



Received: 03-04-2016
Accepted: 14-04-2016

Aprovechamiento de residuos orgánicos (cáscara de almendra) para sustitución de árido grueso en la elaboración de hormigón convencional Use of organic waste (almond shell) to replace coarse aggregate in conventional concrete processing

Arturo Bustos

Universidad Politécnica de Madrid, (arturo.bustos.garcia@gmail.com)

Resumen— El presente trabajo, busca conocer el posible aprovechamiento de residuos orgánicos, como es la cáscara de almendra, como sustitución de una parte de la fracción granulométrica del árido grueso para la fabricación de hormigones convencionales. Para ello, primero, caracterizamos los materiales, árido y cascara de almendra. Posteriormente, fabricamos las probetas de hormigón con distintas sustituciones (10%, 20% y 30%) de cáscara de almendra sobre la fracción gruesa del árido y procedemos a la realización de los ensayos marcados por las normas UNE, evaluando su comportamiento a compresión, tracción, flexión, penetración de agua, absorción de agua, hielo y deshielo y térmico.

Palabras clave— Hormigón; árido; cáscara de almendra; sustitución.

Abstract- The present work seeks to know the possible use of organic residues, such as the almond husk, as a substitution of a part of the granulometric fraction of the coarse aggregate for the manufacture of conventional concretes. For this, first, we characterize the materials, arid and almond husk. Subsequently, we made the concrete samples with different substitutions (10%, 20% and 30%) of almond shell on the coarse fraction of the aggregate and proceed to the tests marked by UNE standards, evaluating their behavior to compression, Traction, flexion, water penetration, water absorption, ice and melt and thermal.

Index Terms— Concrete; arid; almond shell; substitution.

I. INTRODUCCIÓN

El hormigón es el material más usado en la construcción. La extracción de los áridos y las materias primas para la

elaboración del hormigón representa en España unas de las actividades mineras más importantes y dañinas para el medio ambiente. Esto nos lleva a plantearnos que el futuro de la industria de la construcción, no solo se basara en la captación de energía para el consumo de los edificios, sino también en el empleo de nuevos materiales más eficientes y con menor coste energético de producción y una menor huella ambiental.

A. Bustos es Graduado en Ingeniería de Edificación por la Uni. de Castilla la Mancha y alumno de doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid.

Desde mediados del siglo XX se han venido estudiando hormigones con fibras y otros tipos de aditivos. En los últimos años han ido apareciendo estudios sobre la sustitución del árido por otro tipo de materiales, como los áridos reciclados (González, 2002 y Sánchez de Juan, 2004), el corcho (González et al., 2007), cascara de arroz (Salinas et al., 2002), etc., comprobando si estos aportan alguna mejora de sus características al mismo tiempo que reducen el impacto ambiental.

Por otro lado, España es la principal productora de almendras de la unión Europea y segunda mundial. Esta elevada producción provoca una elevada cantidad de residuos en determinadas zonas de España y hace necesario el mayor aprovechamiento de estos residuos para minimizar el impacto medioambiental.

El objetivo principal de este trabajo es conocer el posible aprovechamiento de residuos orgánicos, como es la cáscara de almendra, como sustitución de una parte de la fracción granulométrica del árido grueso para la fabricación de hormigones convencionales.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El cemento utilizado es un CEM I 42,5 R suministrado por la Fábrica El Alto Tajo (Morata de Tajuña, Madrid) dependiente de la empresa Grupo Cementos Portland Valderrivas.

Los áridos utilizados fueron extraídos en el centro de producción paraje “cerro la viña” y suministrados por Materiales de construcción PEPE, S.L. cumpliendo las disposiciones de la norma UNE EN 12620:2002/A1:2008.

La cáscara de almendra procede de una descascaradora del sur de Albacete siendo una mezcla de variedades entre las que se encuentran la Marcona, Desmayo L, Atocha, Garrigues, Marta y la Antoñeta.

El plan experimental ha constado de tres partes. Primera: caracterización del árido y la cáscara de almendra; segunda:

diseño, caracterización de hormigones y fabricación de probetas; y tercera: ensayos. Todo el plan experimental fue desarrollado en el laboratorio de materiales de la Universidad Politécnica de Cuenca.

A. Caracterización árido grueso y cáscara de almendra

Para conocer el aprovechamiento de la cáscara de almendra como sustitución del árido grueso, es necesario conocer y determinar las propiedades geométricas y las características mecánicas de la grava y la cáscara de almendra, permitiéndonos comparar y determinar cómo han afectado dichas características al hormigón.

Esta caracterización se ha llevado a cabo mediante la realización de los siguientes ensayos:

- a) Propiedades geométricas de los áridos
 - UNE-EN 933-1:1998. Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
 - UNE-EN 933-3:1997. Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
 - UNE-EN 933-4:2000. Determinación de la forma de las partículas. Coeficiente de forma.

- b) Propiedades mecánicas y físicas de los áridos
 - UNE-EN 1097-2:2010. Determinación de la Resistencia a la fragmentación. Ensayo de Los ángeles.
 - UNE-EN 1097-3:1999. Determinación de la densidad aparente y la porosidad.
 - UNE-EN 1097-5:2009. Determinación del contenido de agua por secado en estufa.
 - UNE-EN 1097-6:1999. Determinación de la densidad de partículas y absorción de agua.

B. Diseño, caracterización de hormigones y fabricación de probetas

A la hora de determinar una dosificación para el hormigón de referencia, se optó por utilizar una dosificación aproximada, extraída del libro “Hormigón” de Fernández

TABLA I
DOSIFICACIÓN DE UNA MASADA DE 19 LITROS

Mezclas	Cemento (Kg)	Áridos convencionales (Kg)			Cáscara (Kg)	Agua (Kg)
		Arena	Gravilla	Grava		
H-P	5.57	19.14	9.59	8.11	-	3.13
H10%	5.57	19.14	9.59	7.18	0.95	3.13
H20%	5.57	19.14	9.59	6.23	1.89	3.13
H30%	5.57	19.14	9.59	5.29	2.84	3.13

Cánovas (Fernández, 2013) con un contenido de cemento de 300 kg/m³ y una relación agua/cemento de 0,56. Tras la realización de varias amasadas de prueba se adoptaron las dosificaciones que figuran en la tabla 1, para una amasada de 19 litros.

A fin de corregir las posibles alteraciones producidas por la humedad del árido, este se secaba en estufa hasta temperatura constante. En lo relativo a la cáscara de almendra, su gran capacidad de absorción de agua provocaba una considerable pérdida de trabajabilidad. Para evitarlo, se procedía a sumergir en agua durante 24 h la cáscara dejándola secar superficialmente al aire durante 1 h antes de la realización de la amasada. Con dicho procedimiento se consiguió una trabajabilidad similar en todos los hormigones, pero se introdujo una cantidad extra de agua que influyó en las características finales del hormigón.

Los hormigones se amasaron en una hormigonera WISKEHRS de 130 l de capacidad. Al terminar el amasado se midió la consistencia del hormigón fresco mediante el cono de Abrams. La media de las determinaciones, se encontraba entre los 4 y los 6 cm.

Con las masas elegidas se fabricaron probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, cúbicas de 10 x 10 x 10 cm y prismáticas de 10 x 10 x 60 cm. El número de probetas de cada tipo por ensayo, fue de tres, que fueron compactadas mediante picado con barra según las normas UNE. Las probetas se desmoldaron a las 24 horas y se almacenaron en una cámara de curado en condiciones normalizadas de 20±2 °C y humedad relativa superior al 95%.

La designación de cada probeta la formaba en primer lugar el % de sustitución (Patrón, 10%, 20%, 30%), continuando con el tipo de ensayo a realizarle (C ; resistencia a compresión, B ; penetración de agua y ensayo brasileño, F ;

numero de molde utilizado. Así por ejemplo, H/10-C-3, indica que se trata de una probeta de hormigón con sustitución del 10% del árido grueso que se romperá a compresión y que fue realizada con el molde nº 3.

C. Ensayos

Los ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos expuestos en las normas UNE correspondientes. Los ensayos realizados son los siguientes:

- a) Propiedades físicas y mecánicas
 - UNE-EN 12390-3:2003. Determinación de la resistencia a compresión de probetas.
 - UNE-EN 12390-5:2009. Resistencia a flexión de probetas.
 - UNE-EN 12390-6:2010. Resistencia a tracción indirecta de probetas.
- b) Ensayos de durabilidad del hormigón
 - UNE-EN 12390-8:2009. Profundidad de penetración de agua bajo presión.
 - UNE 83982:2008. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Método Fagerlund.
 - UNE-CEN/TS 12390-9 EX/2008. Resistencia al hielo-deshielo. Pérdida de masa superficial.
- c) Ensayos no destructivos
 - UNE -EN 12504-2:2002. Determinación del índice de rebote.
 - UNE-EN- 12504-4:2006. Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos.
- d) Ensayos térmicos

III. RESULTADOS

Se pasa revista a continuación a los resultados obtenidos en

TABLA II
DOSIFICACIÓN DE UNA MASADA DE 19 LITROS

	Grava	C. de almendra	Límite EHE-08
% de finos	1,23	0,62	≤6
Índice de lajas global	13 %	85 %	≤35 %
Coefficiente de forma	9	81	-
Resistencia a la fragmentación.	25	9	≤ 40
Absorción de agua	0,5 %	54,89 %	≤ 5 %
Humedad	0,439 %	8,597 %	-
Densidad de conjunto	1.35 Mg/m ³	0.30 Mg/m ³	-
Densidad aparente de las partículas	2.68 Mg/m ³	1.37 Mg/m ³	-

resistencia a flexión, A ; absorción de agua por capilaridad, H ; resistencia al hielo-deshielo, T ; térmico) y finalmente con el

los ensayos de las vigas, dándose los datos en la tabla 2 (caracterización de árido y cáscara).

TABLA III
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

	H. Patrón	H. 10% sust.	H. 20% sust.	H. 30% sust.
Densidad	2320 kg/m ³	2282 kg/m ³	2209 kg/m ³	2155 kg/m ³
Tensión de rotura a 7 días	30,39 N/mm ²	20,31 N/mm ²	14,14 N/mm ²	10,53 N/mm ²
Tensión de rotura a 21 días	36,34 N/mm ²	24,35 N/mm ²	16,24 N/mm ²	11,77 N/mm ²
Tensión de rotura a compresión a 28 días	38,10 N/mm ²	26,04 N/mm ²	18,07 N/mm ²	14,42 N/mm ²
Tensión de rotura a flexión	4,85 N/mm ²	4,83 N/mm ²	4,61 N/mm ²	3,94 N/mm ²
Tensión de rotura a tracción indirecta	2,60 N/mm ²	2,64 N/mm ²	2,28 N/mm ²	2,04 N/mm ²
Profundidad de penetración media	19 mm	23 mm	23 mm	21 mm
Profundidad de penetración máxima	35 mm	38 mm	39 mm	38 mm

Las principales diferencias entre la grava y la cáscara de almendra son:

- Geometría. Tanto en el ensayo del índice de lajas como el coeficiente de forma se puede apreciar que el porcentaje de partículas con una dimensión bastante inferior a las otras dos (partículas planas) es entre 7 y 9 superior para cáscara de almendra.
- Porosidad: la capacidad de absorción de agua de la cáscara de almendra es 110 veces superior a la de la grava. Esto provocará que el hormigón con sustitución de cáscara de almendra sea más poroso y menos compacto.

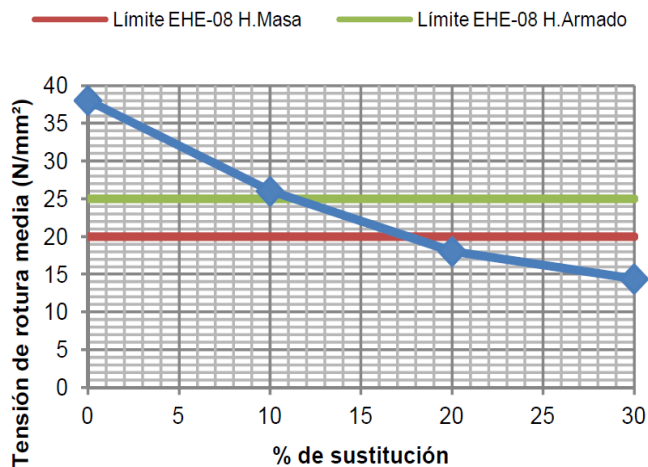


Fig. 1. Comparación de la tensión de rotura media a compresión a 28 días con los límites de la EHE 08.

- Densidad aparente de las partículas: la densidad de la grava es el doble que la de la cáscara de almendra. Por tanto, el hormigón con sustitución parcial de la grava será menos denso que el hormigón patrón.

Una vez analizadas las propiedades que diferencian a la grava y la cáscara de almendra, pasamos revista a los resultados de los ensayos realizados sobre el hormigón. Comenzamos con los ensayos sobre las propiedades físicas y

mecánicas (tabla 3).

La resistencia a compresión del hormigón disminuye considerablemente con la incorporación de cáscara de

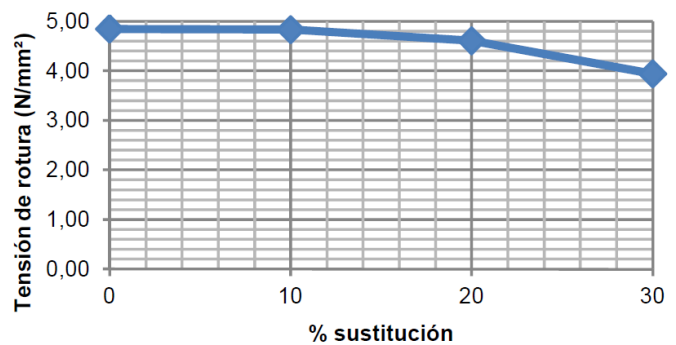


Fig. 2. Tensión de rotura de probetas a flexión a 28 días.

almendra (fig. 1). Esta reducción de resistencias se acrecienta según aumenta el porcentaje de sustitución de cáscara. Sin embargo, la resistencia no decae proporcionalmente, ya que para la sustitución del 10% caen las resistencias aproximadamente un 32 %, mientras que para el 20% y el 30% de sustitución, caen un 53% y un 62% respectivamente. Está en la característica del hormigón más perjudicada por la inclusión de la cáscara de almendra, provocando que solo el hormigón con sustitución de cáscara de almendra con porcentaje del 10% cumpla las limitaciones de la EHE-08.

Esta reducción tan drástica de las resistencias se debe a principalmente a la menor resistencia de la cáscara de almendra, a una mayor cantidad de agua por saturación de la cáscara, y sobre todo, a la forma laminar de esta.

TABLA IV
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DURABILIDAD

	H. Patrón	H. 10% sust.	H. 20% sust.	H. 30% sust.
Incremento de masa por absorción capilar	0,249 g/cm ²	0,315 g/cm ²	0,334 g/cm ²	0,411 g/cm ²
Coefficiente de absorción capilar	0,0002489 kg/m ² min ^{1/2}	0,0003149 kg/m ² min ^{1/2}	0,0003337 kg/m ² min ^{1/2}	0,0004110 kg/m ² min ^{1/2}
Pérdida de masa por ciclo de hielo-deshielo	0,060 %	0,069 %	0,075 %	0,085 %

Tanto la resistencia a flexión (fig.2) como a tracción indirecta (fig.3), en valores totales, disminuyen con la incorporación de cáscara de almendra, pero si se analizan los valores medios, se puede considerar que la resistencia a tracción indirecta experimenta un descenso mucho más discreto que la resistencia a compresión.

La disminución de la resistencia a flexión con una sustitución de un 10% es despreciable, mientras que con las sustituciones de cáscara de almendra en proporciones del 20 % disminuye un 5% y con sustituciones del 30 % disminuye en un 19%.

Lo mismo ocurre con la resistencia a tracción indirecta. Para sustituciones del 10% de cáscara no se producen mermas. Sin embargo, en el caso de las sustitución del 20 % de cáscara de almendra ya se observa una pérdida de resistencias, en torno al 12 %, y cayendo al 21 % en el caso de hormigones con sustituciones del 30% de cáscara de almendra.

En cuanto al ensayo de penetración de agua, los resultados

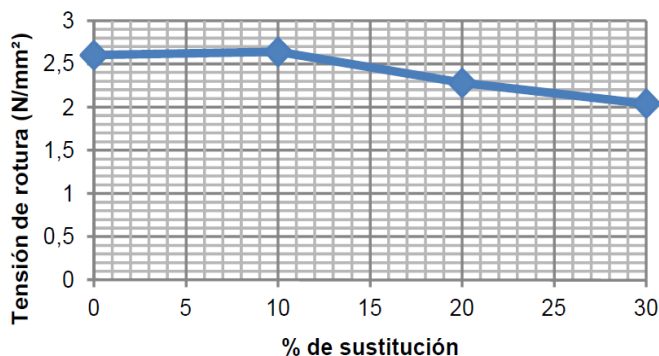


Fig. 3. Tensión de rotura de probetas a tracción indirecta a 28 días.

obtenidos son muy parejos, no existiendo diferencias reseñables entre los distintos hormigones y siempre por debajo del límite establecido por la EHE-08.

En la tabla 4 se pueden observar los resultados obtenidos en los ensayos de durabilidad.

Se observa una mayor capacidad de absorción por capilaridad de los hormigones con cáscara de almendra (fig.4), así como una mayor porosidad efectiva. El valor relativo de este aumento de absorción capilar es aproximadamente un

65% superior en hormigones con un porcentaje de cáscara de almendra del 30% y el de la porosidad efectiva es superior según aumenta el porcentaje de sustitución de cáscara de almendra llegando a ser un 68% superior en el caso de la sustitución del 30%, lo que nos indica que estos hormigones serán menos resistentes a ataques físicos, químicos y biológicos y por lo tanto menos durables.

En cuanto al ensayo de resistencia hielo-deshielo, los 26 ciclos de 24 horas empleados no han provocado daños reseñables en el hormigón. Dicho esto, se puede ver como existe una mayor pérdida de material en hormigones con sustitución de cáscara de almendra (fig. 5). El incremento del porcentaje de pérdida de masa superficial se debe a una mayor capacidad de absorción de agua de la cáscara de almendra. Esta agua absorbida por la cáscara de la almendra que se encuentra próxima a las caras de la probeta se expande cuando se congela provocando tensiones en el hormigón que terminan desprendiendo el material.

Por último, se muestran los resultados de los ensayos no destructivos y térmico en la tabla 5.

La determinación de la dureza superficial del hormigón mediante el ensayo del índice de rebote nos da mediciones muy disparares entre sí. Analizando las medidas, se observa que las medidas de dureza superficial del hormigón con cáscara de almendra, están dentro del rango normal del hormigón patrón, excepto cuando una cáscara de almendra está en contacto con la superficie, lo que produce que la medida sea menor a la media.

En cuanto a la velocidad de impulsos ultrasónicos nos ha permitido establecer una correlación con la resistencia a compresión (fig.6).

Por último, el ensayo térmico muestra un descenso de la conductividad térmica según aumenta el porcentaje de sustitución del árido. Esto se debe principalmente al descenso de la densidad del hormigón por la incorporación de la cáscara

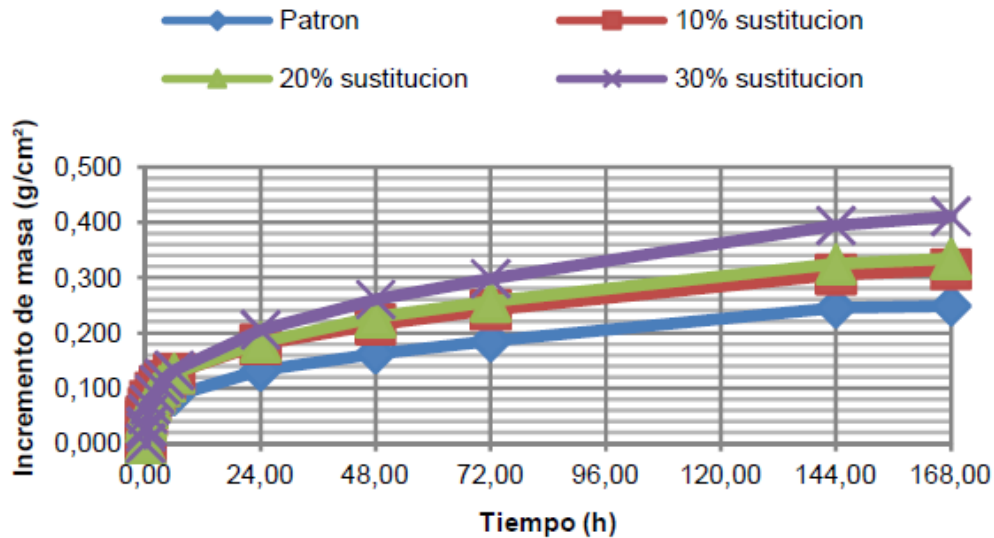


Fig. 4. Incremento de masa medio por absorción capilar (g/cm²).

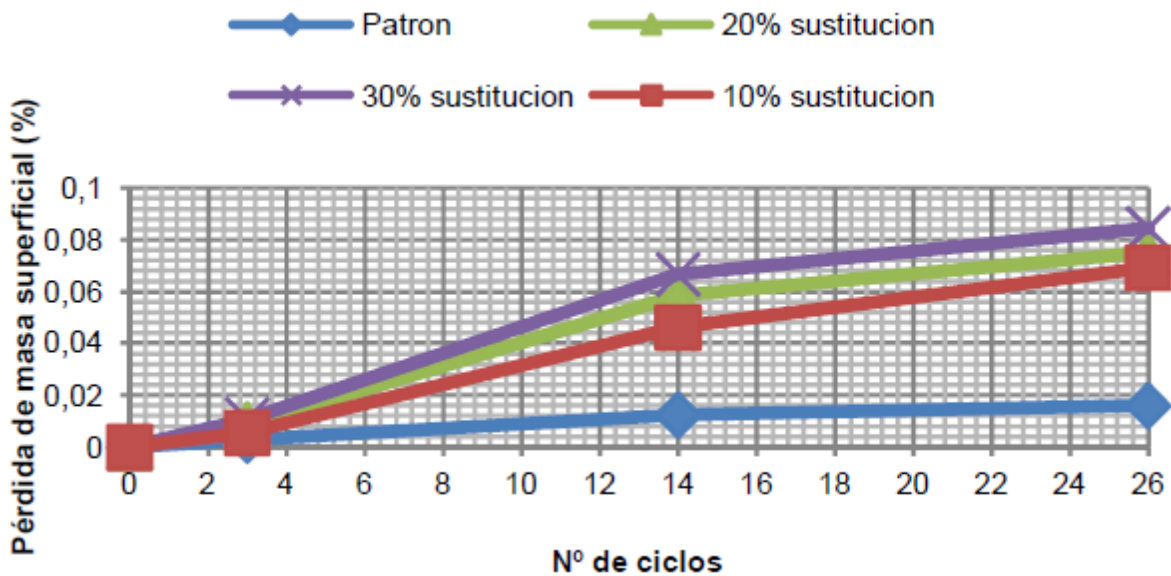


Fig. 5. Pérdida de masa media por ciclos.

de almendra (fig.7). Sin embargo, para el hormigón con sustitución del 30% el descenso es más pronunciado debido a las propiedades intrínsecas de la cáscara de almendra.

IV. CONCLUSIONES

En los ensayos realizados se ha podido comprobar que la inclusión de cáscara de almendra en lugar de la grava empeora las características del hormigón, salvo con sustituciones del 10% que mejora mínimamente la resistencia a tracción indirecta y con sustituciones del 30% que mejora la conductividad térmica.

Las propiedades que varían entre la cáscara de almendra y la grava provocando una alteración en las propiedades del hormigón son cuatro, la forma, la dureza, la densidad y la porosidad. Además, habría que añadir el exceso de agua añadido al hormigón debido a la saturación de la cáscara.

La geometría alargada y plana de la cáscara de almendra en forma de laja, unido a la menor resistencia frente a la grava y al exceso de agua añadido por la saturación provoca la merma de las sollicitaciones físicas y mecánicas del hormigón.

TABLA V
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y TÉRMICOS

	H. Patrón	H. 10% sust.	H. 20% sust.	H. 30% sust.
Índice de rebote	25,59	24,96	23,48	22,66
Vel. Media de los impulsos ultrasónicos	4,669 km/s	4,314 km/s	4,037 km/s	3,922 km/s
Conductividad térmica	1,59806554 W/m°C	1,59102147 W/m°C	1,49741778 W/m°C	1,32045865 W/m°C

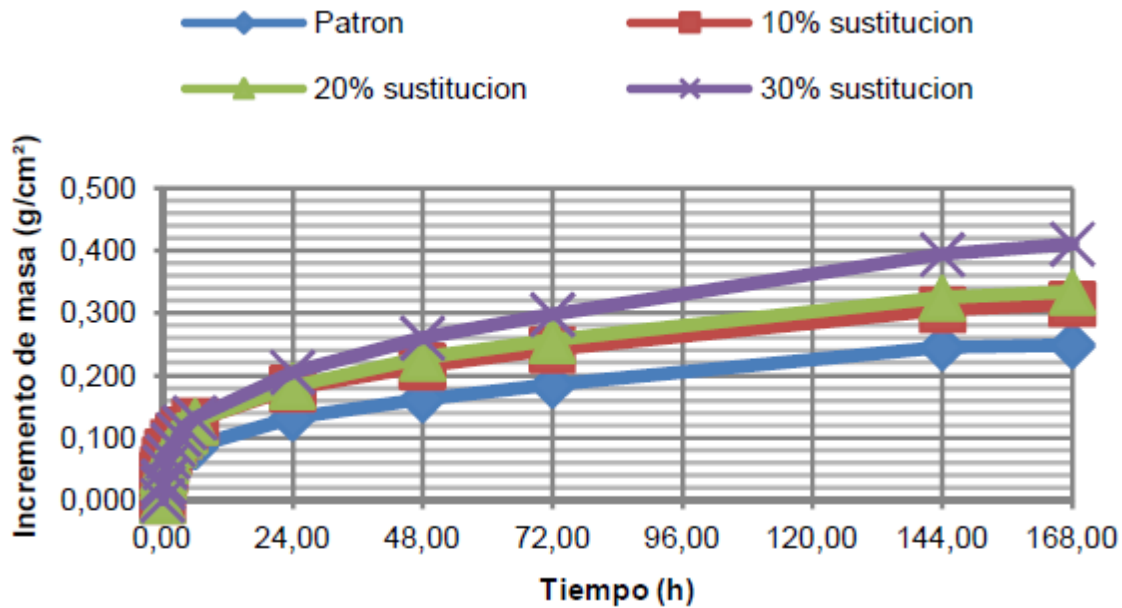


Fig. 6. Correlación entre la velocidad de impulsos ultrasónicos y la tensión de rotura a compresión a 28 días.

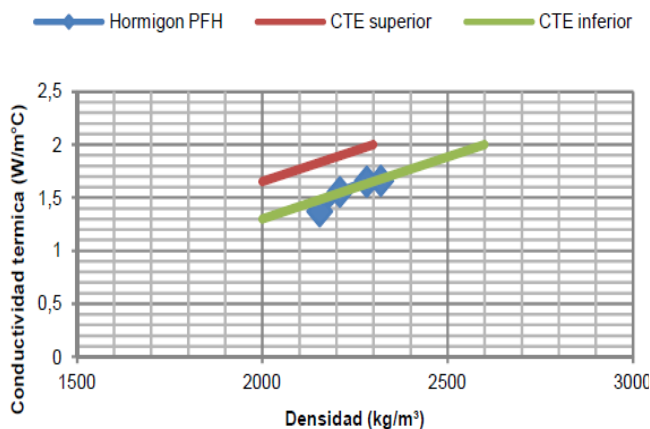


Fig. 7. Comparación de conductividad térmica de los hormigones con el catalogo técnico de elementos constructivos del CTE.

La porosidad de la cáscara de almendra, provoca un aumento en la capacidad de absorción de agua por parte del hormigón, repercutiendo en su durabilidad.

Por último, la menor densidad de la cáscara de almendra junto con las propiedades intrínsecas del material permitirá conformar un hormigón menos denso y con un mejor comportamiento térmico.

REFERENCIAS

González B. (2002). Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante.

González, B., Llamas, B., Juan, A., & Guerra, E. (2007). Ensayos de hormigones fabricados con polvo de corcho. *Materiales de construcción*, 57 (286), 83-90.

Fernández Cánovas. M. (2013). "Hormigón". Ibergarceta Publicaciones, S.L.

Salinas S, M., Eduardo, J., & Eguezalaba, H. E. (2002). Adición de Ceniza de Cascarilla de Arroz en Hormigón Compactado con Rodillo.

Sánchez de Juan, M. (2004). Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural (Doctoral dissertation, Caminos).



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.