

DURABILIDAD

Influencia de los ciclos hielo–deshielo en la resistencia del concreto

Se trata de un fenómeno que se origina en época de heladas en donde existen bajas temperaturas en la madrugada y altas durante el día, las cuales generan a su vez, los llamados ciclos hielo–deshielo. Cabe decir que el objetivo de esta investigación, desarrollada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se basa en explicar cómo el fenómeno afecta al concreto, tanto cualitativa como cuantitativamente, en lo que respecta entre otras cosas, a la resistencia a la compresión.

En el estudio fue empleado un grupo de 24 probetas cilíndricas de concreto y se manejaron como variables de experimentación la relación agua/cemento (a/c) y el tipo de curado. Este grupo de probetas se subdividió en 12, con una a/c de 0.5, las cuales fueron subdivididas a su vez, en tres grupos de acuerdo con las condiciones de curado: en obra, en laboratorio y sin curado. Cada uno de éstos se conformó por 4 especímenes, 3 de los cuales se afectaron con los ciclos, dejando el restante como patrón. Las 12 probetas restantes con una a/c de 0.7, fueron subdivididas en 3 grupos similares, con las mismas condiciones de curado definidas anteriormente.

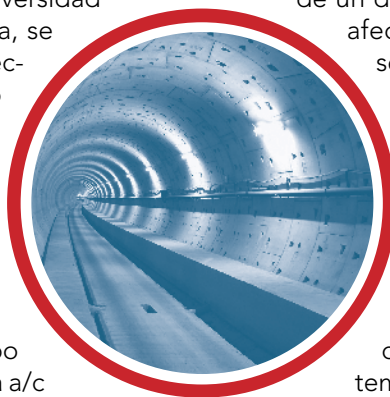
Para obtener resultados inmediatos se hizo la simulación de este proceso de forma acelerada, llevando los especímenes de concreto a períodos de hielo en la noche y de deshielo en el día, durante un periodo continuo, en los que se manejaron dos ambientes: uno artificial (refrigerador–temperatura baja) y uno natural (temperatura ambiente). El período de afectación de las probetas al ciclo hielo–deshielo se concibió en intervalos de 24 horas durante 71 días. La etapa de hielo abarcó 12 horas, comprendidas en la noche, en donde las probetas permanecían en el congelador (ambiente artificial); mientras que la etapa de deshielo se llevó a cabo

en el día, al ambiente natural completando las 12 horas restantes.

La investigación arrojó que la resistencia a la compresión de probetas con a/c de 0.5, afectadas por los ciclos, frente a las de las probetas patrón se redujo en 7.8, 8.8 y 13.7%, para las probetas sin curar, curadas en obra y curadas en laboratorio, respectivamente. De igual manera, el decremento de la resistencia a la compresión en las probetas afectadas, respecto a las de las probetas patrón, en las muestras con a/c de 0.7, fue de 13.5, 15.1 y 17.9%, para las mismas condiciones de curado. Según estos resultados, la variación no es grande, lo que sugiere que no es necesario un adecuado curado; sin embargo, sería una concepción errónea ya que aunque se alcance la resistencia de diseño, en el aspecto físico se ocasionaría el inicio de un deterioro por la aparición de fisuras, que afectarían la durabilidad. Adicionalmente, se comprobó que el ciclo hielo–deshielo durante el periodo de afectación y las variables definidas (curado y a/c, fundamentalmente), para este estudio en particular, afectan al concreto a diferentes niveles: externo e interno, en su apariencia y en sus propiedades físico-mecánicas.

Asimismo, se observó que la afectación del ciclo sobre el concreto, a edad temprana es considerable, con un deterioro físico acentuado en condiciones de alta humedad (probetas con curado en laboratorio, por inmersión). Para evitar este deterioro, es recomendable que el concreto quede protegido en horas de la noche con elementos adecuados (plásticos, telas, mantos, etc.) y en el día se cure apropiadamente. Otra de las medidas correctivas aconsejables es trabajar con bajas a/c, implementando además, la inclusión de aire. Cabe decir, que una conclusión importante de esta investigación es que se considera conveniente que los diseños de concreto manejen la variable de durabilidad y no únicamente la de resistencia mecánica, ya que es común que el concreto se exponga a ambientes agresivos, tanto por el clima, como por la contaminación. **©**

Referencia: Páez, M. D. F.; Leal, M. V. E. y Restrepo, B. M., “Influencia de los ciclos hielo–deshielo en la resistencia del concreto (caso Tunja)”, en *Revista Ingenierías*, Universidad de Medellín, vol. 8, núm. 15, suplemento 1, versión impresa ISSN 1692-3324, Medellín, Colombia, julio de 2009.



ADICIONES

Concreto adicionado con metacaolín

La principal causa de deterioro en estructuras de concreto es la corrosión del acero de refuerzo, generalmente iniciada por mecanismos de carbonatación y difusión de cloruros. Aunque la incorporación de las adiciones minerales o materiales suplementarios le confieren al concreto una reducción de la capilaridad, en concretos adicionados es posible observar un mayor grado de susceptibilidad frente a la carbonatación.

El propósito de este escrito es presentar los resultados obtenidos en un estudio de mezclas de concreto producidas con un 90% de Cemento Portland ordinario (CPO) y un 10% de adiciones de metacaolín (MK) y humo de sílice (SF). Se estudiaron cuatro tipos de MK, dos de ellos producidos a través de un tratamiento térmico de caolines colombianos; los dos restantes fueron obtenidos en el mercado internacional (Europa y Estados Unidos). Las propiedades principales que se reportan concretamente en este escrito son: resistencia a compresión y resistencia a la carbonatación, y permeabilidad de la mezcla a iones cloruro.

En el concreto se utilizó un agregado grueso triturado con un tamaño máximo de 19 mm, una gravedad específica de 2.72 y una absorción de 1.2%. Como agregado fino se empleó arena de río con una gravedad específica de 2.56, un porcentaje de absorción de 3.7% y un módulo de finura de 2.8. Las mezclas de concreto fueron diseñadas con base en los procedimientos recomendados por ACI, utilizándose 475 kg de cementante por m³ de concreto y una relación agua/cementante (a/c) de 0.4. La cantidad total de agregados fue de 1.743 kg/m³, obtenida al mezclar agregado grueso y fino en proporción del 60 y 40%, respectivamente. En total se prepararon seis mezclas de concreto, de las cuales cinco corresponden a un sistema binario de

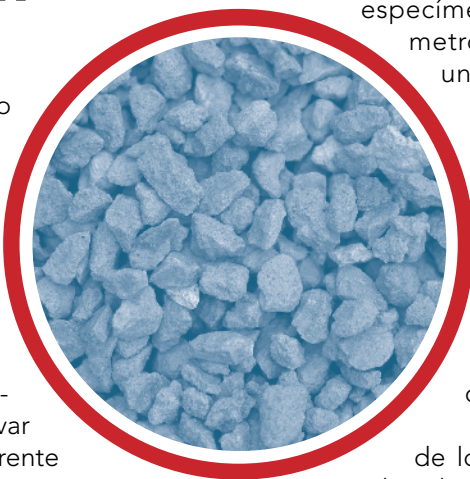
CPO y un 10% de adición. La restante es una mezcla de referencia; es decir sin adición. En todas las mezclas de concreto producidas fue incorporado un aditivo superplastificante, con el objetivo de mantener la a/c constante y lograr un revenimiento de 9 ± 1.5 cm. Se elaboraron especímenes cilíndricos de 76.2 mm de diámetro, los cuales se curaron bajo agua a una temperatura de $25 \pm 5^\circ\text{C}$.

La resistencia a compresión de los concretos adicionados con MK fue hasta un 18.5% más alta que la del concreto de referencia. Cabe hacer notar que los concretos con MK a 180 días de curado, llegan a alcanzar una resistencia a la compresión, tan sólo 9% inferior a la resistencia del concreto adicionado con SF.

La profundidad de carbonatación de los concretos adicionados y con 28 días de curado fue más alta que en los concretos sin adición, aunque no supera los 10 mm, aún en las condiciones aceleradas del ensayo. Al incrementar la edad de curado, previo a la exposición al ambiente agresivo, la velocidad de carbonatación se reduce. Conviene decir que la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto adicionados con MK una vez carbonatados incrementó hasta en un 31%. Todos los especímenes de concreto con adición de MK o SF exhiben menor permeabilidad frente al ión cloruro, en comparación con los concretos sin adición.

En general, puede afirmarse que los concretos adicionados, a 28 días de curado, presentaron una mayor susceptibilidad frente a la carbonatación en comparación con los concretos de referencia; sin embargo, a mayor edad de curado la resistencia a la carbonatación de las muestras de concreto con y sin adición, se incrementó. Asimismo, los concretos con adición presentan la menor absorción capilar y la más alta resistencia a la penetración del ión cloruro, en comparación a las mezclas de CPO sin adición. **c**

Referencia: Mejía de Gutiérrez R.; Rodríguez C.; Rodríguez E.; Torres J.; Delvasto, S., "Concreto adicionado con metacaolín: Comportamiento a carbonatación y cloruros", en *Revista Facultad de Ingeniería*, Universidad Antioquia, núm. 48, Medellín, Colombia, abril/junio de 2009.



CONCRETO AUTO
COMPACTABLE

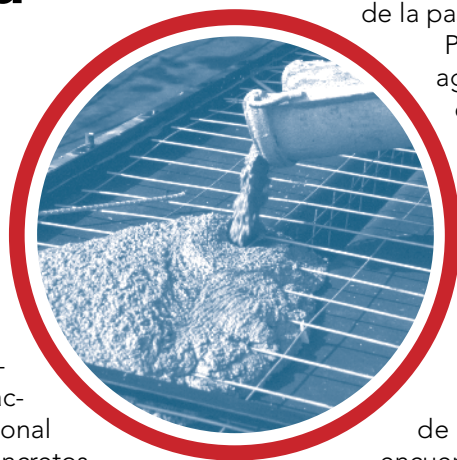
Influencia de la proporción de Arena en el Módulo de Elasticidad

Con el objetivo de estudiar el efecto de la proporción de arena en el módulo de elasticidad (E) del concreto autocompactable (CAC), en la Universidad Nacional Oceánica de Taiwán, se evaluaron concretos de diferentes proporciones de agregados finos. Conviene recordar que el CAC se desarrolló en Japón a principios de 1990. Tiene ventajas tales como la alta movilidad de la mezcla al interior de las cimbras, la elevada resistencia a la segregación y el no requerimiento de vibrado.

En el estudio de referencia, se elaboraron diferentes mezclas con una relación variable entre agregados finos y gruesos (grava caliza triturada de 10 mm de tamaño máximo), usando como cementante una combinación de Cemento Portland tipo I (según clasificación ASTM), ceniza volante y escoria. A fin de mantener niveles de revenimiento y de extensibilidad similares en las mezclas, para una relación agua/material cementante (a/c) de 0.40, se consideró el uso de un aditivo superplastificante.

Para el estudio se evaluaron 8 mezclas con relación A/AG_t (agregados finos/total de agregados: finos y gruesos), oscilante entre 0.30 y 0.55. Con las muestras se elaboraron especímenes de 20 cm de altura por 10 cm de diámetro, los cuales fueron curados en agua hasta el momento en que se llevaron a cabo pruebas para la estimación, tanto de la resistencia del concreto a la compresión, como de E.

Se conoce que la composición mineralógica de los agregados afecta la magnitud de E del concreto endurecido; de ahí que muchos investigadores hayan investigado la magnitud de E en los agregados, de manera independiente. Una herramienta útil en este campo hace referencia a Modelos de Inclusión Simple, basados en la teoría de Mori-Tanaka y en



el Método Eshelby's, en los cuales se considera la variación de los esfuerzos que se generan durante la aplicación de esfuerzos de compresión. Por medio de estos modelos es posible obtener los valores de E para los agregados, conociendo previamente de manera independiente, los niveles de E, tanto de la pasta de cemento, como del mortero.

Posteriormente, conocido el E de los agregados, por medio del método de la doble inclusión es posible determinar un E equivalente para el concreto. De acuerdo a lo anterior, en un trabajo previo a esta investigación, se logró estimar para este estudio el E equivalente de referencia; mismo que podría ser comparado con la magnitud del E, obtenido directamente de los estudios experimentales.

En general, de la interpretación de los resultados experimentales, se encuentra que el E en el CAC no se afecta significativamente cuando se aumenta la relación A/AG_t ; sin embargo, cuando el E del agregado fino es 2 veces mayor al del agregado grueso, el E del CAC tiende a aumentar desde 28 hasta casi 30 GPa, cuando la relación A/AG_t aumenta desde 30 hasta 47.5%. En cambio, cuando el E del agregado fino es del orden de la mitad que la del agregado grueso, entonces el E del CAC disminuye desde 22.54 hasta 21 GPa, cuando la relación A/AG_t se incrementa desde 30 hasta 47.5%. Esto demuestra que el E del CAC, definitivamente está muy relacionado con las propiedades elásticas y con la fracción de volumen de los agregados.

La relación A/AG_t sin duda es un parámetro muy importante a considerar en los CAC, su aumento no solamente influye en las propiedades reológicas; sino también en las propiedades de elasticidad del material que en general dependen de las propiedades de elasticidad, tanto de la matriz de cementante, como de los agregados finos y gruesos. Por otra parte, en el presente estudio se encuentra que el E del CAC no se afecta significativamente al variar la relación A/AG_t cuando los E de los agregados finos y gruesos son similares, y adicionalmente, el volumen total de agregados es constante. **C**

Referencia: Su, J. K.; Cho, S. W.; Yang, C. C y Huang, R. "Effect of sand of ratio on the elastic Modulus of Self-Compacting Concrete", en *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 10, núm. 1, pp. 8-13, 2002.

Aditivo estabilizador de hidratación

1^{era} parte.

Actualmente uno de los graves problemas que enfrenta la industria productora de concreto es el impacto ambiental, debido a los grandes volúmenes de residuos generados anualmente por estas empresas. Una alternativa para los procesos actuales de distribución del concreto devuelto a planta y del agua de lavado involucra el empleo de Aditivos Estabilizadores de Hidratación (AEH).

El concreto es reutilizado después de una noche o un fin de semana, aun en estado fresco con el agregado de un activador, que puede ser mezclado con concreto nuevo o agregando un aditivo acelerante. Luego de la reactivación de las propiedades de los concretos reutilizados en estado fresco y endurecido son equivalentes a las de los concretos convencionales.

El concreto retornado de obra a las plantas dosificadoras de origen incurre en serios problemas económicos y ambientales. Algunos estudios realizados en Japón encuentran que el concreto desperdiciado representa entre el 1 y el 2% del total de 180 millones de m³ anualmente producidos en Japón. Cabe subrayar que las tres principales fuentes generadoras de residuos en las plantas productoras de concreto son: el lavado interno de la tolva del camión al finalizar el día de trabajo, el lavado del patio de la central dosificadora, y la devolución del concreto fresco no empleado en las obras.

Comúnmente, las plantas de concreto realizan el tratamiento de estos concretos devueltos de dos formas. En la primera forma (tradicional) disponen de los residuos descargados del camión en contenedores, que se ubican en áreas que son limpiadas dos o más veces por semana por medio de una pala cargadora. Por lo general, los sólidos son cargados y llevados para terraplenes; mientras que el barro

de agua y cemento puede ser también parcialmente reaprovechado, dependiendo del nivel tecnológico de que se disponga. Esta forma es de fácil operación y no necesita de grandes tecnologías ni para su aplicación, ni para su mantenimiento. Sus desventajas radican en que el producir residuos sólidos, es un proceso poco sustentable, además requiere de grandes áreas para depósito.

La segunda forma, parte del hecho de considerar el reaprovechamiento de los materiales por separación mecánica de los agregados del

barro de agua/concreto, lo cual es posible

al existir un gran número de alternativas tecnológicas, la mayoría basadas en el

lavado del material con agua y separación por zarandas. Contraria a la

primera forma, en ésta es posible el reciclado de todos los materiales,

requiriendo además de un menor espacio físico para su implementación.

Las desventajas en este caso están asociadas al elevado costo de

implementación y de mantenimiento; también, de alguna manera a que

estos procesos, aunque menos que en la primera forma, suelen ser contaminantes

para el medioambiente. Sin embargo, otra

alternativa económicamente viable dentro de los métodos tradicionales de reaprovechamiento del

concreto devuelto consiste en el uso de aditivos estabilizadores de hidratación (AEH). La activación

del concreto devuelto después de este período, es obtenida por el uso de aditivos acelerantes o me-

zclándose concretos nuevos al concreto estabilizado.

El método de reaprovechamiento del concreto devuelto por medio del uso de AEH es el método

que económica y ambientalmente arroja mejores resultados; siendo las únicas salvedades, que son

necesarios estudios previos de los aglomerantes utilizados y que es fundamental un correcto

entrenamiento de todo el personal de planta involucrado. En general, este método requiere

de una baja inversión inicial y de un bajo costo de mantenimiento; en donde todo el material puede

ser reciclado y los tiempos de lavado se economizan de manera importante. **C**

Referencia: Benini, H. (Grace Brasil); Persico, J. D. (Grace Argentina), "Aditivos Estabilizadores de Hidratación", publicado en *Hormigonar: Revista de la Asociación Argentina del Hormigón Elaborado*, núm. 10, diciembre de 2006.

