

# PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN RECICLADO CON ÁRIDOS PROCEDENTES DE PIEZAS PREFABRICADAS DESECHADAS.

<sup>(1)</sup>Pérez Benedicto, J.A. <sup>(\*)</sup>, <sup>(2)</sup>Del Río Merino, M. <sup>(1)</sup>Peralta Canudo, J.L.,

<sup>(3)</sup>De la Rosa La Mata, M

<sup>(1)</sup>E.U.P.L.A. , <sup>(2)</sup>E.U.A.T.M., <sup>(3)</sup>Laboratorio Arcotecnos.

Gran Vía nº 11 Esc B 4º 6ª 50.006 Zaragoza

[pbenedicto@pbenedicto.e.telefonica.net](mailto:pbenedicto@pbenedicto.e.telefonica.net)

## RESUMEN

La necesidad de disminuir la cantidad final de residuos de construcción y demolición que se producen en las plantas de prefabricados de hormigón, nos ha llevado a analizar el comportamiento mecánico de un hormigón elaborado con áridos reciclados procedentes de piezas prefabricadas de hormigón, con la finalidad de un posible futuro uso como árido en dosificaciones de hormigón armado y pretensado para piezas prefabricadas. Se ha trabajado con áridos reciclados en dos situaciones: estado natural y sometidos a presaturación, con hormigones H40 y H50 autocompactantes, tomando como única variable la sustitución de fracción gruesa del árido con los siguientes porcentajes, 0%, 20%, 50% y 100%. Los ensayos realizados en la parametrización del árido reciclado presentaron un excelente comportamiento, quedando únicamente la absorción y la resistencia a la helada con sustituciones del 100% con valores algo superiores a los máximos exigidos por la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Los hormigones elaborados con áridos sin someterlos a saturación previa mostraron aumentos de resistencia a compresión con respecto al hormigón de comparación, alcanzando valores de resistencia superiores a 70 N/mm<sup>2</sup>, invirtiéndose esta tendencia para los hormigones con árido presaturado. Los resultados de los ensayos realizados indican que hormigones elaborados con áridos reciclados procedentes de elementos prefabricados pueden presentar una excelente calidad como hormigón estructural para su futuro uso como autoconsumo.

Palabras clave: *Áridos reciclados, hormigón, dosificación, resistencia mecánica, residuos.*

## 1. Introducción

El creciente aumento en la generación de residuos y la falta de lugares donde depositarlos, impone a la sociedad la necesidad de habilitar mecanismos de gestión que permitan dar una respuesta adecuada ante tal situación.

El sector de la construcción debe dar respuesta y aportar soluciones sostenibles que minimicen los efectos de los residuos que generan, promoviendo iniciativas de reciclado dentro de la propia actividad.

El Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015 [1], en su artículo 12 recoge como objetivo a alcanzar para el año 2015, llegar al 35% de reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD). El Parlamento Europeo en la Directiva Marco de Residuos de 17 de junio de 2008 establece que los Estados miembros adopten las medidas necesarias para garantizar que, antes de 2020, el 70% en peso de los residuos no peligrosos procedentes de la construcción y demolición sean destinados a operaciones de reutilización o reciclado.

Según datos facilitados por la Asociación Nacional de Gestores de RCD GERD [2] en 2010 en España se producen 5 millones de toneladas de RCD de las que únicamente se someten a un proceso de reciclado el 15%, quedando el 45% del material con una gestión incontrolada y vertido ilegal.

En este estudio se analiza la viabilidad de la utilización del árido reciclado procedente de las piezas prefabricadas de desecho que se generan durante el proceso de fabricación en la planta de prefabricados de la empresa PRAINSA en Zuera (Zaragoza), como árido en dosificaciones de hormigón armado y pretensado de autoconsumo.

La fábrica de PRAINSA, desecha un 5% del total de las piezas fabricadas en los procesos de calidad. Estos elementos, durante todo su proceso, sufren un exhaustivo control que garantiza una mayor homogeneidad del árido reciclado con respecto a los fabricados con productos de demoliciones de hormigón, asegurando la no contaminación del mismo con agentes exteriores.

Las características del árido reciclado que se puede obtener y la homogeneidad de sus propiedades están estrechamente ligadas con las correspondientes características del hormigón original, por lo que conocer la historia del mismo es de gran relevancia para evaluar el hormigón final.

El trabajo de investigación realizado se ha centrado en la parametrización de los áridos reciclados procedentes del autoconsumo y su relación con el árido natural de origen, así como en el estudio mediante moldeo de probetas de hormigón reciclado, de sus propiedades mecánicas, ensayando la resistencia mecánica a compresión, resistencia a tracción, grado de absorción y densidad.

En el estudio se han mantenido constantes las dosificaciones empleadas en la fábrica en su proceso de prefabricación, tomando como única variable la sustitución de la fracción de árido grueso 4/12 mm, por árido reciclado de autoconsumo con los siguientes porcentajes de sustitución 0%, 20%, 50% y 100%, en situación de presaturación y sin saturación previa.

## **2. Materiales**

El árido reciclado con el que se ha realizado el estudio proviene de la no calidad en prefabricación, caracterizándose por proceder de piezas prefabricadas hormigonadas con hormigones que garantizan resistencias mínimas de H30 a H50, sin estar sometidos a ningún proceso externo de contaminación.

La Tabla 2-1 2-1 muestra la distribución de los distintos hormigones que componen las piezas que han servido de materia prima para la elaboración del árido reciclado, en porcentajes del volumen de material de desecho (Fotografía 2-1).

% del desecho total	piezas
82,53	HPAC-40 : Placas alveolares
2,39	HAC-40 : Correa tubular, dalla y pilares armados
8,63	HAC-30: Paneles armados
6,55	HPAC-50: Vigas pretensadas



Tabla 2-1: Porcentaje de los distintos hormigones que conforman las piezas de desecho.

Fotografía 2-1: Elementos prefabricados desechados.

Para todas las dosificaciones se han usado hormigones autocompactantes con la incorporación de un aditivo plastificante, soluble al agua, con un pH mín. de 9 y exento de cloruros o bien de un superplastificante a base de policarboxilatos modificados con un pH de 8 e igualmente exento de cloruros, con las dosificaciones que se recogen en la Tabla 2-2 2-2.

Componente	Cloruros solubles Máx. (%)	HPAC-40 (kg/m <sup>3</sup> )	HAC-30 (kg/m <sup>3</sup> )	HAC-40 (kg/m <sup>3</sup> )	HPAC-50 (kg/m <sup>3</sup> )
AFT-0/4 S-L	0.01	1157	960	960	813
AGT-6/12 S-L	0.01	590	365	393	840
AGR-6/12 S-L	0.01	0	360	403	0
Filler Calizo	0.002	0	190	125	165
Cemento I 52.5 R	0.01	400	330	360	400
Plastificante	0	0.5	0	0	0
Superfluidificante	0	0	5.5	6	6.35
Agua	0.005	200	165	180	200
Densidad 28 días (Kg/m <sup>3</sup> )		2283	2326	2368	2365
Cloruros solubles totales %		0.01	0.0087	0.0089	0.0094
Rc 28d (MPa)		42	32	42	53
Aire ocluido %		<6	<2	<2	<2

Tabla 2-2 Dosificación de los distintos hormigones utilizados en la fabricación de las piezas de desecho.

Los áridos naturales empleados para la fabricación de la totalidad de los elementos prefabricados, así como para la fabricación de los hormigones en estudio, presentan los siguientes componentes, cumpliendo con las exigencias de la actual Instrucción para Hormigón Estructural EHE 08 [3]:

- a) Componentes principales: calcita, cuarzo, fragmentos de roca (caliza, cuarcita, metarenisca, cherts, pizarra y granito).
- b) Componentes accesorios: Biotita, feldespato potásico, plagioclasa, sericita, clorita (de alteración de la biotita).

El cemento utilizado fue el mismo que el usado en el proceso de prefabricación, CEM I 52,5 R, fabricado por CEMEX España S.A. y elaborado en CI Afuera, s/n de Morata de Jalón (Zaragoza).

El tratamiento seguido para la fabricación del árido reciclado, ha consistido en la trituración previa de todas las piezas mediante pinza o martillo percutor, dejándolo el material a un tamaño máximo de 300 mm. En esta fase se separó la ferralla de mayor tamaño, cables e hilos de pretensado y armaduras pasivas. Posteriormente los bloques se trituraron con una cuchara hasta reducirlos a un tamaño de 0 a 50 mm., eliminando la ferralla de menor tamaño en una cinta separadora.

Con el árido exento de ferralla se realizó un nuevo proceso de trituración mediante molino y cribado con cinta, al objeto de seleccionar mediante tamizado únicamente la fracción 4/12. Como fase final y previo a su uso posterior para la fabricación de los hormigones estudiados se realizó un proceso de lavado.

La Tabla 2-3 recoge la dosificación de los distintos componentes para cada una de las tipologías de hormigón estudiadas.

PRUEBAS DE LABORATORIO. Mezclas de 30 litros (Mezclas 1m<sup>3</sup>)

Mezcla (en seco)	Arena (kg)	Grava (kg)	Grava reciclada lavada (kg)	Becontres (kg)	Cemex (kg)	P-345 (g)	Relación a/c
<b>HORMIGÓN PRETENSADO</b>							
HAC 50-0	24 (800)	25.2 (840)	-	4.95 (165)	12 (400)	204 (680)	0.43
HAC 50-20	24 (800)	20.2 (673.3)	5.04 (168)	4.95 (165)	12 (400)	204 (680)	0.43
HAC 50-50	24 (800)	12.6 (420)	12.6 (420)	4.95 (165)	12 (400)	204 (680)	0.43
HAC 50-100 HAC 50-100S	24 (800)	-	25.2 (840)	4.95 (165)	12 (400)	204 (680)	0.43
<b>HORMIGÓN ARMADO</b>							
HAC 40-0	24 (800)	25.2 (840)	-	6.15 (205)	10.8 (360)	184 (613.33)	0.44
HAC 40-20	24 (800)	20.2 (673.3)	5.04 (168)	6.15 (205)	10.8 (360)	184 (613.33)	0.44
HAC 40-50	24 (800)	12.6 (420)	12.6 (420)	6.15 (205)	10.8 (360)	184 (613.33)	0.44
HAC 40-100 HAC 40-100S	24 (800)	-	25.2 (840)	6.15 (205)	10.8 (360)	184 (613.33)	0.44

Tabla 2-3 Dosificación de los distintos hormigones estudiados.

### 3. Programa experimental

El estudio experimental desarrollado ha evaluado las propiedades del árido reciclado que se genera con áridos procedentes de la no calidad en prefabricación, frente al árido natural de procedencia, de acuerdo a las exigencias de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 [3].

Para la fabricación de los hormigones, los materiales se han mantenido en laboratorio un mínimo de 24 horas. Las dosificaciones para elaborar las mezclas se realizaron de acuerdo con los mismos parámetros que se estaban usando para la fabricación de las piezas sin árido reciclado incorporando como única variable el porcentaje de fracción de árido grueso 4-12mm., en porcentajes de: 0%, 20%, 50% y

100%, para dosificaciones de hormigón armado y pretensado, con áridos sin presaturar y sustituciones del 100% con árido sometido a presaturación.

El cálculo de la humedad = (Peso húmedo-Peso seco)/Peso seco, permitió compensar la dosificación de arena y agua en función de la humedad medida en el microondas, quedando la relación a/c con valores de 0,43 para HAC-50 y 0,44 para HAC-40.

Los valores de consistencia se realizan mediante el ensayo de escurrimiento, con la medición de la torta de hormigón, según la Norma UNE 83361, analizando la incidencia del porcentaje de sustitución y de la presaturación del árido.

Se tomaron muestras de hormigón fresco, con el que se elaboraron probetas normalizadas, según la Norma UNE-EN 12350-1. Con cada tipo de hormigón se fabricaron dos amasadas de 3 probetas cilíndricas de 30x15 cm, para determinar la resistencia a tracción y dos amasadas de 7 probetas cúbicas de 10 cm de lado para evaluar de igual manera la resistencia a compresión, densidad y absorción.

El curado de las probetas se realizó en cámara húmeda según la Norma UNE 83-301-91, hasta fecha de rotura: 7 y 28 días. Para las roturas a 45 días las probetas, una vez pasado el proceso de curado en cámara húmeda se mantuvieron en las condiciones ambientales de la nave de prefabricados.

Al objeto de mejorar los rendimientos respecto al volumen de material a obtener en la fabricación del árido reciclado, se ha ampliado el uso granulométrico en el proceso de selección durante la fabricación a las fracciones 4/12 mm., utilizando únicamente las fracciones 6/12 mm. para el árido natural triturado.

## 4. Resultados y Discusión

### 4.1 Propiedades de los áridos

La **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** compara las características del árido natural de referencia, utilizado en el proceso de prefabricación de la fábrica y en los hormigones de control de este estudio.

Los ensayos realizados en la parametrización del árido reciclado han presentado un excelente comportamiento, quedando únicamente la absorción y la resistencia a la helada con sustituciones del 100% con valores algo superiores a los máximos exigidos por la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 [3] para árido natural, constatando la incidencia de la calidad del hormigón de origen sobre la calidad del árido reciclado.

En el Gráfico 4-1 y Gráfico 4-2, se muestra una comparativa de las curvas granulométricas correspondientes a los ensayos de dos muestras de árido reciclado, frente a cuatro curvas correspondientes a la media mensual de los ensayos realizados semanalmente durante el proceso de control de calidad en la fábrica de prefabricados del árido natural. El análisis granulométrico se realizó sometiendo las muestras a un lavado previo y posterior secado natural, reflejando la situación con la que se han utilizado para la fabricación de los distintos hormigones estudiados.

COMPARTATIVA DE ENSAYOS DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS ( FRACCIÓN 4/12) Y LOS NATURALES DE ORIGEN				
Ensayo	Resultados de los ensayos			
	Limitaciones EHE-08	Áridos reciclados (fracción 4/12)	Áridos de origen tritutados (fracción 6/12)	Valores de referencia bibliografía consultada
Índice de lajas	UNE-EN 933-3/A1:2004	4 ( ≤ 35 )	11 ( ≤ 35 )	-
Coefficiente de forma	UNE-EN 933-4:2000	4	11	-
Densidad de partículas saturadas con la superficie seca. (Mg/m³):	-	2.43	2.568	2,30 a 2,53 [4-8]
Absorción	≤ 5%.	7.3%	0,97 %	3,5 a 8,49% [4,6-8]
Coefficiente de los Ángeles	< 40	31	20	25-42%. [9,10]
Material cerámico	5 % peso total	0%	0%	-
Partículas ligeras	1 % peso total	0,3%	0.1%	-
Asfalto	1 % peso total	0%	0%	-
Otros materiales (vidrio, plásticos, metales, etc.).	1 % peso total	0%	0%	-
Terrones de arcilla	< 0,60% AR-20% < 0,25% AR-100% < 0,15% AN	0%	0%	-
Contenido de materia orgánica		0.01 %	0.01 %	-
Contenido de cloruros	< 0,05% HA < 0,03% HP	0,01	0,00 %	-
Resistencia a la helada	Valor medio de sulfato de magnesio MS 18%	20	1.8	2-22% [5,11]
Compuestos de azufre	SO <sub>3</sub> < 1%	SO <sub>3</sub> = 0,63%	0,52 %	0,43-0,75% para fracción(4/8 mm) 0,34-0,52% para fracción(8/16 mm)
Contenido de sulfatos	SO <sub>3</sub> < 0,8%	0.49 %	0.4%	0,10-0,55% para fracción(4/8 mm)

				0,10-0,40% para fracción(8/16 mm)
--	--	--	--	-----------------------------------

Tabla 4-1: Comparativa de características de los áridos reciclados y los naturales de origen.

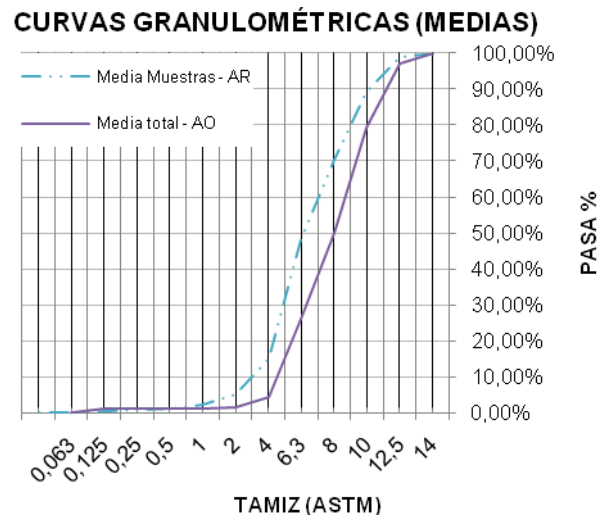
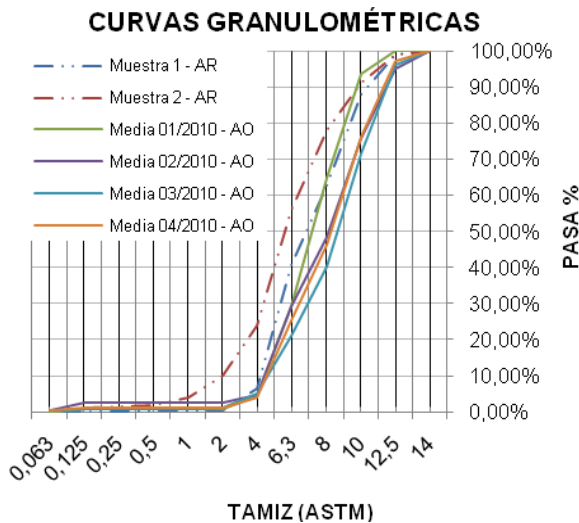


Gráfico 4-1: Curvas granulométricas de los áridos naturales y reciclados utilizados.

Gráfico 4-2: Curvas granulométricas medias de los áridos utilizados.

Los gráficos muestran un huso granulométrico, para el árido reciclado procedente de piezas prefabricadas elaboradas con hormigones con áridos naturales desplazado hacia las partículas finas, con un incremento que oscila del 10% al 20%, como consecuencia de la fracción fina de 4 mm. del árido reciclado, no dispuesta en el árido triturado de origen, con una pendiente muy similar para las dos husos granulométricos.

## 4.2 Control de la consistencia.

El Gráfico 4-3 muestra los valores de consistencia de cuatro amasadas distintas para cada una de las siguientes dosificaciones de HAC-50 con porcentajes de sustitución de AR sin someterlo a presaturación de 0%, 20%, 50% y 100% y del 100% de AR presaturado, (Fotografías 4-2 y 4-3).

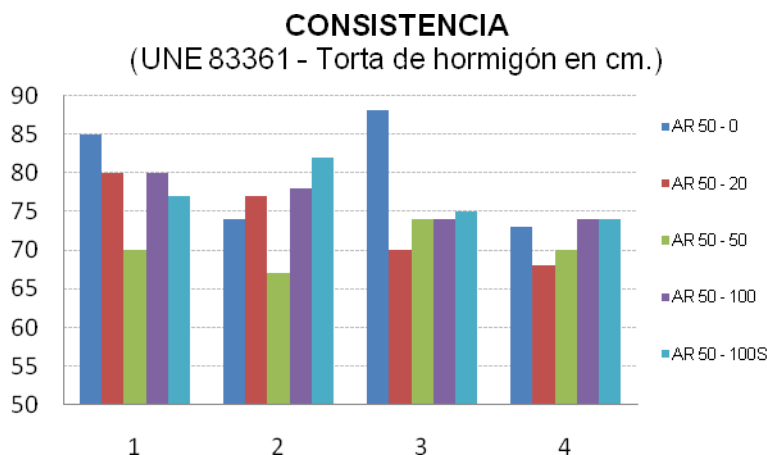


Gráfico 4-3: Comparativa de valores de consistencia sustituciones de 0%,

Fotografía 4-2 y 4-3: Ensayo de consistencia

Los resultados obtenidos no muestran relación directa entre la consistencia del hormigón y la condición de presaturación de los áridos, ni tampoco con la relación de árido reciclado en la mezcla.

A la vista de los resultados puede concluirse que, para hormigones autocompactantes, la acción de los superplastificantes incide de forma más directa en la fluidez que el resto de componentes del hormigón, para los casos estudiados.

### 4.3 Densidad

Se analizaron un total de 12 probetas cúbicas de 10x10x10 cm, de 6 dosificaciones distintas, de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-7:09, amasadas con áridos sin someterlos a saturación previa y con sustituciones para HAC-40 de 0%, 50% y 100% y HAC-50 de 0%, 50% y 100%.

El rango de valores obtenidos en la situación de densidad seca en estufa, oscila entre 2,31–2,35 kg/dm<sup>3</sup> para el hormigón de control y 2,2–2,3 kg/dm<sup>3</sup> para el hormigón reciclado

En el Gráfico 4-4, se puede apreciar la evolución de la densidad en función del % de árido reciclado sustituido y su relación con la bibliografía consultada.

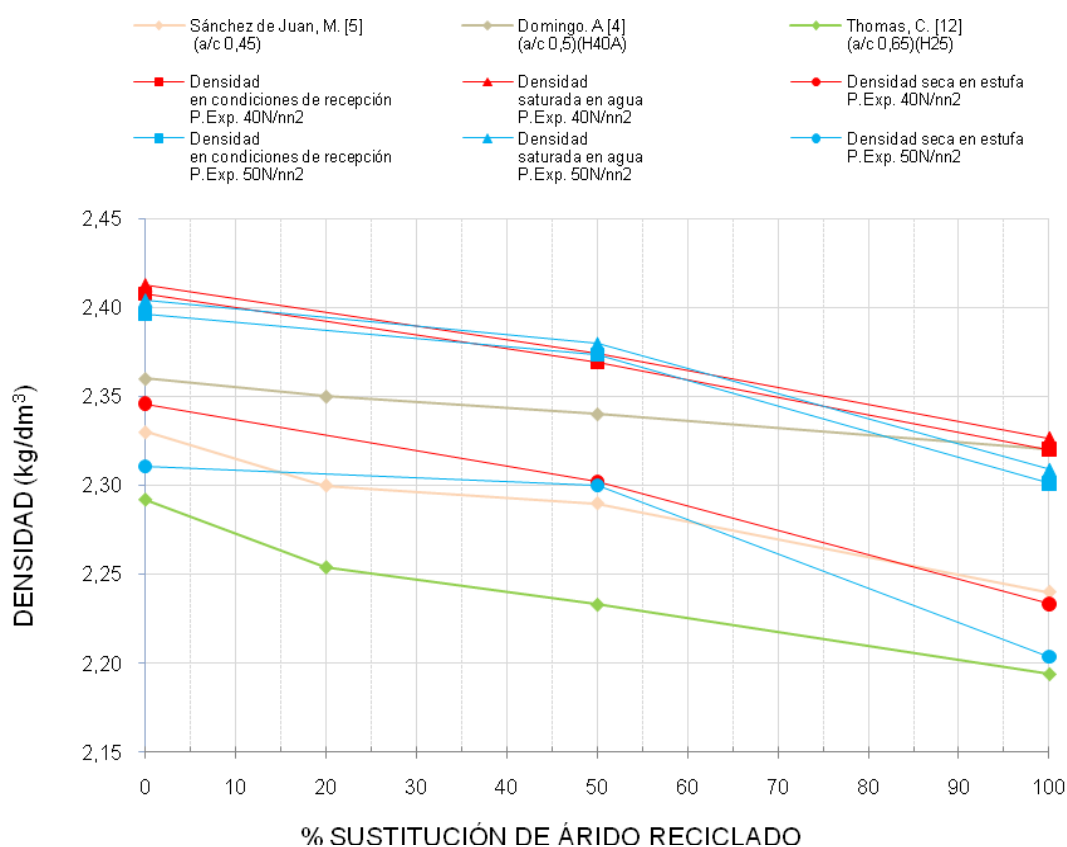


Gráfico 4-4: Relación entre la densidad y el porcentaje de sustitución de árido reciclado.



La densidad de los hormigones reciclados está relacionada con los hormigones de control, siendo inferior a la del hormigón de control. Los descensos de densidad máximos obtenidos son inferiores al 5% para los hormigones con sustituciones del 100% respecto a los de control.

#### 4.4 Absorción

El ensayo se ha realizado de acuerdo a la norma UNE-EN 1916 y UNE-EN 1339, con probetas cúbicas de 10x10x10.

Se analizaron un total de 12 probetas de 6 dosificaciones distintas, amasadas con áridos sin someterlos a saturación previa y con sustituciones para HAC-40 de 0%, 50% y 100% y HAC-50 de 0%, 50% y 100%.

El rango de valores obtenidos oscila del 2,85% para el hormigón de control H40, a 4,77% para el hormigón H50 con sustitución del 100% de árido reciclado

El Gráfico 4-5 muestra la relación entre la absorción y el % de árido reciclado sustituido, de los ensayos realizados y su comparativa con otros autores.

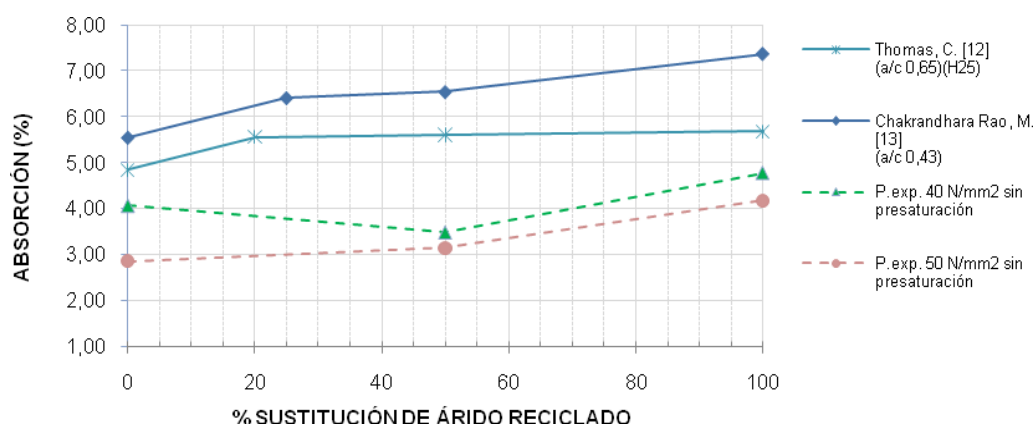


Gráfico 4-5: Relación entre % de absorción y % de árido reciclado en la mezcla.

Todas las muestras ensayadas han dado valores de absorción inferiores al 5%, inferior a los valores obtenidos por otros autores con hormigones reciclados procedentes de residuos de hormigón. El hormigón reciclado presenta una tendencia clara a aumentar la absorción cuando se aumenta el % de árido reciclado.

##### 4.4.1 Resistencia a compresión

La

Tabla 4-2 recoge los valores de los ensayos de resistencia a compresión realizados con probeta cúbica 10x10x10 cm., según la norma UNE-EN 12390-3. El Gráfico 4-6 presenta una comparativa de la resistencia a compresión en función del porcentaje

Mezcla (Árido sin presaturación)	Rc 28 días (10x10) (F <sub>conv.</sub> 0.88)			
	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			f <sub>ck,m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1AR 40-0	53,90	49,70	47,60	50,40
1AR 40-20	55,00	54,40	54,80	54,73
1AR 40-50	59,90	58,90	57,00	58,60
1AR 40-100	60,10	58,00	57,20	58,43

Mezcla (Árido presaturado)	Rc 28 días (10x10) (F <sub>conv.</sub> 0.88)			
	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )			f <sub>ck,m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
5AR 50-100s	57,20	58,76	58,97	58,31
6AR 50-100s	45,55	44,30	45,24	45,03
7AR 50-100	64,06	65,62	61,46	63,72
8AR 50-100	64,58	61,67	64,90	63,72

Rc 45 días (10x10) (F <sub>conv.</sub> 0.88)			
Mezcla	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Mezcla	f <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
1AR 40-0	71,91	1AR 50-0	75,71
1AR 40-50	67,68	1AR 50-50	69,02
1AR 40-100	65,09	1AR 50-100	72,86

Tabla 4-2: Valores de resistencia a compresión para las distintas dosificaciones a distintas edades de rotura.

de sustitución de árido reciclado, con referencia a otros autores consultados.

La resistencia del hormigón reciclado a compresión con áridos procedentes de machaqueo de residuos de hormigón estructural sin someterlos a condiciones de presaturación con roturas de probetas a 28 días, curadas en cámara húmeda, es superior a la de un hormigón convencional, con un rango de valores de 8% a 17%.

Estos incrementos se justifican como consecuencia de la absorción de agua de la pasta de cemento por parte de los áridos reciclados, que modifica la relación a/c real de la mezcla, disminuyendo la misma.

Con áridos presaturados los valores de resistencia obtenidos con roturas de probetas a 28 días son inferiores a los del hormigón convencional con valores que oscilan entre -8% y -29%. En esta situación el árido reciclado no absorbe agua de la pasta de cemento manteniéndose la relación inicial.

Con edades superiores a los 28 días el hormigón reciclado ha presentado una pérdida de resistencia con respecto al hormigón elaborado con áridos naturales.

Las resistencias a compresión de los hormigones autocompactantes estudiados han presentado una pendiente ascendente en cuanto a la evolución de la resistencia pasados los 28 días, superior a la de hormigones convencionales.

La rotura a compresión de las probetas de hormigón curadas al aire, pasados los 28 días de curado en cámara, muestran un incremento fuerte de valores de resistencia.

El análisis de las caras de rotura de las probetas ensayadas con valores de resistencia superiores a  $70 \text{ N/mm}^2$ , mostraba planos de rotura atravesando los áridos gruesos, presentando un excelente comportamiento de la interfase pasta-árido.

La resistencia del hormigón reciclado no queda limitada a los valores de la resistencia del hormigón de origen, alcanzado incrementos del 75% para los hormigones estudiados.

#### 4.5 Determinación de la resistencia a tracción del hormigón reciclado

El Gráfico 4-7 recoge los resultados de los valores medios de las tres probetas ensayadas para cada una de las tipologías de hormigones ensayados.

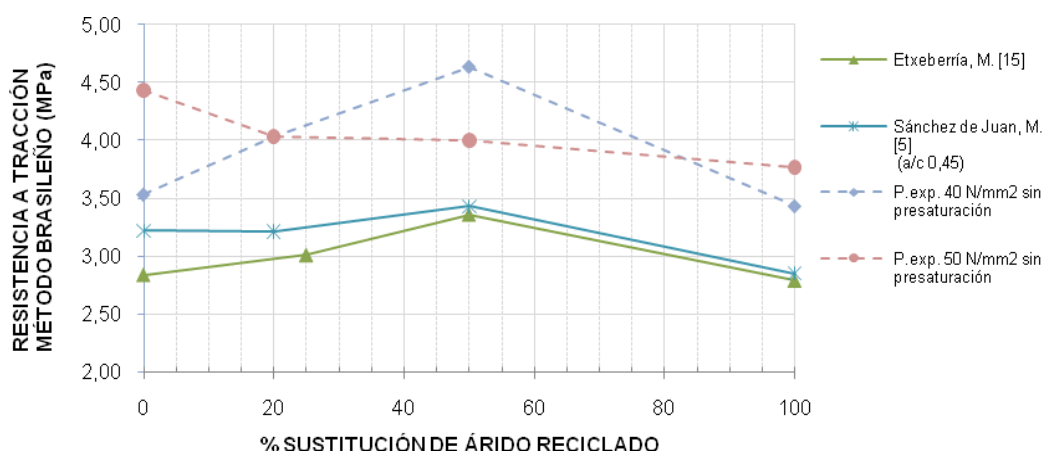


Gráfico 4-7: Evolución de la relación entre resistencia a tracción y el % de árido reciclado de la mezcla.

Los ensayos realizados para la determinación de la resistencia a tracción mediante el Ensayo Brasileño, presentan dispersiones en los valores de resistencia con respecto al hormigón de control de  $\pm 15\%$ .

La Tabla 4-3 muestra los valores de resistencia a tracción según la formulación de EHE-08 [3] con relación a los obtenidos experimentalmente, para las 4 sustituciones, analizando 8 situaciones.

Mezcla	Rc28d (15x30) (N/mm <sup>2</sup> )	Rti 28d (15x30) Brasileño (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ct,m} = 0.3 f_{ck}^{2/3}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{ct,m} = 0.58 f_{ck}^{1/2}$ (N/mm <sup>2</sup> )
2AR40-0	53,95	4,43	-	4,26
2AR40-20	46,60	4,03	3,88	-
2AR40-50	51,20	4,63	-	4,15
2AR40-100	52,55	3,77	-	4,20
5AR40-100s	44,82	3,64	3,79	-

La relación que presenta la EHE-08 [3] entre la resistencia a compresión y tracción indirecta del hormigón reciclado, muestra desviaciones del 12%.

## 5. Bibliografía y referencias

- [1] Plan Nacional Integrado de Residuos para el periodo 2008-2015. 2009 29 feb 2009.
- [2] Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición. Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición. 2010; Available at: <http://www.gerd.es/>.
- [3] Ministerio de Fomento. EHE-08: Instrucción de hormigón estructural. Centro de publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento; 2008.
- [4] Domingo A, Lázaro C, Gayarre F, Serrano M, López-Colina C. Long term deformations by creep and shrinkage in recycled aggregate concrete. Mater.Struct. 2009.
- [5] Sánchez de Juan M, Alaejos Gutiérrez MP. Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica Ministerio de Fomento; 2004.
- [6] Poon CS, Kou S, Lam L. Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete. Mater.Struct. 2007 11/01;40(9):981-988.
- [7] Gomes M, de Brito J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. Mater.Struct. 2009 06/01;42(5):663-675.
- [8] Limbachiya M, Leelawat T, Dhir R. Use of recycled concrete aggregate in high-strength concrete. Mater.Struct. 2000 11/01;33(9):574-580.
- [9] Barra M, Vázquez Ramonich E. Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado. 1996.
- [10] III Congreso de ACHE de puentes y estructuras. Las estructuras del siglo XXI, sostenibilidad, innovación y retos del futuro. Influencia del árido reciclado en las propiedades del hormigón estructural.; 2005.
- [11] Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural. Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Septiembre 2006:189.
- [12] Thomas C, Carrascal I, Setién J, Polanco JA. Determinación del límite a fatiga en hormigones reciclados de aplicación estructural. Anales de Mecánica de la Fractura 2009;1(26):283-288.
- [13] Chakradhara Rao M, Bhattacharyya S, Barai S. Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete. Mater.Struct. 2010.
- [14] González Fonteboa, B., Martínez Abella, F. Hormigones con áridos reciclados procedentes de demoliciones: dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante. A Coruña: Universidade da Coruña, E.T.S. I. Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Tecnología de la Construcción; 2005.
- [15] Etxeberria M, Vázquez E, Marí A, Barra M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. Cem.Concr.Res. 2007; 37(5):735-742.
- [16] Parra y Alfaro JL, Castilla J, Palacios P, Puchol L. Áridos reciclados para hormigón. Prueba industrial. 2003.

## **6. Agradecimientos**

Se agradece al grupo de empresas Prainsa toda la fase de preparación de material para ensayo, y a Laboratorio Arco Tecnos por hacer posible toda la fase experimental.