

Ingeniería. Revista de la Universidad de

Costa Rica

ISSN: 1409-2441

marcela.quiros@ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica

Costa Rica

Solís Carcaño, Romel; Moreno, Eric I.; Chuc Echeverría, Nadine
EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON REDUCTOR DE AGUA EN CLIMA CÁLIDO
Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica, vol. 16, núm. 2, 2006, pp. 103-111
Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44170518009>

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

EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON REDUCTOR DE AGUA EN CLIMA CÁLIDO

Romel Solís Carcaño

Eric I. Moreno

Nadine Chuc Echeverría

Resumen

La tendencia actual para mejorar el desempeño del concreto implica la utilización de componentes adicionales al cemento, agua y agregado pétreo. Una forma de mejorar este desempeño consiste en utilizar mezclas de menor relación entre el agua y el cemento; sin embargo, uno de los problemas inherentes a estas mezclas es la pérdida de trabajabilidad, o bien, la necesidad de un alto consumo de cemento y de agua. Una posible solución a este problema es la utilización de aditivos reductores de agua. Este estudio reporta la evaluación del uso de un aditivo reductor a base de lignosulfonato en diferentes dosificaciones, utilizando agregados calizos triturados de alta absorción, bajo un contexto de clima cálido subhúmedo. Los resultados permitieron obtener las dosificaciones en las cuales el aditivo fue eficiente, así como los efectos laterales en otras propiedades del concreto.

Palabras clave: concreto, aditivo, reductor de agua, agregado calizo.

Abstract

The current trend to improve the performance of concrete implies the use of additional components besides cement, water, and stone. One way to improve this performance consists in employing mixtures of low water-cement ratio; however, one of the problems in this type of mixture is the lost of workability, or the need of using a high amount of cement and water. A possible solution to this problem is the use of water reducing agents. This study reports the evaluation of the use of a lignosulfonate-base water reducer at different doses, employing crushed limestone aggregate of high absorption, under a hot sub-humid environment. The results allowed defining the doses where the water reducer was efficient as well as the collateral effects in other concrete properties.

Key words: concrete, mixture, water reducing, limestone aggregate.

Recibido: 21 de setiembre del 2006 • **Aprobado:** 18 de enero del 2007

1. INTRODUCCIÓN

En el último tercio del siglo XX, el desarrollo de la tecnología del concreto se enfocó, principalmente, en mejorar el desempeño de este material por medio del uso de otros componentes diferentes al cemento, el agua o los agregados pétreos (Spirato & Jolicoeru, 2000). Los principales ejemplos de estos nuevos ingredientes son: aditivos químicos, adiciones minerales, fibras naturales y sintéticas, etc.

En todo el mundo, día tras día, es cada vez más común la preparación del concreto con algún ingrediente adicional a los tres básicos, sea para dar respuesta a necesidades específicas de carácter técnico, o para dar soluciones alternas a los problemas constructivos, atendiendo a

criterios de sustentabilidad y cuidado del medio ambiente (Plenge, 2001).

La Península de Yucatán es una planicie sin ríos ni montañas, en donde la única forma de obtener agregados pétreos para la construcción consiste en la explotación del manto de roca caliza superficial. Los compuestos químicos principales de esta caliza son el carbonato de calcio (77 % aproximadamente) y el carbonato de magnesio (13 % aproximadamente) (Pacheco y Alonzo, 2003). La antigüedad estimada de esta formación corresponde a la Era Cenozoica, en las épocas Plioceno-Mioceno superior.

Como consecuencia de que la roca tiene escasa edad y que los sedimentos se consolidaron a bajas presiones, los agregados obtenidos, producto

de su trituración, son porosos, absorbentes y contienen gran cantidad de finos (Chan et al., 2003). Por otro lado, la gran extensión de la planicie y la facilidad de explotación de la roca a cielo abierto propician que los agregados de la región sean abundantes y económicos, por lo que no resulta viable la importación de agregados con mejores propiedades.

Al emplear este tipo de agregados (de alta absorción y contenido de finos) en el diseño de las mezclas de concreto, se hace necesario utilizar una cantidad de agua mayor a la usual, lo cual redunda en un mayor consumo de cemento para mantener constante la relación entre el agua (A) y el cemento (C), (A/C); esto, generalmente no es deseable por razones de desempeño, costo y sustentabilidad. El problema se hace más crítico conforme la resistencia de diseño es más alta, ya que la disminución de la relación A/C conlleva al consumo de grandes cantidades, tanto de cemento como de agua. En ocasiones, esto lleva a un círculo vicioso en donde los componentes no pueden ser mezclados, ya que aun añadiendo más agua a la mezcla, la parte proporcional de cemento que se adiciona (para mantener la relación A/C), ocasiona que el resultado sea de nueva cuenta una mezcla seca. Una posible solución a este problema es la utilización de un aditivo reductor de agua.

Los aditivos reductores de agua, también llamados fluidificantes, permiten disminuir de un 5 % a un 15 % la cantidad de agua de mezclado, conservando la fluidez de la mezcla, e incluso, aumentándola; de esta forma se obtiene una solución alterna que permite disminuir el consumo de cemento en la misma proporción que el agua, conservando la A/C. El mismo aditivo puede usarse buscando un efecto fluidificante, cuando, sin reducir el agua, se añade a una mezcla que no tiene la fluidez o trabajabilidad necesaria para ser transportada, colocada y acabada; en este caso, lo que se busca es resolver un problema técnico que no puede solucionarse únicamente con cemento, agua y agregados.

Los reductores de agua se clasifican de acuerdo con la ASTM C 494 como aditivos tipo A; si además tienen propiedades retardantes de

fraguado, se clasifican como aditivos tipo D; y si por el contrario, son acelerantes de fraguado, se clasifican como tipo E.

Las partículas de cemento Portland tienen una fuerte tendencia a flocularse (separarse en forma de partículas dispersas) cuando se mezclan con agua. Esta tendencia es el resultado de la combinación de las fuerzas de Van der Waals, fuerzas electrostáticas entre partículas con cargas opuestas, y a la interacción entre las moléculas de agua y los hidratos (Aitcin et al., 1994). Para alcanzar una buena trabajabilidad en la mezcla, las partículas de cemento deben deflocularse.

Los componentes activos de los reductores de agua son agentes químicos tensoactivos (que disminuyen la tensión superficial de las partículas), conocidos como surfactantes (Neville, 1999). Estos consisten esencialmente en moléculas orgánicas de cadena larga, con un extremo hidrofílico (atrayente de agua) y el otro hidrofóbico (repelente de agua).

Cuando un surfactante se agrega al sistema cemento-agua, la cadena polar es adsorbida a lo largo de la partícula de cemento; el surfactante dirige un extremo polar hacia el agua, disminuyendo así la tensión superficial de ésta, y haciendo a la partícula de cemento hidrofílica. Como resultado de las capas de agua dipolar que rodean a las partículas de cemento su floculación es evitada, estabilizando su dispersión (Mehta y Monteiro, 1998).

Los surfactantes utilizados como reductores de agua son generalmente sales, modificaciones y derivados de ácidos lignosulfónicos, ácidos carboxílicos hidroxilatados y polisacáridos.

Los dos factores principales que pueden influir en la eficiencia, de un aditivo son el tipo y la cantidad de cemento usado, y el clima; para garantizar dicha eficiencia, resulta conveniente realizar pruebas para comprobar el desempeño del concreto con el aditivo, antes de realizar los procesos constructivos en obra (Dobrowolski, 1998). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto en cinco propiedades básicas del concreto preparado con un aditivo

reductor de agua, bajo condiciones de clima cálido subhúmedo.

2. METODOLOGÍA

Se utilizó una muestra de agregado, producto de la trituración de roca caliza extraída de la formación geológica denominada Carrillo Puerto, situada en la Península de Yucatán. La planta de trituración se escogió buscando utilizar un agregado de la mejor calidad posible dentro del contexto geográfico del estudio. Para esto se analizaron resultados, anteriormente informados, sobre las propiedades físicas de los agregados de la región (Solís y Baeza, 2003).

Se eligió utilizar una relación A/C de 0,45 que, de acuerdo con la correlación propuesta por el ACI 211.1, corresponde a una resistencia a la compresión de 380 kg/cm² (37,2 MPa); este valor se encuentra en el límite superior de la resistencia para concreto normal. El cemento utilizado fue Cemento Portland Compuesto (CPC30), de fabricación mexicana, que incluye adición de caliza.

El aditivo por evaluar fue de tipo A, a base de lignosulfonato, modificado con condensado de metanal melamina sulfonado. Las propiedades de este compuesto a 20 °C son: densidad 1,135 g/cm³, pH 10 y viscosidad 25 mPa·s; estado líquido y color café oscuro. El aditivo no contuvo cloruros.

El tratamiento experimental consistió en comparar el desempeño de una mezcla de control

(sin aditivo), diseñada siguiendo el método de volúmenes absolutos del ACI, con nueve mezclas que fueron diseñadas combinando tres reducciones de agua (5 %, 10 % y 15 %) y tres cantidades del aditivo (5 ml, 10 ml y 15 ml por kg de cemento); para conservar la A/C en todas las mezclas, por cada reducción de agua se hizo, también, la respectiva reducción de cemento. En las nueve mezclas se conservó la proporción relativa entre los volúmenes absolutos de los agregados grueso y fino, definida por la mezcla de control; no se consideró aire incluido en las mezclas.

Con el fin de obtener un revenimiento de 10 cm ($\pm 2,5$ cm), la cantidad de agua base para la preparación de la mezcla de control fue de 215 kg/m³ de concreto, que es un 5 % mayor a la sugerida por el mismo comité 211.1 del ACI; de aquí que la cantidad de cemento base fue de 477 kg/m³ de concreto. En el Cuadro 1 se presentan las cantidades de agua, cemento y aditivo utilizadas para las nueve mezclas con aditivo.

La preparación de las mezclas y el colado de los especímenes (ASTM C192) se realizaron en la primavera, durante abril, mayo y junio. Para tener información sobre el contexto climático que prevaleció en los días de los colados, se tomaron en laboratorio la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

Las propiedades que se midieron en la mezcla de control y en las nueve mezclas con aditivo fueron: revenimiento (ASTM C143), contenido de aire (ASTM C231), tiempos de fraguado inicial y final (ASTM C403); y para el concreto endurecido:

Cuadro 1. Cantidad de agua, cemento y aditivo utilizados.

Variación del aditivo (ml/kg) ¹	Reducción 5 % (R5)		Reducción 10 % (R10)		Reducción 15 % (R15)	
	Agua ²	Cemento ²	Agua ²	Cemento ²	Agua ²	Cemento ²
5 (A5)	204	454	194	430	183	406
10 (A10)	204	454	194	430	183	406
15 (A15)	204	454	194	430	183	406

¹ ml/ kg de cemento

² kg/m³ de concreto

la resistencia a la compresión uniaxial (ASTM C39) y volumen de vacíos (ASTM C642).

La resistencia a la compresión fue medida en cilindros estándares de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, a las edades de siete, veintiocho y noventa días (tres por mezcla); mientras que el volumen de vacíos fue medido en cilindros de 7,5 cm de diámetro y 15,0 cm de altura, a la edad de noventa días (dos por mezcla). Todos los especímenes fueron curados por inmersión hasta el día de su ensayo.

Las variables analizadas para determinar el efecto del aditivo en el concreto, fueron las diferencias entre las propiedades medidas en la mezcla de control y las medidas en las mezclas con aditivo.

El ensayo de desgaste se realizó mediante la prueba de Los Ángeles (C 131 – 03 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los agregados

Las propiedades físicas obtenidas a partir de las muestras de los agregados grueso y fino se presentan en el Cuadro 2. Las características más notables del tipo de agregado utilizado son su alta absorción y la gran cantidad de finos; esto

último a pesar de que el agregado fino, por su módulo de finura, se puede clasificar como una arena gruesa. Las curvas granulométricas de ambos agregados estuvieron entre los límites recomendados (ASTM C33).

3.2. Contexto climático

El clima en la Península de Yucatán es principalmente cálido subhúmedo; en la mayoría de los países de Centroamérica y el Caribe existen regiones con este tipo de clima. La temperatura media anual en Yucatán es de 26 °C, con una estación lluviosa (verano) y una seca (invierno). La precipitación pluvial anual promedio es de 1290 mm (INEGI, 2005).

Las temperaturas medidas, en el momento de los colados, estuvieron entre 27 °C y 30 °C; mientras que las humedades relativas del ambiente estuvieron entre el 75 % y el 85 %. Las Figuras 1 y 2 muestran estas temperaturas y humedades ambientales correspondientes a la fabricación de cada mezcla.

3.3. Propiedades del concreto fresco

El revenimiento de la mezcla de control fue de 8 cm. Para las tres mezclas con 5 ml de aditivo por 1 kg de cemento, el revenimiento fue inferior al de la mezcla de control; para las mezclas con 10 ml de aditivo, el revenimiento fue igual o superior para reducciones del 5 % y del 10 %

Cuadro 2. Propiedades físicas de agregados calizos triturados procedentes de Carrillo Puerto, Península de Yucatán.

Agregado	PVSS	PVSC	Densidad	Absorción	Desgaste	Módulo de finura	Finos menores a 75 µm
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(adim)	(%)	(%)		(%)
Grueso	1 243	1 388	2,42	4,30	23	-	-
Fino	1 199	-	2,46	4,10	-	3,2	15

PVSS : peso volumétrico en estado seco suelto

PVSC: peso volumétrico en estado seco compacto

Densidad: gravedad específica en estado saturado

Desgaste: prueba de Los Ángeles.

Fuente: (Los autores, 2006)

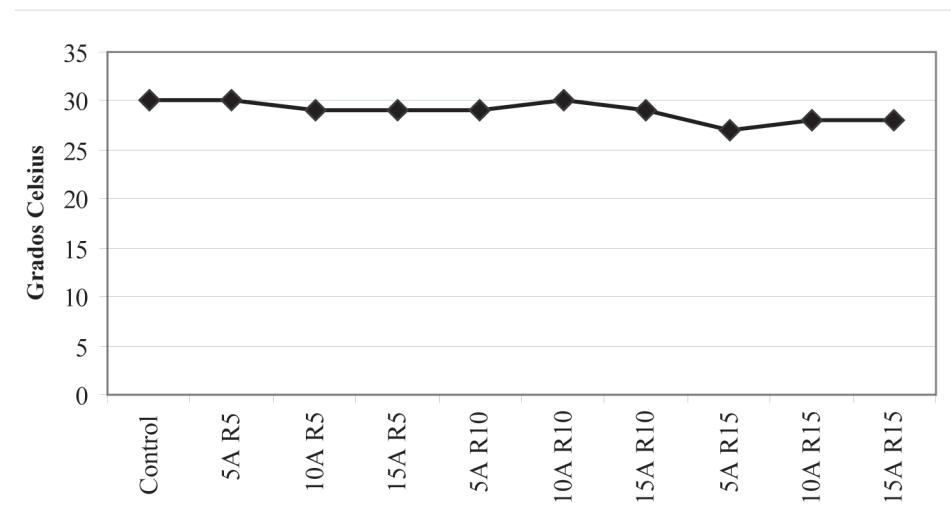


Figura 1. Temperatura ambiental en la Península de Yucatán, México, en los días de colado (estación primavera).

Fuente: (Los autores, 2006)

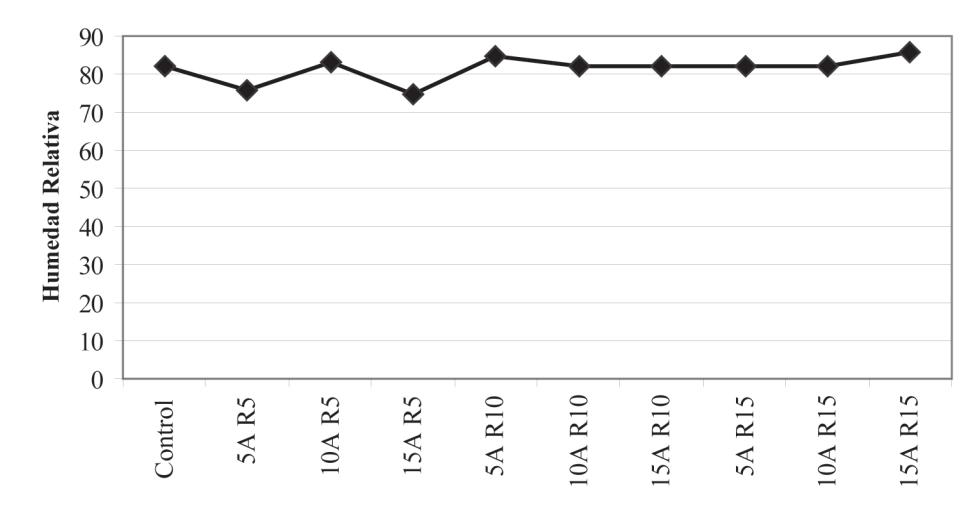


Figura 2. Humedad relativa ambiental en la Península de Yucatán, México, en los días de colado (estación primavera).

Fuente: (Los autores, 2006)

de agua; mientras que para las tres mezclas con 15 ml de aditivo por 1 kg de cemento, el revenimiento fue igual o superior al de la mezcla de control. En el Cuadro 3 se presentan las diferencias en los revenimientos respecto al de la mezcla de control; las celdas sombreadas representan la zona de eficiencia del aditivo, es decir, a las mezclas que tuvieron igual o mayor revenimiento que la mezcla de control.

Cuadro 3. Diferencias en los revenimientos en las mezclas con aditivo, con respecto al de la mezcla de control (cm).

Variación del aditivo (ml/kg)	Reducción		
	R5	R10	R15
5A	-2	-5	-3
10A	+3	0	-3
15A	+2	+1	0

Fuente: (Los autores, 2006)

La cantidad de aire medida en la mezcla de control fue del 2,50 %. Excepto una mezcla, todas las preparadas con aditivo tuvieron una cantidad de aire igual o menor que la mezcla de control. El Cuadro 4 muestra las diferencias en las cantidades de aire respecto al de la mezcla de control.

Cuadro 4. Diferencias en las cantidades de aire en las mezclas con aditivo, con respecto a la de la mezcla de control (%).

Variación del aditivo (ml/kg)	Tipo de mezcla (Ver Cuadro 1)		
	R5	R10	R15
5A	-0,1	0,0	-0,1
10A	-0,2	-0,1	0,0
15A	-0,1	0,0	+0,1

Fuente: (Los autores, 2006)

Las pruebas para determinar los tiempos de fraguado inicial y final de las mezclas se realizaron en un ambiente de temperatura controlada ($24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). El tiempo de fraguado inicial de la mezcla de control fue de 135 min (2 h con 15 min). Las nueve mezclas con aditivo tuvieron tiempos de fraguado inicial mayores a la de la mezcla de control. El promedio de las diferencias del tiempo de fraguado inicial para las tres mezclas con 5

ml de aditivo fue de 13 min (un 9 % mayor respecto al de la mezcla de control); para las tres mezclas con 10 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue de 83 min (un 62 % mayor); y para las tres mezclas con 15 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue de 178 min (un 132 % mayor). Las diferencias de los tiempos de las nueve mezclas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Diferencias de los tiempos de fraguado inicial de las mezclas con aditivo, con respecto al de la mezcla de control (min).

Variación del aditivo (ml/kg)	Tipo de mezcla (Ver Cuadro 1)		
	R5	R10	R15
5A	+20	+13	+5
10A	+80	+95	+76
15A	+180	+175	+180

Fuente: (Los autores, 2006)

El tiempo de fraguado final de la mezcla de control fue de 195 min (3 h con 15 min). Las nueve mezclas con aditivo tuvieron tiempos de fraguado finales mayores a la de la mezcla control. El promedio de las diferencias del tiempo de fraguado final para las tres mezclas con 5 ml de aditivo fue de 13 min (un 9 % mayor respecto al de la mezcla control); para las tres mezclas con 10 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue de 92 min (un 68 % mayor); y para las tres mezclas con 15 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue de 253 min (un 188% mayor). Las diferencias de los tiempos de las nueve mezclas se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Diferencias de los tiempos de fraguado final de las mezclas con aditivo, con respecto al de la mezcla de control (min).

Variación del aditivo (ml/kg)	Tipo de mezcla (Ver Cuadro 1)		
	R5	R10	R15
5A	+20	+13	+5
10A	+95	+105	+76
15A	+180	+375	+205

Fuente: (Los autores, 2006)

3.4. Propiedades del concreto endurecido

Los especímenes preparados con la mezcla de control tuvieron resistencias promedio de 364 kg/cm² (35,7 MPa) a los siete días, 416 kg/cm² (40,8 MPa) a los veintiocho días, y 453 kg/cm² (44,4 MPa) a los noventa días. Las nueve mezclas con aditivo produjeron especímenes con resistencias mayores a los de la mezcla de control, a las tres edades. A los noventa días, el promedio de las diferencias de la resistencia para las tres mezclas con 5 ml de aditivo fue de 27 kg/cm² (un 6 % mayor respecto a la de la mezcla de control); para las tres mezclas con 10 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue 38 kg/cm² (un 8 % mayor); y para las tres mezclas con 15 ml de aditivo, el promedio de las diferencias fue de 46 kg/cm² (un 10 % mayor). Las diferencias de las resistencias de las nueve mezclas con aditivo, para las edades de 7 d, 28 d y 90 d, se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Diferencias de las resistencias a la compresión entre los especímenes preparados con aditivo, respecto a los preparados con la mezcla de control (kg/cm²).

Edad de prueba para la variación de aditivo indicado	Tipo de mezcla (Ver Cuadro 1)		
	R5	R10	R15
7 días			
5A	+38	+69	+16
10A	+42	+48	+28
15A	+70	+50	+41
28 días			
5A	+48	+28	+34
10A	+75	+50	+32
15A	+20	+22	+40
90 días			
5A	+17	+47	+16
10A	+39	+55	+19
15A	+70	+20	+48

El porcentaje de vacíos obtenido a los noventa días a partir de la mezcla de control fue del 18,12 %. Las nueve mezclas con aditivos produjeron especímenes con menor volumen de vacíos. En

el Cuadro 8 se presentan las diferencias en los porcentajes de vacíos respecto a los obtenidos a partir de la mezcla de control.

Cuadro 8. Diferencias de los contenidos de vacíos entre los especímenes preparados con aditivo, respecto a los preparados con la mezcla de control (%).

Variación del aditivo	Tipo de mezcla (Ver Cuadro 1) (ml/kg)		
	R5	R10	R15
5A	-0,81	-1,25	-0,83
10A	-0,68	-1,81	-1,18
15A	-1,11	-1,73	-1,72

Fuente: (Los autores, 2006)

3.5. DISCUSIÓN

El aditivo mostró ser eficiente como reductor de agua, para reducciones del 5 %, del 10 % y del 15 %. Para los dos primeros porcentajes, la cantidad mínima de aditivo que permitió conservar el revenimiento fue de 10 ml/kg de cemento (en ambos casos bajo una temperatura ambiental de 29 °C y humedades relativas del 83 % y del 75 %, respectivamente). Para conservar el revenimiento con una reducción del 15 % fue necesario emplear 15 ml/kg de aditivo (bajo una temperatura ambiental de 28 °C y humedad relativa del 86 %).

Todas las mezclas con aditivo tuvieron menor porcentaje de aire, sin embargo, las diferencias medidas no fueron significativas. Generalmente los reductores derivados de la lignina son, por naturaleza, inclusores de aire, por lo cual suelen ser modificados con agentes expulsores de aire (Mehta y Monteiro, 1998). En este caso el aditivo no introdujo aire al concreto.

Los tiempos de fraguado inicial y final de todas las mezclas con el reductor se incrementaron en forma significativa. Se observó una relación directa entre la cantidad de aditivo y el incremento de los tiempos de fraguado. Una característica del ácido lignosulfónico es la de inhibir el fraguado (González, 2000), por lo que para controlarlo se suelen añadir otros compuestos químicos como el cloruro o la trietanolamina (Dobrowolski, 1998);

en este caso el reductor careció de cloruros. El efecto observado en los tiempos de fraguado, contradice la clasificación del aditivo como tipo A; por lo que, para concretos preparados bajo este contexto climático, el aditivo utilizado pudiera reclasificarse como tipo D.

La resistencia promedio de los especímenes con el aditivo se incrementó en todos los casos. Se observó una relación directa entre el aumento de resistencia y la cantidad de aditivo. En el mejor de los casos el incremento de resistencia promedio fue del 10 % correspondiendo a 15 ml de aditivo y noventa días de edad (con una reducción en el consumo de cemento de 40 kg/m³ de concreto). Este efecto es esperado con el uso de reductores, ya que la dispersión estable que se produce en las partículas de cemento, permite exponer mayor área superficial de éste a la hidratación (Skalny y Mindess, 1995); además de permitir una mejor compactación. Todos los concretos con aditivo tuvieron menor porcentaje de vacíos, sin embargo, las diferencias medidas no fueron significativas si se toma en cuenta que la alta absorción de los agregados utilizados en el estudio propicia un alto porcentaje de vacíos en el concreto (Moreno et al., 2006).

CONCLUSIONES

1. El aditivo estudiado, lignosulfonato, modificado con condensado de metanal melamina sulfonado fue eficiente para mantener la fluidez de la mezcla en diversas combinaciones de dosis y reducción de agua.
2. Como efecto lateral, se obtuvieron ganancias moderadas en la resistencia a la compresión del concreto, tanto a temprana como a mediana edad.
3. En el contexto del clima cálido subhúmedo, el aditivo tuvo un fuerte efecto retardante de fraguado, por lo que no se comportó como tipo A.
4. Utilizando agregados calizos de alta absorción, se obtuvieron resistencias

máximas a noventa días de: 523 kg/cm² (51,3 MPa) con un consumo de 454 kg de cemento por m³ de concreto y 5 ml de aditivo por kg de cemento; 508 kg/cm² (49,8 MPa) con un consumo de 430 kg de cemento y 10 ml de aditivo; y 501 kg/cm² (49,1 MPa) con un consumo de 406 kg de cemento y 15 ml de aditivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 211.1 (1993). Proporcionamiento de mezclas, concreto normal, pesado y masivo. México: IMCYC.
- Aitcin, P., Jolicœur, C. & McGregor, J. (1994). Superplasticizers: how they work and they occasionally don't. *Concrete International*, 16(5).
- ASTM (2004). Annual Books of ASTM Standards. West Conshohocken, EEUU: ASTM.
- Chan, J., Solís, R. & Moreno, E. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 7 (2).
- Dobrowolski, J. (1998). *Concrete construction handbook*. (4^a ed). New York: McGraw-Hill.
- González, F. (2000). *Manual de supervisión de obras de concreto*. México: Grupo Noriega Editores
- INEGI. Sistemas estadísticos y de información geográfica. Extraído en diciembre, 2005 de <http://www.inegi.gob.mx/geo/default.asp>.
- Mehta, K. & Monteiro, P. (1998). *Concreto, estructura, propiedades y materiales*. México: IMCYC.
- Moreno, E., Solís, R. & López, L. (2006). Carbonation-induced corrosion in urban concrete structures. *Materials Performance*, 45(5).

Neville, A. (1995). *Tecnología del concreto*. México: IMCYC.

Pacheco, J. & Alonzo, L. (2003). Caracterización del material calizo de la formación Carrillo Puerto en Yucatán. *Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*, 7(1).

Plenge, W. (2001). Introducing Vision 2030 our industry's 30 year map to future. *Concrete International*, 23(3).

Skalny, J. & Mindess, S. (1995). Mechanisms of superplastification. Materials Science of Concrete IV, American Ceramic Society, Westerville.

Solís, R. & Baeza, J. (2003). Influencia de las propiedades físicas de los agregados en la técnica de pulso ultrasónico para predecir la resistencia a la compresión del concreto. *Revista Técnica Ingeniería Universidad de Zulia*, 26(1).

Spiratos, N. & Jolicoeur, C. (2000). *Trends in concrete chemical admixtures for 21st century*. En: 6th CANMET/ACI International Conference on Superplastizers and other chemical admixtures in concrete, Nice, France.

SOBRE LOS AUTORES

Romel Solís Carcaño

Ingeniero Civil, Maestro en Ingeniería
Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México
Teléfono: 52-999-9410093
Apartado postal 150 Cordemex, Mérida, México.
Facsimil: 52-999-9410189
Correo electrónico: tulich@tunku.uady.mx

Eric I. Moreno

Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias
Investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México
Teléfono: 52-999-9410093
Apartado postal: 150 Cordemex, Mérida, México.
Facsimil: 52-999-9410189
Correo electrónico: emoreno@uady.mx

Nadine Chuc Echeverría

Ingeniera Civil, Maestro en Ingeniería
Estudiante de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México
Teléfono: 52-999-9410093
Apartado postal: 150 Cordemex, Mérida, México.
Facsimil: 52-999-9410189
Correo electrónico: nadine_@hotmail.com