

ESTUDIOS S AMBIENTALES

realizados en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

2 0 0 4 - 2 0 0 9



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Luis Gil Borja
Rector
Humberto A. Veras Godoy
Secretario General
Marco Antonio Alfaro Morales
Coordinador de la División de Extensión de la Cultura
Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Coordinador de la División de Investigación y Posgrado
Octavio Castillo Acosta
Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Horacio Romero
Director de Ediciones y Publicaciones

Primera edición: 2009

© Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Abasolo 600, Centro, Pachuca, Hidalgo, México, CP 42000
Correo electrónico: editor@uaeh.edu.mx
Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra
sin el consentimiento escrito
de la UAEH.
ISBN 978-607-482-079-9

PROCESOS UNITARIOS DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN, DEMOLICIÓN Y JALES DE LA MINERÍA: DESARROLLO DE AGREGADOS PÉTREOS

Yamile Rangel Martínez*, Francisco Prieto García**, Otilio A. Acevedo Sandoval, Alberto J. Gordillo, César A. González Ramírez

Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
Carretera Pachuca Tulancingo, km 4.5. Pachuca, Hidalgo, México.
Tel: 01771 7172000, e-mail: *yamilerangelm@gmail.com, **prietog@uaeh.edu.mx

Resumen

La industria de la construcción genera grandes cantidades de residuos sólidos denominados residuos de construcción y demolición (RCD), éstos no son aprovechados adecuadamente. Este trabajo pretende demostrar que es posible reinsertar estos residuos al ciclo de vida de las construcciones y contribuir al conocimiento de los procesos unitarios de recuperación de estos materiales. Primeramente se expone la fabricación y caracterización de agregados y su utilización en los elementos constructivos *blocks*. Se encontraron resultados positivos en comparación con las normas de construcción concluyendo que la reinsertación de los residuos al ciclo productivo de la construcción es una alternativa con calidad, además de los beneficios ecológicos implícitos.

Palabras clave: reinsertación, reciclaje, residuos de construcción y demolición.

Introducción

Los recursos naturales utilizados para el sector de la construcción no son renovables, por lo tanto, es indispensable pensar en su utilización de forma sustentable reciclando sus residuos. El reciclaje exige procesamiento adicional de los residuos, aplicando energía e incorporando más materiales.

Estos trabajos se han realizado en Europa desde 1999 con base en el estudio "Prácticas de gestión de los residuos de construcción y demolición, sus impactos económicos" (Symonds, 1999) encargado por la Comisión Europea. Como consecuencia, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) publicó el manual sobre "Prevención estratégica de residuos" en 2000, y utilizó como

ejemplo la composición de los residuos generados en la Unión Europea para dar una idea de cómo se distribuyen los distintos tipos de residuos, estos datos aparecen expresados en la Figura 1.



Figura 1. Fuente: Manual de Referencia de la OCDE sobre la presión estratégica de residuos, 2000.

Posteriormente cada país comenzó la gestión de sus residuos de construcción; por ejemplo, España tiene el primer Plan Nacional de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), aprobado en 2001, y se encuentra vigente su reforma aprobada en febrero de 2008. En este decreto aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente se presenta el esquema de gestión de RCD (Figura 2).

Como se observa en este esquema, el presente trabajo se enfoca a la producción de agregados reciclados para la producción de materiales para obras, mediante el procesamiento de los residuos en una planta de tratamiento-reciclado.

De esta forma se estableció el objetivo general del proyecto: establecer el proceso unitario para agregados

ESQUEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

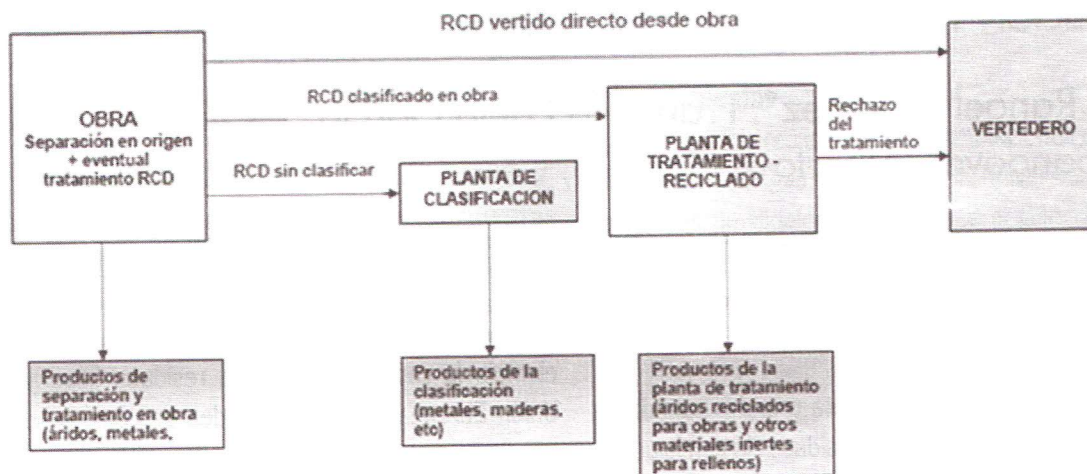


Figura 2. Modelo conceptual de la gestión de los RCD.

pétreos alternativos mediante la separación, procesamiento y transformación de materiales producto de construcción, demolición y jales de minería, y generar nuevos materiales de construcción, éstos se someterán a pruebas de laboratorio para ser analizados y comparados con las normas mexicanas.

Metodología

La metodología experimental se dividió en etapas o fases para el desarrollo del proyecto:

- Ubicar los principales vertederos de residuos de construcción, demolición y jales de la ciudad de Pachuca de Soto, sus volúmenes y composición aproximada.
- Caracterización físico-mecánica de los residuos de construcción, demolición y jales de la minería.
- Demostrar la aplicabilidad de los productos obtenidos mediante la selección, trituración y tamizado de los componentes pétreos de dichos residuos al mezclarlos con jales de minería.
- Experimentación en la elaboración de morteros, concretos y elementos constructivos en diferentes proporciones.

Ubicación de los principales vertederos

Los dos principales vertederos de jales en la ciudad de Pa-

chuca se ubican en la zona sureste; los principales tiraderos de RCD, por volumen, se ubican en el área conurbada de Pachuca con 15 tiraderos en la zona noroeste y 9 en la zona sureste. Los tres tiraderos más representativos por cada zona se muestran a continuación (Figura 3) y se detallan sus ubicaciones en la Tabla 1.

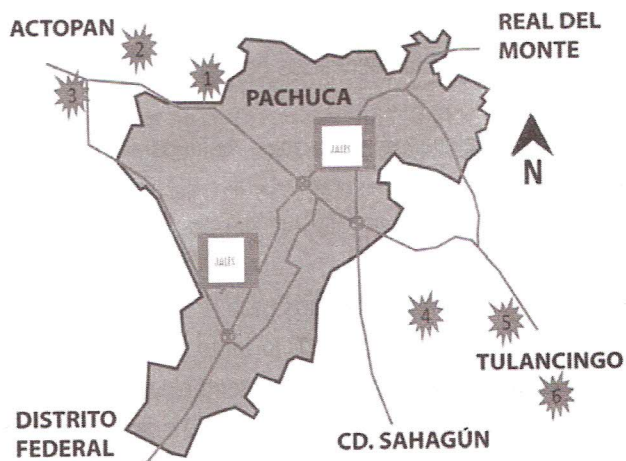


Figura 3. Esquema de ubicación de los principales tiraderos de RCD y jales en la zona conurbada de Pachuca, Hidalgo.

Caracterización

El procedimiento para caracterizar los jales, especificaciones y criterios para la preparación del sitio, proyecto, cons-

Tabla 1. Ubicación de tiraderos de RCD y jales en la zona conurbada de Pachuca.




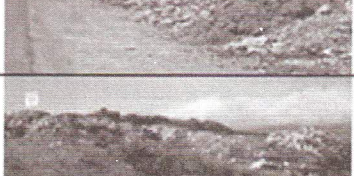
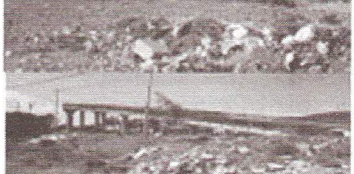
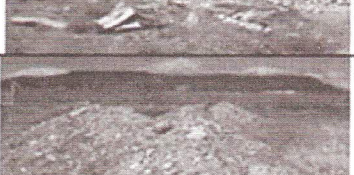

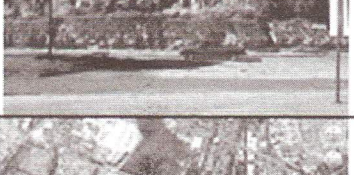
Numero	Ubicación	Características	Fotografía
1	Fraccionamiento Renacimiento	Superficie aprox. 225 m ² Coordenadas N20° 07.830' W98° 46.562'	
2	Acceso a la Concepción	Superficie aprox. 2,250 m ² Coordenadas N20° 07.866' W98° 48.700	
3	Carretera a Actopan	Superficie aprox. 560 m ² Coordenadas N20° 07.189' W98° 49.608'	
4	Privadas de San Cristóbal	Superficie aprox. 1720 m ² Coordenadas N20° 03.798' W98° 42.629	
5	Acceso a Relleno Sanitario Pachuquilla	Superficie aprox. 360 m ² Coordenadas N20° 03.996' W98° 40.944	
6	Parte posterior a gas olinea, canetera Pachuca-Tulancingo	Superficie aprox. 2,100 m ² Coordenadas N20° 03.914' W98° 40.459	
JAL	Col. Azoayatlá	Superficie aprox. 379,962 m ² Coordenadas N20° 06' W98° 42'	
JAL	Boulevard Nuevo Hidalgo	Superficie aprox. 1,886,200 m ² Coordenadas N20° 04' W98° 45'	

Tabla 2. Composición de los jales del distrito Pachuca.

Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
% (m/m)	70.43	12.82	3.34	1.01	3.80	0.70	0.30	0.08	3.98	2.50

trucción, operación y postoperación de presas de jales está especificado en la NOM-141-SEMARNAT-2003.

La granulometría de los jales del distrito de Pachuca es > 80% entre 0.25 y 5 cm y su composición se observa en la Tabla 2 y Figura 4.

Tabla 3. Composición de RCD para el Distrito Federal.

Tabla 2.1. Composición Física en %	
1. Material de Excavación	43.16
2. Concreto	24.38
3. Block Tabique	23.33
4. Tabla roca Yeso	4.05
5. Madera	1.52
6. Cerámica	0.85
7. Plástico	0.78
8. Piedra	0.62
9. Papel	0.49
10. Varilla	0.48
11. Asfalto	0.25
12. Lámina	0.09

- Urbanización.
- Construcción industrial.
- Edificación no residencial.
- Vivienda.

Para el proyecto utilizamos residuos del tipo “Edificación no residencial” y “Vivienda”.

La carga del material se realizó por medios manuales, con la finalidad de verificar que la materia prima estuviera libre de otros materiales como: basura, orgánicos, aceites, grasas, asbestos, baterías, llantas usadas, papel, plásticos, químicos, textiles, vidrio y tablarroca.

El estudio realizado en la Ciudad de México (Varela, 2006) arroja los siguientes valores presentados en la Tabla 3.

Con base a lo anterior se considera la siguiente composición para los RCD de la ciudad de Pachuca (Tabla 4). El porcentaje de tablarroca y yesos se considera menor con base en los sistemas constructivos utilizados en la zona, por tal motivo se consideran en el rubro de “otros”.

Para el cumplimiento del objetivo de generación de agregados pétreos alternativos se excluye el material de excavación pues no es utilizado en la elaboración de materiales de construcción. Otro material que se excluye es la madera, ya que se recicla de forma directa. Así, consideramos el concreto, *block*, tabique y cerámica para el estudio. El resto de los componentes se ignoran debido a su valor mínimo.

De lo anterior, la composición de los residuos a estudiar en el presente proyecto es la siguiente: concreto 50%, *block*-tabique 48% y cerámicos 2%.

Aplicabilidad

Tabla 4. Composición de RCD para la zona Pachuca.

Composición física	%
Material de excavación	44
Concreto	25
Block-tabique	24
Cerámicos	2
Otros	5

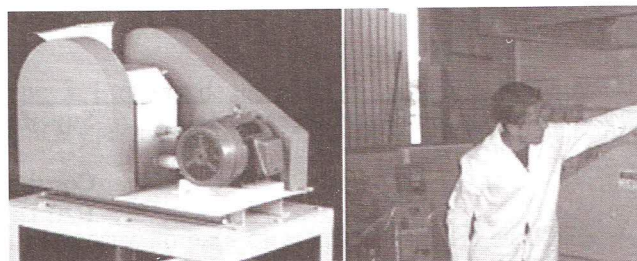


Imagen 1. Trituradora de mandíbulas marca Mercy.



Imagen 2. Agregado fino.



Las muestras obtenidas de residuos de construcción se
Imagen 3. Agregado grueso.

tratan de la misma manera que se obtienen los agregados pétreos naturales, para tener un punto de comparación se muelen con una trituradora de mandíbulas obteniendo agregados finos y granzón para la elaboración de piezas de block.

La trituradora ocupada es un molino de mandíbulas marca *Mercy 4 x 6 Jaw Crusher* de la compañía *Allis Mineral System*, fabricada en chapa de acero, con trituradoras de mandíbulas en fundición de acero con potencia máxima de 1200 libras/hora (Imagen 1).

La separación del agregado fino (arena) y el grueso (granzón y grava) es por tamaño de partícula de 5 mm (3/16 in) o malla no. 4 de la ASTM de acuerdo con la norma BS812: Parte 1: 1975 v la ASTM C-136-84

ANÁLISIS DE CRIBAS

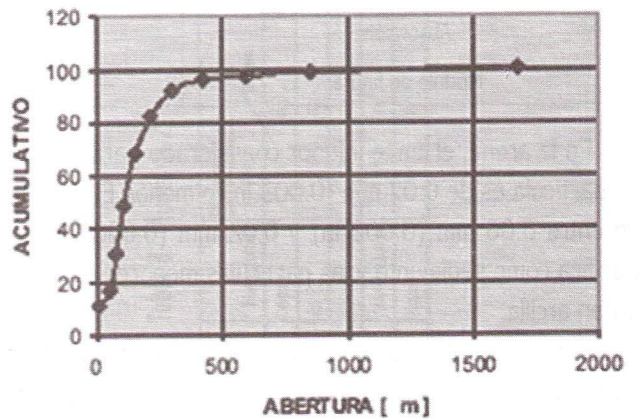


Figura 4. Análisis de cribas para los jales del distrito de Pa-chuca.



Imagen 4. Elaboración de block con material reciclado.

Tabla 5. Características físico-mecánicas del agregado grueso.

Características de la muestra	Unidad	Material natural	Material reciclado
Peso volumétrico seco y suelto	kg/m ³	1061.00	1129.00
Peso volumétrico seco y compacto	kg/m ³	1138.00	1176.00
Densidad	kg/lt	2.03	1.99
Absorción	%	13.64	11.82
Abrasión	%	35.70	43.40

Tabla 6. Características físicas del agregado fino.

Características de la muestra	Unidad	Material natural	Material reciclado
Peso volumétrico seco y suelto	kg/m ³	1245.00	1306.00
Densidad	kg/lt	2.10	1.91
Absorción	%	7.99	14.03
Modulo de finura	-----	2.53	2.82

En la arena, el límite inferior considerado para tamaño de partícula es de 0.07 mm (0.003 in) o menor. El material de entre 0.06 mm (0.002 in) y 0.02 mm (0.0008 in) se clasifica como sedimento y las partículas menores se denominan arcilla.

El proceso para dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partícula se conoce como análisis con malla. Su propósito es determinar la gradación o distribución por tamaños del agregado. Una muestra del agregado se gradúa sacudiendo un nido de mallas apiladas, con la mayor arriba, de manera que el material retenido en cada malla represente una fracción mas gruesa que la del cedazo en cuestión, pero más fina que la del cedazo de arriba.

Para la elaboración de agregados pétreos para *block* se consideró para agregado fino de la malla no. 30 a la malla no. 4 (Imagen 2) y para agregado grueso de la malla no. 4 a la malla de 3/8 in (Imagen 3).

Experimentación

Para los agregados se estudiaron las siguientes características para su comparación, según las normas NMX-C-038-1974, NMX-C-036-1983 y NMX-C-037-1986.

En un estudio realizado en Quintana Roo (Domínguez, 2007) se obtuvieron los siguientes resultados (Tablas 5 y 6): para la elaboración de los bloques se utilizó una bloquera vibrocompactadora según la norma NMX-C-1997-ONNCEE (Imagen 4). En ésta se utilizaron dos muestras en diferentes proporciones, en la muestra uno se combinaron grava reciclada, grava natural y cemento (Tabla 7), para la muestra dos se combinaron arena natural, arena reciclada, jal y cemento (Tabla 8).

Resultados y discusión

La Tabla 9 presenta los resultados de la prueba de laboratorio aplicada a los bloques elaborados con material reciclado, donde se observan “buenas resistencias” de los materiales.

Las principales diferencias entre agregados reciclados y naturales es la mayor absorción de humedad, la densidad del agregado reciclado es menor, pero las variantes de densidad no son tan marcadas como las que se tienen en absorción.

En cuanto a la granulometría, se obtuvieron porcentajes muy altos en la fracción fina y con ello una mejor textura para los bloques, aunque también un mayor peso llegando a 4 kg más que los elaborados con material natural.

Tabla 7. Muestra 1.

	Materiales	Proporción 100/0		Unidad	Materiales	Proporción 70/30		Unidad	Materiales	Proporción 60/40		Unidad	Materiales	Proporción 50/50		Unidad	Materiales	Proporción 30/70		Unidad
Muestra 1	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg
	Grava reciclada	25		Kg	Grava reciclada	17.5		Kg	Grava reciclada	15		Kg	Grava reciclada	12.5		Kg	Grava reciclada	7.5		Kg
	Grava natural			Kg	Grava natural	7.5		Kg	Grava natural	10		Kg	Grava natural	12.5		Kg	Grava natural	17.5		Kg
	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts

Tabla 8. Muestra 2.

	Materiales	Proporción 100/0		Unidad	Materiales	Proporción 70/30		Unidad	Materiales	Proporción 60/40		Unidad	Materiales	Proporción 50/50		Unidad	Materiales	Proporción 30/70		Unidad
Muestra 2	cemento	10		Kg	cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg	Cemento	10		Kg
	grales	12.5		Kg	lal	9		Kg	lal	7.5		Kg	lal	6.5		Kg	lal	4		Kg
	arena reciclada	12.5		Kg	arena reciclada	9		Kg	arena reciclada	7.5		Kg	arena reciclada	6.5		Kg	arena reciclada	4		Kg
	arena natural			Kg	Arena natural	7.5		Kg	Arena natural	10		Kg	Arena natural	12.5		Kg	Arena natural	17.5		Kg
	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts	Agua	6		lts

Tabla 9. Resultados de laboratorio para block reciclado.

L A C C Y A

LABORATORIO DE CONCRETOS, COMPACTACIONES Y ASFALTOS

Prof. Donaciano Serna Leal No. 207 Tel 71- 1-88-35 Pachuca Hgo.

Analisec

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOCK Y TABIQUE

PROVEEDOR: PLANTA DE FABRICACION DE BLOCK RECICLADO						FECHA DE MUESTREO: 28 - MARZO - 07			
REPORTE PARA: ARQ YAMILETH RANJEL MARTINEZ						FECHA DE ENSAYE: 09 - ABRIL - 07			
OBRA: / / / / /						No DE ENSAYE: 4			

No.	ALTURA CM	LARGO CM	ANCHO CM	AREA CM	PESO KGS	CARGA RUPT. KG	RESISTENCIA KG/CM ²	RESISTENCIA PROY. KG/CM ²	ABSORCIÓN OBTENIDA
7	20.0	40.0	12.0	480.0	16000	49200	102.5	40 - 70	
8	20.0	40.0	12.0	480.0	16860	47400	98.7	40 - 70	

OBSERVACIONES: BLOCK ELABORADO CON MATERIAL GRANZON, EL CUAL PRESENTA BUENA RESISTENCIA

I.P. ADRIAN CAMARGO MERA
LABORATORISTA

C PASCUAL ROMERO VERA
JEFE DE LABORATORIO

ING. ABRAHAM CAMARGO MERA
Vp. Do.

LACCYA
 Analisec
 LABORATORIO DE CONCRETOS
 COMPACTACIONES Y ASFALTOS

Como se observa, los bloques reciclados y los naturales clasificaron bien en sus dimensiones y como tipo C respecto a su resistencia a la compresión con 40.70 kg/cm². Estos resultados son elevados comparados a los obtenidos en Venezuela (Pernía *et ál.*, 1996) y Brasil (Sousa, 2003) que reportaron resistencias a la compresión entre 23.0 y 34.0 kg/cm².

En los países desarrollados se insiste en fabricar concreto reciclado a partir de concreto original, clasificando como contaminantes otros materiales (morteros y tabiques), en América Latina se hacen esfuerzos por reciclar materia prima más heterogénea debido a las dificultades de

su separación.

De allí la importancia de estudiar los materiales resultantes del reciclaje de los residuos de una región específica de México y, aun más, atiende a su realidad tecnológica, cultural y económica al estudiar materia prima heterogénea y elementos que para otros países no reviste mayor importancia.

Conclusiones

La reinserción de los residuos de construcción y demolición (RCD) al ciclo de vida de las construcciones es técnicamente posible. La utilización de estos residuos para la elaboración

de material de construcción (*block*) es factible cumpliendo con los estándares y normas respectivas.

Se deberá continuar con los estudios encaminados a medir y mejorar la durabilidad y estabilidad de las propieda

des encontradas, así como el análisis de costos para determinar de manera más aproximada la factibilidad económica de su utilización.

Referencias

- Cortinas de Nava, Cristina, 2006, *Manejo ambiental de los relaves o jales mineros*. México, Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Cruz, R. y F. López, 1996, "La Generación de Residuos de la Construcción en el Distrito Federal". *Rev. Ing. Civil*, no. 325, México, p. 17-22.
- Domínguez Lepe, J. y L. Martínez, 2007, "Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas". *Ingeniería* 11-3, México, p. 43-54.
- Merritt, Federick S., 1992, *Manual del Ingeniero civil*, t. 1. México, McGraw-Hill.
- Mendoza Díaz, Idalberto de la C., 2007, Diseño de planta para el reciclaje de escombros.
- Montgomery, Douglas C., 1991, *Diseño y análisis de experimentos*. EUA, Grupo Editorial Iberoamérica.
- Neville, A. M. y J. J. Brooks, 1998, *Tecnología del concreto*. México, Trillas.
- Parra, J. L. y B. Calvo, 2002, "Situación en España del reciclado de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) como áridos. Aplicabilidad a la fabricación de hormigones". En: II Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción, La Habana, Cuba.
- Pernía, S. et ál., 1996, "Industrialized Recycling of Construction Waste". XXIV IAHS World Housing Congress, Ankara, Turquía.
- Solórzano Ochoa, Gustavo, 1996, "Los Residuos Peligrosos en la Industria de la Construcción". *Ingeniería Civil. Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C.*, no. 325, mayo, p. 13-16.
- Souza, J. G., E. Bauer y R. Sposto, 2003, "Reciclagem de entulho de construação civil como agregado: produto de blocos de concreto". VII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción CONPAT 2003 ALCONPAT, septiembre, Yucatán, México.
- Symonds, 1999. "Inform: Construction and Demolition waste management practices and their economics impacts". DGXI European Commission.