahhal y Talero, 2004; Neville, 1999); esto propicia el aumento de la resistencia del concreto que las contiene y su característica principal es su retraso en el desarrollo de resistencia. Debido a su reacción puzolánica lenta el curado húmedo continuo y con temperaturas favorables puede ser necesario por periodos más largos que los normalmente requeridos, hay presencia de tanto como 50 por ciento de ceniza volante sin reaccionar después de un año (Neville, 1999).

Los resultados muestran que los concretos conteniendo ceniza volante tuvieron resistencias menores a edades tempranas, sin embargo, a edades próximas a 28 días se observa una recuperación. Los valores de resistencia presentados a 90 días coinciden con lo reportado en la literatura donde se menciona que la sustitución de 20% de cemento con ceniza volante no afecta considerablemente la resistencia a edades mayores a los 28 días, sin embargo con una sustitución mayor a 30% la resistencia decrece (Rahhal y Talero, 2004; Malhotra y Ramezani-pour, 1994). En el presente estudio los concretos que contienen 20% y 40% de ceniza volante presentaron una variación del 8% y 27% respectivamente en el valor de resistencia a la compresión a 90 días, con respecto al control.

A los 28 días los resultados indican que la adición de suelo lacustre natural causa la disminución de la resistencia mayor que en el caso de la ceniza volante. Para el concreto HPC con 20% de suelo lacustre la reducción fue de 22% y para el método ACI de 16%. Esto sugiere que la disminución de resistencia debida a la inclusión de suelo lacustre tiene un mayor impacto en una relación agua cemento más baja.

A edades menores que 28 días se observa que la adición de ceniza volante y suelo lacustre originaron la disminución en la resistencia a la compresión de los concretos estudiados.

Las mezclas conteniendo material suplementario presentan un aumento en sus resistencias, con respecto a las obtenidas a los 28 días; sin embargo, no superaron a sus respectivos controles en el presente estudio. Este aumento tardío en la resistencia coincide con lo reportado en la literatura en donde se menciona que a edades mayores a 28 días las adiciones puzolánicas mejoran la

microestructura de la pasta de cemento hidratado y como consecuencia disminuye su porosidad, aumentado de esta manera la resistencia a la compresión (Neville, 1999).

Por otra parte, en los concretos diseñados por el método ACI y HPC que contenían suelo lacustre no se observó el fenómeno de regresión de resistencia como fue reportado en otros estudios (Martínez, 2007). Sin embargo, para el concreto preparado de acuerdo al método de Abrams se observa una ligera disminución de resistencia a los 56 días, no obstante a los 90 días la resistencia se incrementa nuevamente.

Tabla 7. Resistencia a la compresión de concretos a diferentes edades (MPa)

		<i>1d</i>	<i>3d</i>	<i>7d</i>	<i>14d</i>	<i>28d</i>	<i>56d</i>	<i>90d</i>
1	HPC1	22±1.0	37±1.0	43±1.6	47±1.5	51±1.0	54±3.4	60±1.3
2	HPC2	16±0.9	26±1.2	35±0.6	38±1.1	43±0.9	53±1.2	55±1.1
3	HPC3	20±0.9	28±2.3	33±1.3	35±1.4	40±0.8	39±0.7	46±1.5
4	HPC4	7±0.2	15±0.5	24±1.9	28±1.7	33±1.5	38±1.1	44±2.0
5	ACI1	20±1.1	32±1.2	41±1.4	45±1.9	48±1.2	51±1.7	56±1.8
6	ACI2	16±1.7	26±2.2	36±1.0	39±2.0	43±1.9	45±0.6	45±1.0
7	ACI3	15±0.6	25±0.9	30±1.0	34±0.4	36±2.0	37±0.3	38±1.4
8	ABR	9±0.3	20±2.0	26±2.5	30±4.7	35±3.4	33±1.6	37±2.0

El análisis de los Índices de Actividad Resistente (IAR) obtenidos de las pruebas de resistencia de los concretos a diferentes edades (Tabla 8), sugiere a los 28 días los concretos que contienen suelo lacustre cumplen con lo sugerido en la norma ASTM C311-04, la cual recomienda que para que un material sea considerado puzolana su IAR a los 28 días debe ser mayor o igual a 75%. Sin embargo, a los 90 días no cumple esta recomendación que debe ser mayor de 90% (Lorenzo-García, 1993).

Tabla 8. Índices de Actividad Resistente a diferentes edades (%)

<i>Mezcla</i>		<i>1d</i>	<i>3d</i>	<i>7d</i>	<i>14d</i>	<i>28d</i>	<i>56d</i>	<i>90d</i>
HPC2	HPC 0.41+20% C.V.	73	70	81	81	84	98	92
HPC3	HPC 0.41+20% SUE.	91	76	77	74	78	72	77
HPC4	HPC 0.41+40% C.V.	32	41	56	60	65	70	73
ACI3	ACI 0.48+20% SUE.	94	96	83	87	84	82	84

Con respecto los resultados de las pruebas de penetración de cloruros, como era de esperarse, las mezclas diseñadas por el método HPC presentan la mayor resistencia a la penetración de iones cloruros, seguidas por las mezclas ACI y finalmente Abrams (Tabla 9). Los resultados también permiten corroborar los beneficios de la adición de ceniza volante limitando el ingreso de los iones cloruros en concreto. La ceniza volante generalmente reduce la permeabilidad y la absorción del concreto bien curado (Kosmatka et al., 2004; Ravina, 1996; Rahhal y Talero, 2004).

Una consecuencia de la reacción lenta de la ceniza volante en el concreto es que, inicialmente, éste tiene una permeabilidad más alta que el concreto referencia conteniendo únicamente cemento portland. Sin embargo, con el tiempo, el concreto con ceniza volante adquiere una permeabilidad baja (Ravina, 1996; Neville, 1999; Chindaprasirt et al., 2008), ya que productos adicionales se difunden continuamente y se precipitan dentro del sistema de poros capilares; esto da por resultado una reducción de la porosidad capilar y, consecuentemente, una estructura más fina de poros; a causa de la menor permeabilidad del concreto maduro que contiene ceniza volante, se reduce el ingreso de cloruros dentro del concreto.

Por otra parte, la adición de suelo lacustre independientemente del método de diseño generó un aumento en los valores de dichos coeficientes debido a la presencia de partículas de cemento sin reaccionar (Martínez-Reyes et al., 2010).

Tabla 9. Valores promedio de coeficientes de difusión de cloruros.

<i>Mezcla</i>	<i>D(m²/s)</i>	<i>Mezcla</i>	<i>D(m²/s)</i>
HPC 0.41	1.01x10 ⁻¹¹	ACI 0.40	2.83x10 ⁻¹¹
HPC 0.41+20% C.V.	9.67x10 ⁻¹²	ACI 0.48	3.08x10 ⁻¹¹
HPC 0.41+20% SUE.	5.03x10 ⁻¹¹	ACI 0.48+20% SUE.	3.38x10 ⁻¹¹
HPC 0.41+40% C.V.	1.67x10 ⁻¹¹	ABR 0.55	5.24x10 ⁻¹¹

4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de las mezclas estudiadas se concluye lo siguiente:

- La adición de suelo lacustre como material cementante suplementario no afecta en forma importante las propiedades en estado fresco del concreto. El contenido de aire, peso volumétrico y la temperatura presentan pequeñas variaciones con respecto a los controles; sin embargo, el revenimiento experimenta una disminución lo cual propicia el uso excesivo de aditivo superplastificante para compensar esta pérdida de trabajabilidad.
- La adición de suelo lacustre, al igual que la ceniza volante, cuando se utiliza como reemplazo de material cementante origina una disminución en la resistencia a la compresión del concreto, aunque ésta es mayor.
- El uso de suelo lacustre como reemplazo de material cementante afecta desfavorablemente la resistencia a la penetración de iones cloruros en el concreto, esto fue más evidente en el concreto con menor cantidad de cemento.
- Con base en los resultados obtenidos se concluye que al concreto conteniendo suelo lacustre como material cementante de reemplazo puede dársele uso estructural en ambientes no agresivos. Sin embargo es necesario evaluar su desempeño en ambientes urbanos en donde pueda desarrollarse el fenómeno de la carbonatación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la SIP y COFAA del Instituto Politécnico Nacional de México, en el financiamiento de este trabajo.

6. REFERENCIAS

- Arnal Simon L. (2005), *Reglamento de construcciones para el distrito federal* (comentado). México: Trillas.
- Barger G.S., Hansen E.R., Wood M.R., Neary T., Beech D.J. and Jaquier D. (2001), *Production and use of calcined natural pozzolans in concrete*, *Cement Concrete Aggregates* **23** (2), pp. 73–80.
- Caldarone, M. A, Gruber, K. A., Burg, R. G. (1994), *High reactivity metakaolin: A new generation mineral admixture*, *Concrete International*, vol. 16, n° 11, pp. 37-40.
- Chindaprasirt P., Rukzon S., Sirivivatnanon V. (2008), *Resistance to chloride penetration of blended portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash*, *Construction and Building Materials* **22**. pp. 932-938.

- Comisión Federal de Electricidad (1998). *Cálculo y diseño de estructuras por el método de Duff Abrams*. México, CFE.
- Elinwa, A.U. (2005), *Experimental characterization of portland cement-calcined soldier-ant mound clay cement mortar and concrete*, Construction and Building Materials. Vol. 20, pp. 754-760.
- Kosmatka Steven H., Kerkhoff B., Panarese William C., Tenesi J. (2004), *Diseño y control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.
- Kostuch, J. A., Walters, V., Jones T. R. (1993), *High performance concretes incorporating metakaolin: a Review*, Concrete 2000, E&FN Spon, pp. 1799-1811.
- Kuber Parande A., Ramesh Babu B., Aswin Karthik M., Deepak Kumaar K.K., Palaniswamy N. (2008), *Study on strength and corrosion performance for steel embedded in metakaolin blended concrete/mortar*, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 3, March 2008, pp. 127-134.
- Lima Souza P. S., Dal Molin D. C.C. (2005). *Viability of using calcined caliz, from industrial byproducts, as puzzolans of high reactivity*. Cement and Concrete Research, Vol.35, pp.1993-1998.
- Lorenzo-García M. P. (1993), *Influencia de dos tipos de cenizas volantes españolas en la microestructura y durabilidad de la pasta de cemento portland hidratado*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas, Madrid, España.
- Malhotra, V. M. and Ramezani pour, A. A. (1994), *Fly Ash in Concrete*, Editor: V. M. Malhotra, CANMET, Ottawa, Canada.
- Martínez, R.J. (2007), *Caracterización de la reactividad puzolánica de materiales de origen natural, industrial y desperdicio agrícola*, Tesis de Maestría, CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, México.
- Martínez-Reyes J., Alavez-Ramírez R., Montes-García P., Jiménez-Quero V. (2010), *Mineralogical effect on the pozzolanic reactivity of a Mexican lacustrine soil*, Construction and Building Materials, vol. 24, no. 12, pp. 2650-2657.
- Mehta K. y Monteiro P. (1998), *Concreto, Estructura, propiedades y materiales*. México: Instituto Mexicano del Cemento y Concreto A.C.
- Mehta P. K., Aitcin P. C. (1990), *Principles Underlying Production of High-Performance Concrete*, Cement Concrete and Aggregates. CCAGDP, Vol. 12 No.2 Winter 1990, pp.70-78.
- Neville A. M. (1999), *Tecnología del concreto*. México. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto A.C.
- Payá J., Manzó J., Borrochero M.V., Serna P. (2002), *El factor de eficacia cementante depuzolanas silíceas y silicoaluminosas muy reactivas*, VII Congreso Nacional de propiedades Mecánicas de Sólidos; Gandia. pp. 511-600.
- Rahhal V., Talero R. (2004), *Influence of two different fly ashes on the hydration of Portland cements*, Olavarría, Argentina: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 78, pp.191-205.
- Ravina D. (1996), *Mechanical properties of structural concrete incorporating a high volume of class F fly ash as partial fine sand replacement*, Materials and Structures vol. 31, pp. 84-90.
- Young J. F., Mindess S., Gray J. R., Bentur A. (1998), *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*, New Jersey E.U.: Prentice-Hall.