

## COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES SECUNDARIOS, DERIVADOS DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) GENERADOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ALMERÍA.

Morales L.<sup>P</sup>, García I. D., Garzón E.

### Abstract

The results of a research project are presented concerning the debris generated in the metropolitan area of Almería, in order to looking for their reuse in earth works and concrete elaboration. For it has been carried out a chemical characterization and geotechnical properties of the residual, and concrete has been elaborated with different dosages of arid recycled.

The results of chemical analysis revealed the silica presence (39,13%) and alumina (9,55%), coming from the quartz and present silicates (albita, illita, chlorite and caolinita), besides oxide of calcium (21,42%) that associates with the calcite and dolomite. It also highlights the presence of 1,23% of sulphur related with the presence of gypsum. This content of sulphur this above 1% fixed in the norm to be able to be used as arid recycled. The geotechnical properties suggested that the grain results are not inside the typical interval fixed in the normative one Spanish, although it is a granular material that a CBR 36 registers what transforms him into a floor selected for the formation of esplanade. The use of this material as sand in the concrete production, makes him to go down the resistance abruptly to compression.

With these data it becomes necessary to act on the process of selection of materials, avoiding the elements with presence of gypsum. The size of the arid ones that they leave the crushing machine should increase also. This will be able to allow an increase from the resistance to compression of the concrete made with arid recycled.

*Key Words: arid recycled, debris, residuals, building, roads, concrete*

### Resumen

Se presentan los resultados de un trabajo de investigación realizado con los escombros generados en el área metropolitana de Almería, con el objeto de buscar su reutilización en obras de tierra y en la elaboración de hormigón. Para ello se ha realizado una caracterización química y geotécnica del residuo y se ha elaborado hormigón con diferentes dosificaciones de árido reciclado.

Encontrando la presencia de sílice (39,13%) y alúmina (9,55%), procedentes del cuarzo y silicatos presentes (albita, illita, clorita y caolinita), además de óxido de calcio (21,42%) que se asocia con la calcita y dolomita. Destaca también la presencia de 1,23% de azufre relacionado con la presencia de yeso. Este contenido de azufre esta por encima del 1% fijado en la norma para poder ser utilizados como áridos reciclados. En cuanto a las características geotécnicas, se ha visto que la granulometría no esta comprendida, dentro del intervalo fijado en la normativa española, aunque se trata de un material granular que registra un CBR de 36, lo que le convierte en un suelo seleccionado para la formación de explanadas. La utilización de este material como arena o grava en la fabricación de hormigón, hace que baje bruscamente la resistencia a compresión.

Con estos datos se hace necesario actuar sobre el proceso de selección de materiales, evitando los elementos con presencia de yeso y dedicando a la fabricación de áridos reciclados sólo los residuos de hormigón. Además se debe aumentar el

tamaño de los áridos que salen de la trituradora. Esto podrá permitir un aumento de la resistencia a compresión del hormigón hecho con áridos reciclados.

*Palabras clave: árido reciclado, residuos, construcción, hormigón*

## **1. Introducción. Objetivos**

A nivel europeo los países que más tiempo llevan controlando los residuos de construcción y demolición (RCD) son: Dinamarca, Holanda, Reino Unido y Alemania. En estos países la mayor parte de los residuos proceden del hormigón, fábricas (ladrillos, bloques y mampostería) y, en menor medida, de la madera [1].

En España se generan cada año 22 millones de toneladas de escombros, estando por encima de los residuos urbanos. Estos van a parar en su mayor parte a escombreras y sólo el 5% de estos residuos se reciclan [2]. A nivel andaluz existe el plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía, dónde se habla de una producción anual de 12.200.000 t, lo que supone 5 Kg./hab./día. En dicho plan se le asignan a Almería 862.588 t/año, correspondiendo la mayor parte de estos escombros a municipios de más de 5.000 habitantes, donde el índice de construcción registra los valores más elevados en los últimos años. [3]

Sobre este punto Aguilar (1997), [1], indica que los factores que influyen en el volumen y composición de los RCD son: tipo de actividad bien sea de construcción o demolición, tipo de construcción, edad del edificio, volumen de actividad del sector y políticas vigentes en materia de vivienda. En cuanto a la importancia, la madera tiene más relevancia en la demolición de viviendas antiguas, los metales en la demolición de edificios industriales, los productos bituminosos se limitan a obras de reparación y ampliación de carreteras y los plásticos aparecen en obras de reciente construcción. En la comunidad de Madrid el 54% de los RCD son azulejos y otros materiales cerámicos, seguido del hormigón (12%), piedra (5%), arena, grava y otros áridos (4%) y el asfalto (5%). [4]

La principal aplicación de los RCD es la producción de áridos para fabricar hormigón y mortero. Estos deben estar libres de acero, madera, vidrios, plásticos, cal y yeso, lo cual obliga a una demolición selectiva. [1]

La planta de Navalcarnero (Madrid) aprovecha los áridos reciclados en terraplenes, rellenos y mejora de caminos rurales de dieciséis municipios de la comunidad de Madrid [5]. Un plan parecido se está llevando a cabo en Bahía (Brasil), pero en este caso los residuos de la construcción son usados en nivelaciones topográficas y reciclado para producir nuevo material de construcción: pavimento, ladrillos, hormigón, cemento y drenajes [5]. En este sentido, Klees y Coccatu (2003), [7], afirman que la madera es fácilmente reutilizable en procesos de bajo coste energético. En función de lo anteriormente expuesto, se ha realizado un trabajo en el término municipal de Almería, con el objeto de aprovechar los residuos de la construcción en obras de tierra y en la fabricación de hormigón.

## **2. Metodología**

Partes alícuotas de este material se han estudiado por distintas técnicas experimentales como son: difracción de rayos X (Siemens D-5019), fluorescencia de rayos X (Siemens SRS-3000), microscopía electrónica de barrido (MEB, JEOL JSM-5400) sobre una muestra previamente metalizada con oro y molida en molino de bolas, análisis químico por energías dispersivas (Oxford Link detector Si-Li) y ensayo al horno hasta 1000 °C (HD 230 PAD).

Por otra parte, se ha determinado su comportamiento mecánico llevando a cabo los siguientes ensayos:

- ? Textura según la norma UNE 103101 (1995), [8], y límites de Atterberg según las normas UNE 103103 (1994), [9], y UNE 103104 (1993), [10].
- ? El material se ha sometido a diferentes grados de compactación Proctor normal "1/2PN" (PN13 golpes), "PN" (PN26 golpes), "2PN" (PN52 golpes) siguiendo la norma UNE 103500 (1994), [11].
- ? California Bearing Ratio (CBR) sobre la muestras de material original siguiendo la norma UNE 103502 (1995), [12].

Con dichos derivados procedentes del reciclaje de RCD se elaboraron hormigones del tipo HA-25/B/20/L: con árido grueso (grava), árido fino (arena), cemento (CEM V/A S-P-V 32,5N) (UNE-EN 197-1, 2000), agua y aditivo Sikament 390 (hormigón 1), hormigón 2 (48% de árido fino reciclado y 52% de arena normalizada) y hormigón 3 (100% de árido fino reciclado), [13]. La dosificación para este tipo de hormigón fue la siguiente: grava (1000 Kg./m<sup>3</sup>), arena (820 Kg./m<sup>3</sup>), cemento (320 Kg./m<sup>3</sup>), aditivo al 1% del peso de cemento y agua (160 l).

También se elaboraron hormigones con una dosificación de: 6 árido grueso, 3 de árido fino y 1 de cemento (hormigón 4), hormigón 5 (con el 50% de árido grueso reciclado y 50% de virgen) y hormigón 6 (con 100% de árido grueso reciclado). Y se determinaron su consistencia, [14], y resistencia a compresión a los 7 y 28 días, [15] [16] [17].

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterización física y química de la muestra

El análisis por difracción de rayos X de las fases cristalinas presentes en la muestra reveló la presencia de cuarzo y calcita como componentes mayoritarios, además de un contenido medio de dolomita y albita, mientras que se observaron illita, clorita/caolinita, yeso y óxidos de hierro entre otros componentes minoritarios.

La composición química elemental media de esta muestra determinada por FRX, expresada en porcentaje de óxidos, confirma la presencia de sílice (39,13% en peso) y alúmina (9,55%), procedentes del cuarzo y de los silicatos presentes (albita, illita, clorita, caolinita), además de elementos alcalinos y alcalinotérreos, fundamentalmente óxido de calcio en un contenido de 21,42% que se asocia con la calcita y dolomita, de magnesio (3,5%) y potasio (en torno al 1,62%). Destaca el contenido en óxido de hierro entorno al 4,58% y de azufre (1,23%) este último relacionado con la presencia de yeso. Este contenido del azufre está por encima de las especificaciones técnicas (<1%) de la norma de áridos reciclados [18]. Para evitar este problema, habrá que realizar una demolición selectiva [1], de forma que se separen los elementos constructivos dónde exista presencia de yeso (Tabla 1).

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>
39,13%	9,55%	4,58%	1,62%	21,42%	3,5%	0,68	0,68%	0,115%
<b>S</b>	<b>Cl</b>	<b>Sr</b>	<b>Ba</b>	<b>Zn</b>				
1,23%	0,093%	0,26%	0,022%	0,009%				

Tabla 1: Composición química elemental de la muestra de residuos de construcción.

La pérdida de peso por calcinación a 1000°C es de 15,30 %, lo que se atribuye a la presencia de calcita y dolomita. Posteriormente se procedió a efectuar un estudio por microscopía electrónica que facilitó la observación de una estructura muy heterogénea

formada por partículas de diferentes tamaños (Figura 1) y la presencia de cristales de cuarzo, con su morfología característica.

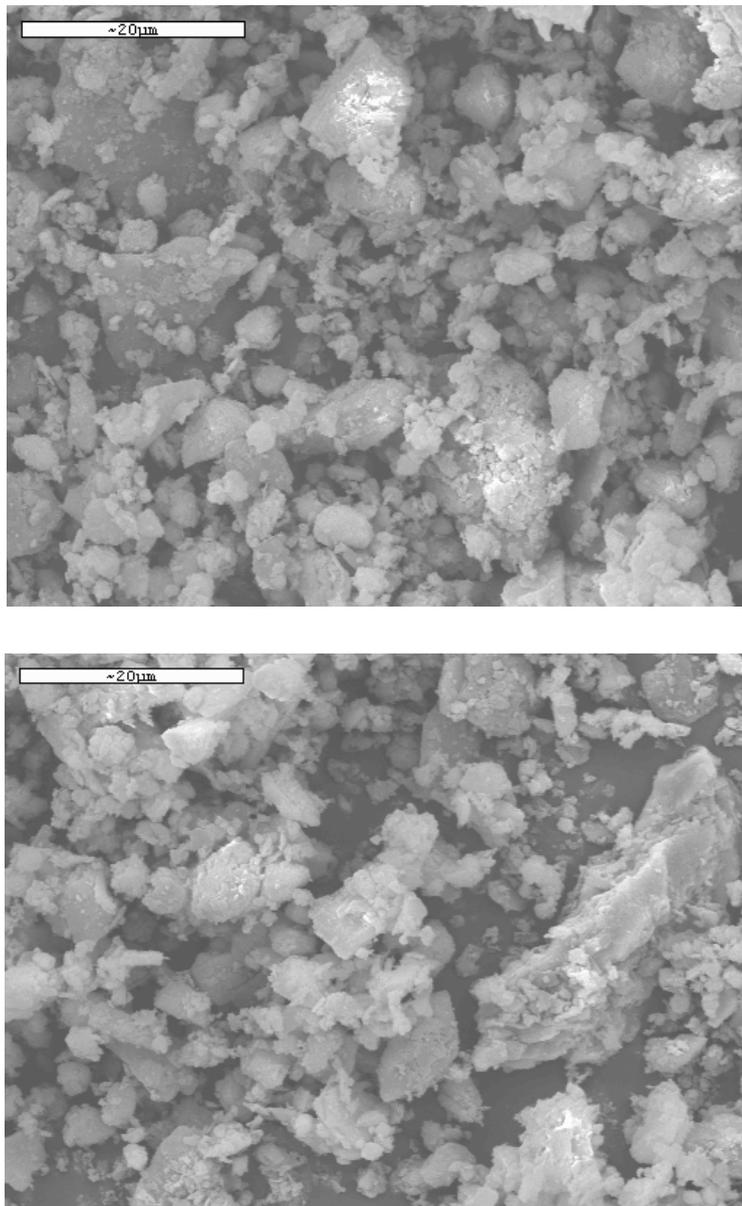


Figura 1: Muestras extraídas de agregados orientados realizados a partir de una mezcla de residuos de construcción y agua destilada, dejada reposar (24 horas) (SEM)

### 3.2 Aplicación en caminos rurales

Las características de los áridos de esta planta no cumplen el Pliego de Condiciones Técnicas Generales de Carreteras y Puentes y prescripciones Técnicas requeridas en la norma española UNE 146131 (2003), en su anexo de "áridos reciclados" [18], (Figura 2), ya que su granulometría no está comprendida dentro de los intervalos del Huso (línea amarilla). Estas deficiencias se pueden corregir mezclando este material con otro árido de mayor tamaño o actuando sobre la máquina trituradora de forma que aumente el tamaño del árido que sale de la misma, [19] [20]. También se ha observado que las fracciones dominantes son arena (56,9%) y grava con el 38,4%, el resto es limo (4,7%). Además ha sido imposible determinar los límites líquidos y plásticos siguiendo las normas, ya que se trata de un material que no presenta plasticidad. Todo ello permite clasificar este material como A-1-a formado por una

mezcla de gravas y arenas, arenas y finos con o sin ligante, teniendo una valoración para la formación de explanadas de excelente [21].

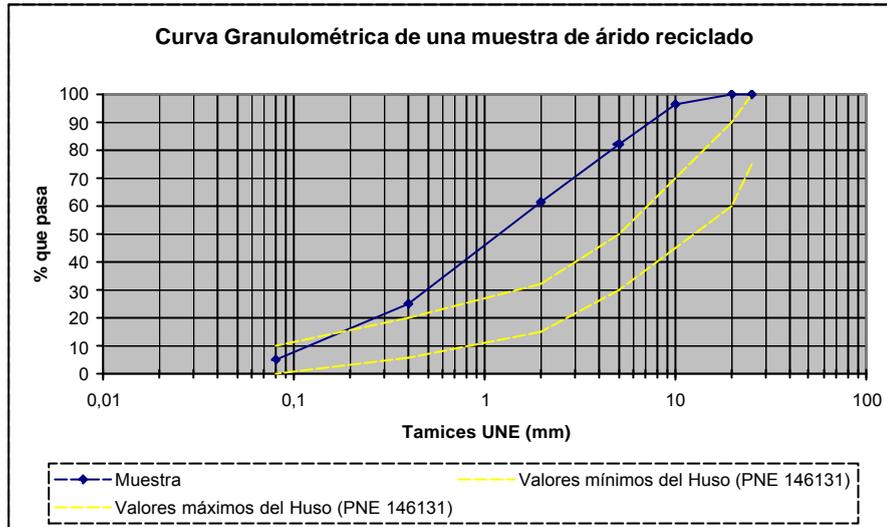


Figura 2: Curva granulométrica del árido reciclado

En la figura 3 se representa la evolución de la densidad al aumentar la humedad cuando aplicamos la energía del Proctor normal. Posteriormente se compara esta curva con las obtenidas a 1/2PN y a 2PN (Figura 4). Observando que al aumentar la energía de compactación aplicada a los escombros, se produce un incremento de la densidad seca. La disminución en la humedad requerida sólo se registra al pasar de 1/2PN a PN. Sin embargo, al pasar de PN a 2PN se produce una disminución en la humedad óptima. Observando que las diferencias entre PN y 2PN son muy pequeñas, esto se asocia a que la eficiencia en la energía de compactación aplicada al suelo se reduce en la medida que disminuye el índice de vacíos y estas disminuciones son altas al principio para disminuir posteriormente [22].

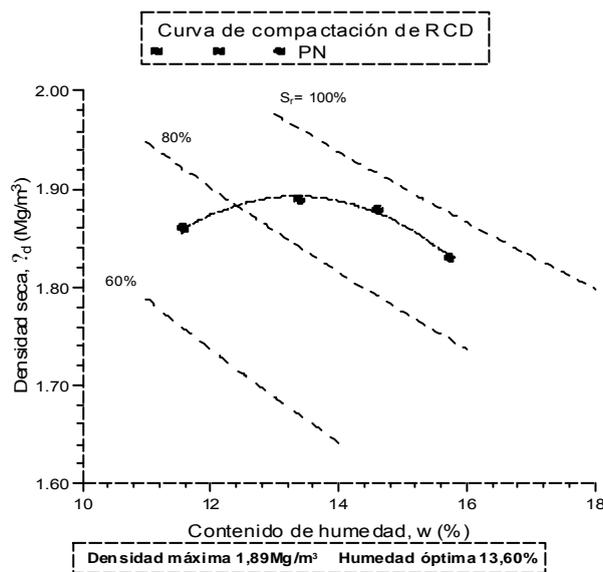
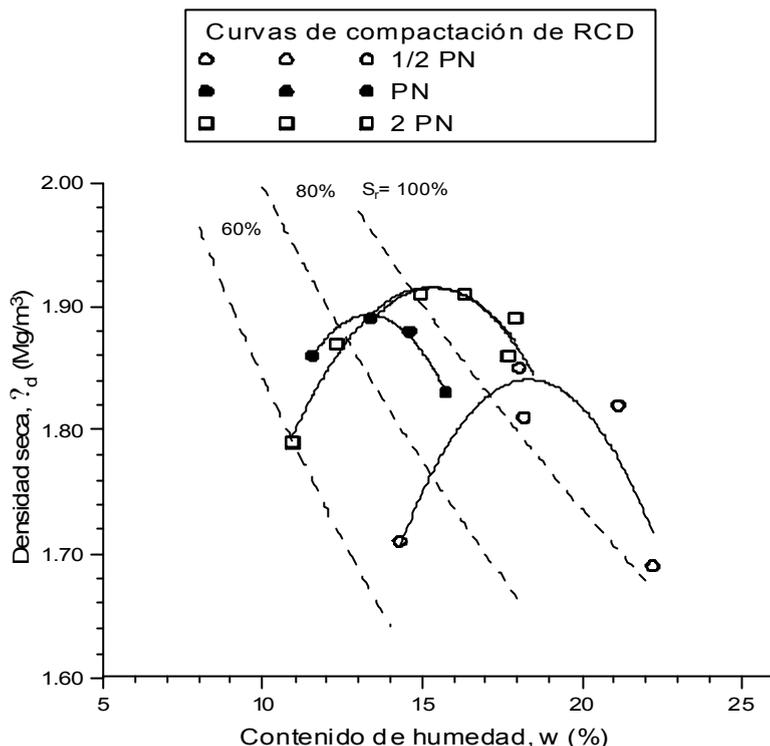
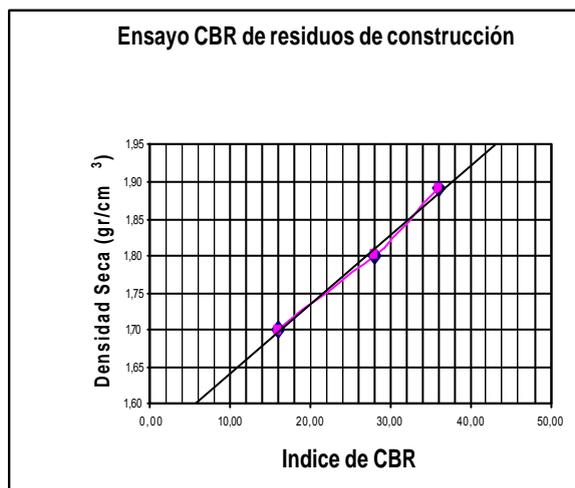


Figura 3: Proctor normal de los residuos de construcción.



**Figura 4:** Evolución de la humedad y densidad seca con la energía de compactación de los residuos de construcción.

En la figura 5 se observa que el CBR va del 36 al 100% del PN lo que le convierte en un suelo seleccionado (CBR=20) para la formación de explanadas [23]. Además el hinchamiento registrado ha sido nulo. Este valor está relacionado con la composición granulométrica mayoritaria, formada por gravas y arenas, componentes que no sufren procesos de aumento de volumen cuando son sometidos a condiciones de saturación.



Índice de CBR	Valor
100% compactación	36
95% compactación	27
Hinchamiento	Nulo

Figura 5: CBR de los residuos de construcción

### 3.3 Aplicación en la fabricación de hormigón

Los resultados para el coeficiente de forma de los áridos reciclados no cumplen las especificaciones de la instrucción EHE para hormigones estructurales, ya que el porcentaje retenido en los tamices de 8mm y 16mm de abertura es menor del 0,2 (Tabla 2). [24].

<b>Coeficientes de forma (UNE 7238:1971) [25]</b>	
Retenido en tamiz 4 mm	0,237
Retenido en tamiz 8 mm	0,086
Retenido en tamiz 16 mm	0,015

Tabla 2: Coeficiente de forma.

De la misma forma, con la dosificación empleada se ha comprobado que el descenso en el Cono de Abrams para los diferentes hormigones ha estado comprendido entre 0-1cm, lo que permite clasificar estos hormigones en el grupo de consistencia seca. Igualmente la resistencia a compresión a los 7 días ha sido mucho mayor en el hormigón 1 frente a los hormigones que incorporan arena reciclada, siendo el hormigón con el 100% de arena reciclada (hormigón 3), el que ha registrado los niveles de resistencia a compresión más bajos. Estas diferencias se han mantenido después de 28 días (Tabla 3). Con estos valores de resistencia a compresión tan bajos, es imposible su uso como arena para fabricar hormigón.

<b>Hormigón</b>	<b>Resistencia de rotura a compresión (N/mm<sup>2</sup>)</b>	
	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
<b>Hormigón 1 (convencional )</b>	6,387	20,71
<b>Hormigón 2 (48% de arena reciclada)</b>	0,51	1,62
<b>Hormigón 3(100% de arena reciclada)</b>	0,166	0,75

Tabla 3: Resultados de rotura a compresión, sustituyendo la arena y empleado aditivos.

En la tabla 4 se analizan los hormigones en los que se ha ido sustituyendo la grava. Observando que la resistencia a compresión a los 7 días se ha mantenido mayor en el hormigón 4 (sólo con grava virgen). Sin embargo en este caso el hormigón con el 50% de grava reciclada (hormigón 5) registró los valores de resistencia a compresión más bajos. Esos valores cambian a los 28 días, donde la incorporación de grava reciclada produce un descenso en la resistencia a compresión. Con estos valores de resistencia a compresión es poco recomendable la utilización de la grava reciclada procedente de la planta de Almería en la fabricación de hormigón.

Hormigón	Resistencia de rotura a compresión (N/mm <sup>2</sup> )	
	7 días	28 días
Hormigón 4 (grava virgen)	2.885	4.883
Hormigón 5 (50% de grava reciclada)	0.665	1.997
Hormigón 6 (100% de grava reciclada)	0.899	1.081

Tabla 4: Resultados de rotura a compresión, sustituyendo la grava.

#### 4. Conclusiones

Los residuos de construcción generados en el área metropolitana de Almería, se pueden reutilizar como explanadas o subbases de viales y carreteras, ya que se trata de un material granular con un CBR muy alto (36). No obstante su granulometría no es adecuada y el nivel de azufre esta por encima del 1%. Estas restricciones se pueden superar actuando sobre la máquina trituradora, de forma que se genere un árido reciclado de mayor tamaño. Así como sobre el proceso selectivo de residuos, eliminando el yeso responsable de los niveles altos de azufre.

Sin embargo su utilización como sustituto de la arena o de la grava, para la fabricación de hormigón da unos valores de resistencia a compresión muy bajos, que hacen inviable su uso en esta aplicación. La única forma de aumentar la resistencia a compresión de estos hormigones, sería seleccionando en la planta, sólo los residuos de hormigón para obtener arena o grava reciclada.

#### Referencias

- [1] Aguilar, A. (1997), "Reciclado de materiales de construcción. Generación y composición de los residuos de construcción y demolición", *Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid*, Madrid.
- [2] Anónimo (2005), "El proceso de reciclado de áridos, materiales de construcción", *Medio-ambiente.info*.
- [3] Decreto 218/1999, "Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía", *BOJA*, 134, pp.58.
- [4] Acuerdo del Consejo de Ministros (2001), "Plan Nacional de residuos de construcción y demolición 2001-2006", *BOE*, 166, pp.25305-25313.
- [5] Anónimo (2003), "Madrid comienza la construcción del primer complejo de la Comunidad para tratar escombros", [http://www.belt.es/noticias/2003/abril/07\\_11/11/escombros.htm](http://www.belt.es/noticias/2003/abril/07_11/11/escombros.htm).
- [6] Carneiro, A.P., Brum, Irineu S., et al. (2000) "Geotechnical Properties of Processed Debris from Salvador in Application in Bases and Sub-bases of Roads". *Fifth International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 17-23 August.
- [7] Klees, D.R. y Coccatu, C.A. (2003), "Ciclo de vida sostenible de los materiales de construcción", *Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas*, Argentina.
- [8] UNE 103101 (1995), "Análisis granulométrico por el tamizado", *AENOR*, Madrid.

- [9] UNE 103103 (1994), "Método de ensayo para determinar en laboratorio el límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande", *AENOR*, Madrid.
- [10] UNE 103104 (1993), "Método de ensayo para determinar en laboratorio el límite plástico de un suelo", *AENOR*, Madrid.
- [11] UNE 103500 (1994), "Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor normal", *AENOR*, Madrid.
- [12] UNE 103502 (1995), "Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice de CBR de un suelo", *AENOR*, Madrid.
- [13] UNE -EN 197-1 (2000), "Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes", *AENOR*, Madrid.
- [14] UNE 80303 (1990), "Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del Cono de Abrams", *AENOR*, Madrid.
- [15] UNE -EN 12390-2 (2001), "Ensayos hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia", *AENOR*, Madrid.
- [16] UNE -EN 12390-3 (2001), "Ensayos hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas", *AENOR*, Madrid.
- [17] UNE -EN 12390-4 (2001), "Ensayos hormigón endurecido. Parte 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo", *AENOR*, Madrid.
- [18] UNE 146131 (2003), "Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerantes hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes", *AENOR*, Madrid
- [19] UNE -EN 933-4 (2000), "Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 4. Determinación de la forma de las partículas. Coeficiente de forma", *AENOR*, Madrid.
- [20] Anónimo (2007), "*Alternativas para la producción de productos reciclados*", <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/i3aco2.html>, Madrid.
- [21] Burmister, D.M., "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to the Design of Airport Runways." *Proceedings Highway Research Board*, Vol 23, 1943, pp.126-144.
- [22] Balmaceda, A.R., (1991), "Suelos compactados. Un estudio teórico y experimental", Tesis doctoral, UPC.
- [23] Anónimo (2004), "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3)", *MOPU*, Madrid.
- [24] Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre. "Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)". *BOE*, 13 de enero de 1999.
- [25] UNE 7238:1971 Determinación del coeficiente de forma del árido grueso.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto CTQ 2005-998, cofinanciado con fondos FEDER. Y ha sido posible gracias a la colaboración de la empresa "Reciclados Almerienses 2005".

## Correspondencia (para más información contacte con):

Eduardo Garzón Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Almería  
La Cañada de San Urbano – 04120 - Almería, España.  
Phone: 950 015529 E-mail: [egarzon@ual.es](mailto:egarzon@ual.es)