

APROVECHAMIENTO DEL CASCOTE CERÁMICO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO

M.I. SÁNCHEZ DE ROJAS, M. FRÍAS, J. RIVERA

INSTITUTO EDUARDO TORROJA DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN - CSIC

F.P. MARÍN

GRUPO URALITA

Las mejoras en los procesos de fabricación en el sector de la construcción, han minimizado en las industrias el rechazo de materiales considerados no aptos para su comercialización o materiales de desecho, aunque sigue siendo elevada la cantidad de residuos industriales generados, lo que se traduce en un aumento de la necesidad de vertederos controlados. En un principio, este tipo de materiales puede ser considerado inerte, por tener un poder de contaminación relativamente bajo. Sin embargo, su impacto visual es elevado, por el gran volumen que ocupan y por el escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos que los contienen.

El objetivo de este estudio es mostrar la posibilidad de utilizar materiales de desecho procedentes de arcilla cocida, cascote cerámico, una vez triturados y molidos, como puzolana.

1. Introducción

En los últimos años, han surgido a escala mundial iniciativas para controlar y regular la gestión de los vertidos, existiendo cada vez regulaciones más estrictas, que repercutirán económicamente a favor de opciones, poco frecuentes hoy en día, como son la minimización y reciclado. Todo proceso de reciclado y revalorización de residuos implica estudios encaminados a un conocimiento.

En España, se fabricaron en 2006 unos 30 millones de toneladas de productos cerá-

micos (Hispalyt, 2006), como son ladrillos, tejas, bloques, etc. El porcentaje de productos rechazados para la venta, y por tanto de desecho, depende del tipo de instalación y de los requerimientos del producto. Estos residuos pueden ser considerados inertes, por tener un poder de contaminación bajo, sin embargo, su principal inconveniente está en su vertido, que provoca un gran impacto visual (Figura 1) y, por tanto, un deterioro medioambiental.

Los productos cerámicos proceden de materiales naturales, que contienen una proporción elevada de minerales arcillosos,

los cuales mediante un proceso de deshidratación, seguido de otro de cocción controlada a temperaturas entre 700°C y 1000°C adquieren sus propiedades características de "arcilla cocida". Por lo tanto, el propio proceso de fabricación de los materiales cerámicos lleva aparejado temperaturas de cocción elevadas, que pueden dar lugar a la activación de los minerales arcillosos, que adquirirían propiedades puzolánicas (1). Es sabido que algunos de los primeros materiales utilizados como puzolanas eran las arcillas térmicamente tratadas, material semejante a los productos de arcilla cocida.

Figura 1.- Vertido de cascote cerámico.



En trabajos anteriores, los autores han puesto de relieve que los desechos de arcilla cocida presentan propiedades puzolánicas, y que durante la reacción puzolánica se forman productos hidratados semejantes a los que se obtienen con otros materiales activos. También, se ha estudiado la influencia de la temperatura de obtención de los desechos. Cuando la temperatura de cocción no es la adecuada (material quemado o crudo) la composición química y mineralógica de los cascotes varía significativamente respecto al producto obtenido en condiciones óptimas de cocción. Sin embargo, la temperatura utilizada (alrededor de 900°C) es suficiente para provocar la activación de las arcillas, y hacer que los diferentes desechos adquieran propiedades puzolánicas. Además, se han realizado estudios sobre la viabilidad de utilizar desechos o cascotes cerámicos como materia prima en fábricas de tejas de hormigón, ya sea como sustituyente de cemento, aprovechando sus propiedades puzolánicas, o formando parte de los áridos incorporados (2-10).

En este artículo se presenta un resumen de los resultados más relevantes obtenidos cuando el cascote cerámico es utilizado como material puzolánico.

2. Parte experimental

2.1 Materiales

Material cerámico:

El material cerámico de desecho de las fábricas, denominado cascote, se recoge en su totalidad, sin atender a la causa de su rechazo. El motivo del rechazo puede tener su origen en:

- Roturas y defectos dimensionales, que no afectan a las características intrínsecas del material cerámico.
- Defectos de cocción, por exceso (quemado) o por defecto (crudo), que se dan especialmente en hornos antiguos, que pueden afectar a sus características fisicoquímicas.

Este producto, para su utilización como adición puzolánica al cemento, es sometido a un proceso de trituración y molienda (Figura 2) hasta alcanzar la finura idónea (alrededor de 3500 cm²/g superficie específica Blaine).

Figura 2.- Aspecto del cascote cerámico molido.



Cementos:

- a) El cemento portland utilizado en la elaboración de las pastas, es un cemento CEM I-52,5R, según la designación de la norma EN 197-1/2000 (11).
- b) En la elaboración de los morteros se utiliza un cemento CEM II/A-V 42,5 R, según la norma EN 197-1:2000 (11). La elección de este cemento se debe a que éste es el más frecuente en las fábricas, en las que se llevan a cabo las pruebas industriales, que se recogen también en este estudio y, por tanto, los ensayos de laboratorio se tenían que ajustar a estas condiciones, para obtener resultados comparativos.

Arena:

En los morteros, se utiliza una arena normalizada, según la norma EN 196-1:2005 (12), con un contenido de sílice superior al 98% y un tamaño de partícula menor a 2 mm.

2.2 Metodología

2.2.1 Ensayo de valoración de la actividad puzolánica

El estudio de la actividad puzolánica del cascote cerámico se realiza mediante un método acelerado, en el que se estudia la reacción del material con una solución saturada de cal en el tiempo. La cal fijada por la muestra (%) se obtiene por diferencia de la concentración de la solución saturada de cal inicial y el CaO presente en la solución en contacto con la muestra, al final de cada período prefijado. Este ensayo se lleva a cabo comparando el cascote cerámico con dos adiciones ya tradicionales, recogidas en la norma EN 197-1: 2000 (11), como son humo de sílice y ceniza volante silíceas, que se utilizan como referencia.

2.2.2 Ensayos de durabilidad

La preparación de las pastas a ensayar (Figura 3) se realiza según la metodología de Koch & Steinegger (13). Los medios utilizados, en los ensayos de durabilidad son: agua potable (considerada como referencia), agua de mar

artificial (14), cloruro sódico (concentración de 0,5 M) y sulfato sódico (concentración de 0,5 M). En las pastas de cemento, el cascote cerámico se utiliza como material puzolánico sustituyendo un 20% de cemento. La relación agua/cemento es 0,5.

Figura 3.- Aspecto de las probetas según la metodología de Koch & Steinegger.



2.2.3 Estudios de las propiedades mecánicas resistentes en morteros

La elaboración y dosificación de los morteros se realiza según la norma EN 196-1:2005 (12): 1 parte de cemento y 3 de arena, con una relación agua/cemento de 0,5. El material cerámico es incorporado en un 15%, en sustitución del cemento.

2.2.4. Pruebas industriales realizadas con cascote cerámico

Las pruebas se realizan en una fábrica de tejas de hormigón y consisten en la incorporación del cascote como sustituyente de cemento.

La teja de hormigón (Figura 4) es un elemento conformado generalmente por sistemas de extrusión prensado o vibrado de un mortero con granulometría adecuada, compuesto

esencialmente por granos minerales, cementos, pigmentos, agua y eventualmente aditivos.

Figura 4.- Aspecto de una teja de hormigón.



La conformación tiene lugar en una máquina automática denominada tejera, que realiza la compactación y extrusión del hormigón sobre un molde. A la salida de la tejera los moldes con sus tejas son independizados mediante un sistema de corte; una vez individualizados, cada teja soportada por su molde recibe, cuando procede, un acabado superficial, con una o varias lechadas de cemento coloreadas (slurries).

Las tejas con sus moldes soporte, son introducidas en contenedores especiales que se introducen en túneles continuos o cámaras donde se acelera el curado en un régimen controlado de temperatura y humedad relativa (aproximadamente 40°C y 80-90 de humedad relativa), para conseguir la resistencia necesaria.

En esta prueba industrial el cemento utilizado es del tipo CEM II/A-V 42,5R (11). La arena o mezclas de arenas, son naturales y de tipo silíceo, con una curva granulométrica que tiene que situarse dentro de un intervalo o huso definido en cada fábrica. El agua de amasado se corrige teniendo en cuenta la humedad de la arena pero, en todo caso, se emplean relaciones agua/cemento bajas, lo que proporciona una consistencia seca. El cascote molido se incorpora en tres porcentajes de sustitución de cemento diferentes: 5%, 10% y 15%.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización química y mineralógica del cascote cerámico

El cascote presenta una composición química semejante a otros materiales puzolánicos, con un fuerte carácter ácido, con predominio de sílice, alúmina y óxido de hierro (Tabla 1).

Tabla 1.- Composición química.

Componentes mayoritarios (%)	Cascote cerámico
SiO ₂	53,88
Al ₂ O ₃	16,80
Fe ₂ O ₃	5,29
CaO	12,41
MgO	3,64
Na ₂ O	0,58
K ₂ O	3,10
SO ₃	0,79
Pérdida por calcinación	3,44

Su composición mineralógica se estudia mediante Difracción de Rayos X. El cascote está formado por cuarzo (Q), moscovita (Mu), calcita (C), microclina (Mi) y anortita (An), como compuestos cristalinos principales (Figura 5).

3.2 Actividad puzolánica

Los resultados, que se recogen en la Figura 6, ponen de relieve que los desechos cerámicos presentan una actividad puzolánica aceptable, ya que el porcentaje de cal fijada, a la edad de 1 día, es del 19%, respecto a la cal total disponible. Esta actividad es inferior a la correspondiente al humo de sílice, pero superior a la ceniza volante. A mayores edades, los valores de cal tienden a igualarse, de forma que a los 90 días de ensayo, se obtienen resultados muy similares con los tres materiales considerados. También, se puede establecer que la temperatura de cocción en el proceso de obtención del material cerámico (alrededor de 900°C) es suficiente para la activación de las arcillas y conseguir propiedades puzolánicas.

Figura 5.- Difractograma de rayos X del cascote cerámico.

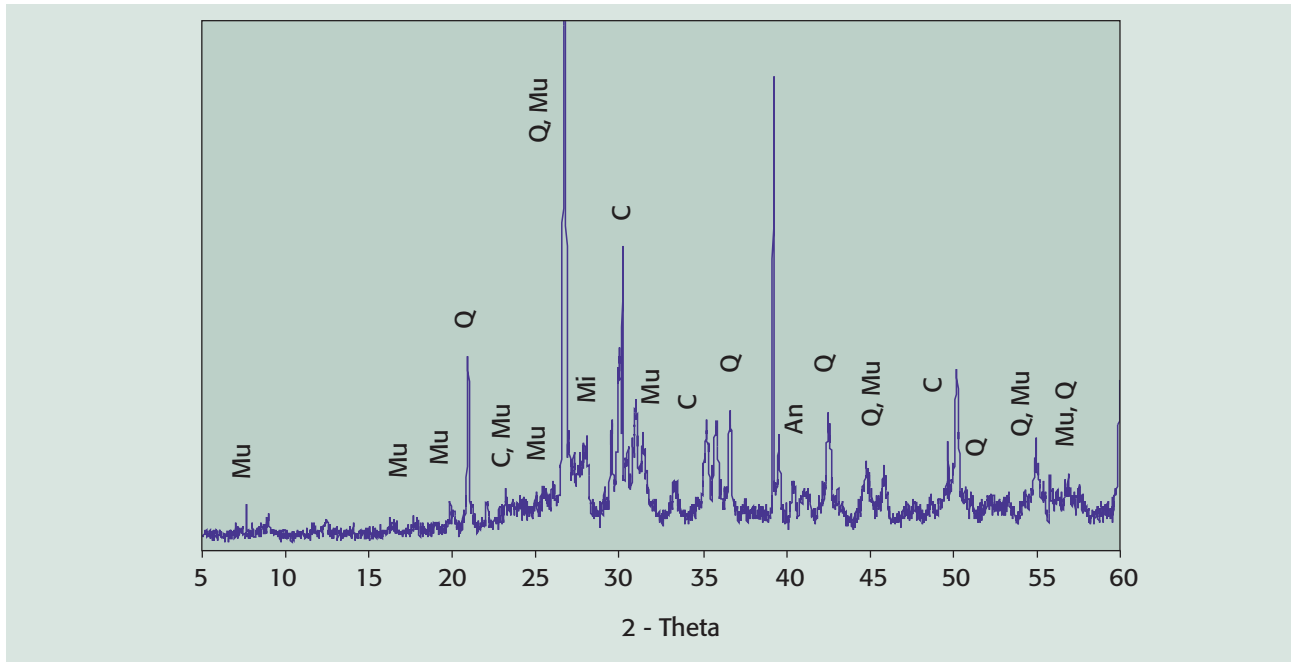
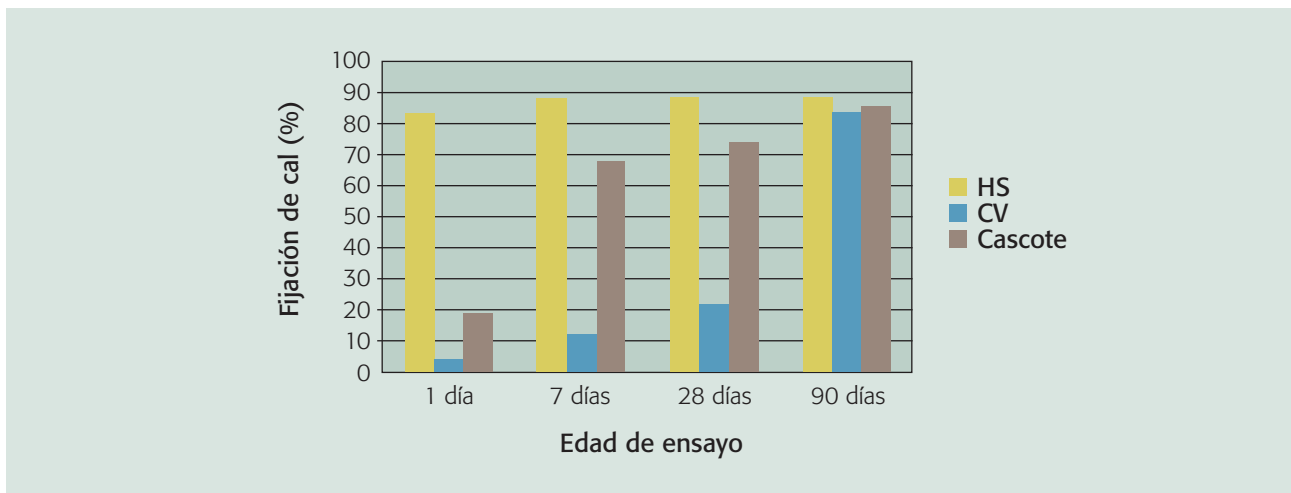


Figura 6.- Actividad puzolánica.



3.3. Durabilidad de pastas de cemento con cascote cerámico

La degradación de morteros y hormigones causada por agentes agresivos externos proviene generalmente de la reacción de estos agentes con la pasta cementicia. La acción degradante de los agentes químicos externos comienza en la superficie del mortero u hormigón, penetrando progresivamente hacia el interior, a medida que incrementan la porosidad, permeabilidad y tensiones internas, produciendo pérdida de masa y disminución de la capacidad resistente según avanza el grado de deterioro.

Existe una importante lista de sustancias y agentes agresivos, sin embargo, las más habituales son las aguas blandas, los ácidos y algunas sales en solución que contienen

La degradación de morteros y hormigones causada por agentes agresivos externos proviene generalmente de la reacción de estos agentes con la pasta cementicia. La acción degradante de los agentes químicos externos comienza en la superficie del mortero u hormigón, penetrando progresivamente hacia el interior, a medida que incrementan la porosidad, permeabilidad y tensiones internas, produciendo pérdida de masa y disminución de la capacidad resistente según avanza el grado de deterioro.

sulfatos, amonio y magnesio solubles. El método utilizado de Koch & Steinegger (13) considera tres medios agresivos como son agua de mar artificial (14), cloruro sódico y sulfato sódico.

En la Figura 7 se representan las resistencias a flexotracción y a compresión de las pastas 100/0 y 80/20 respectivamente. Las probetas con un 20% de cascote cerámico presentan valores de resistencia a flexotracción similares a la pasta 100/0. Las resistencias a compresión para las probetas con un contenido del 100% de cemento son superiores que para aquellas probetas que contienen un 20% de sustitución de material cerámico, aunque en este

caso el efecto de los medios agresivos, en la mayoría de los casos, no hace disminuir la resistencia mecánica respecto al agua de referencia.

Mediante el denominado índice de Koch & Steinegger se establece la resistencia de las pastas a los distintos medios agresivos. Este índice se obtiene del cociente entre el valor de la resistencia a flexotracción de las probetas, conservadas en una determinada disolución agresiva, a la edad de 56 días y el valor obtenido en agua a la misma edad. Para considerar que una pasta es resistente, a un determinado medio agresivo, el índice de Koch & Steinegger tiene que ser superior a 0,7 en ese medio.

Figura 7.- Resistencias mecánicas.

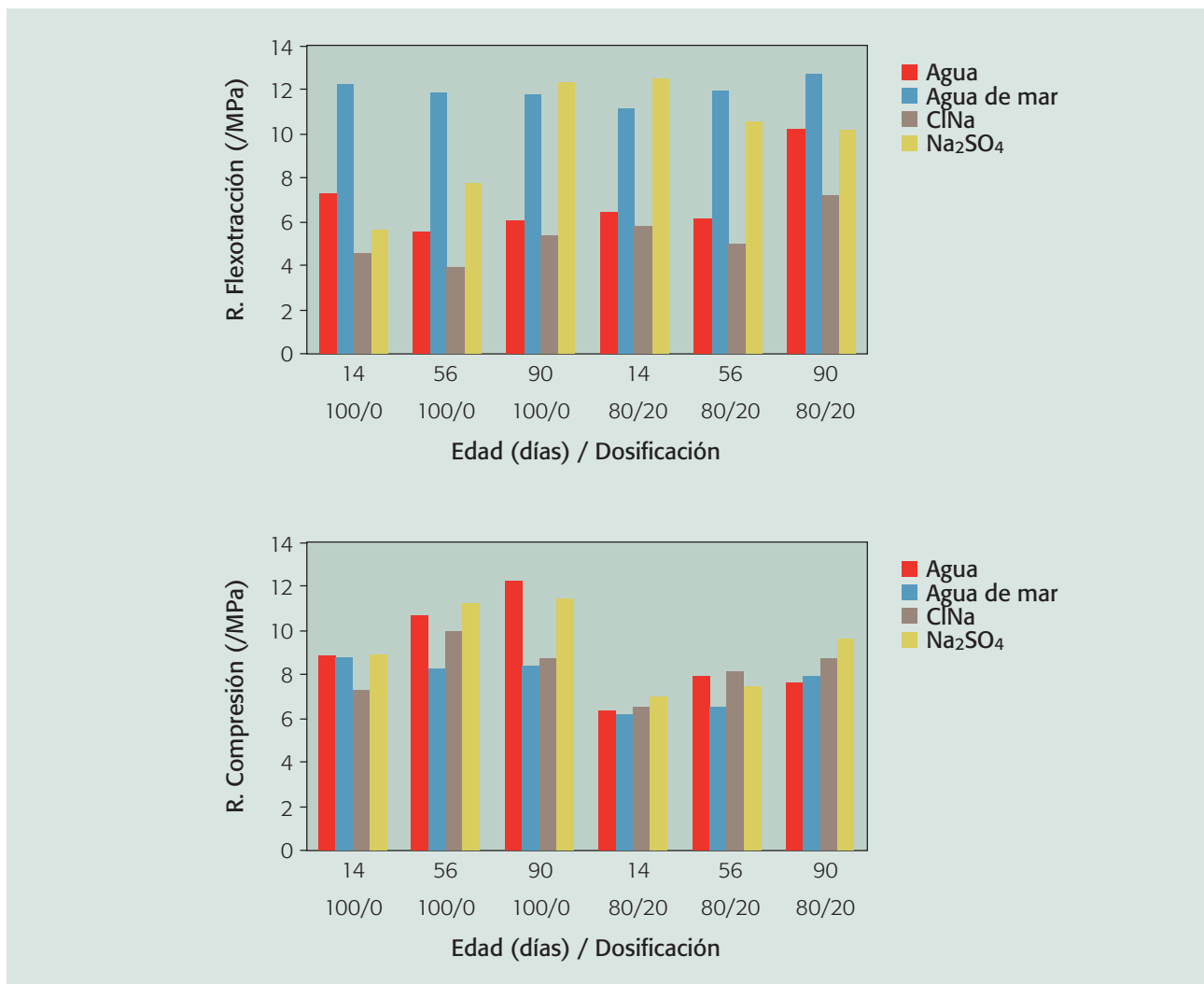
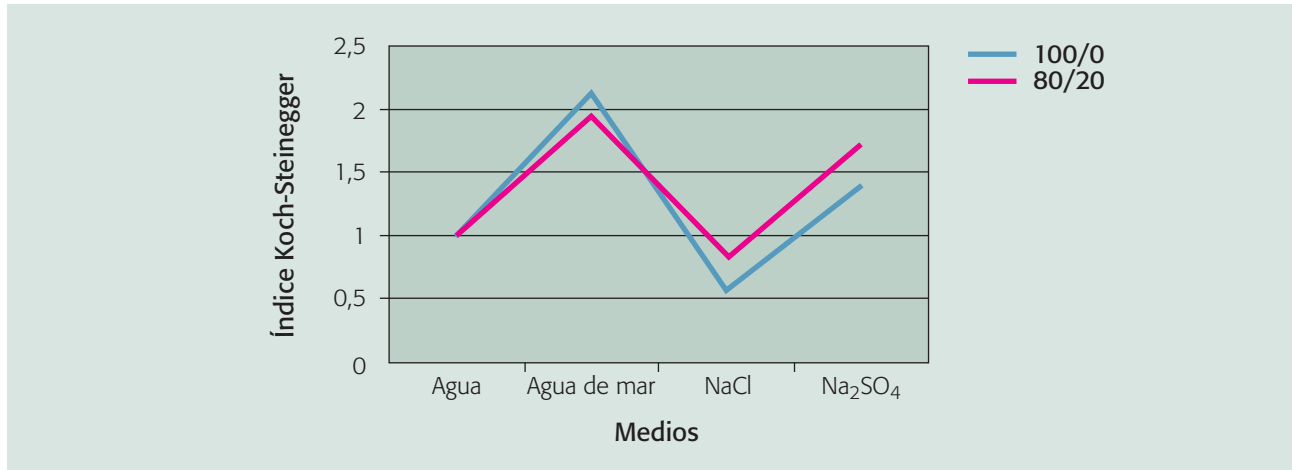


Figura 8.- Índice de Koch & Steinegger.



Como se puede observar en la Figura 8, todas las probetas, excepto las probetas 100/0 introducidas en cloruro sódico, presentan un índice de Koch & Steinegger superior a 0,7, por lo que se puede considerar que las pastas elaboradas son resistentes a los diferentes medios agresivos. Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Koch & Steinegger, las pastas con sustitución parcial del cemento por material cerámico, mejoran su durabilidad respecto a la pasta con un 100% de cemento en todos los casos, ya que los índices obtenidos son superiores, excepto en agua de mar, que es ligeramente inferior.

3.4 Estudio del comportamiento mecánico en morteros elaborados con cascote cerámico

La influencia de la incorporación del cascote cerámico en morteros, se estudia mediante ensayos mecánico-resistentes, en comparación con un mortero normalizado. El cascote se utiliza como material puzolánico, sustituyendo un 15% de cemento.

Los resultados obtenidos de las resistencias a flexión y a compresión, representados como porcentaje respecto al mortero control (sin adición de cascote), a las edades de 24 horas y 28 días, se recogen en las Figuras 9 y 10 respectivamente.

Como puede observarse las resistencias, tanto a flexión como a compresión, obtenidas a 24 horas, son muy seme-

Figura 9.- Resistencia a flexotracción.

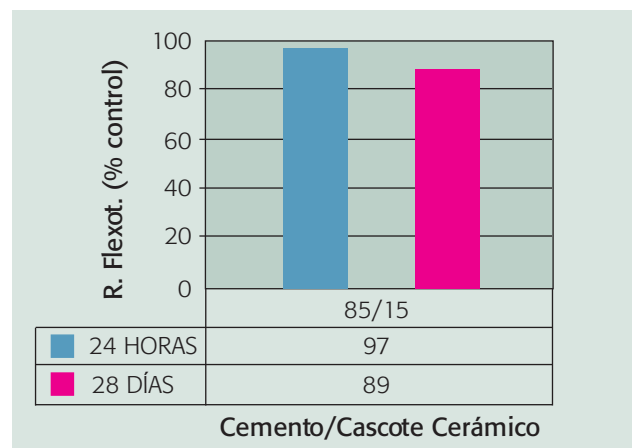


Figura 10.- Resistencia a compresión.

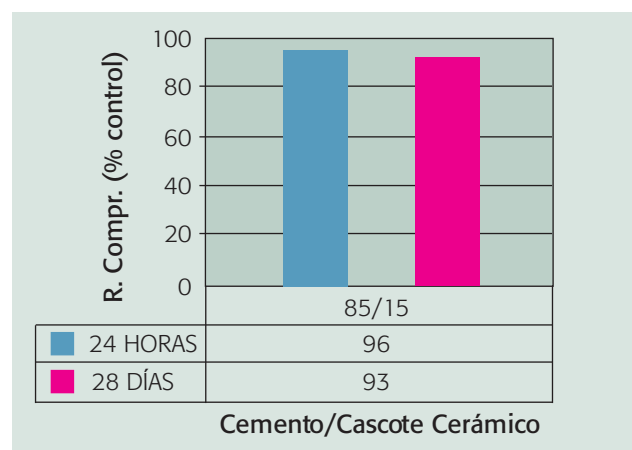
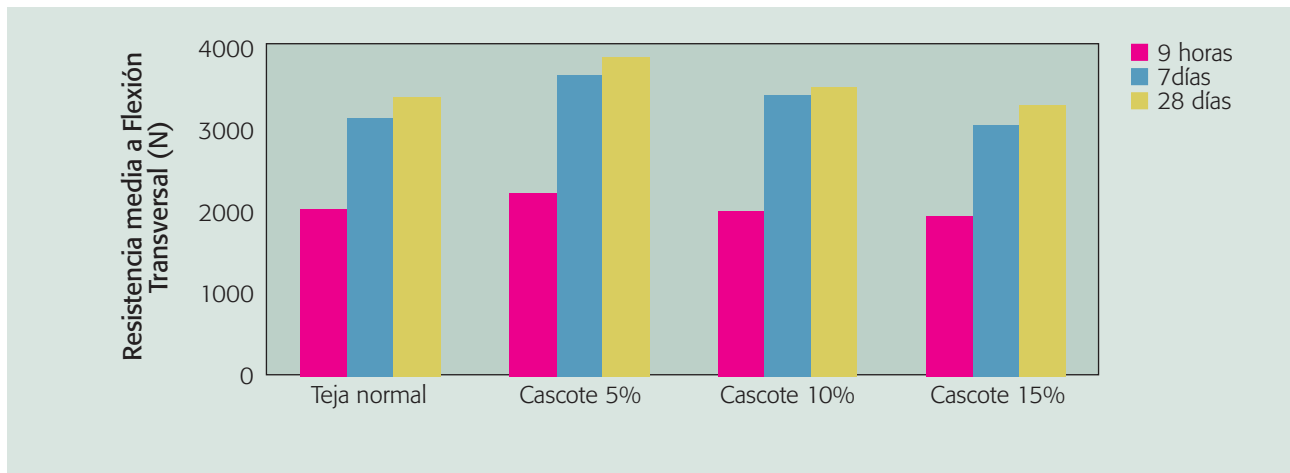


Figura 11.- Resistencia a flexión transversal.



jantes al mortero control. Sin embargo, a 28 días, se obtienen valores ligeramente inferiores al mortero sin cascote cerámico, pero en todos los casos el porcentaje de disminución, calculado con respecto al patrón, es inferior al grado de sustitución de cemento, lo que indica que los materiales de desecho actúan como puzolanas, aportando resistencia mecánica.

3.5. Pruebas industriales realizadas con cascote cerámico

En las tejas de hormigón fabricadas se lleva a cabo el ensayo de resistencia a flexión transversal, recogido en las especificaciones de la norma EN 490 (15), según el método detallado en la norma EN 491 (16). Los resultados en el momento del desmoldeo (9 horas) y a los 7 y 28 días, se muestran en la Figura 11.

Como puede observarse las tejas con materiales cerámicos, utilizados como sustitución de cemento al 5% y 10%, presentan unos valores de resistencia a flexión transversal (en Newton) semejantes e incluso superiores a los de la teja normal. Con el 15% de sustitución, al igual que en los ensayos mecánicos realizados en el laboratorio con probetas de mortero y expuestos anteriormente, los valores de resistencia son ligeramente inferiores a la teja normal, pero esta disminución de resistencia es muy inferior al grado de sustitución de cemento, lo que evidencia la contribución puzolánica del cascote cerámico.

4. Conclusiones

- Los materiales cerámicos de desecho, o cascote cerámico, presentan características puzolánicas aceptables, ya que las temperaturas de cocción para la fabricación de estos productos son idóneas para la activación de las arcillas que los componen, que adquieren propiedades puzolánicas.
- De acuerdo con el criterio de Koch & Steinegger, las pastas con sustitución parcial del cemento por material cerámico, mejoran su durabilidad respecto a las que contienen únicamente cemento.
- Las resistencias de los morteros, elaborados con 15% de cascote cerámico, obtenidas a 24 horas, son muy semejantes al mortero control. Sin embargo, a 28 días, se obtienen valores ligeramente inferiores al mortero sin cascote cerámico, pero en todos los casos el porcentaje de disminución, calculado con respecto al control, es inferior al grado de sustitución de cemento, lo que indica que los materiales de desecho actúan como puzolanas, aportando resistencia mecánica.
- El empleo de cascote cerámico puede ser utilizado en la elaboración de prefabricados de hormigón, con buenos resultados técnicos y ventajas económicas, obteniéndose los mejores resultados con porcentajes de sustitución de cemento del 5% y 10%.

Estos estudios confirman que las adiciones confieren a los cementos características positivas, ya que contribuyen al aumento de resistencia mecánica, a medio o largo plazo, incrementándose además la resistencia química de los materiales frente a medios agresivos, lo que repercute positivamente en los materiales puestos en obra (17).

En cuanto a las ventajas económicas, éstas derivan del ahorro energético en la propia fabricación de cemento. La sustitución de un material que necesita de un tratamiento térmico costoso, como es el proceso de clinkerización (18) por un material más barato energéticamente (como es un desecho industrial, usualmente acumulado en escombreras, aunque éste necesite de un tratamiento previo de molienda), representa una mejora en el consumo energético, que contribuye positivamente a la conservación del medio ambiente.

Agradecimientos

Estos estudios han tenido lugar gracias a un Proyecto de Investigación (AMB96-1095) subvencionado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), así como a la colaboración del Grupo Uralita.



1. Calleja, J.: "Las puzolanas". *Ión*, Ns. 340, 341, 343 y 344, noviembre y diciembre (1969), febrero y marzo (1970), 623-638, 700-713, 81-90, 154-160.
2. Sánchez de Rojas, M.I., Frías, M.; Rivera, J.; Escorihuela, M.J., Marín, F.P. (2001): "Investigaciones sobre la actividad puzolánica de materiales de desecho procedentes de arcilla cocida". *Materiales de Construcción*, 51,n.261, 45-52.
3. Sánchez de Rojas, M.I.; Marín, F.P.; Frías, M., Rivera, J. (2001): "Viabilidad de utilización de materiales de desecho procedentes de productos cerámicos en prefabricados de hormigón". *Materiales de Construcción*, 51, n. 263, 149-161.
4. Rivera, J.; Sánchez de Rojas, M.I.; Frías, M. (2001): "Properties of cement pastes containing calcined clay from waste ceramic tiles as pozzolana". 7th CANMET/ACI Int. Conference on Fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete. Madras, India. Proceeding.
5. Sánchez de Rojas, M.I., Marín, F.P., Frías, M; Rivera, J., (2002): "Utilización de productos de desecho procedentes de prefabricados". VII Congreso Nacional de Materiales. Octubre. Madrid
6. Sánchez de Rojas, M.I.; Frías, M.; Rivera, J.; Marín, F.P. (2003) "Waste products from prefabricated ceramic materials as pozzolanic addition". 11th International Congress on the Chemistry of Cement Durban, South Africa, 11-16 May 2003
7. Marín F.P.; Sánchez de Rojas, M.I.; Rivera J.; Frías M. (2005): "Valorización de cascote cerámico como sustituto de materias primas para tejas de hormigón". I Jornadas de Investigación en Construcción, Madrid.
8. Sánchez de Rojas, M.I.; Marín, F.P., Rivera, J.; Frías, M. (2006): "Morphology and properties in blended cements with ceramic waste materials recycled as pozzolanic addition". *Journal of the American Ceramic Society*, 89, 12, 3701-3705.
9. Sánchez de Rojas, M.I.; Frías, M.; Marín, F.P.; Rivera, J. (2007): "Microstructure of concrete made with blends of fly ash cement and waste clay by backscattered electron". 9th CANMET/ACI Inter. Conf. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Warsaw, Poland, June 2007.
10. Sánchez de Rojas, M.I.; Marín, F., Frías, M., Rivera, J. (2007): "Properties and performances of concrete tiles containing waste fired clay materials". *Journal of the American Ceramic Society*, 90 (11) 3559 - 3565.
11. EN 197-1:2000: "Cemento: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes".

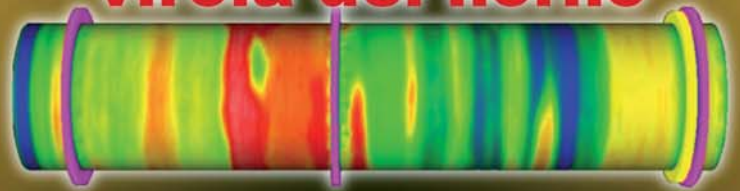
12. EN 196-1:2005, "Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas".
13. Von A. Koch; H. Steinegger (1960), Ein Schnellprüfverfahren für zemente auf ihr Verhalten bei Sulfatangriff, Hauptlaboratorium der portland-Zementwerke Heidelberg A.G.
14. ASTM-D114:1999, "Standard Practice for the preparation of substitute Ocean Water".
15. EN 490:2004, "Tejas y accesorios de hormigón. Especificaciones de producto".
16. EN 491:2004, "Tejas y accesorios de hormigón. Métodos de ensayo".
17. Calleja, J. (1983): "Adiciones y Cementos con adiciones". Materiales de Construcción, N.190-191, 25-52.
18. Soria, F. (1983): "Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción". Materiales de Construcción, N. 190-191, 69-84.



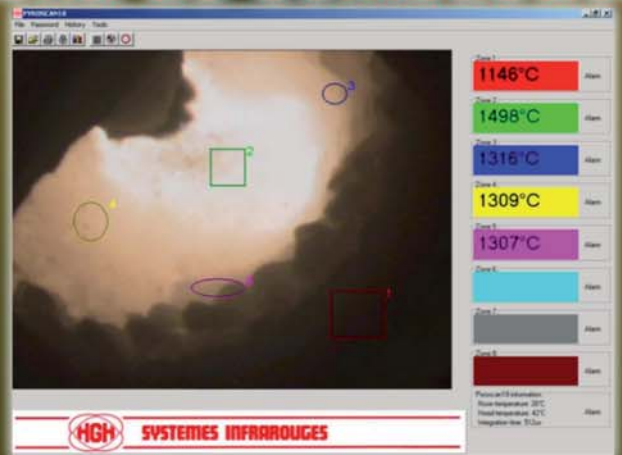
MONITORIZACIÓN de la TEMPERATURA

para

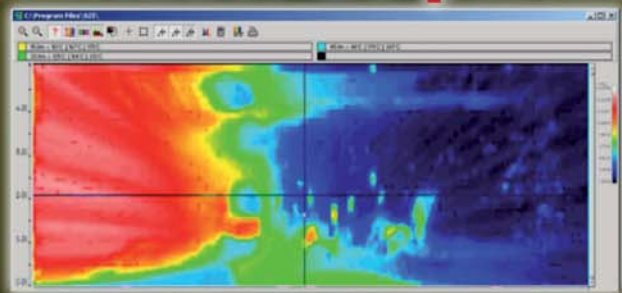
virola del horno



zona de combustión



enfriador de parilla



www.hgh.fr

HGH Systèmes Infrarouges

ZAC de la sablière - 10 Rue Maryse Bastié
 91430 IGNY - FRANCE
 Tel. : +33 1 69 35 47 70
 Fax : +33 1 69 35 47 80
 Email : hgh@hgh.fr