
Uso de material cerámico como material para curado interno en mezclas de concreto

Por Eder Samir Aldana Barcinilla

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Resumen: El presente trabajo de grado tuvo como finalidad evaluar el comportamiento de un concreto al cual se le hizo reemplazo, en ciertos porcentajes, del agregado grueso por material cerámico para obtener curado interno; dicho comportamiento se evaluó mediante la valoración de algunas de las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas hechas con este material. El material cerámico usado en las diferentes mezclas de los ensayos fue producido a partir de la trituración de ladrillo tolete estructural, comúnmente usado en la construcción de viviendas en la ciudad de Bogotá. Se evaluó una mezcla de concreto con tres porcentajes diferentes de reemplazo de agregado grueso por material cerámico (0%, 20% y 40%) y dos valores de relación agua/cemento (0.30 y 0.50). Dentro de las propiedades analizadas están la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, absorción, permeabilidad, contracción, permeabilidad al ion cloruro y sortividad. Los resultados de los ensayos mostraron claramente que en la media que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para muestras con relación a/c de 0.30, los resultados de la resistencia a la compresión son más altos que para los concretos de la muestra patrón, mientras que para la relación a/c de 0.50, se obtuvieron resistencias a la compresión inferiores a las de un concreto con el 100% del agregado natural. Los módulos de elasticidad para todos los concretos con reemplazo de material cerámico siempre fueron menores a los concretos con el 100% del agregado grueso. Paralelamente, las propiedades de durabilidad, medidas a través de ensayos de permeabilidad, absorción, sortividad y permeabilidad al ion cloruro, se ven afectadas con el aumento del porcentaje de reemplazo de material cerámico y la relación agua/cemento. El curado interno resulta benéfico solamente para aumentar la resistencia a la compresión en concretos de baja relación a/c y para reducir la contracción por secado.

Palabras clave: material cerámico, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, propiedades mecánicas, durabilidad, permeabilidad al ion cloruro, absorción, curado interno.

Abstract: This study aimed to assess the performance of concrete to variations in the percentages of coarse aggregate and ceramic material for internal curing by assessing the mechanical properties and durability of the mixtures made with this material. The ceramic material used in the different mixture trials was produced from crushing structural bricks, commonly used in residential construction in the city of Bogota Colombia. Concrete mixtures were evaluated with three different percentages of ceramic material (0%, 20%, and 40%) used in substitution of coarse aggregate and two values of water / cement ratio (0.30 and 0.50). The resistance to compression, elasticity modulus, absorption, permeability, shrinkage, chloride ion permeability and sorptivity were evaluated. Test results showed that as the replacement percentage of ceramic material, for samples with water / cement ratio of 0.30, increases the results of the resistance to compression are higher than the results for the control sample; while for the water / cement ratio of 0.50 resistances lower than those of a concrete with 100% natural aggregate compression were obtained. The modulus of elasticity for all concrete

with ceramic replacement were always lower than those obtained for the concrete made with 100% coarse aggregate. Similarly, the properties of durability, measured by permeability tests, absorption, sorptivity and chloride ion permeability, are affected by the increased percentage of ceramic replacement and water / cement ratio. Internal curing is beneficial only to increase the resistance to compression in concrete of low water / cement to reduce drying shrinkage.

Keywords: ceramic material, compressive strength, elastic modulus, mechanical properties, durability, chloride ion permeability, absorption, internal curing.

1. Introducción

El curado del concreto juega un papel primordial en las propiedades de los elementos que se construyen con este material. Del curado depende que exista la suficiente cantidad de agua para que el proceso de hidratación del cemento se desarrolle eficiente e ininterrumpidamente.

El agua de la mezcla se puede perder por varios factores, siendo el de mayor impacto la tasa de evaporación excesiva durante las primeras horas después de haberse fundido el concreto; si esta tasa de evaporación no se controla, el resultado se manifiesta en una pasta que incluye partículas de cemento no hidratadas, dando como resultado menor resistencia, entre otras, así como un cambio de volumen que promueve la formación de fisuras de diferente magnitud.

Entre las muchas formas de curar el concreto existe una estrategia para realizar el curado, es el curado interno, el cual consiste en incorporar agua al concreto como un aditivo (que no está disponible en un comienzo, por lo tanto no modifica la relación a/c), que es suministrada en la medida que el concreto lo necesita, contempla el uso de materiales como agregados ligeros, fibras, polímeros, entre otros. En el caso de la presente investigación se usará material cerámico como elemento que retenga agua y la libere paulatinamente.

Buena parte de las estructuras que se construyen en el país, como losas de pavimentos, tableros de puentes y losas de muelles, se hacen en su gran mayoría con una o varias condiciones de baja humedad relativa, altas temperaturas y altas velocidades de viento, esto sumado a que por su alta superficie expuesta pierdan muy rápidamente la humedad superficial y se agrieten a falta de un oportuno, continuo y suficiente tiempo de curado.

2. Programa experimental

Los materiales utilizados para la presente investigación son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades de los agregados usados en la investigación.

Propiedad	Grava natural de ¾"	Arena	Material cerámico
Peso unitario suelto	1292 Kg/m ³	1499 Kg/m ³	1043 Kg/m ³
Peso unitario compactado	1492 Kg/m ³	1662 Kg/m ³	1216 Kg/m ³
Densidad aparente	2421 kg/m ³	22479 kg/m ³	1953 kg/m ³
Densidad nominal	2639 kg/m ³	2606 kg/m ³	---
Absorción	3.4%	2.0%	13.4%

En la Tabla 2 se muestran las proporciones de material reciclado y relación a/c usada en cada una de las 6 mezclas ensayadas.

Tabla 2: Mezclas usadas en la investigación

Mezcla	% de material cerámico	Relación A/C
MP-0.30	0%	0,30
MP-0.50	0%	0,50
MC20-0.30	20%	0,30
MC20-0.50	20%	0,50
MC40-0.30	40%	0,30
MC40-0.50	40%	0,50

Sobre las mezclas en cuestión, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad (ASTM C39 – NTC-673) a los 3, 28 y 90 días, permeabilidad a cloruros (ASTM C1202-12), sortividad (ASTM C1585-11), absorción (ASTM C642-97) e ISAT (BS 1881) a los 28 y 90 días, y contracción (ASTM C157) los primeros 7 días seguidos y posteriormente una vez por semana hasta los 56 días, con una última lectura a los 90 días.

3. Resultados y análisis

3.1. Resistencia a la compresión

En la Figura 1 se muestran los resultados de resistencia a la compresión para las mezclas MP, MC20 y MC40, con una relación a/c de 0.30, para las dos condiciones de curado de la investigación. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en la mezcla, aumenta la resistencia a la compresión del concreto, para ambas condiciones de curado.

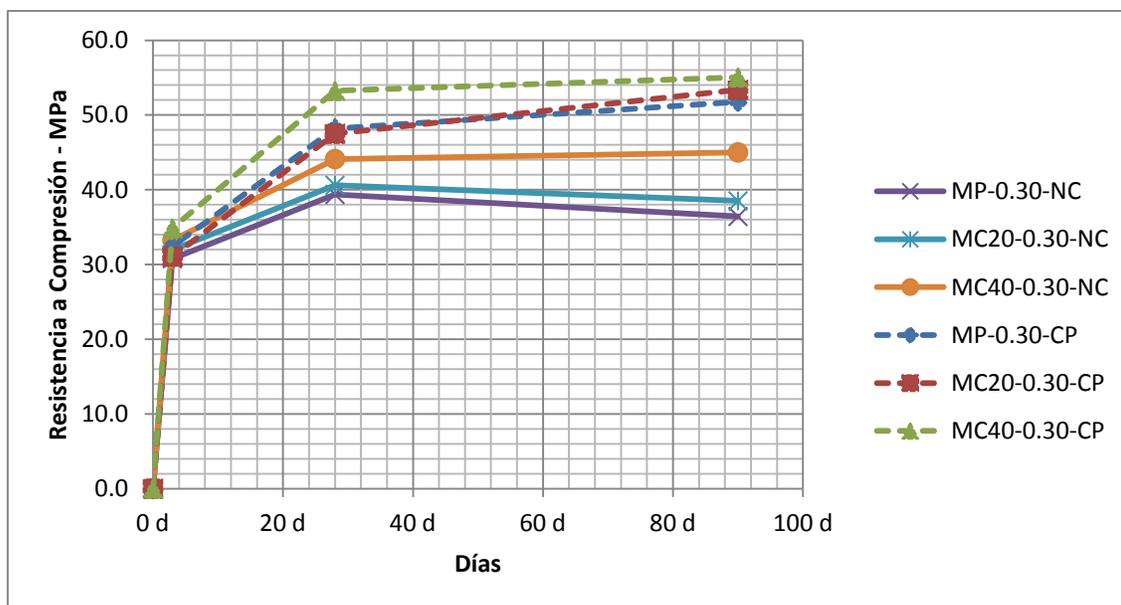


Figura 1. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – a/c = 0.30.

No se obtienen similares resultados para las mezclas hechas con relación a/c de 0.50. Se observa en la Figura 2 que para porcentajes de reemplazo del 20% y 40% de material cerámico, se obtienen resistencias menores a la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural. Esta situación es igual para ambas condiciones de curado.

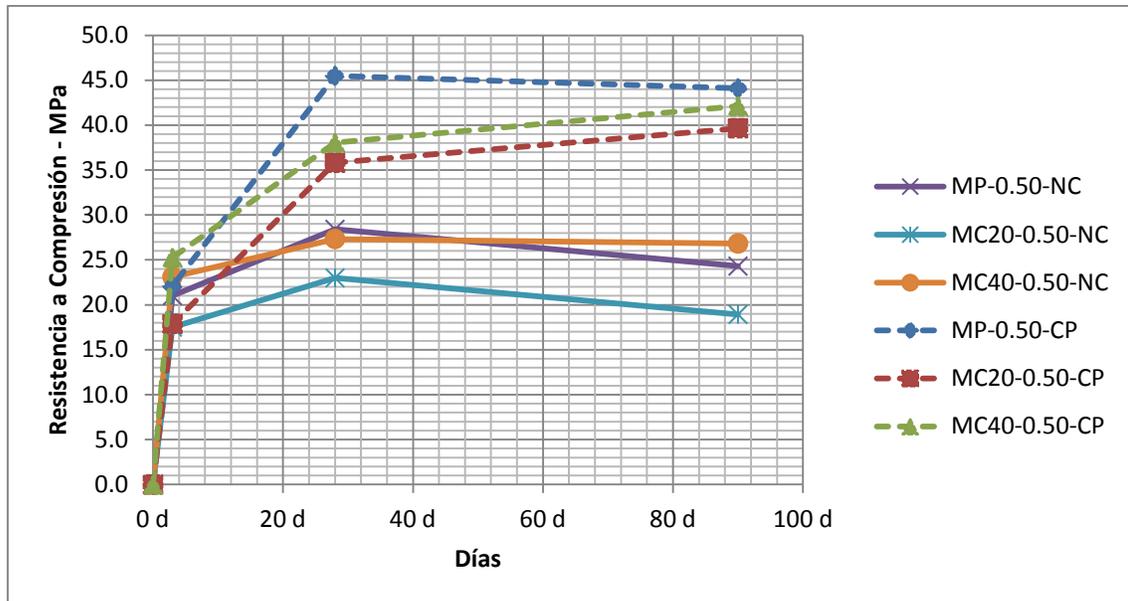


Figura 2. Resistencia a la compresión para ambas condiciones de curado – a/c = 0.50.

Los efectos del curado interno se pueden valorar mucho más en las mezclas en condición de no curado, puesto que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en la mezcla, se obtienen mejores resistencias a la compresión, y la diferencia con la muestra patrón es considerable (24% a los 90 días). Para las mezclas que tuvieron curado parcial, la diferencia entre las probetas con material cerámico y la muestra patrón no es tan representativa a los 90 días.

3.2. Módulo de elasticidad.

En la Figura 3 se muestran los resultados de módulo de elasticidad para las mezclas MP, MC20 Y MC40, con una relación agua/cemento de 0.30, para las dos condiciones de curado de la investigación. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de material cerámico en las mezclas, disminuye el módulo de elasticidad del concreto, para ambas condiciones de curado.

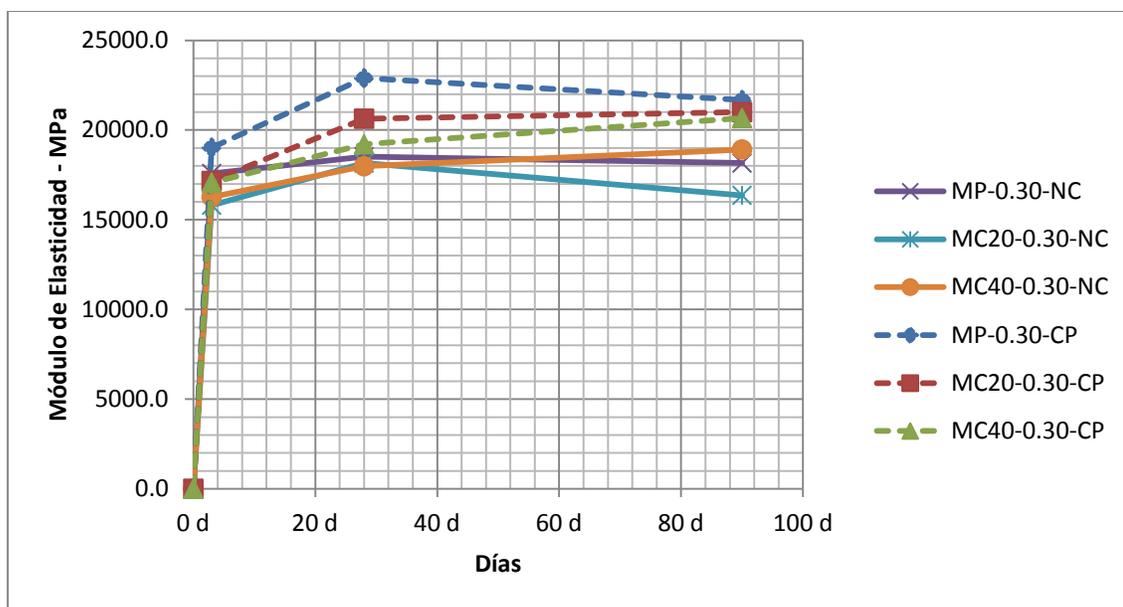


Figura 3. Módulo de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.30$.

Se aprecian los mismos resultados para las mezclas hechas con relación a/c de 0.50. Se observa en la Figura 4 que para porcentajes de reemplazo del 20% y 40% de material cerámico, se obtienen módulos de elasticidad muy por debajo de los obtenidos para la muestra patrón, que tiene el 100% del agregado grueso natural. Estas interpretaciones son iguales para ambas condiciones de curado.

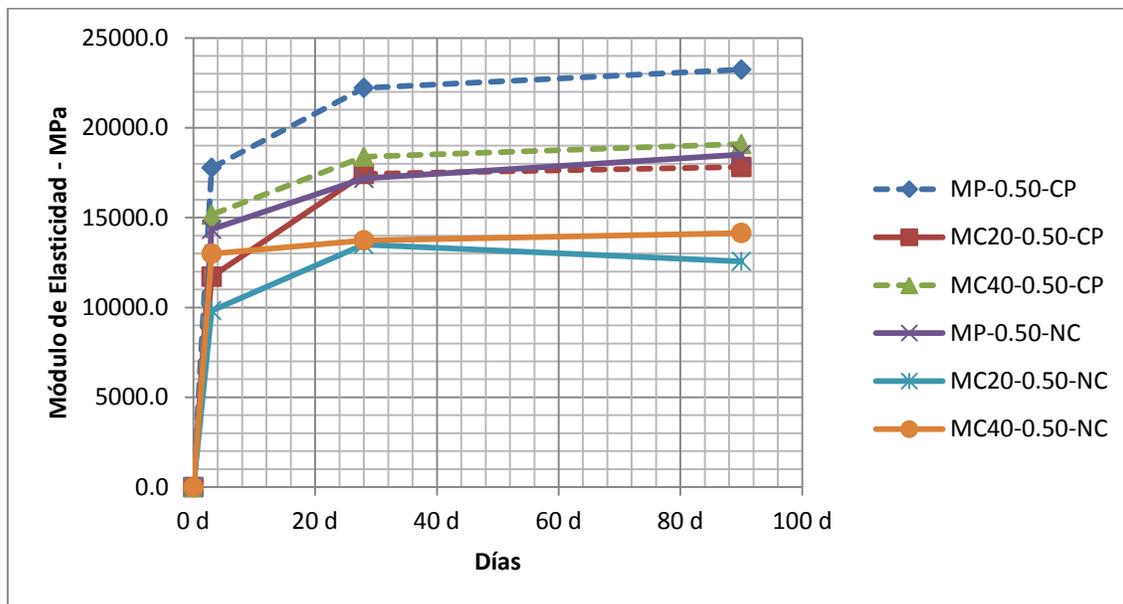


Figura 4. Módulo de elasticidad para ambas condiciones de curado – $a/c = 0.50$.

Se puede concluir que el efecto que produce el curado interno con material cerámico sobre el módulo de elasticidad de las mezclas de concreto es sumamente negativo, independientemente de las condiciones de curado a las que se sometan las muestras. Para

relaciones a/c de 0.30, se obtuvo reducción en el módulo de elasticidad del orden del 16%, mientras que para una relación a/c de 0.50 los valores de reducción del módulo elástico fueron del orden de un 30%, lo que demuestra que en la media en que se aumenta la relación a/c se obtienen menores valores para el módulo de elasticidad de las muestras de concreto.

Al comparar los resultados de los módulos de elasticidad obtenidos en los ensayos con los obtenidos de la expresión para el cálculo del módulo de elasticidad dada en el capítulo C.8.5.1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente – NSR-10 ($4700 \cdot f'_c{}^{1/2}$), se encontraron diferencias considerables. Los resultados de los ensayos de esta investigación se acercan más a una ecuación como la siguiente: $3000 \cdot f'_c{}^{1/2}$, esto como consecuencia del uso de materiales que presentan una mayor deformabilidad, como son los materiales cerámicos.

3.3. Ensayo de permeabilidad al ion cloruro

Para las mezclas con relación a/c de 0.30, tanto en condición de no curado como para el curado parcial, se observa que la mezcla con porcentaje de reemplazo del 40% tiene menor penetración al ion cloruro que la muestra patrón; mientras que para la mezcla con reemplazo del 20% de material cerámico, se aprecia que la permeabilidad es mayor.

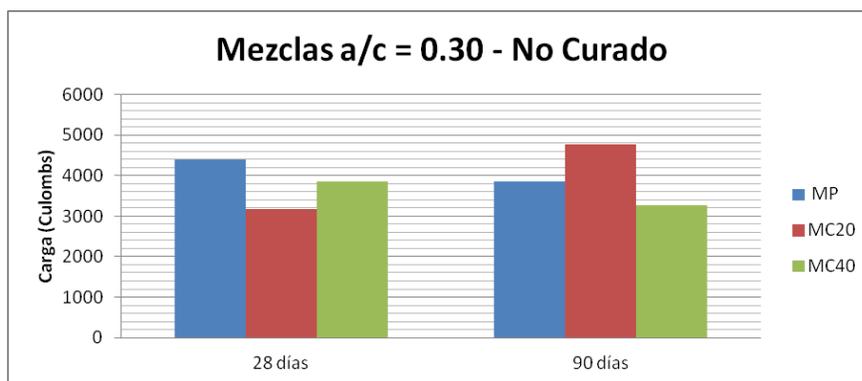


Figura 5. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – NO CURADO.

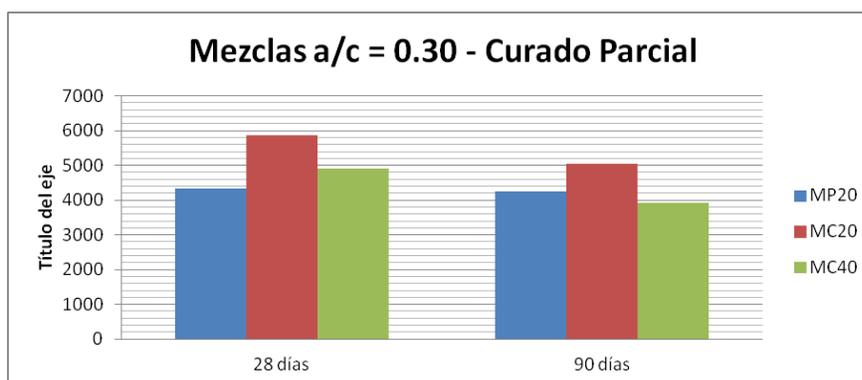


Figura 6. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

Para las mezclas de relación a/c de 0.50 se aprecian resultados diferentes a las mezclas con 0.30; para ambas condiciones de curado se obtiene un aumento en la permeabilidad al ion

cloruro en las mezclas con porcentajes de reemplazo de material cerámico, comparadas con la muestra patrón.

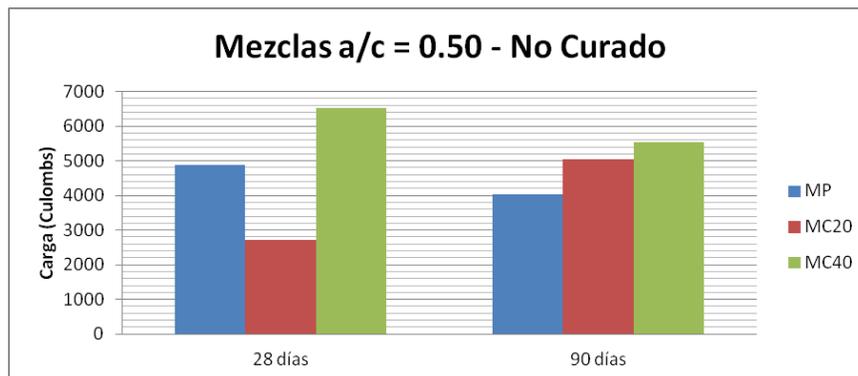


Figura 7. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.50 – NO CURADO.

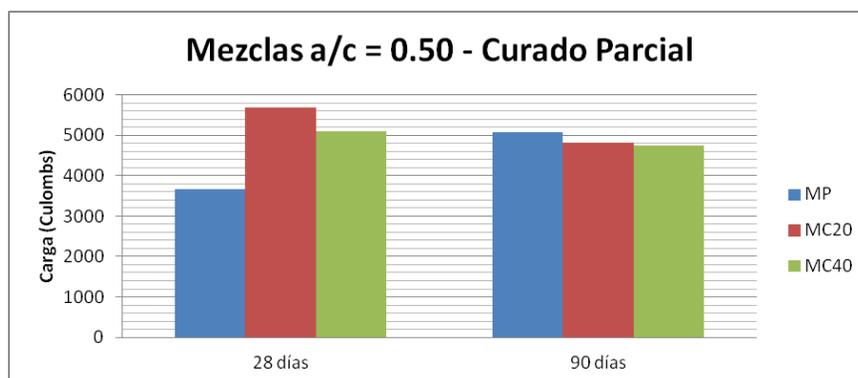


Figura 8. Permeabilidad a cloruros mezclas a/c = 0.30 – CURADO PARCIAL.

3.4. Ensayo de sortividad

Para los ensayos de Sortividad no se aprecian diferencias considerables entre las mezclas con reemplazo de material cerámico y la muestra patrón, para ambas condiciones de curado y una relación a/c de 0.30.

Para las mezclas con relación a/c = 0.50 se observó que hay un aumento considerable en la penetración de agua, para ambas condiciones de curado, a los 90 días de las mezclas. Dicho aumento se puede afirmar que está por encima del 40% con relación a la muestra patrón.

Se puede considerar como normal el hecho que aumente la permeabilidad de estos concretos con curado interno, puesto que al usar en la mezcla un tipo de agregado más poroso, se permite el paso de un mayor volumen de agua en el interior del concreto endurecido.

3.5. Ensayo de contracción

Para la condición de no curado, a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, se disminuye el porcentaje acumulado de contracción de las probetas, para una relación a/c de 0.30, mientras que para una relación a/c de 0.50 se aumenta el porcentaje

de contracción, es decir, para condiciones de no curado, la contracción en el concreto aumenta a medida que se aumenta la relación a/c.

Para la condición de curado parcial, los resultados varían mucho para la mezcla con un porcentaje de reemplazo del 20% de material cerámico, obteniéndose el doble de contracción a los 90 días, en comparación con la muestra patrón, y relación a/c de 0.30; la muestra con porcentaje de reemplazo del 40% tiene resultados similares a la muestra patrón, alrededor del 0.4% a los 90 días. Las muestras con relación a/c de 0.50 presentan un valor acumulado de contracción a los 90 días aproximadamente de 0.45%, para la muestra patrón y las muestras con material cerámico.

3.6. Ensayo de absorción

3.6.1. Absorción después de la inmersión

Para las muestras con relación a/c de 0.30 se observó, para ambas condiciones de curado, que a los 28 días los resultados de absorción son relativamente parecidos entre la muestra patrón y las mezclas con reemplazo de material cerámico, mientras que a los 90 días se aprecia que las mezclas con material cerámico, en cualquier porcentaje, tienen mayor absorción.

Para las muestras con relación a/c de 0.50 se obtuvieron resultados similares, mostrando que a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo del material cerámico, se obtienen aumentos en la absorción.

Para la condición de no curado, se obtuvo un aumento aproximado del 20% a los 90 días para la mezcla con un porcentaje de reemplazo del 40%; para la mezcla con un reemplazo del 20% el aumento es aproximadamente de un 18%. Para la condición de curado parcial, se observó un aumento del 30% en la absorción a los 90 días para las mezcla con material cerámico, comparadas con la mezcla patrón.

En conclusión, el curado interno no muestra buenos resultados a largo plazo en los concretos, puesto que aumenta el volumen de poros de la mezcla y por ende aumenta la absorción.

3.6.2. Densidad aparente seca

La densidad aparente seca de las mezclas con relación a/c de 0.30 tiende a disminuir en la medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para ambas condiciones de curado. Para los 90 días se obtienen reducciones en la densidad del orden del 5%.

La densidad aparente seca de las mezclas con relación a/c de 0.50 sigue la tendencia de las muestras con relación a/c de 0.30, tiende a disminuir en la media que aumenta el porcentaje de reemplazo de material cerámico, para ambas condiciones de curado. Para los 90 días se obtienen reducciones en la densidad del orden del 5%.

Los resultados obtenidos son consecuentes con lo que se esperaba, puesto que se están combinando dos agregados con densidades diferentes, donde el material cerámico tiene una densidad aparente mucho menor al agregado grueso natural.

3.6.3. Porosidad

Para las mezclas que tienen una relación a/c de 0.30, se observa un incremento en la porosidad del concreto en las muestras con material cerámico. Lo que hace que sea consecuente con los datos obtenidos para la absorción, ya que al tener mayor porosidad, el concreto va a absorber más agua. La porosidad de estas muestras con material cerámico está siendo mayor en un 25% para muestras sin curado y en un 50% para muestras con curado parcial, comparadas con la muestra patrón.

Para las mezclas con relación a/c de 0.50 se obtienen resultados similares a los obtenidos con relación a/c de 0.30. La porosidad de las muestras con material cerámico es mayor a la obtenida para la muestra patrón, para ambas condiciones de curado, tanto a los 28 días como a los 90. La porosidad de las muestras con material cerámico está siendo mayor en un 18% para muestras sin curado y en un 27% para muestras con curado parcial, comparadas con la muestra patrón.

3.7. Ensayo de absorción inicial superficial del concreto – ISAT

Las mezclas con relación a/c de 0.30 presentan resultados de permeabilidad bajos, tanto para los 28 días como para los 90 días, pero se aprecian diferencias considerables entre la muestra patrón y las muestras con material cerámico, para las dos condiciones de curado. Las diferencias entre la muestra patrón y las muestras con material cerámico son del orden del 30%, en valores del orden de los $0.25 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{s}$.

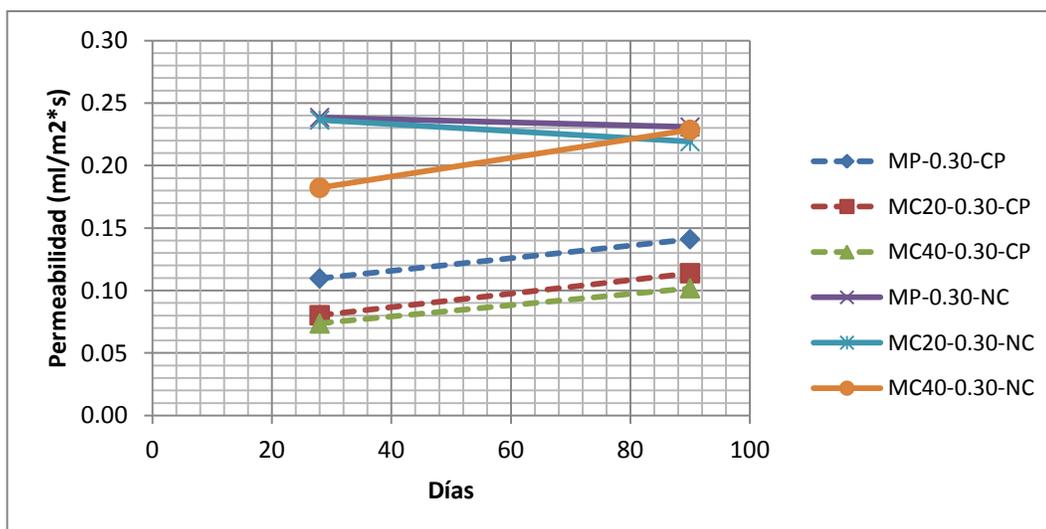


Figura 9. ISAT mezclas a/c = 0.30.

Las mezclas con relación a/c de 0.50 presentan una permeabilidad un poco más alta comparadas con las mezclas de relación a/c de 0.30. Para la condición de no curado se obtuvieron valores de permeabilidad hasta de $0.47 \text{ ml/m}^2 \cdot \text{s}$, como se aprecia en la Figura 10, lo que muestra un aumento del 24% en la permeabilidad a los 90 días para la mezcla con 20% de material cerámico, comparada con la muestra patrón; la mezcla con 40% de material cerámico siempre obtuvo valores de permeabilidad por debajo de la mezcla patrón. Para la condición de curado parcial, con relación a/c de 0.50, se puede apreciar que a medida que aumenta el

porcentaje de reemplazo de material cerámico, así mismo se aumenta la permeabilidad de las mezclas de concreto.

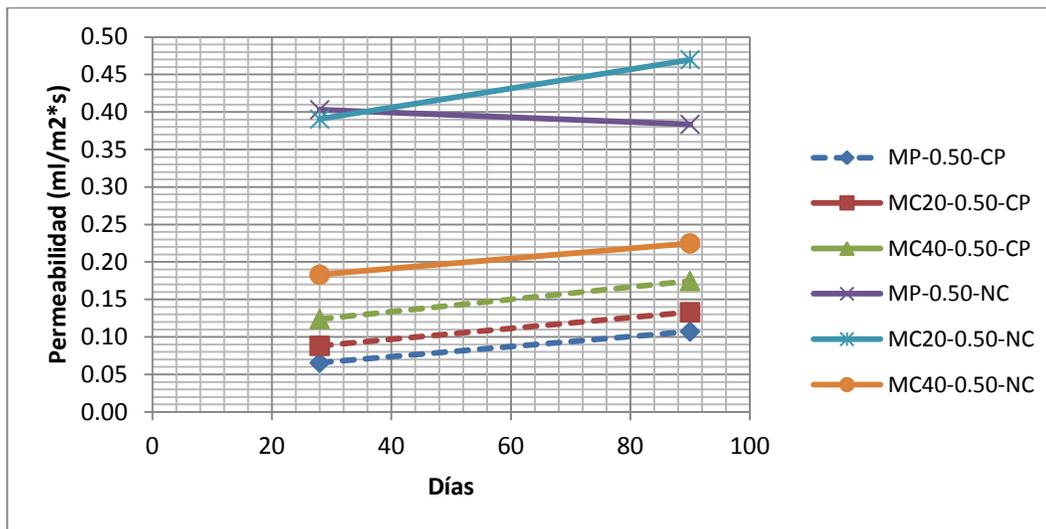


Figura 10. ISAT mezclas a/c = 0.50.

Se puede concluir de las figuras anteriores que a medida que se aumenta la relación a/c aumenta la permeabilidad de las mezclas de concreto, así mismo, en la medida que se aumenta el porcentaje de material cerámico, en mezclas con relación a/c altas, aumenta la permeabilidad.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- La resistencia a la compresión de los concretos con material cerámico sólo aumenta cuando se tiene la relación a/c baja. En la medida en que aumenta la relación a/c, la resistencia a la compresión disminuye, por lo que pierde efectividad el uso de material cerámico para curado interno de mezclas de concreto. Con la relación a/c más baja se obtuvieron incrementos en la resistencia a la compresión del orden del 24% a los 90 días, con porcentajes de reemplazo del 40% de material cerámico, valdría la pena analizar qué puede pasar con porcentajes superiores. Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Suzuki et al, 2009.
- Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión, el curado interno realizado a través del uso de material cerámico resulta útil para mezclas de concreto de alta resistencia, que ayudaría a obtener resistencias superiores a las de un concreto convencional cuando se necesiten concretos con resistencias del orden de 42 MPa o superiores, estos resultados (para a/c de 0.30) concuerdan con lo encontrado en los estudios de Suzuki et al, 2009, quienes estudiaron el uso de materiales cerámicos porosos en hormigones de alto rendimiento.
- Es importante conocer las propiedades del material cerámico, entre ellas su absorción y densidad, ya que estos factores inciden en la resistencia a la compresión del concreto y su

durabilidad. Con una clasificación adecuada de este material, y la creación de normas técnicas tanto para estos agregados como para los concretos, se podría implementar en el país el uso del concreto con material cerámico, ayudando al desarrollo de concretos con mejores especificaciones.

- El módulo de elasticidad del concreto se reduce para concretos con curado interno en la medida en que se aumenta la relación a/c de la mezcla. La reducción del módulo de elasticidad para los concretos utilizados en este estudio es del orden de un 16% para mezclas con relación a/c de 0.30, y del orden de un 30% para relación a/c de 0.50, con porcentajes de reemplazo con material cerámico hasta el 40%. Lo anterior indica que, dependiendo el uso que se le dé, no es viable la inclusión de material cerámico para proveer curado interno en las mezclas de concreto, puesto que se reduce una de las propiedades más importantes del concreto a la hora de realizar los diseño estructurales, ya que serían concretos muy propensos a las deformaciones. El efecto de la reducción del módulo de elasticidad es conveniente o inconveniente dependiendo del uso que tenga la mezcla de concreto, por ejemplo, para pavimentos es deseable una mayor deformabilidad (menos módulo de elasticidad), siempre y cuando no se afecte la resistencia a la compresión, mientras que en edificios es mejor tener concretos que se deformen poco, por el tema de deflexiones y derivas.
- Para mezclas con baja relación a/c se obtienen mejoras en la resistencia a la penetración de ion cloruro en los concretos con material cerámico en un porcentaje de reemplazo del 40%, puesto que esa penetración al ion cloruro disminuye; para mezclas con reemplazo del 20% se obtienen incrementos en la permeabilidad de los cloruros. Las mezclas que tienen relación a/c de 0.50 muestran incrementos en la penetración de cloruros, por lo que no sería conveniente el uso de material cerámico en mezclas con altas cantidades de agua. El acero de refuerzo que sea colocado en concretos con material cerámico y altas relaciones de a/c tiene mayor riesgo de sufrir de corrosión. Los resultados obtenidos son coherentes con lo encontrados por Liu and Zhang, 2010, para las mezclas con reemplazos del 20% a los 90 días, en el sentido en que al incorporar materiales de peso ligero se obtiene una mayor penetración al ion cloruro por el mayor volumen de poros dentro de la mezcla de concreto. La durabilidad de estos concretos se puede ver seriamente afectada debido a la alta permeabilidad a cloruros.
- Para el ensayo de Sortividad no se apreciaron diferencias considerables en la penetración del agua para mezclas con baja relación a/c, los resultados tienden a ser parecidos a un concreto convencional; mientras que para las mezclas con relación a/c de 0.50 la penetración en el concreto aumenta en la medida que se use material cerámico. Para relaciones a/c altas, los resultados son similares a los obtenidos por Zhutovsky and Kovler, 2012, quienes encontraron que la penetración de agua para concretos con curado interno es un 20% mayor que en los concretos convencionales
- Para condiciones de no curado, la contracción en el concreto es inversamente proporcional a la relación a/c de la mezcla. Para la condición de curado parcial, no se aprecian diferencias considerables a los 90 días en las mezclas con relación a/c de 0.50, mientras que para relación a/c de 0.30 la mezcla MC20 aumenta la contracción al doble, comparada con la muestra patrón. Sólo para relaciones a/c bajas y condiciones de no curado es altamente benéfico el uso de curado interno, por lo que se disminuye considerablemente la contracción del concreto.

-
- La absorción en los concretos aumenta considerablemente en la medida en que aumenta el material cerámico de las mezclas, para ambas condiciones de curado y para los dos valores de relación a/c utilizados en el presente estudio; lo que es consecuente con el aumento obtenido en la porosidad de los concretos. Un concreto con mayor porosidad es más vulnerable a los ataques externos, lo que afecta considerablemente su durabilidad.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda analizar los resultados en la resistencia a la compresión para mezclas con porcentajes de material cerámico en porcentajes superiores al 40%, con relaciones de a/c bajas. Esto podría arrojar resultados satisfactorios para concretos de alta resistencia. Así mismo, se recomienda analizar los resultados para concretos cuando se hagan reemplazos del agregado fino, en vez de reemplazar el agregado grueso de la mezcla.
- Se recomienda usar mezclas de concreto con material cerámico para elaborar elementos estructurales a escala real y someterlos a cargas, con el fin de analizar las deformaciones obtenidas y compararlas con concretos convencionales.
- Se recomienda realizar investigaciones en las que se incluyan otras condiciones de curado como el curado permanente, o curado parcial hasta los 14 días. Con esto se podrían obtener resultados interesantes en cuanto a resistencia a la compresión, modulo de elasticidad y contracción.
- Con el fin de mejorar las propiedades de durabilidad de concretos con material cerámico, es recomendable realizar investigaciones posteriores haciendo uso de adiciones y puzolanas como cenizas volantes, humo de sílice y metacaolin.
- En la medida en que un concreto es más poroso, es susceptible de sufrir, en mayor medida, el fenómeno de carbonatación, por lo tanto se hace necesario realizar ensayos de carbonatación en las mezclas de concreto con material cerámico con el fin de mirar el impacto sobre el frente de carbonatación, en la medida que se aumenta el contenido de material cerámico en las mezclas. Esta propiedad es de suma importancia en concretos a usar en estructuras como puentes y/o parqueaderos.
- Dado que el control de calidad de estructuras como pavimentos, tableros de puentes, muelles, entre otras, se evalúan generalmente con base en su resistencia a la flexión, para futuros estudios resultaría interesante valorar también el Módulo de Rotura.
- Usar agregado fino como reemplazo del agregado natural y medir propiedades como sortividad y desortividad de estos.

5. Bibliografía

AKCAY, Burcu. TASDEMIR, Mehmet. Effects of distribution lightweight aggregates on internal curing of concrete. University of Kocaeli, Department of Civil Engineering. 2010.

ASTM C39. Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

ASTM C78. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

ASTM C157. Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete.

ASTM C293. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading).

BENTZ, Dale P. WEISS, W. Jason. Internal curing: A 2010 State of the Art Review. National Institute of Standards and Technology. 2011.

BREMNER, T., & RIES, J. (2009). Stephen J. Hayde: Father of the Lightweight Concrete Industry. *Concrete International* , 31 (8), 35-38. 2009.

BROWNING, JoAnn, et al. Lightweight as Internal Curing Agent to Concrete Shrinkage. *ACI MATERIALS JOURNAL – TECHNICAL PAPER*. 2011.

CUSSON, Daniel. HOOGEVEEN, Ted. Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking. National Research Council Canada. 2008.

DE LA VARGA, Igor. CASTRO, Javier. BENTZ, Dale. WEISS, Jason. Application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash. Purdue University. 2012.

DE LA VARGA, Igor, et al. Fluid transport in high volumen fly ash mixtures with and without internal curing. Purdue University. 2014.

DI DELLA CARMELO, VILLANI CHIARA, HAUSHEER ELISABETH, WEISS JASON. Chloride Transport Measurements for a Plain and Internally Cured Concrete Mixture. Purdue University, School of Civil Engineering. 2012.

FLORES, J.J. VEGA, Erving. Candelas, Q.M.G. Una estrategia muy eficaz. Centro de Tecnología y Concreto de CEMEX – CTCC.

FUERTES, Antonio. Producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2012.

HENKENSIEFKEN, Ryan. Internal curing in cementitious systems made using saturated lightweight aggregate. Purdue University. 2008.

JENSEN, O., & HANSEN, P.. Water-Entrained Cement-Based Materials: I. Principle and Theoretical Background. *Cement and Concrete Research* , 31 (4), 647-654. (2001).

KOVLER, Konstantin. SOUSLISKOV, Andrew. BENTUR, Arnon. Pre-Soajed lightweight aggregates as additives for internal curing of high-strenght concretes. *Cement, Concrete, and Aggregates*, Dec. 2004, Vol. 26, No. 2. Paper ID CCA12295. 2004.

-
- LANDIN, Pedro. Materiales cerámicos: propiedades, clasificación y obtención. <http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html>.
- LAVERDE, JORGE ALEJANDRO. Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2013.
- LIEGER, P. Early High Strength Concrete for Prestressing. Proceedings World Conference on Prestressed Concrete, (pp. A5-1 to A5-14). San Francisco. (1957).
- LIU, X. ZHANG, M. H. permeability of high-performance concrete incorporating presoaked lightweight aggregates for internal curing. National University of Singapore. 2010.
- L. P. ESTEVES, H. PAIVA, V. M. FERREIRA. Efecto de las condiciones de curado en las propiedades mecánicas de los morteros con partículas súper absorbentes.
- MAURICIO LÓPEZ, LAWRENCE KAHN, KIMBERLY KURTIS. Curado interno en hormigones de alto desempeño.
- NTC 176. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
- NTC 237. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
- PHILLOO, R. Concrete Science and Reality. In J. Skalny, & S. Mindess (Eds.), *Materials Science of Concrete II* (pp. 1-8). Westerville, OH: American Ceramic Society. (1991).
- RAOUFI, K., SCHLITZER, J., BENTZ, D., & WEISS, J. (submitted). Parametric Assessment of Stress Development and Cracking in Internally-cured Restrained Mortars. Experiencing Autogenous Deformations and Thermal Loading. *Cement and Concrete Composites* .
- SHOHEI SEIKI, TATSUYA NUKUSHINA, SEDDIK MEDDAH, RYOICHI SATO. Effectiveness of Porous Ceramic Waste as an Internal Curing Material for Fly Ash Concrete. 2010.
- SUZUKI, Masashiro, SEDDIK, Mohammed. Use of porous ceramic waste aggregates for internal curing of high-performance concrete. Hiroshima University. 2009.
- VILLAREAL, V. Internal Curing - Real World Ready Mix Production and Applications: A Practical Approach to Lightweight Modified Concrete. In D. Bentz, & B. Mohr (Ed.), *ACI SP-256, Internal Curing of High-Performance Concrete: Laboratory and Field Experiences* (pp. 45-56). Farmington Hills: American Concrete Institute. (2008).
- WEISS, W., YANG, W., & SHAH, S. Factors Influencing Durability and Early-Age Cracking in High Strength Concrete Structures. *SP-189-22 High Performance Concrete: Research to Practice* (pp. 387-409). Farmington Hills: American Concrete Institute. (1999).
- ZHUTOVSKY, Semion. KOVLER, Konstantin. Effect of internal curing on durability-related properties of high performance concrete. Israel Institute of Technology. 2012.