

# **EMPLEO DE ÁRIDOS RECICLADOS PRETRATADOS CON EMULSIÓN EN LA FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE**

Ana R. Pasandín  
Universidade da Coruña. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos.  
arodriguezpa@udc.es

Ignacio Pérez  
Universidade da Coruña. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos.  
iperez@udc.es

## **RESUMEN**

El empleo de áridos reciclados (AR) procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) como materia prima en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente presenta numerosas ventajas medioambientales. Cabe destacar la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como del consumo de agua y energía, derivados del proceso de extracción de áridos naturales; la reducción en la generación de ruidos, polvo y vibraciones; etc.

La mayor parte de las investigaciones llevadas a cabo, concluyen que la utilización de AR en mezclas bituminosas en caliente da lugar a que las mezclas presenten una inadecuada sensibilidad al agua. Con el fin de solucionar este inconveniente, se propone utilizar AR pretratado: el AR se envuelve con un 5% en peso de emulsión bituminosa de tipo ECL-2d, con anterioridad a su utilización en la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente.

Para analizar la idoneidad del pretratamiento, se ha llevado a cabo la fabricación de una mezcla bituminosa en caliente de tipo AC 22 base G en la que el árido natural se ha sustituido por AR pretratado. Se han estudiado varios porcentajes de sustitución: 5%, 10%, 20% y 30% de AR pretratado sobre el peso total del árido. En todos los casos se ha utilizado como filler cemento Portland gris. El betún empleado en la fabricación ha sido un B50/70 en porcentajes del 3,5%, 4,0% y 4,5% sobre mezcla.

Para analizar el comportamiento frente a la acción del agua de la citada mezcla, se han llevado a cabo ensayos de tracción indirecta tras inmersión. Así mismo se ha analizado la resistencia a la deformación permanente mediante el ensayo de carga axial repetida y la rigidez y la fatiga a tracción indirecta. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios.

## **1 INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, se han llevado a cabo varias investigaciones relativas a la utilización de áridos reciclados (AR) procedentes de residuos de construcción y

demolición (RCD) en la fabricación de mezclas bituminosas, tanto en caliente como en frío.

El empleo de AR como materia prima en la fabricación de mezclas bituminosas promueve el desarrollo sostenible y presenta numerosas ventajas medioambientales. Cabe destacar entre ellas, la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como del consumo de agua y energía, derivados del proceso de extracción de áridos naturales; la reducción en la generación de ruidos, polvo y vibraciones, ocasionados por la obtención de materias primas; las afecciones visuales y paisajísticas generadas por el vertido de los residuos de construcción y demolición; el agotamiento de recursos naturales; etc.

Sin embargo, el mortero adherido a la superficie del AR (figura 1) provoca que las propiedades de los AR sean diferentes de las del árido natural. Por ello, también las propiedades de las mezclas bituminosas fabricadas con AR serán diferentes de las propiedades de las mezclas fabricadas utilizando exclusivamente árido natural.



*Figura 1. Detalle del mortero adherido a la superficie del AR.*

En este sentido, la mayor parte de los investigadores coinciden en afirmar que la resistencia a la acción del agua es uno de los puntos débiles en el comportamiento de este tipo de mezclas. Por ello, para mejorar su sensibilidad al agua adoptan diferentes medidas. Una de ellas consiste en limitar el porcentaje de sustitución del árido natural por AR y, además, lo emplean mayoritariamente en la fracción gruesa, que es menos sensible a la acción del agua que la fina. Otra medida consiste en tratar el AR antes de su utilización en la fabricación de mezclas bituminosas. Dentro de los estos últimos, destacan Lee et al. (2012) y Zhu et al. (2012), que consiguieron mejorar la sensibilidad al agua de las mezclas, recubriendo el AR con una pasta de cemento y con una resina de silicona líquida, respectivamente. También Pasandín y Pérez (2013) consiguieron resultados satisfactorios dejando la mezcla bituminosa fabricada con sustitución parcial de AR en la estufa durante 4 horas a la temperatura de mezclado, con anterioridad a su compactación. Así, se consigue que el mortero adherido absorba una mayor cantidad de betún, ayudando a obturar sus poros y, por tanto, a reducir las posibles vías de entrada del agua.

Siguiendo con la línea de estas últimas investigaciones, en la presente comunicación se describen los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio de una mezcla

bituminosa en caliente para capa de base de tipo AC 22 base B50/70 G, fabricada con árido natural y AR en diferentes porcentajes: 5%, 10%, 20% y 30% (sobre el peso total del árido). La novedad de la investigación radica en que el AR utilizado se somete a un nuevo pretratamiento que pretende mejorar la resistencia a la acción del agua de la mezcla bituminosa.

Este pretratamiento consiste en envolver el AR con un 5% en peso de emulsión bituminosa de tipo ECL-2d, con anterioridad a su utilización en la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente. Con ello se pretende conseguir que la emulsión obture los poros del mortero adherido a la superficie del AR, cerrando posibles vías de entrada del agua. Además, se busca mejorar la adhesividad del AR con el betón y conseguir que el mortero adherido a la superficie del AR no se fragmente durante los procesos de mezclado y compactación posteriores.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Áridos y filler

En la presente investigación se han fabricado mezclas bituminosas en caliente en las que el árido natural ha sido parcialmente sustituido por AR. Por tanto, se han utilizado dos tipos de árido: árido natural y AR.

El árido natural es una corneana suministrada por la cantera que Áridos de Astariz, S.A. dispone en Toén (Ourense).

El AR procede de los residuos generados durante la demolición de edificios residenciales en Madrid. Fue suministrado por la empresa Tecnología y Reciclado, S.L. Como puede apreciarse en la figura 2, está compuesto en su mayor parte (89,3%), por hormigón y materiales pétreos.

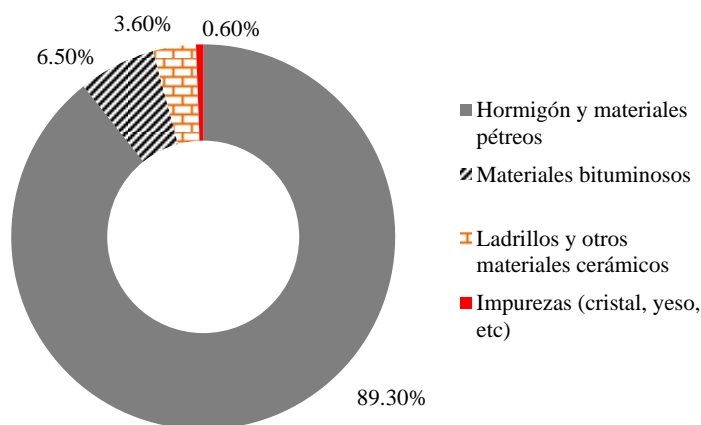


Figura 2. Composición del AR determinada siguiendo la norma UNE-EN 933-1.

El análisis del cumplimiento de las especificaciones exigidas por el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para las Obras de Carreteras y Puentes, en adelante PG-3, tanto para el AR como para el árido natural, se incluye en la tabla 1.

Propiedad	Norma de ensayo	AR	Corneana	Requisitos del PG-3 (*)		
				T00-T1	T3-T2	T4
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	EN-1097-6	2.63	2.79	-		
Absorción de agua (%)	EN 1097-6	5.08	1.08	-		
Equivalente de arena (%)	EN 933-8	67	61	≥ 50		
Coefficiente de Los Ángeles (%)	EN 1097-2	32	14.1	≤ 25	≤ 30	-

(\*) Las categorías de tráfico pesado (T00, T0, T1, T2, T3 y T4) son función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) de la siguiente forma:

T00: IMDp ≥ 4.000 vehículos pesados/día

T0: 4.000 > IMDp ≥ 2.000 vehículos pesados/día

T1: 2.000 > IMDp ≥ 800 vehículos pesados/día

T2: 800 > IMDp ≥ 200 vehículos pesados/día

T3: 200 > IMDp ≥ 50 vehículos pesados/día

T4: IMDp < 50 vehículos pesados/día

**Tabla 1. Análisis del cumplimiento de las especificaciones del PG-3 tanto para el AR como para el árido natural.**

Como puede apreciarse en la tabla 1, ambos áridos cumplen con las especificaciones del PG-3 para la categoría de tráfico pesado más elevado, la T00. La única excepción la constituye el coeficiente de Los Ángeles del AR, ya que es demasiado elevado, por lo que el AR solo cumple para categoría de tráfico pesado T3-T2.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, en la presente investigación se utilizan porcentajes de sustitución del árido natural por AR del 5%, 10%, 20% y 30%. Se ha determinado el coeficiente de Los Ángeles para las citadas combinaciones de árido natural y árido reciclado, obteniendo los valores que se incluyen en la tabla 2. Como puede verse, todos ellos son inferiores al 25%, cumpliendo así con el requisito exigido por el PG-3 para la categoría de tráfico pesado T00.

% de AR	% de corneana	Coefficiente de Los Ángeles
0	100	14,2
5	95	15,6
10	90	16,7
20	80	18,6
30	70	19,9

**Tabla 2. Coeficiente de Los Ángeles para combinaciones de árido natural (corneana) con diferentes porcentajes de AR.**

Como filler se ha utilizado cemento Portland gris comercial, de tipo CEMII/B-M (V-L) 32,5 N, con una densidad de 3,10 g/cm<sup>3</sup>.

## 2.2 Materiales bituminosos

Para el pretratamiento del AR se ha utilizado una emulsión bituminosa catiónica de rotura lenta de tipo ECL-2d, con un porcentaje de betún del 61,2%.

Para la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente se ha utilizado un betún de tipo B50/70 con una penetración a 25°C de 52 décimas de mm (según NLT-124) y un punto de reblandecimiento anillo y bola de 54,9°C (según la norma UNE-EN 1427).

## 2.3 Tipo de mezcla bituminosa

Para estudiar la idoneidad del pretratamiento, se ha llevado a cabo la fabricación de una mezcla bituminosa en caliente para capa de base, de tipo AC 22 base G, especificada en el artículo 542 del PG-3. Su granulometría puede verse en la figura 3.

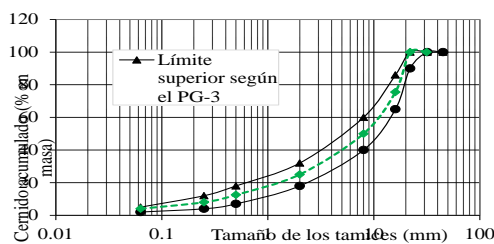


Figura 3. Granulometría de la AC 22 base G.

## 2.4 Fabricación de probetas para los ensayos de laboratorio

Se han fabricado probetas cilíndricas Marshall de 101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura, siguiendo del procedimiento descrito en la norma NLT-159/86. Para su compactación se han aplicado 50 golpes por cara para la determinación de la sensibilidad al agua y 75 golpes por cara para la determinación de las propiedades mecánicas y volumétricas.

Como se ha comentado anteriormente se ha sustituido parcialmente el árido natural (corneana) por AR pretratado, en porcentajes del 5%, 10%, 20% y 30% sobre el peso del árido. La sustitución se ha realizado en la fracción gruesa, que es menos sensible a la acción del agua. En concreto, se ha realizado la sustitución en la fracción 8/16 mm. Para el porcentaje de sustitución del 30% también fue necesario utilizar la fracción 4/8 mm, además de la fracción 8/16 mm.

El AR que se utilizó estaba pretratado. Es decir, el AR se envolvió con un 5% (sobre el peso del AR) de ECL-2d y se esperó a que se produjera su rotura (figura 4), antes de utilizarlo en la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente.



*Figura 4. Detalle del AR pretratado (envuelto con un 5% sobre su peso de ECL-2d).*

Para cada uno de los porcentajes de AR pretratado, se ensayaron contenidos de betún del 3,5%; 4,0% y 4,5% sobre el peso total de la mezcla.

## **2.5 Descripción de los ensayos de laboratorio llevados a cabo**

### *Propiedades volumétricas:*

Para todos los porcentajes de AR (5%, 10%, 20% y 30%) y todos los contenidos de betún (3,5%; 4,0% y 4,5%) se determinaron los huecos en mezcla ( $V_a$ ), es decir, los huecos de aire siguiendo la norma UNE-EN 12697-8. Para ello fue preciso determinar densidades aparentes (UNE-EN 12697-6) y densidades máximas (UNE-EN 12697-5). El PG-3 exige un contenido de huecos en mezcla entre el 4% y el 7%, para que las mezclas de tipo AC 22 base G sean aptas para categorías de tráfico pesado T00 a T0 y entre el 4% y el 8% para las restantes categorías.

### *Resistencia a la acción del agua:*

Con el fin de determinar la resistencia a la acción del agua se realizó el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 12697-12.

Para este ensayo se fabricó, para cada contenido de betún y para cada porcentaje de AR, una serie de 10 probetas: 5 para el grupo seco y 5 para el grupo húmedo. El grupo húmedo se saturó y se mantuvo en un baño de agua a 40°C durante 3 días. Durante todo ese tiempo, el grupo seco se mantuvo a temperatura ambiente. Posteriormente,

las probetas de ambos grupos, el húmedo y el seco, se acondicionaron durante 2 horas a 15°C y se procedió a su rotura a tracción indirecta.

La resistencia a la acción del agua se determinó como sigue:

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_D} \times 100$$

Donde ITSR = Resistencia conservada a tracción indirecta (%). El PG-3 exige un  $ITSR \geq 80\%$  para la AC 22 base G;  $ITS_w$  = resistencia media a tracción indirecta del grupo húmedo (MPa);  $ITS_D$  = resistencia media a tracción indirecta del grupo seco (MPa)

#### Rigidez:

Para analizar la rigidez, se determinó el módulo resiliente a tracción indirecta, siguiendo el procedimiento descrito en el Anexo C de la norma UNE-EN 12697-26.

Para este ensayo se fabricó una probeta para cada contenido de betún y para cada porcentaje de AR. Utilizando la NU 14 de Cooper, se sometieron las probetas a 5 pulsos de acondicionamiento de tipo semiverseno, aplicados a lo largo del diámetro vertical de la probeta. El tiempo de subida fue de  $124 \pm 4$  ms y el período de repetición fue de  $3 \pm 0,1$  seconds. La máxima carga se seleccionó para producir una deformación máxima del 0,005% del diámetro de la probeta.

Se obtuvo el módulo resiliente a 20°C, en cámara climática, de la siguiente forma:

$$M_R = \frac{F \times (v + 0.27)}{z \times h}$$

Donde  $M_R$  = módulo resiliente (MPa). El PG-3 no incluye requisitos de módulo resiliente para una AC 22 base G; F = carga máxima (N); z = deformación horizontal recuperable (mm); h = espesor de la probeta (mm); v = coeficiente de Poisson. Siguiendo lo indicado en la norma UNE-EN 12697-26, se supuso un valor de 0,35.

#### Resistencia a la deformación permanente:

Con el fin de determinar la resistencia a la deformación permanente se llevó a cabo el ensayo de carga repetida sin confinamiento, siguiendo el procedimiento descrito en la norma DD 226:1996 de la British Standards Institution.

Para este ensayo se fabricó una probeta para cada contenido de betún y para cada porcentaje de AR. Utilizando la NU 14 de Cooper se aplicó a cada probeta una precarga de 10kPa de compresión axial durante  $600 \pm 6$  segundos. Después, cada muestra se sometió a 1.800 ciclos de carga. Estos ciclos de carga eran pulsos rectangulares de  $100 \pm 2$  kPa de nivel tensional máximo, 1 segundo de duración y 1 segundo de período de descanso entre pulsos. El ensayo se llevó a cabo a 30°C en cámara climática.

Para calcular la deformación axial permanente, se utilizó la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{d(n,T)} = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100$$

Donde  $\varepsilon_{d(n,T)}$  = deformación axial permanente (en %) tras n aplicaciones de la carga a una temperatura de T °C;  $h_0$  = distancia inicial entre los dos platos de carga (mm);  $\Delta h$  = acortamiento axial permanente (mm).

### Resistencia a la fatiga:

Para analizar la resistencia a la fatiga a tracción indirecta se siguió el Anexo C de la norma UNE-EN 12697-24.

Para este ensayo se fabricó, para cada porcentaje de AR y para un único contenido de betún (4,0%), una serie de 10 probetas, que se ensayaron a 3 niveles tensionales diferentes (150kPa, 200 kPa y 250 kPa).

Con la NU14 de Cooper las probetas se sometieron a cargas repetidas de tipo semiverseno a 20°C hasta el fallo de las mismas, por su rotura total o por deformaciones diametrales excesivas (superiores al 10% de su diámetro).

La vida a fatiga se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_0 = k \cdot N_f^{-n}$$

Donde  $N_f$  = número de ciclos de carga hasta la rotura de la probeta; k y n = constantes del material obtenidas en el ensayo de fatiga y  $\varepsilon_0$  = deformación horizontal inicial (ciclo 10) de tracción en el centro de la probeta en  $\mu\varepsilon$ .

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Propiedades volumétricas

En la tabla 3 puede verse el contenido de huecos en mezcla obtenido:

	5% AR	10% AR	20% AR	30% AR
3,5% de betún	<b>6,74%</b>	<b>6,08%</b>	<b>6,32%</b>	9,28%
4,0% de betún	<b>6,18%</b>	<b>4,85%</b>	<b>5,00%</b>	<u>7,93%</u>
4,5% de betún	3,59%	3,16%	<b>6,39%</b>	<b>5,24%</b>

Tabla 3. Va obtenidos para cada porcentaje de AR y cada contenido de betún ensayado.

En la tabla 3 aparecen en negrita los valores que son adecuados para categorías de tráfico pesado T00 a T0. Aparecen subrayados los valores que son adecuados para



las restantes categorías de tráfico pesado. Los demás valores no son adecuados para mezclas para capa de base, según lo indicado en el PG-3.

### 3.2 Resistencia a la acción del agua

En la tabla 4 pueden verse los valores del ITSr obtenidos.

	5% AR	10% AR	20% AR	30% AR
3,5% de betún	86,50%	84,95%	72,63%	88,57%
4,0% de betún	82,10%	86,82%	89,12%	86,32%
4,5% de betún	96,86%	87,93%	95,76%	88,36%

Tabla 4. ITSr obtenidos para cada porcentaje de AR y cada contenido de betún ensayado.

Como puede apreciarse en la tabla 4, salvo la excepción del 20% de AR y 3,5% de betún, todas las combinaciones ensayadas presentan un ITSr  $\geq 80\%$  exigido por el PG-3.

Estos resultados demuestran la efectividad del pretratamiento a la hora de garantizar una adecuada sensibilidad al agua de las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con sustitución parcial de árido natural por AR.

### 3.3 Rigidez

La figura 5 muestra los valores del módulo resiliente obtenidos para mezclas fabricadas con un 5%, 10%, 20% y 30% de AR y contenidos de betún del 3,5%; 4,0% y 4,5%. Puesto que el PG-3 no incluye requisitos del módulo resiliente para mezclas AC 22 base B50/70 G, se analizó una mezcla de control, es decir, fabricada con un 0% de AR, con el fin de comparar.

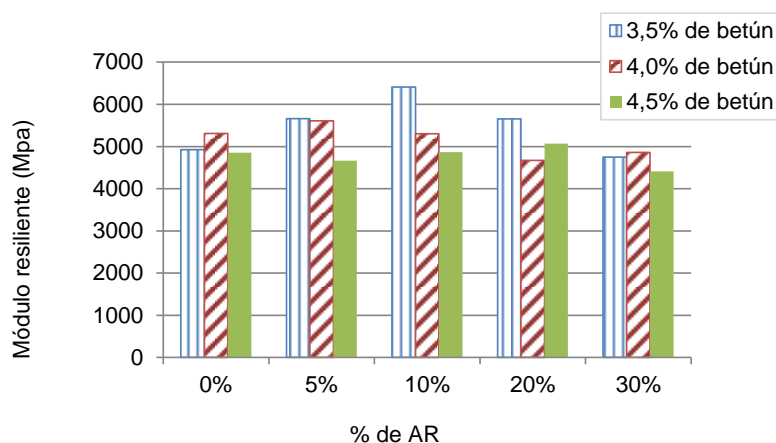


Figura 5. Módulo resiliente a 20°C.

Como puede apreciarse en la figura 5, las mezclas fabricadas con AR pretratado presentan valores del módulo resiliente similares a los obtenidos con la mezcla de control.

### 3.4 Resistencia a la deformación permanente

Al igual que en el caso anterior, puesto que no hay especificaciones del PG-3 para una AC 22 base B50/70 G para este ensayo, se ensayó una mezcla de control, es decir, una mezcla con un 0% de AR.

Las figura 6 a 8 muestran la deformación permanente en función del número de ciclos para contenidos de betún del 3,5%; 4,0% y 4,5%, respectivamente.

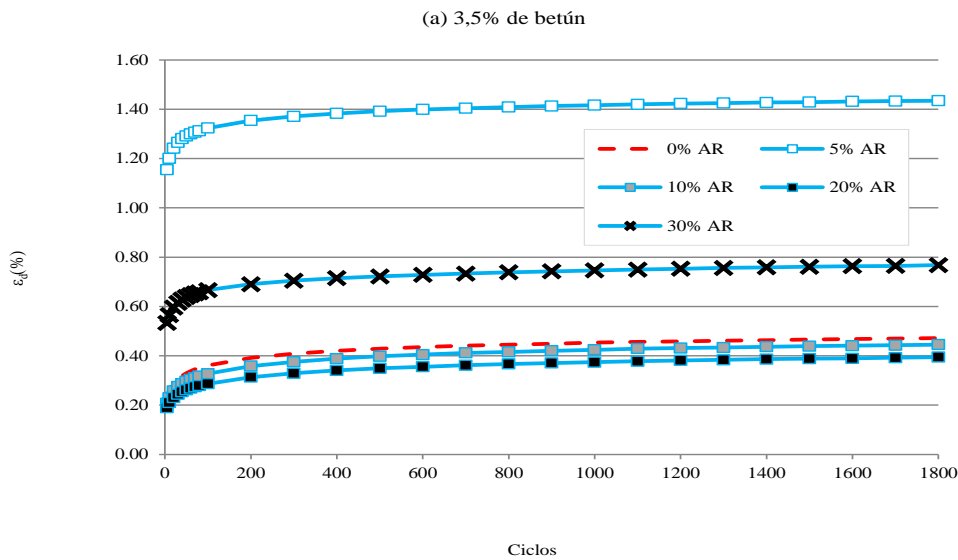


Figura 6. Resistencia a la deformación permanente. Probetas con 3,5% de betún.

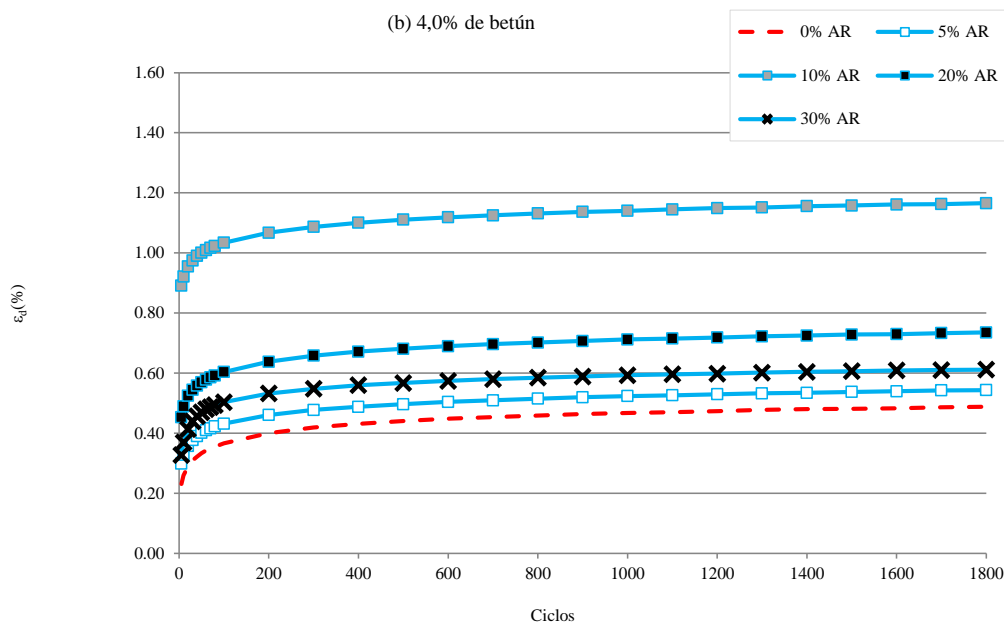


Figura 7. Resistencia a la deformación permanente. Probetas con 4,0% de betún.

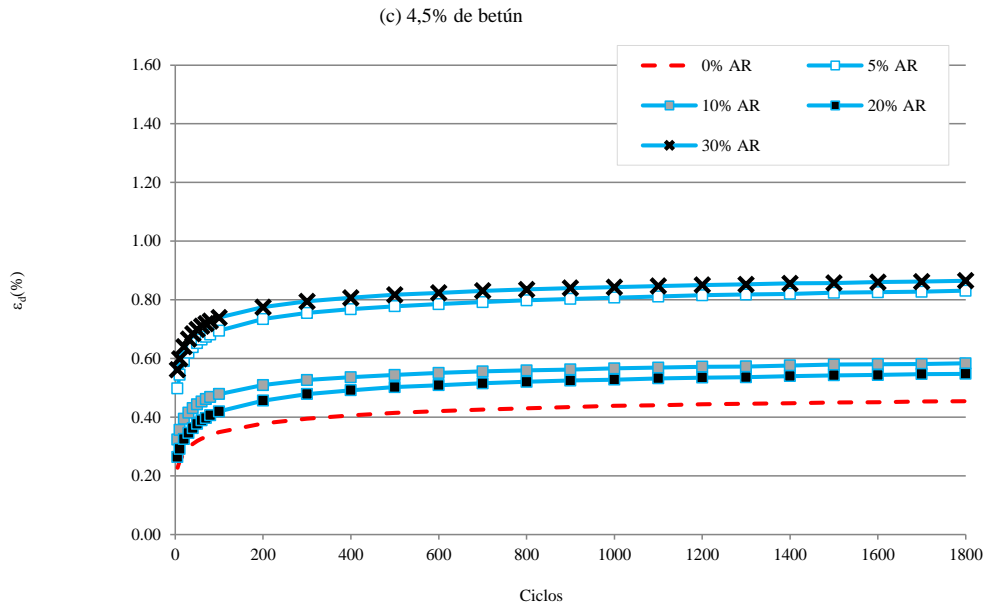


Figura 8. Resistencia a la deformación permanente. Probetas con 4,5% de betún.

Puede verse en las figuras 6 a 8 que, en general, la mezcla de control presenta una menor deformación final. La mayor densificación inicial que presentan las probetas fabricadas con AR pretratado (más rugoso y difícil de compactar que el natural) da lugar a este comportamiento.

Sin embargo, la pendiente media de deformación es muy similar en todos los casos. Por ello, puede afirmarse que la susceptibilidad a la formación de roderas será muy similar en las mezclas fabricadas con AR pretratado y en las mezclas convencionales.

### 3.5 Resistencia a la fatiga

La tabla 5 muestra los valores a y b de la ley de fatiga de las mezclas ensayadas. Igual que en los dos apartados anteriores, se incluyó una mezcla de control (0% de AR), para comparar.

	0% AR	5% AR	10% AR	20% AR	30% AR
a	10.279	10.580	10.808	3.579	6.604
b	0,319	0,326	0,326	0,221	0,281

Tabla 5. Coeficientes a y b de las leyes de fatiga de la mezcla AC 22 base B50/70 G fabricada con un 4,0% de betún y diferentes porcentajes de AR pretratado.

Como puede apreciarse en la tabla 5, hasta un 10% de AR pretratado, las leyes de fatiga son muy similares, por lo que la resistencia a la fatiga será muy similar en todos los casos. Para un 20% de AR y un 30% de AR, las leyes de fatiga son ligeramente más tendidas, por lo que, para bajas deformaciones iniciales, la vida a fatiga será ligeramente superior en las mezclas con AR pretratado.

## CONCLUSIONES

En la presente comunicación se describe la investigación llevada a cabo en Laboratorio de Caminos de la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Coruña (UDC) para analizar la idoneidad de pretratar el árido reciclado (AR) procedente de residuos de construcción y demolición (RCD) y así poder emplearlo en la fabricación de una mezcla bituminosa en caliente, sin que la sensibilidad al agua de la misma se vea comprometida.

El pretratamiento investigado consiste en envolver el AR con un 5% (sobre el peso del AR) de emulsión bituminosa catiónica de rotura lenta de tipo ECL-2d. Se debe esperar a que se produzca la rotura de la misma, con anterioridad a emplear el AR en la fabricación de la mezcla bituminosa.

Para estudiar la idoneidad del citado pretratamiento, se ha llevado a cabo la fabricación de una mezcla bituminosa en caliente para capa de base, de tipo AC 22 base B50/70 G en la que el árido natural de tipo silíceo, se ha sustituido por AR pretratado. Con el objetivo de analizar la influencia del contenido de AR en el funcionamiento del pretratamiento, se han fabricado mezclas con varios porcentajes de sustitución de árido natural por AR: 5%, 10%, 20% y 30%. Esta sustitución se ha llevado a cabo en la fracción gruesa, menos sensible que la fina, a la acción del agua. En concreto se ha utilizado la fracción 8/16 mm. Para el porcentaje de sustitución del 30% también fue necesario utilizar la fracción 4/8 mm, además de la fracción 8/16 mm. Para contenidos de ligante del 3,5%; 4,0% y 4,5% se han obtenido valores del ITSr que, en general, son superiores al 80% exigido por el PG-3 para mezclas bituminosas en caliente dispuestas en capa de base de firmes de carreteras. Este resultado pone de manifiesto la idoneidad del pretratamiento estudiado para garantizar una adecuada sensibilidad al agua de las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con AR.

Los huecos en mezcla obtenidos hacen que la mezcla sea apta, con alguna excepción, para las categorías de tráfico pesado más elevadas (T00 y T0).

La rigidez de las mezclas bituminosas fabricadas con AR pretratado ha resultado ser muy similar a la obtenida para mezclas convencionales, es decir, fabricadas con un 100% de árido natural.

Podría decirse lo mismo de la resistencia a la deformación permanente. Aunque, en este caso, es preciso matizar que la mayor rugosidad del AR dificulta la compactación de las mezclas. Por ello, las mezclas fabricadas con AR pretratado sufren, en general, una mayor densificación inicial que las mezclas convencionales, aunque su pendiente media de deformación sea muy similar.

En cuanto a la resistencia a la fatiga, puede decirse que hasta un 10% de AR pretratado, las leyes de fatiga son muy similares, por lo que la resistencia a la fatiga también será muy similar a la de las mezclas convencionales. Para los mayores porcentajes de AR pretratado analizados, es decir, un 20% de AR y un 30% de AR, las leyes de fatiga son ligeramente más tendidas que la obtenida para la mezcla

convencional, por lo que, para bajas deformaciones iniciales, la vida a fatiga será ligeramente superior en las mezclas con AR pretratado.

El pretratamiento descrito en la presente investigación ha sido objeto de una patente de número ES 2425302 B1 (Fecha de publicación de la concesión: 11/08/2014).

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- W.Y. Tam Vivian, C.M. Tam y K.N. Le. "Removal of cement mortar remains from recycled concrete aggregate using pre-soaking approaches". Resources. Conservation and Recycling nº 50, páginas 82 – 101; 2007.

- Y.D. Wong, D.D. Sun y D. Lai. "Value-added utilisation of recycled concrete in hot-mix asphalt". Waste Management and research nº 27, páginas 294 – 301; 2007.

- Waqar Ahmed Gul. Effect of Recycled cement concrete content on rutting behaviour of asphalt concrete. Doctoral Thesis. Middle East Technical University. Ankara; 2008.

- Marta Sánchez de Juan y Pilar Alaejos Gutiérrez. "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate". Construction and Building Materials nº 23, páginas 872 - 877. 2009.

- I. Pérez; A. R. Rodríguez, L. Medina. "Hot mix asphalt using C&D waste as coarse aggregates". Materials & Design nº36, páginas 840-846. 2012.

- Cheng-Hsiao Lee, Jia-Chong Du y Der-Hsien Shen. "Evaluation of pre-coated recycled concrete aggregate for hot mix asphalt". Construction and Building Materials nº 28, páginas 66 - 71. 2012.

- J. Zhu; S. Wu; J. Zhong y D. Wang. "Investigation of asphalt mixture containing demolition waste obtained from earthquake-damaged buildings". Construction and Building Materials nº 29, páginas 466-475. 2012.

- A. R. Pasandín, I. Pérez. "Laboratory evaluation of hot-mix asphalt containing construction and demolition waste ". Construction and Building Materials nº 43, páginas 497-505. 2013.