

POLVO DE LADRILLO COMO MATERIAL SUPLEMENTARIO: COMPORTAMIENTO EN MORTEROS Y HORMIGONES

Zito S. Facultad de Ingeniería, CIFICEN (CONICET –UNCPBA), (Buenos Aires, Argentina). (e-mail: silvina.zito@gmail.com)

Resumen

En la actualidad todas las industrias tienen que tener en cuenta el cuidado del medio ambiente, entre ellas la industria del cemento portland. Atendiendo a esta problemática, la industria del cemento analiza la posibilidad de reemplazar parcialmente al cemento por materiales de reciclado. En este trabajo se evalúa el comportamiento físico y mecánico de morteros y hormigones con incorporación de Ladrillo molido como reemplazo del cemento portland. Los reemplazos utilizados fueron de 8, 24 y 40%. Los ensayos realizados en morteros fueron: fluidez, resistencia a flexión y a compresión y absorción de agua; mientras que en hormigones se evaluaron: asentamiento, resistencia a compresión y a tracción por compresión diametral. Todos los ensayos se realizaron a 2, 7 y 28 días. Los resultados muestran que en morteros la inclusión de polvo de ladrillo no modifica significativamente la fluidez; la absorción de agua aumenta levemente con el contenido de adición. A 28 días los morteros y hormigones con 24% de reemplazo alcanzan un nivel de resistencia similar al respectivo patrón.

Palabras Clave: ladrillo, morteros, hormigones, comportamiento mecánico.

Abstract

Actually, all industries have to take into account the care of the environment, including the portland cement industry. For this reason, the cement industry is analyzing the possibility of partially replacing cement with recycling materials.

In this work, the physical and mechanical behaviour of mortars and concretes with ground brick as a replacement for portland cement were evaluated. The replacements used were 8, 24 and 40%. The tests carried out in mortars were: fluidity, bending and compressive strengths and water absorption; while in concretes were evaluated: slump, compression strength and tensile strength by diametral compression. All the tests were performed at 2, 7 and 28 days. The results showed that in mortars the inclusion of brick dust does not significantly modify the fluidity; the water absorption increases slightly with the addition content. At 28 days mortar and concrete with 24% replacement reached respective control strengths.

Keywords: ASR, brick, mortars, concretes, mechanical behaviour

Introducción

El cemento y su principal aplicación, el hormigón, son componentes vitales para la industria de las construcciones civiles. La sociedad moderna, se ha desarrollado en base al uso creciente del hormigón a nivel mundial, a través de las más variadas formas de aplicación, convirtiéndose en un material que después del agua, es el de mayor consumo (1). La industria del cemento afecta en gran medida al medio ambiente. Por un lado, por el gran volumen de materia prima no renovable necesaria para producir el clinker (la fabricación de cemento implica la extracción de 1,7 toneladas de roca para producir 1 tonelada de clinker) y por otro lado por las emisiones de CO₂ generadas durante la producción de cemento portland (la producción de 1 tonelada de cemento para la industria del hormigón genera 0,55 toneladas de CO₂ y requiere un adicional de 0,39 toneladas de CO₂ por las emisiones del combustible, lo que representa un total de alrededor de 0,94 toneladas de CO₂ por cada tonelada de cemento) (2). El sector de la producción del cemento a nivel mundial, es responsable del 5% de las emisiones de CO₂ (1).

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 contribuye 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 cements 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 analiza la posibilidad de reemplazar parcialmente al cemento por materiales reciclados (3).

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 provocar la reacción puzolánica en un cemento adicionado, en general 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; (4)) 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; (5)). En las últimas décadas se ha estudiado el empleo de estos residuos como material cementíceo (6-10). En trabajos previos se ha evaluado el comportamiento mecánico y físico de morteros con incorporación de diversos residuos cerámicos como reemplazo del cemento portland (11); y también de hormigones (12) con reemplazos de cemento por residuos cerámicos, obteniéndose resultados positivos en cuanto a la resistencia y estructura porosa.

En este trabajo se evalúa el comportamiento físico y mecánico de morteros y hormigones con incorporación de Ladrillo molido como reemplazo del cemento portland. Los reemplazos utilizados fueron de 8, 24 y 40%. Los ensayos realizados en morteros fueron: fluidez, resistencia a flexión y a compresión y absorción de agua; mientras que en hormigones se evaluaron: asentamiento, resistencia a compresión y a tracción por compresión diametral.

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 ladrillo en un molino de bolas con una densidad de 2592 kg/m³ y una superficie específica Blaine de 530 m²/kg. La composición química de los materiales se obtuvo por fluorescencia de rayos X. Los resultados obtenidos 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 polvo del Ladrillo, en la misma se observa el halo amorfo entre aproximadamente 15 y 30° 2θ, condición

necesaria para que la muestra presente actividad puzolánica (13). 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 Ladrillo está constituido por: cuarzo (SiO₂), anortita (CaAl₂Si₂O₈) y hematita (Fe₂O₃).

Se prepararon morteros (IRAM 1622, 2006) y hormigones (IRAM 1524, 1982) con reemplazos en peso de cemento por polvo de ladrillo de 8, 24 y 40%, 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 y se mantuvieron 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). 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 absorción de agua como una medida de la porosidad abierta. 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.

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 valuyeron también la densidad (2700 kg/m³) y el peso por unidad de volumen suelto y compactado (1,45 y 1,55 t/m³ respectivamente). Como agregado fino se utilizó arena natural silícea con un módulo de finura 2,03 y una densidad 2650 kg/m³. 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. 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 desmoladas se sumergieron en agua hasta la edad de ensayo.

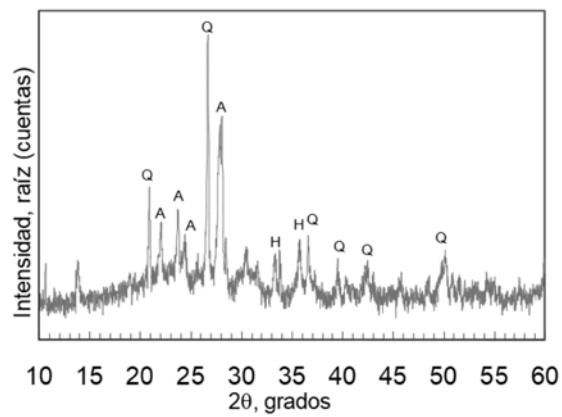
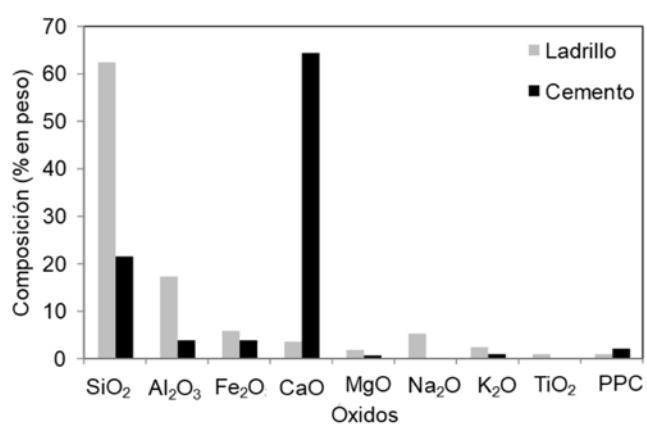


Figura 1. a) Composición en óxidos del cemento y del polvo de Ladrillo. b) Difractograma del polvo de Ladrillo.

	Proporciones de las mezclas (kg/m^3)					
	% de reemplazo	Agua	Arena	Piedra Partida	Cemento	Ladrillo
Patrón	0	205	644,0	1085	410,0	---
Ladrillo	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

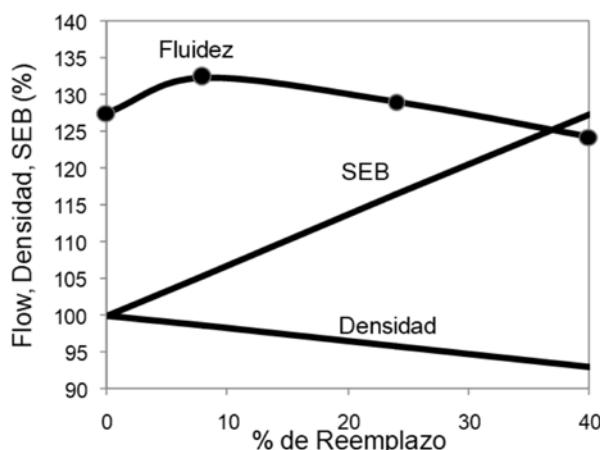
Tabla 1: Dosificaciones de las mezclas de hormigón.

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 124% y el 132%. 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.

**Figura 2.** Fluidez, densidad y SEB de los morteros con distintos porcentaje de reemplazo por Ladrillo.

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 o se asemejó 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 Ladrillo 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 Ladrillo 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 Ladrillo (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 Ladrillo como se ha expresado antes y que fue verificada por medio del ensayo de Frattini (14).

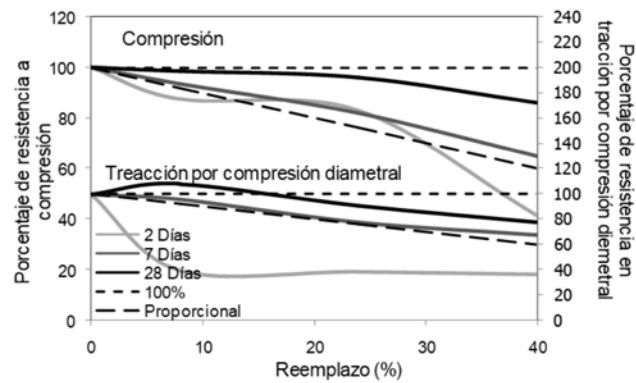
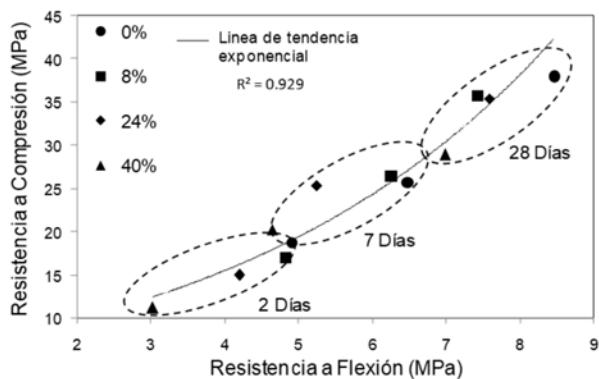


Figura 3. a) Correlación entre resistencia a flexión y a compresión en morteros. b) Porcentaje de resistencia a flexión y a compresión en morteros.

Los resultados de absorción de agua se presentan en la Tabla 2. La absorción de agua en todos los morteros con reemplazos por Ladrillo, 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 absorción de agua 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 absorción de agua respecto del patrón para el 40% de reemplazo es aproximadamente del 28%. También puede observarse en la Figura 4 que para un mismo nivel resistente la absorción de agua del patrón resulta menor que la de los morteros con residuos cerámicos, lo cual indica un indicio de actividad puzolánica.

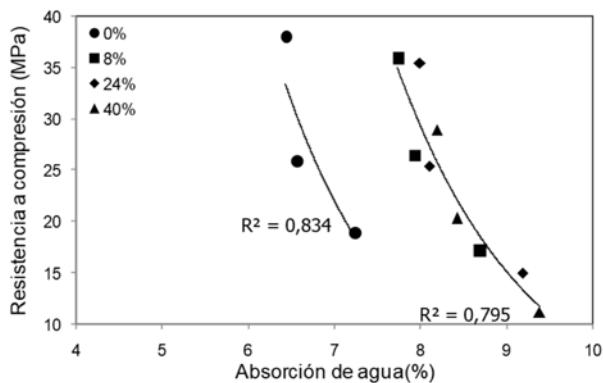


Figura 4. Correlación entre absorción de agua y resistencia a compresión en morteros.

Absorción de agua (%)				
Edad (días)		2	7	28
% de Reemplazo	0	7.25	6.58	6.44
	8	8.70	7.93	7.74
	24	9.19	8.11	8.00
	40	9.39	8.43	8.20

Tabla 2: Porcentaje de absorción de agua en los morteros.

Hormigones

Tanto el asentamiento del hormigón patrón como el del resto de los hormigones se mantuvieron en $21 \pm 1\text{cm}$, 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. Esto, puede deberse en parte a la dilución del cemento que se produce al incorporar el residuo de Ladrillo.

En la Figura 5b se observa que, las muestras con reemplazos tienen una resistencia a compresión y a tracción por compresión diametral superior

al proporcional del patrón a partir de los 7 días de edad. Esto puede tener su justificación en el comportamiento puzolánico como ha sido mostrado por otros autores (15). 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 ladrillo.

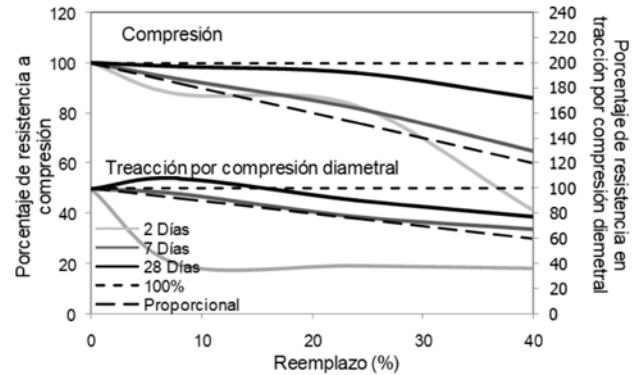
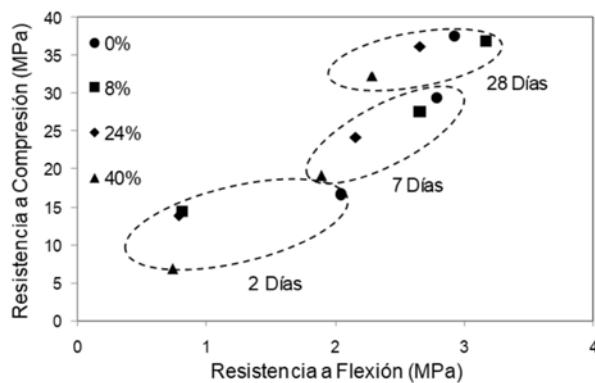


Figura 5. a) Correlación entre resistencia a tracción por compresión diametral y a compresión en hormigones. b) Porcentaje de resistencia a tracción por compresión diametral y a compresión en hormigones.

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 ladrillos 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 polvo de ladrillo no modifica significativamente la fluidez. La porosidad de los morteros aumenta levemente con el contenido de adición, llegando a ser la absorción de agua del mortero con 40% de reemplazo un 28% mayor a la absorción de agua 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 ladrillo 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 21 ± 1 cm, mostrando buen aspecto y uniformidad. Los hormigones presentaron una resistencia a compresión superior al proporcional del patrón a partir de los 7 días de edad, poniendo de manifiesto el comportamiento puzolánico del Ladrillo. A 28 días la resistencia a compresión de los hormigones con 40% representa el 86% de la resistencia patrón.

Referencias

- 1-Brunatti, C. La industria del cemento y la sostenibilidad . (2014) (pp. 7-66). 1^a Edición: Editorial Asociación de Fabricantes del Cemento Portland, Buenos Aires-Argentina.
- 2-Gartner, E.. Industrially interesting approaches to low-CO₂ cements. Cement and Concrete Research, 34, (2004) 1489-1498.
- 3- Meyer, C.. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites, 31 (8), (2009)601-605.
- 4- Pacheco Torgal, F.& Jalali, S.. Reusing ceramic wastes in concrete. Construction and Building Materials, 24 (5), (2010), 832-838.
- 5- Romero, E. (2006). Residuos de la construcción y de la demolición, disponible en: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>.

- 6- Sanchez de Rojas M. I., Marín F., Rivera J., Frías M., "Morphology and properties in blended cements with ceramic wastes as a pozzolanic material", *J. Am. Ceram. Soc.* Vol. 89, (2006), pp. 3701-3705.
- 7- Naceri A., Hamina M. C., "Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar", *Waste Management*, Vol. 29, (2009), pp. 2378-2384.
- 8- Pacheco – Torgal F., Jalali S., "Reusing ceramic waste in concrete", *Construction and building materials*, Vol. 24, (2010), pp. 832-838.
- 9- Schackow A., Stringari D., Senff L., Correia S.L., Segadaes A.M., "Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars", *Cement and concrete composites*, Vol. 62, (2015), pp. 82-89.
- 10- Mas M. A., Monzó J., Payá J., "Ceramic tiles waste as replacement material in portland cement", *Advances in cement research*, <http://dx.doi.org/10.1680/adcr.15.00021> Paper 1500021, (2015).
- 11- Zito S., Rahhal V., "Evaluación de morteros de cemento portland con reemplazos por residuos cerámicos de demoliciones", XX Reunión Técnica AATH, octubre 2014, pp.477/48.
- 12- Zito S., Hernandez C., Rahhal V., "Evaluación mecánico-durable de mezclas cementíceas con residuos cerámicos" ,International Conference on Sustainable Structural Concrete, LEMIT, La Plata 18/09/15, pp. 54/65.
- 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-Trezzza, M., Donza, H., Tironi, A., Irassar, E., Rahhal, V., Zbyšek, P., et al. (2014). Potencial puzolánico de losresiduos cerámicos de demoliciones. XX Reunión Técnica AATH, octubre 2014, pp. 31-39.
- 15-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.