

# **CARACTERIZACIÓN Y POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE LOS RCD's PROCEDENTES DE LA DEMOLICIÓN DE LA PRISIÓN PROVINCIAL DE CÓRDOBA**

**JOSÉ RAMÓN JIMÉNEZ ROMERO, FRANCISCO AGRELA SÁINZ, MARTÍN LÓPEZ AGUILAR,  
JESÚS AYUSO MUÑOZ, ANTONIO JESÚS GONZÁLEZ BARRIOS**

G.I. "Ingeniería de la Construcción"  
Departamento de Ingeniería Rural  
Universidad de Córdoba

## **RESUMEN**

El presente trabajo ha permitido la caracterización de los residuos de construcción y demolición (RCD's) procedentes del derribo de la cimentación de la antigua Prisión Provincial de Córdoba. Tras una trituración primaria y secundaria, los materiales son sometidos a una trituración con molino de impactos que reduce el material a granulometrías inferiores a 50 mm, posteriormente el material es transportado hasta una criba vibrante de dos tamices que permite obtener tres fracciones de árido reciclado: 0-10 mm, 10-40 mm y mayor de 40 mm.

Para la identificación de cada una de las fracciones se han realizado ensayos en laboratorio de granulometría, plasticidad, contenido en materia orgánica, contenido en sales y yesos, hinchamiento y colapso. Para caracterizar su comportamiento se han realizado principalmente ensayos Proctor e índice C.B.R. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto su excelente comportamiento mecánico y su elevada capacidad de soporte, sin embargo de acuerdo con el contenido en sales solubles y yesos el material se clasifica como suelo tolerable según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). El árido reciclado 10-40 mm no cumple las condiciones granulométricas para su utilización en rellenos tipo terraplén según el PG-3, y se propone continuar la investigación realizando mezclas a distintos porcentajes de las fracciones 0-10 mm y 10-40 mm.

## **INTRODUCCIÓN**

En general el proyecto y construcción de carreteras y obras lineales exige la realización de explanaciones. La explanación es una obra de tierra que conlleva el relleno o la excavación de materiales, de forma que se consiga una superficie de apoyo para el firme. Los rellenos pueden ser tipo terraplén, todo uno o pedraplén.

Convencionalmente, para la formación de rellenos tipo terraplén se utilizan suelos naturales o materiales locales que se obtiene de las excavaciones realizadas en la propia obra. El Artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) establece los criterios generales y las características de los materiales a emplear en estos rellenos, así mismo hace una clasificación atendiendo a las propiedades de los suelos como material para rellenos. Según esta clasificación, los suelos pueden ser seleccionados, adecuados, tolerables, marginales o inadecuados (1).

Además de los suelos naturales, el PG-3 especifica que se podrán utilizar en la formación de terraplenes productos procedentes de la manipulación humana, tales como los residuos de construcción y demolición (RCDs), siempre y cuando cumplan las especificaciones del citado Pliego de Prescripciones.

Los residuos de construcción y demolición (RCDs) proceden en su mayor parte de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas y urbanizaciones (2). Una mala gestión de estos residuos, genera un impacto ambiental negativo que se ha puesto de manifiesto en las últimas décadas (3), (4).

El problema de la gestión de los RCDs se agrava en las zonas periféricas de núcleos urbanos, debido al aumento de la población y a la demanda de construcción de edificación que esto lleva asociado (5).

En España la Ley 10/1998, de 21 de abril (BOE N° 96), que transpone la Directiva Europea 91/156/CEE, establece el marco legal sobre la regulación normativa de residuos. Para el correcto desarrollo de esta ley en España se ha elaborado un Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006 que pretende entre otros objetivos, reciclar o reutilizar el 60% de los RCDs generados en el año 2006.

Por otro lado, desde hace tiempo existen estudios previos que ponen de manifiesto que determinados RCDs se comportan igual que los materiales naturales en obras de infraestructura (6) y que algunos materiales obtenidos a partir de los RCDs cumplen los estándares internacionales de calidad exigidos (7), aunque su comportamiento para ser reutilizados en obra civil depende de su origen y de la gestión del residuo (8).

Sin embargo, la falta de experiencia y de ensayos sobre los áridos reciclados, que permitan su caracterización y la determinación de las posibilidades reales de reutilización, hacen que la mayoría de los ingenieros redactores de proyectos y de los ingenieros directores de obra no consideren los áridos reciclados procedentes de los RCDs como material de construcción en rellenos tipo terraplén.

Esta situación está provocando la acumulación de los RCDs en los vertederos de España, donde el problema cada vez es más grave debido al crecimiento actual del sector de la construcción. Además, según datos de la Comisión Europea, España, junto con Portugal, Grecia e Irlanda es uno de los países de la Unión Europea con menores tasas de reciclaje y reutilización de los RCDs, en torno al 5%, mientras que en Holanda, Bélgica y Dinamarca los porcentajes de reciclado oscilan entre el 80 y 90%.

El principal objetivo de este trabajo es la caracterización y clasificación de acuerdo con la norma española PG-3 de una mezcla de áridos reciclados procedentes de la demolición de una cimentación y la evaluación de sus posibilidades de reutilización en rellenos tipo terraplén.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Procedencia y tratamiento de los RCDs**

Los RCDs proceden de la demolición de la cimentación de la antigua Prisión Provincial de Córdoba, situada en el casco urbano de la capital cordobesa. La antigua prisión comenzó a construirse en 1937 y sus obras terminaron en 1941.

Tras el derribo de la cimentación, se llevó a cabo una trituración primaria y secundaria, el residuo obtenido era transportado en camiones a una instalación de tratamiento de tipo fijo propiedad de la empresa encargada de la demolición. Durante el proceso hay una selección en origen, ya que se evita que se mezclen los residuos procedentes de la cimentación con otros RCDs.

Una vez en la planta de tratamiento se hace un triaje manual en la zona de descarga de los camiones, el triaje pretende eliminar los plásticos, metales y demás elementos contaminantes que pudieran llevar los RCDs. Posteriormente el material es reducido de tamaño mediante un molino de impacto. Tras la trituración se realiza un nuevo triaje manual sobre cinta transportadora y de metales mediante separador ferromagnético. Los residuos contaminantes separados son almacenados en contenedores específicos para cada residuo situados bajo la zona de triaje.

Se toma una muestra suficientemente representativa del árido procedente de la cinta de triaje y se lleva al laboratorio. Una vez en el laboratorio, se utilizan dos cribas de apertura de malla de 10 mm y de 40 mm para obtener tres fracciones de árido de distinto tamaño de partícula que llamamos: árido 0-10 mm, árido 10-40 mm y árido > 40 mm. Lo que reproduce el tratamiento de cribado que se realiza en la Planta de tratamiento de los RCDs.

En la figura 1 y figura 2 se puede observar el árido reciclado de tamaño 0-10 mm y el árido reciclado 10-40 mm.



**Figura 1.** Árido reciclado de tamaño 0-10 mm

En la tabla 1 se recoge la composición del árido reciclado de fracción 10-40 mm. El reducido tamaño de las partículas de la fracción 0-10 mm no permite determinar su composición.



**Figura 2.** Árido reciclado de tamaño 10-40 mm

**Tabla 1.** Composición del árido reciclado 10-40 mm

Composición	Hormigón Mortero Piedra Otros áridos	Ladrillos Azulejos Otros cerámicos	Madera Vidrio Plásticos Metales Asfalto Papel Otras basuras	Yeso
Árido 10-40 mm	94,30 %	5,10 %	0,57 %	0,03 %

### Ensayos de laboratorio

Se han realizado los ensayos de laboratorio necesarios para clasificar los áridos reciclados como material de uso en rellenos tipo terraplén.

Los ensayos geotécnicos se han realizado en el laboratorio del Área de Ingeniería de la Construcción del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad de Córdoba, ubicado en le E.U.P. de Belmez (Córdoba). Los ensayos y normas utilizadas han sido los siguientes:

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado según UNE 103101:1995
- Determinación del límite líquido por el método de Casagrande según UNE 103103:1994
- Determinación del límite plástico de un suelo según UNE 103104:1993
- Ensayo de compactación. Proctor normal según UNE 103500:1994
- Ensayo de compactación. Proctor modificado según UNE 103501:1994

- Ensayo para determinar en laboratorio el índice C.B.R. según UNE 103502:1995
- Ensayo de hinchamiento libre de un suelo en edómetro según UNE 103601:1996
- Ensayo de colapso en suelos según NLT-254/99

Los ensayos de caracterización química se han realizado en el Laboratorio de la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, Delegación Provincial de Córdoba. Los ensayos y normas utilizadas han sido los siguientes:

- Contenido en materia orgánica oxidable por el método del permanganato potásico según UNE 103204: 1993
- Determinación del contenido en sales solubles de los suelos según NLT-114/99
- Contenido de yeso en suelos según NLT-115/99

Con objeto de minimizar la influencia de factores externos, cada ensayo de laboratorio se repite cuatro veces.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Granulometría

La tabla 2 muestra la granulométrica de los áridos reciclados de tamaño 0-10 mm y 10-40 mm. De acuerdo con el Artículo 330.3.2 de PG-3, los rellenos tipo terraplén estarán constituidos por materiales que cumplan alguna de las dos condiciones granulométricas siguientes: que el material que pasa por el tamiz de apertura 20 mm sea mayor del 70% o que el material que pasa por el tamiz de apertura 0,08 mm sea superior al 35%. En el árido reciclado 0-10 mm más del 70% pasa por el tamiz de 20 mm, por lo que cumple las características para su utilización en rellenos tipo terraplén.

El árido reciclado 10-40 mm no cumple las condiciones granulométricas exigidas a los rellenos tipo terraplén, no se realizan más ensayos a este material.

**Tabla 2.** Granulometría de árido reciclado 0-10 mm y árido reciclado 10-40 mm según UNE 103101

Tamaño de partícula (mm)	Porcentaje que pasa (%)	
	Árido reciclado 0-10 mm	Árido reciclado 10-40 mm
40	-	100,00
25	-	80,32
20	-	60,58
12,5	-	26,26
10	100,00	11,87
5	77,82	5,37
2	61,19	5,23
1,25	51,23	-
0,4	33,98	-
0,16	22,24	-
0,08	16,05	-

## Ensayos de compactación

La figura 3 muestra los resultados de los ensayos de compactación Proctor Normal (PN) y Proctor modificado (PM). De los valores medios de los ensayos realizados obtenemos una densidad seca máxima de  $1,76 \text{ g/cm}^3$  para una humedad óptima proctor normal del 16,7% y una densidad seca máxima de  $1,92 \text{ g/cm}^3$  para una humedad óptima proctor modificado del 12,2%.

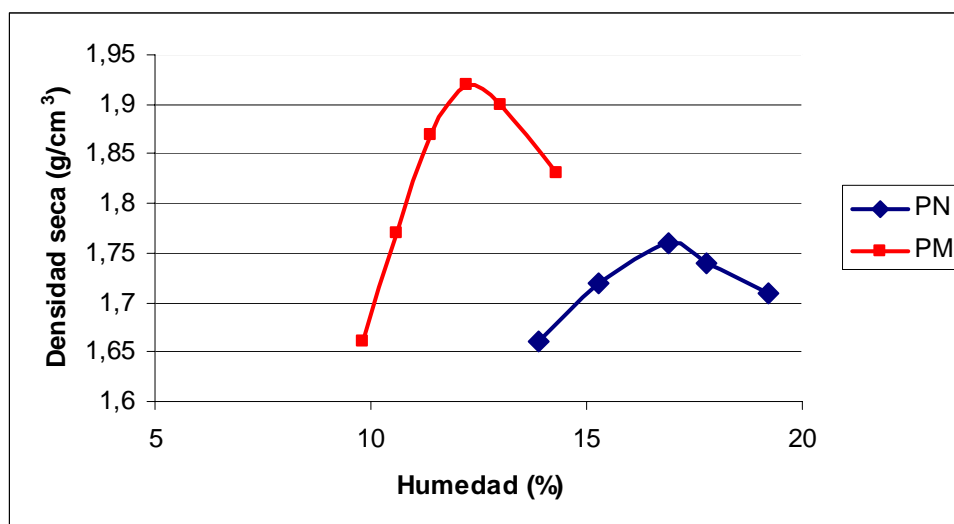


Figura 3. Ensayos de compactación PN y PM. Árido reciclado 0-10 mm

## Índice C.B.R.

Se prepararon tres moldes con un 25%, 50% y 100% de la energía correspondiente al ensayo de compactación Proctor Normal. Se mantienen los moldes en inmersión durante 4 días y con una sobrecarga de 4,5 kg. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3. La figura 4 representa la variación del índice C.B.R. con la densidad del molde.

Tabla 3. Ensayos determinación índice CBR. Árido reciclado 0-10 mm

	Densidad MOLDE ( $\text{g/cm}^3$ )	CBR
Muestra 1	1,77	36
Muestra 2	1,76	39
Muestra 3	1,78	34
Muestra 4	1,78	41
<b>Medias</b>	<b>1,76 (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>37,5 %</b>

## Límites de Atterberg

La mezcla ensayada no tiene límite líquido. El material es no plástico.

## Caracterización química

Los resultados de la caracterización química se recogen en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de los ensayos para la caracterización química. Árido reciclado 0-10 mm

Ensayo	Contenido
Materia orgánica UNE 103204: 1993	0,6 %
Sales solubles NLT 114/99	1,0 %
Yeso NLT 115/99	0,6 %

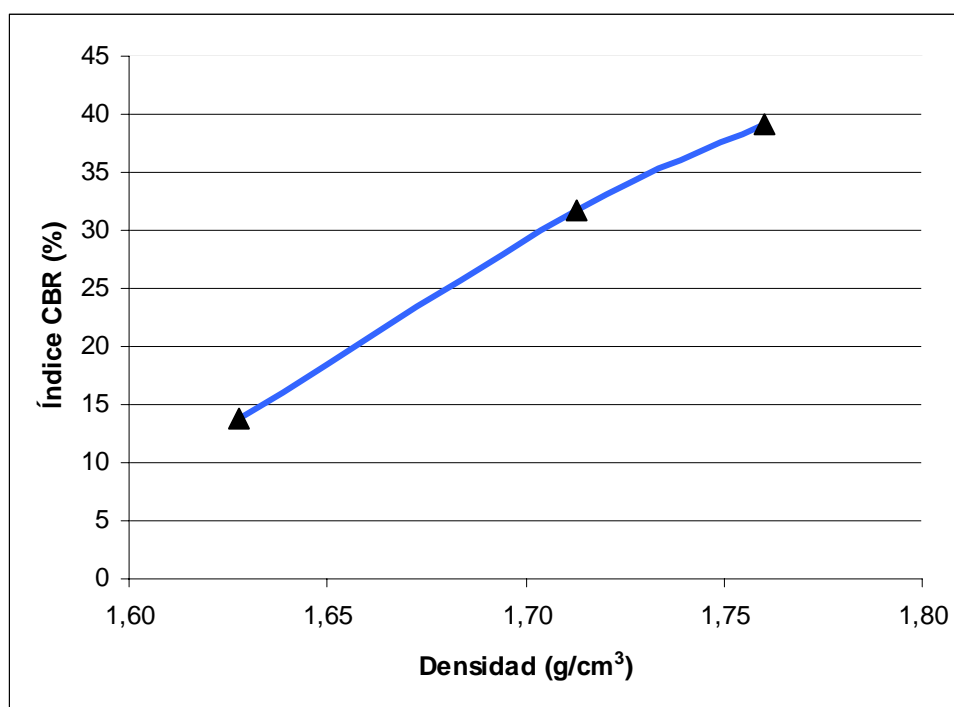


Figura 4. Evolución índice CBR – densidad seca del molde. Árido reciclado 0-10 mm

### Clasificación según norma española PG-3

Las tablas 5, 6 y 7 indican el grado de cumplimiento según la clasificación de los materiales para rellenos tipo terraplén realizada en el Artículo 330 del PG-3 para suelo seleccionado, suelo adecuado y suelo tolerable respectivamente.

Tabla 5. Grado de cumplimiento de las especificaciones del PG-3 a Suelo Seleccionado para tipo terraplén. Árido 0-10 mm

CARACTERÍSTICAS		SUELO SELECCIONADO (ART.330.3.3.1)	RESULTADO	CUMPLE (SI/NO)
Granulometría UNE 103-101	-Pasa por el tamiz 20 mm o -Pasa por el tamiz 0,08mm	(# 20 > 70%) o (# 0,08 ≥ 35%)	#20 = 100% o #0,08 = 13,99%	<b>SI</b>
	Tamaño máximo ( D <sub>max</sub> )	D <sub>max</sub> < 100 mm	D <sub>max</sub> = 10 mm	<b>SI</b>
	Otras condiciones	a)# 0,40 ≤ 15% o b.1) # 2 < 80% b.2) # 0,4 < 75% b.3) # 0,08 < 25%	#0,40 = 34,30% o #2 = 64,47% #0,4 = 34,30% #0,08 = 13,99%	a) <b>NO</b> o b.1) <b>SI</b> b.2) <b>SI</b> b.3) <b>SI</b>
Plasticidad (UNE 103-103) (UNE103-104)	Exento de estas condiciones si se cumple la condición de granulometría. a) # 0,4 ≤ 15%	b.4) LL < 30 y b.5) IP < 10	No plástico	<b>SI</b>
Contenido en materia orgánica (UNE 103-204)	Contenido en materia orgánica inferior al cero dos por ciento	MO < 0,2%	0,6 %	<b>NO</b>
Contenido en sales solubles, incluido yeso (NLT 114)	Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso < 0,2%	SS < 0,2%	1,0 %	<b>NO</b>



**Tabla 6.** Grado de cumplimiento de las especificaciones del PG-3 a Suelo adecuado para tipo terraplén. Árido 0-10 mm

CARACTERISTICAS		SUELO ADECUADO (ART.330.3.3.2)	RESULTADO	CUMPLE (SI/NO)
Granulometría UNE 103-101	-Pasa por el tamiz 20 mm o -Pasa por el tamiz 0,08mm	(# 20 > 70%) o (# 0,08 ≥ 35%)	# 20 = 100% o (# 0,08=13,99%)	<b>SI</b>
	Tamaño máximo ( D <sub>max</sub> )	D <sub>max</sub> < 100 mm	D <sub>max</sub> = 10 mm	<b>SI</b>
	Otras condiciones	# 2 < 80% y # 0,08 < 35%	# 2 = 64,47% y # 0,08 = 13,99%	<b>SI</b>
	Plasticidad (UNE 103-103) (UNE103-104)	Limite Liquido (LL) Índice de plasticidad ( IP) LL<40 o ( Si LL>30 el IP >4)	No plástico	<b>SI</b>
Contenido en materia orgánica (UNE 103-204)	Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento	MO< 1%	0,6 %	<b>SI</b>
Contenido en sales solubles, incluido yeso (NL 114)	Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso < 0,2%	SS < 0,2%	1,0 %	<b>NO</b>

**Tabla 7.** Grado de cumplimiento de las especificaciones del PG-3 a Suelo tolerable para tipo terraplén. Árido 0-10 mm

CARACTERISTICAS		SUELO TOLERABLE (ART.330.3.3.3)	RESULTADO	CUMPLE (SI/NO)
Granulometría UNE 103-101	-Pasa por el tamiz 20 mm o -Pasa por el tamiz 0,08 mm	(# 20 > 70%) o (# 0,08 ≥ 35%)	# 20 = 100% o (#0,08=13,99%)	<b>SI</b>
	-----	-----	-----	-----
	-----	-----	-----	-----
Plasticidad (UNE 103-103) (UNE103-104)	Limite Liquido (LL) Índice de plasticidad ( IP)	LL< 65 o ( Si LL>40 el [IP > 0,73 (LL-20)]	No plástico	<b>SI</b>
Contenido en materia orgánica (UNE 103-204)	Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento	MO < 2 %	0,6 %	<b>SI</b>
Contenido en otras sales solubles, distintas del yeso (NL 114)	Contenido en sales solubles en agua, no incluido el yeso	SS (no incluido yeso) < 1 %	0,4 %	<b>SI</b>
Contenido en yeso NLT 115	Contenido en yeso	Yeso < 5 %	0,6 %	<b>SI</b>
Ensayo de colapso NLT 254	Asiento en ensayo de colapso inferior al 1%	Asiento < 1 %	No hay asiento	<b>SI</b>
Ensayo de expansión UNE 103-601	Hinchamiento en ensayo de expansión inferior 3%	Hinchamiento < 3 %	No hay hinchamiento	<b>SI</b>



De la tabla 5 se puede observar que se cumplen las condiciones de granulometría y plasticidad, pero no se cumplen los límites de materia orgánica ni sales solubles. La mezcla caracterizada no se puede clasificar como suelo seleccionado.

De la tabla 6 se puede observar que se cumplen las condiciones de granulometría, plasticidad y materia orgánica, pero no se cumplen los límites de sales solubles. La mezcla caracterizada no se puede clasificar como suelo adecuado.

De la tabla 7 se puede observar que se cumplen todas las condiciones especificadas en el PG-3. La mezcla caracterizada se clasifica como suelo tolerable.

### **Posibilidades de reutilización en rellenos tipo terraplén**

De acuerdo con el Artículo 330.4 del PG-3, la mezcla caracterizada no es apta para la formación de la coronación del relleno tipo terraplén, donde se exige la utilización de suelos adecuados o seleccionados.

Para núcleos de rellenos tipo terraplén el material es apto, ya que el Pliego admite la utilización de suelos tolerables, adecuados o seleccionados con un índice C.B.R. correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a 3. De acuerdo con el Artículo 330.4.4 el material se podrá utilizar en el núcleo de terraplenes sin necesidad de tomar ninguna precaución especial en la ejecución de la coronación o espaldones, ya que el contenido en yesos está comprendido entre el 0,2 y el 2% y el contenido de sales solubles distintas del yeso está entre el 0,2 y el 1%. Además, el material tiene un contenido en materia orgánica inferior al 2%, lo que nos permite ejecutar terraplenes con la mezcla caracterizada de más de 5 m de altura

Por otro lado, según la Norma 6.1 de firmes, si el tipo de suelo de la explanación (desmontes) o de la obra de tierra subyacente (terraplenes, pedraplenes o rellenos todo uno) es inadecuado o marginal, se admite en la formación de explanadas de categoría E1 la utilización de 60 cm de suelo tolerable + 30 cm de suelo estabilizado in situ (Art 512 del PG-3) o de 70 cm de suelo tolerable + 35 cm de suelo seleccionado. Así mismo se admite en explanadas de categoría E2 la utilización de 70 cm de suelo tolerable + 30 cm de suelo estabilizado in situ o de 80 cm de suelo tolerable + 40 cm de suelo seleccionado con un C.B.R. mayor o igual que 20 en las condiciones de puesta de obra.

### **CONCLUSIONES**

El presente trabajo ha abordado la caracterización de dos áridos reciclados de tamaño 0-10 mm y 10-40 mm procedentes de la demolición de una cimentación. Los ensayos de laboratorio realizados han permitido determinar algunas de sus propiedades geotécnicas y su clasificación como material para utilizar en rellenos tipo terraplén de acuerdo con el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

El árido 0-10 se clasifica como Suelo Tolerable, siendo admitido su uso en la formación de núcleos de terraplenes de más de 5 m de altura sin necesidad de tomar ninguna precaución especial en la ejecución de la coronación o espaldones. Tiene un elevado índice C.B.R. Por otro lado la Norma 6.1-I.C. de firmes admite en la formación de Explanadas de categoría E1 y E2 la utilización de suelo tolerable si el suelo de la explanación o de la obra de tierra subyacente es inadecuado o marginal.

El árido 10-40 mm no cumple las condiciones granulométricas para ser clasificado como suelo en rellenos tipo terraplén. Se propone para futuros trabajos la caracterización de las mezclas a distintos porcentajes de los áridos 0-10 mm y 10-40 mm.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) Bustos, G. (2001). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Ediciones LITEAM, Madrid.
- (2) Commission of European Communities, "Council directive on the landfill of waste of April 26, 1999/31/EC", Brussels, 1999.
- (3) Bossink B.A. and Brouwers H.J. (1996). Construction waste: quantification and source evaluation, *Journal of Construction Engineering and Management* 122: 55-60.
- (4) Ränkler J.O., Walker I. and Dohmann M. (1996). Environmental impact of demolition waste - an overview on 10 years of research and experience, *Waste Management* 16: 21-26.
- (5) Wang J.Y., Christoforos A.T. and Fadlalla H. (2004). A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. *Waste management* 24: 989-997.
- (6) Nataatmadja A. and Tan Y.L. (2001). Resilient response of recycled concrete road aggregates, *J. Transp. Eng.* 127(5): 450-453.
- (7) Chini A.R., Kuo S.S., Armaghani J.M. and Duxbury J.P. (2001). Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track. *J. Transp. Eng.* 127(6): 486-492.
- (8) Poon C.S. and Chan D. (2005). Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. *Construction and Building Materials*. Article in Press.

## **Correspondencia**

José Ramón Jiménez Romero. Grupo de Investigación "Ingeniería de la construcción". Departamento de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria Politécnica de Belmez. Universidad de Córdoba. C/Covadonga s/n. 14.240 Belmez (Córdoba), España. E-mail: [ir1jiroj@uco.es](mailto:ir1jiroj@uco.es)

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Empresa Provincial de Residuos y Medio Ambiente S.A. (EPREMASA) la financiación del presente trabajo. Y a la empresa Derribos Córdoba S.L. del Grupo de empresas BAREA por la colaboración prestada.