

COMPORTAMIENTO FÍSICO - MECÁNICO SOBRE MEZCLAS CEMENTÍCEAS CON INCORPORACIÓN DE BLOQUE CERÁMICO

PHYSICAL - MECHANICAL BEHAVIOUR ON CEMENTIC BLENDED WITH CERAMIC BLOCK INCORPORATION

Silvina Zito¹, Edgardo Irassar¹, Viviana Rahhal¹

(1) Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Av. del Valle 3757, 7400 Olavarría, Buenos Aires- Argentina
(e-mail: silvina.zito@gmail.com)

Recibido: 25/09/2016 - Evaluado: 23/11/2016 - Aceptado: 06/02/2017

RESUMEN

Se analiza el comportamiento de morteros y hormigones con Bloque Cerámico como reemplazo del cemento portland (8, 24 y 40% en peso). En los morteros se estudió la fluidez, la resistencia a flexión y a compresión y la porosidad; para los hormigones se determinó la resistencia a compresión y a tracción por compresión diametral y la succión capilar. Todos los ensayos se realizaron a 2, 7 y 28 días. Los resultados muestran que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de residuo cerámico, la fluidez y la resistencia mecánica de los morteros disminuye, mientras que la porosidad aumenta. Por su parte en los hormigones, la resistencia mecánica decrece con el incremento del porcentaje de reemplazo y la succión capilar aumenta.

ABSTRACT

The behavior of mortar and concrete with ceramic block as replacement of portland cement (8, 24 and 40% by weight) is analyzed. In mortars were studied the flowability, the flexural strength, the compressive strength and the porosity. For concrete were determined the compressive strength, the splitting tensile strength and capillary suction. All tests were performed at 2, 7 and 28 days. The results show that as the ceramic block replacement increases, fluidity and mechanical strength of mortars decreases, while the porosity increases. On the other hand in concrete, mechanical strength decreases and capillary suction increases with ceramic block replacement increases.

Palabras claves: bloque cerámico, morteros, hormigones, comportamiento mecánico
Keywords: ceramic brick, mortars, concretes, mechanical behaviour

INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones más importantes en el mundo de hoy es minimizar el impacto ambiental que generan la mayoría de las industrias que utilizan recursos naturales no renovables y que favorecen al calentamiento global. Por tal motivo, en la actualidad toda actividad industrial necesita incorporar tecnologías para optimizar su producción y generar procesos más sustentables. La industria de la construcción no es ajena a esta situación y busca desarrollar cementos que requieran menor energía en su constitución, degraden menos el entorno y emitan menos gases contaminantes, y al mismo tiempo desarrollar estructuras de hormigón de mayor durabilidad con el menor mantenimiento posible durante su vida útil. Teniendo en cuenta esta problemática, la industria del cemento está estudiando la posibilidad de reemplazar parcialmente al cemento por materiales de reciclaje (Meyer, 2009). Una de las alternativas que está en vías de experimentación es la utilización de residuos cerámicos provenientes del descarte de la industria y de las demoliciones, como nuevos materiales de construcción. Los residuos cerámicos son un candidato ideal, ya que: son una fuente rica de alúmina y sílice que puede conducir la reacción puzolánica en un cemento adicionado, son arcillas que ya fueron calcinadas a una temperatura menor a la temperatura de clinkerización implicando un menor consumo de energía y son abundantes ya que se generan por un lado en las diferentes etapas de producción de la industria (los residuos cerámicos oscilan entre el 3% y el 7% de la producción diaria; Pacheco-Torgal *et al.*, 2010) y por otra parte como producto de las demoliciones (los residuos que llegan a vertedero contienen un 75% de escombros, en los cuales el 54% representa a ladrillos, azulejos y otros cerámicos; Romero, 2006).

En las últimas décadas se ha estudiado el reemplazo de cemento por residuos cerámicos. En estos estudios se ha encontrado que los residuos cerámicos tienen una composición química y mineralógica adecuada para su posible uso como material alternativo al cemento y algunos de ellos tienen capacidad puzolánica a partir de los primeros 8 días de reacción (Puertas *et al.*, 2006). Se ha estudiado que el uso de polvo de cerámica mejora las propiedades de la microestructura y de la resistencia en morteros (Samadi *et al.*, 2015). Además se ha investigado que la sustitución parcial de cemento por ladrillo molido hasta 20% de reemplazo proporciona altas resistencias a la compresión a 90 días con valores mayores o iguales al patrón (O'Farrell *et al.*, 2006). En hormigones la incorporación de polvo cerámico en el cemento no provoca grandes variaciones en la porosidad y en la absorción de agua de un hormigón hasta sustituciones del 20% (Sales & dos Santos, 2014). Asimismo, hormigones con polvos cerámicos como sustitución del cemento presentan mayores resistencias a la permeabilidad que los hormigones de control y que la mayor resistencia a la permeabilidad se encontró para hormigones con 30% de reemplazo (Cheng *et al.*, 2016).

Dados los antecedentes encontrados, en este trabajo se evalúa el comportamiento físico y mecánico de morteros y hormigones con incorporación de Bloque Cerámico molido como reemplazo del cemento portland. Los reemplazos utilizados fueron de 8, 24 y 40% y los ensayos realizados fueron en morteros: fluidez, resistencia a flexión y a compresión, y porosidad; en hormigones: asentamiento, resistencia a compresión y a tracción por compresión diametral y absorción capilar.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este estudio, se empleó un cemento portland normal (CP40) con una densidad de 3150 kg/m³ y una superficie específica Blaine (SEB) de 315 m²/kg y, un residuo cerámico proveniente de la molienda de bloques cerámicos en un molino de bolas con una densidad de 2530 kg/m³ y una superficie específica Blaine de 590 m²/kg. La composición química de los materiales se obtuvo por fluorescencia de rayos X, los resultados se muestran en la Figura 1a, en la misma se puede observar que el residuo cerámico contiene gran porcentaje de sílice y alúmina. En la Figura 1b se presenta el difractograma del residuo del Bloque Cerámico, en la misma se observa el halo amorfo entre aproximadamente 15 y 30° 2θ, condición necesaria para que la muestra presente actividad puzolánica (Pereira de Oliveira *et al.*, 2012). La composición potencial del cemento portland obtenida por Bogue a partir de la composición química es: 60,0% C₃S, 16,4% C₂S, 3,8% C₃A, 11,5% C₄AF, con

una cantidad de yeso de 5,5%. De acuerdo al difractograma de la Figura 1b el Bloque Cerámico está constituido por: cuarzo (SiO_2), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) y hematita (Fe_2O_3).

Se prepararon morteros (IRAM 1622, 2006) y hormigones (IRAM 1524, 1982) con reemplazo en peso de cemento por 8, 24 y 40% de polvo de Bloque Cerámico, además del mortero y el hormigón patrón.

En la preparación de los morteros se utilizó arena normalizada (IRAM 1633, 1965) y una relación a/mc de 0,5. Previo al moldeo de las probetas, se determinó la fluidez (IRAM 1634, 1963); luego del moldeo las probetas permanecieron en sus moldes en cámara húmeda durante 24 horas; una vez desmoldadas, las probetas, se envolvieron en film de polietileno a temperatura de laboratorio hasta las edades de ensayo. La resistencia a flexión y a compresión se determinó sobre 3 probetas por edad, resultando el valor de resistencia a flexión del promedio de 3 resultados y el de resistencia a compresión del promedio de 6 valores (IRAM 1622, 2006). Para la realización de los ensayos de resistencia se utilizó una prensa Instron 33R4485. Luego del ensayo a compresión, se utilizaron fragmentos de los morteros que se trituraron a un tamaño menor a 4,75 mm para obtener muestras y determinar la porosidad. La misma se obtuvo por diferencia del peso de la muestra húmeda y seca en estufa a 100°C en relación con el peso seco.

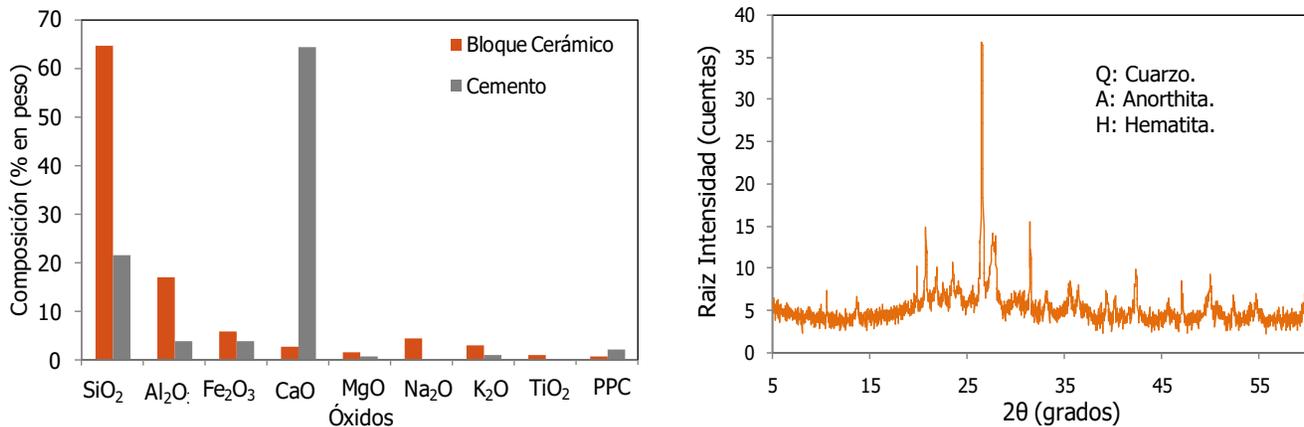


Fig. 1: a) Composición en óxidos del cemento y del Bloque Cerámico. b) Difractograma del Bloque Cerámico.

En la elaboración de los hormigones se empleó como agregado grueso una piedra partida granítica. El tamaño máximo fue de 19 mm y la granulometría se encontró comprendida entre las curvas límites para el tamaño nominal 19,0 a 4,74 (IRAM 1627, 1997). Se evaluaron también la densidad (2700 kg/m^3) y el peso por unidad de volumen suelto y compactado ($1,45$ y $1,55 \text{ t/m}^3$ respectivamente). Como agregado fino se utilizó arena natural silíceas con un módulo de finura 2,03 y una densidad 2650 kg/m^3 . La granulometría de la misma se encontró comprendida entre las curvas límites B y C (IRAM 1627, 1997). En todos los casos el agua de mezclado utilizada fue agua potable de red. La relación a/mc utilizada fue de 0,5. Las dosificaciones empleadas se muestran en la Tabla 1. Para el mezclado del hormigón se utilizó una hormigonera convencional de eje basculante con una capacidad de 50 litros. En estado fresco se determinó la consistencia por medio del ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams (IRAM 1536, 1978). Luego, se llenaron probetas cilíndricas de 10 cm x 20 cm para realizar los ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral y a compresión a las edades de 2, 7 y 28 días (IRAM 1524, 1982). Para efectuar el ensayo de succión capilar se utilizaron probetas cilíndricas de 10 cm x 20 cm, y se siguió el procedimiento indicado en la norma (IRAM 1871, 2004), comenzando con el acondicionamiento de las probetas a las edades establecidas. El curado de las probetas fue de 24 horas en el molde y luego de desmoldadas se sumergieron en agua hasta la edad de ensayo.

Tabla 1: Dosificaciones de las mezclas de hormigón.

		Proporciones de las mezclas (kg/m ³)				
	% de reemplazo	Agua	Arena	Piedra Partida	Cemento	Bloque Cerámico
Patrón	0	205	644,0	1085	410,0	---
BloqueCerámico	8	205	638,6	1085	377,2	32,8
	24	205	627,7	1085	311,6	98,4
	40	205	616,8	1085	246,0	164,0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se exponen y analizan los resultados obtenidos de la parte experimental sobre las series de mezclas estudiadas.

Morteros

Los resultados de los ensayos de fluidez se presentan en la Figura 2. En la misma se observa que la fluidez se encuentra comprendida entre el 100% y el 128%. En los morteros con 8% de reemplazo, la fluidez aumenta en comparación con la muestra patrón, luego con el aumento del porcentaje de reemplazo, la fluidez va disminuyendo. Esto puede deberse a que los porcentajes de reemplazo son en peso y a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo la SEB aumenta mientras que la densidad disminuye (Figura 2), por lo tanto el reemplazo es por un volumen mayor de partículas más pequeñas.

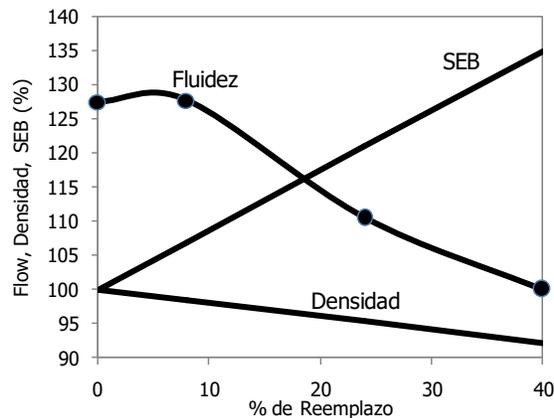


Fig. 2: Fluidez de los morteros con distintos porcentaje de reemplazo por Bloque Cerámico.

Los resultados obtenidos de las muestras ensayadas a flexión y a compresión se presentan en las Figuras 3a y 3b. En la Figura 3a puede observarse que existe una buena correlación entre la resistencia a flexión y la resistencia a compresión de los morteros. Por otra parte todas las muestras presentan un incremento de la resistencia con la edad y una disminución de la misma con el aumento del porcentaje de reemplazo (con excepción de la muestra con 24% de reemplazo que superó a la de 8% de reemplazo a la edad de 28 días). Este comportamiento puede deberse en parte a la dilución del cemento que se produce al incorporar el Bloque Cerámico sumado al aumento de la relación a/c efectiva (0.54, 0.66 y 0.83 para 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente), que como es sabido un aumento en la a/c produce una disminución de la resistencia. Sin embargo, a todas las edades la resistencia a compresión de los morteros con Bloque Cerámico superó o resultó similar a la resistencia correspondiente al proporcional del patrón, demostrando la estimulación en la hidratación del cemento que genera la incorporación de Bloque Cerámico (Figura 3b). Se define como proporcional del

patrón al valor de la propiedad analizada, considerando que la adición se comporta como un inerte. Así, cuando el valor de la propiedad es menor que el del proporcional del patrón, significa que predomina el efecto de dilución; si por el contrario, el valor de la propiedad es mayor que el del proporcional del patrón significa que predomina el efecto de estimulación. A las edades de 7 y 28 días se observa que, a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo, la ganancia de resistencia comparada con el proporcional del patrón es mayor (Figura 3b), esto puede deberse a la actividad puzolánica que genera el Bloque Cerámico como se ha expresado antes y que fue verificada por medio del ensayo de Frattini (Trezza *et al.*, 2014).

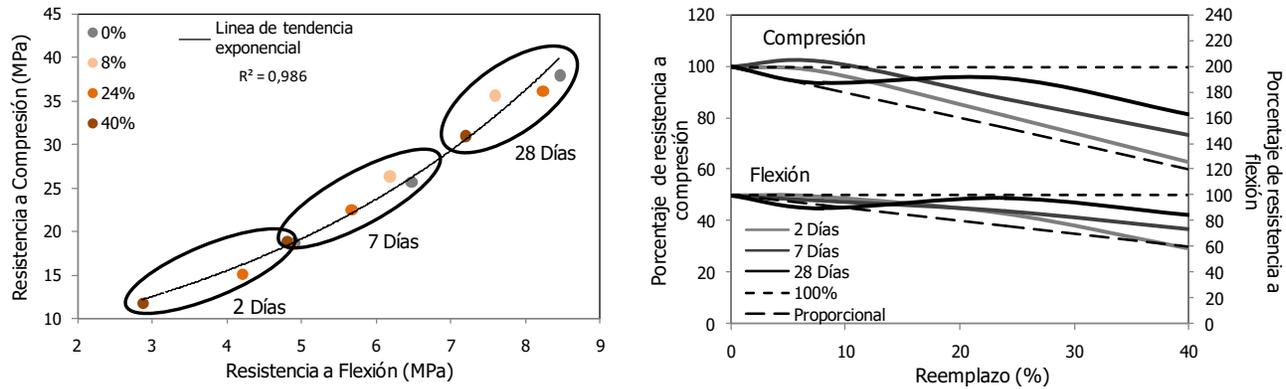


Fig. 3: a) Correlación entre resistencia a flexión y a compresión en morteros. b) Porcentaje de resistencia a flexión y a compresión en morteros.

Los resultados de porosidad se presentan en la Tabla 2. La porosidad en todos los morteros con reemplazos por Bloque Cerámico, es mayor al mortero patrón y aumenta a medida que el porcentaje de reemplazo se incrementa. Con el avance de la edad se produce una disminución de la porosidad en todos los morteros, en correspondencia con el aumento de la resistencia. Para todos los casos y a todas las edades el aumento de la porosidad respecto del patrón para el 40% de reemplazo es aproximadamente del 30%. También puede observarse en la Figura 4 que para un mismo nivel resistente la porosidad del patrón resulta menor que la de los morteros con residuos cerámicos, lo cual indica un indicio de actividad puzolánica.

Tabla 2: Porcentaje de porosidad en los morteros.

Edad (días)	Porosidad (%)		
	2	7	28
0	7.25	6.58	6.44
8	8.49	7.62	6.69
24	8.93	8.22	7.17
40	9.36	8.55	8.42

Hormigones

Tanto el asentamiento del hormigón patrón como el del resto de los hormigones se mantuvo en 18 ± 2 cm, mostrando buen aspecto y uniformidad.

Los resultados de resistencia a tracción por compresión diametral y compresión se presentan en las Figuras 5a y 5b. La Figura 5a muestra que en los hormigones, como en todo material frágil, la resistencia a compresión es siempre mayor que la resistencia a tracción con una correlación aceptable, teniendo en cuenta que el material es heterogéneo. En la misma puede observarse que todos los hormigones presentan un incremento de la resistencia con la edad y en general una disminución de la misma con el aumento del porcentaje de reemplazo, con excepción

de a la edad de 28 días, cuando la resistencia obtenida por el hormigón con 24% de reemplazo superó al hormigón con 8% de reemplazo (al igual que lo ocurrido para los morteros). Esto, puede deberse en parte a la dilución del cemento que se produce al incorporar el residuo de Bloque Cerámico, sumado al aumento de la relación a/c efectiva (0,54, 0,66 y 0,83 para 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente).

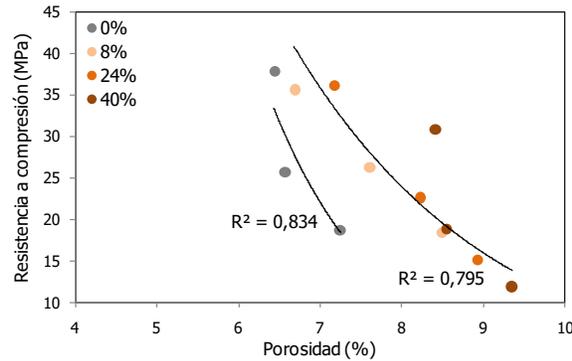


Fig. 4: Correlación entre porosidad y resistencia a compresión en morteros.

En la Figura 5b se observa que, las muestras con 8% de reemplazo tienen una resistencia a compresión superior al proporcional del patrón a los 28 días de edad, mientras que los morteros con 24 y 40% de reemplazo superan la resistencia del proporcional del patrón a partir de los 7 días. Esto puede tener su justificación en el comportamiento puzolánico como ha sido mostrado en otras investigaciones (Lin *et al.*, 2010). Es de destacar en todos los casos el mayor aumento de resistencia, que entre 7 y 28 días, presentan todos los hormigones con la adición de Bloque Cerámico.

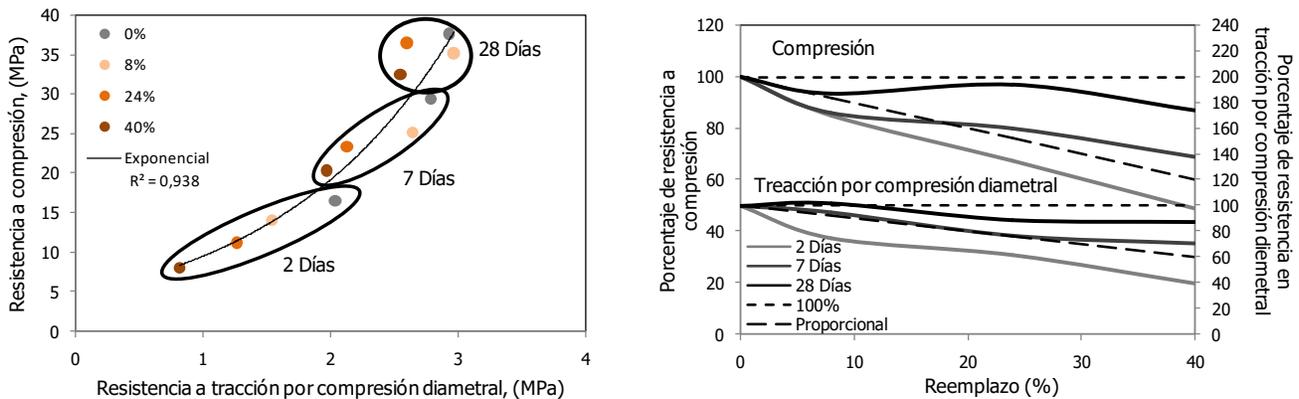


Fig. 5: a) Correlación entre resistencia a tracción por compresión diametral y a compresión en hormigones. b) Porcentaje de resistencia a tracción por compresión diametral y a compresión en hormigones.

En la Figura 6 se presentan las curvas del incremento de masa por unidad de área en función de la raíz cuadrada del tiempo, determinadas en el ensayo de succión capilar. Se puede apreciar que los hormigones con inclusión del Bloque Cerámico presentan un incremento de la succión capilar con el aumento del tiempo de ensayo y con el aumento de los porcentajes de reemplazos. También se puede observar una disminución de la succión capilar con la edad, debido al avance de las reacciones de hidratación del cemento.

A 2 días todos los hormigones con reemplazo por Bloque Cerámico tuvieron una capacidad igual o mayor al patrón (4800, 4800, 5900, y 6600 g/m² para 0, 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente). A 7 días los hormigones con 8% de reemplazo por Bloque Cerámico obtuvieron una capacidad de 3900 g/m² menor a la capacidad del hormigón

patrón (4300 g/m^2), mientras que los hormigones con 24 y 40% de reemplazo obtuvieron una capacidad similar a la del patrón (4300 y 4400 g/m^2). A 28 días todos los hormigones con reemplazo por Bloque Cerámico obtuvieron una capacidad por encima del patrón (2600 , 2800 , 3200 , y 3600 g/m^2 para 0, 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente; resultando ser 8, 23 y 38 % mayor que el patrón).

La velocidad de succión capilar fue disminuyendo con el aumento de la edad, evidenciando la evolución de los productos de hidratación. A 2 días se puede apreciar un incremento en la velocidad de succión capilar conforme aumenta el porcentaje de reemplazo ($13,86$, $28,88$, $38,96$, y $39,87 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$ para 0, 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente). A 7 días las velocidades de succión de los hormigones con reemplazo por Bloque Cerámico ($10,82$, $11,20$ y $11,46 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$ para 8, 24 y 40% de reemplazo, respectivamente) se mantuvieron similares respecto a la velocidad del patrón ($12,08 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$). Finalmente a 28 días la velocidad del hormigón con 8% de reemplazo ($5,79 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$) se mantiene similar a la velocidad del hormigón patrón ($5,92 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$), mientras que en los hormigones con 24 y 40% de reemplazo por Bloque Cerámico ($6,92$ y $7,93 \text{ g/m}^2 \text{ seg}^{0.5}$, respectivamente); resultando ser -2, 17 y 34 % del patrón).

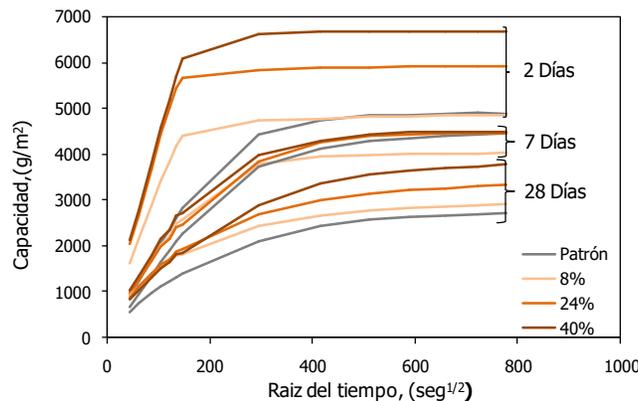


Fig. 6: Absorción capilar de los hormigones.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos con los ensayos y materiales empleados en el presente trabajo, se puede concluir que es factible la utilización de bloques cerámicos provenientes del descarte de la industria y de las demoliciones, como sustituto parcial de cemento portland en la elaboración de morteros y hormigones; ofreciendo ventajas técnicas, económicas y medioambientales.

En morteros la inclusión de tales descartes no modifica significativamente la fluidez ya que la misma se mantiene entre el 100-128%. La porosidad de los morteros aumenta levemente con el contenido de Bloque Cerámico, llegando a ser la porosidad del mortero con 40% de reemplazo un 30% mayor a la porosidad del mortero patrón a 28 días. La resistencia mecánica de los morteros puso en evidencia: por un lado la estimulación física por nucleación de los productos de hidratación del cemento; y por otro lado la estimulación química de las reacciones entre el Bloque Cerámico y el hidróxido de calcio liberado por el cemento. A 28 días los morteros con 24% de reemplazo alcanzan un nivel de resistencia similar al mortero patrón.

En todos los hormigones el asentamiento se mantuvo en $18 \pm 2 \text{ cm}$, mostrando buen aspecto y uniformidad. Los hormigones con 8% de reemplazo presentaron una resistencia a compresión superior al proporcional del patrón a los 28 días de edad y los hormigones con 24 y 40% de reemplazo superan la resistencia del proporcional del patrón desde los 7 días, poniendo de manifiesto el comportamiento puzolánico del Bloque Cerámico. A los 28 días los hormigones con 8, 24 y 40% de reemplazo obtuvieron una capacidad de succión capilar 8, 23 y 38% mayor

que el patrón mostrando solo efecto de dilución. Sin embargo la velocidad de succión a la misma edad resultó -2, 17 y 34% del patrón, confirmando actividad puzolánica.

REFERENCIAS

1. Cheng, Y., Huang, F., Liu, R., Hou, J., & Li, G. (2016). Test research on effects of waste ceramic polishing powder on the permeability resistance of concrete. *Materials and structures*, 49 (3) 729-738.
2. Lin, K.L., Wu, H.H., Shie, J.L., Hwang, C.L. & Cheng, A.(2010). Recycling waste brick from construction and demolition of buildings as pozzolanic materials. *Waste Management Research*, 28 (7) 653-659.
3. Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31 (8), 601-605.
4. Norma IRAM 1524 (1982). "Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral".
5. Norma IRAM 1536 (1978). "Hormigón fresco de cemento pórtland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono".
6. Norma IRAM 1622 (2006). "Cemento Portland. Método de Determinación de la Resistencia a la Compresión y a la Flexión".
7. Norma IRAM 1627 (1997). "Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones".
8. Norma IRAM 1633 (1965). "Arena Normal".
9. Norma IRAM 1634 (1963). "Cemento Portland. Método para la determinación de contenido de aire en morteros".
10. Norma IRAM 1871 (2004) "Hormigón. Método para la determinación de la capacidad y velocidad de succión capilar de agua para hormigón endurecido".
11. O'Farrell, M., Sabir, B. & Wild, S. (2006). Strength and chemical resistance of mortars containing brick manufacturing clays subjected to different treatments. *Cement and concrete composites*, 28 (9), 790-799.
12. Pacheco Torgal, F.& Jalali, S. (2010). Reusing ceramic wastes in concrete. *Construction and Building Materials*, 24 (5), 832-838.
13. Pereira de Oliveira, LA., Castro-Gomes, JP.& Santos, PM. (2012). The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components. *Construction and Building Materials*, 31, 197-203.
14. Puertas, F., Barba, A., Gazulla, M., Gómez, M., Palacios, M. & Martínez-Ramírez, S. (2006). Residuos cerámicos para su posible uso como materia prima en la fabricación de clínker de cemento Portland: caracterización y activación alcalina. *Materiales de Construcción*, 56(281), 73-84.
15. Romero, E. (2006). Residuos de la construcción y de la demolición, disponible en: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>.

16. Sales, ATC. & dos Santos Alferes Filho, R. (2014). Efeito do pó de residuo cerâmico como adição ativa para o concreto. *Ambiente Construído*, 14 (1), 113-125.
17. Samadi, M., Hussin, M., Lee, H., Sam, A., Ismail, M., Lim, N., *et al.* (2015). Properties of mortar containing ceramic powder waste as cement replacement. *Jurnal Teknologi*, 77(12), 93-97.
18. Trezza, M., Donza, H., Tironi, A., Irassar, E., Rahhal, V., Zbyšek, P., *et al.* (2014). *Potencial puzolánico de los residuos cerámicos de demoliciones*. XX Reunión Técnica AATH, octubre 2014, pp. 31-39.

