

**RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

RESIDUOS DE HORMIGÓN



RESIDUOS CERÁMICOS

**1.- ORIGEN**

Según el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015<sup>(1)</sup>, desde un punto de vista conceptual, residuo de construcción y demolición (RCD) es cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de "residuo" incluida en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, (cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse) se genera en una obra de construcción y demolición.

El concepto de obra de construcción y demolición, a los efectos de este Plan abarca las actividades consistentes en la construcción, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, u otro análogo de ingeniería civil.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Si bien, desde el punto de vista conceptual, la definición de RCD abarca a cualquier residuo que se genere en una obra de construcción y demolición, el ámbito de aplicación del PNIR se restringe a los residuos que se ajustan a la definición de RCD, con excepción de:

- Las tierras y piedras no contaminadas por sustancias peligrosas.
- Los residuos que se generen en obras de construcción y/o demolición regulados por una legislación específica, cuando no estén mezclados con otros residuos de construcción y demolición. Es el caso, por ejemplo, de los residuos de aceites industriales usados, de los residuos peligrosos en general, de los residuos de envases, de los neumáticos fuera de uso, de las pilas y baterías o de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Los residuos regulados por la Directiva 2006/21/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) 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 o urbanizaciones. Se conocen habitualmente como "escombros". Con arreglo a la legislación española –Ley 10/1998, de Residuos– las competencias sobre el control de su producción y gestión corresponde a las Comunidades Autónomas, a excepción de los RCD procedentes de obras menores domiciliarias, cuya gestión (al menos la recogida, transporte y eliminación) corresponde a las Entidades locales.

La mayor parte de estos residuos se llevan a vertederos, creando de esta forma un gran impacto visual y paisajístico, además de un impacto ecológico negativo al rechazar materias primas que con un adecuado tratamiento, podrían ser recicladas. Se hace por lo tanto necesaria, su correcta gestión, de forma que se consiga reducir las cantidades generadas y aprovechar el potencial que tienen estos materiales como material secundario.

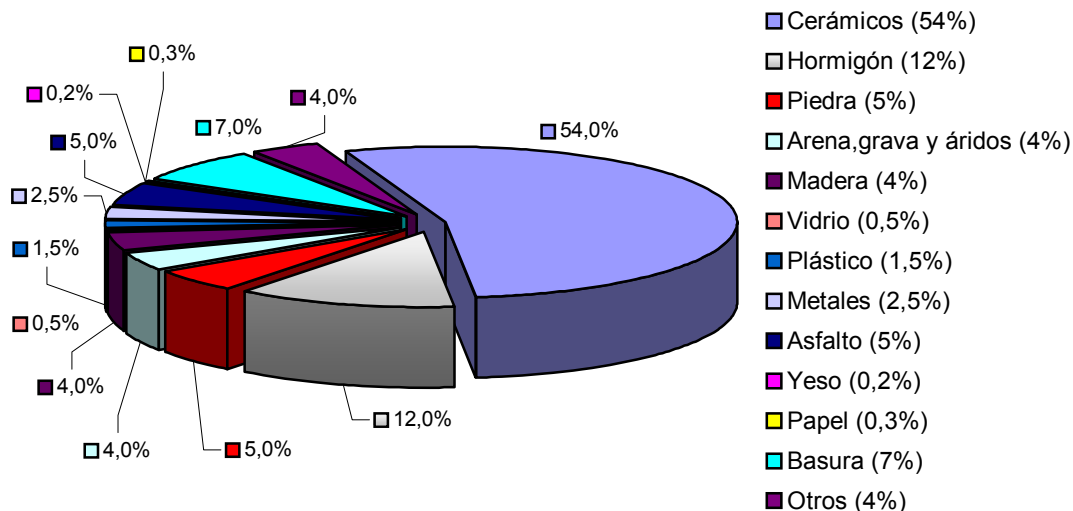
Bajo la denominación de residuos de construcción y demolición se incluye una variada serie de materiales, entre los que se encuentran productos cerámicos, residuos de hormigón, material asfáltico y en menor medida otros componentes como madera, vidrio, plásticos, etc. Según el Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid<sup>(2)</sup>, la composición media de estos residuos es la que recoge la Figura 1.

Los escombros cerámicos pueden tener dos orígenes muy diferentes:

- Desechos de fábrica de ladrillo que se producen en las operaciones de demolición de estructuras. En España la mayor parte de los residuos de demolición lo forman este tipo de residuos (que constituyen casi el 60%), y proceden principalmente de la demolición de estructuras de edificación. En este tipo de residuos se engloban materiales muy variados como pueden ser: ladrillo, ladrillo silico-calcáreo, mezclados o no con hormigón.
- Ladrillos elaborados en fábricas, que son rechazados por no cumplir las especificaciones pertinentes. Tal y como se recoge en el II PNRC, los residuos generados en la industria de los productos de la construcción no se incluyen en este plan y son objeto del Plan Nacional de Residuos Industriales no peligrosos del PNIR.

Por su parte, los residuos de hormigón proceden mayoritariamente de obra civil.

**RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**



**Figura 1:** Composición de los residuos de construcción y demolición

**2.- VOLUMEN Y DISTRIBUCIÓN**

Según los datos recogidos en el II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD) incluido en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015 puede estimarse que los residuos de construcción y demolición generados en España entre los años 2001 y 2005 son los que se detallan en la siguiente tabla:

Tipo de obra	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Edificación:</b>	17.667.189	17.495.175	20.298.601	23.054.631	25.427.665
<b>Obra civil</b>	6.543.403	6.479.649	7.518.000	8.538.752	9.417.654
<b>Total RCD generados</b>	<b>24.210.592</b>	<b>23.974.824</b>	<b>27.816.601</b>	<b>31.593.383</b>	<b>34.845.319</b>

**Tabla 1:** Generación de residuos de construcción y demolición

Se puede establecer que la generación de RCD en España ha crecido en los cinco años analizados a un ritmo medio del 8,7% anual.

Casi la mitad de los residuos (el 49,2%) se han generado en Cataluña, la Comunidad Valenciana y Andalucía. Una cuarta parte se han generado en Madrid, Castilla-La Mancha y Galicia. El resto de los residuos se distribuyen de una forma, casi homogénea, entre Ceuta, Melilla y las 11 restantes Comunidades Autónomas.

La producción media de RCD por habitante y año, según los datos de 2005, se puede estimar en 790 kilos, con un máximo de 1.664 kg/hab.año en Castilla-La Mancha y un mínimo de 145 kg/hab.año en la ciudad de Ceuta.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

En la Tabla 2 se incluye la estimación que sobre el número de instalaciones que estaban operativas en el año 2006, distribuidas por Comunidades Autónomas, figuran en el II PNRCD.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Nº de Plantas de Reciclado	Nº de Estaciones de Transferencia	Nº de Vertederos Controlados
ANDALUCÍA	22	1	9
ARAGÓN	1		3
ASTURIAS	3		1
BALEARES	2		0
CANARIAS	s/d	s/d	s/d
CANTABRIA	0		1
CASTILLA-LA MANCHA	1		0
CASTILLA Y LEÓN	3		1
1 CATALUÑA	11	7	44
COMUNIDAD VALENCIANA	6		0
EXTREMADURA	1		0
GALICIA	2		10
MADRID	3		4
MURCIA	s/d	s/d	s/d
NAVARRA	s/d	s/d	s/d
PAÍS VASCO	2		5
RIOJA (LA)	1		2
CEUTA Y MELILLA	s/d	s/d	s/d
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>58</b>	<b>8</b>	<b>80</b>

**Tabla 2:** Centro de tratamiento de RCD por Comunidades Autónomas

En la Tabla 3 se recogen los datos publicados en el II PNRCD sobre la gestión de residuos de construcción y demolición entre los años 2002 y 2005.

	2002		2003		2004		2005	
	Reciclado	Vertedero	Reciclado	Vertedero	Reciclado	Vertedero	Reciclado	Vertedero
TOTAL	375.106	6.502.428	333.640	7.519.755	519.370	4.978.410	1.769.836	8.544.578

Fuente: MMA, sobre la base de las contestaciones a un cuestionario enviado a las plantas de tratamiento.

**Tabla 3:** Gestión de residuos de construcción y demolición entre los años 2002 y 2005.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

A partir de los datos recogidos en la Tabla 4<sup>(3)</sup>, se puede comparar la gestión de este tipo de residuos realizada por diferentes países de la Unión Europea.

En algunos países, como Dinamarca, Países Bajos o Bélgica, se está fomentando el reciclaje sobre otros destinos como el vertido, y alcanzan porcentajes de reciclaje superiores al 75%. Este hecho responde principalmente a la escasez de áridos naturales y de espacios para la ubicación de vertederos. Uno de los instrumentos para conseguir estas elevadas tasas de reciclado ha sido el incremento del coste del vertido, o su prohibición en algunos casos, como en Dinamarca o Países Bajos.

Otros países, como Reino Unido o Austria, siguen esta tendencia aunque los porcentajes alcanzados son inferiores y se sitúan en torno al 40%.

Sin embargo, todavía en algunos países se reciclan pequeñas cantidades de residuos de construcción y demolición, destinando más de un 85% de los mismos a vertederos. Entre estos países se encuentra España, en donde, aunque no se disponen de datos fiables sobre el nivel de reciclaje, se estima que se sitúa entorno al 17%. Además es uno de los países que cuenta con un menor número de plantas de reciclaje.

País	Producción de residuos de la construcción (Mill.t)	Promedio (Kg/hab)	Nº de plantas de reciclado (fijas y móviles)	Destino del porcentaje		
				Vertido	Reciclado	Otros
Holanda (1999)	11,7	718	120	9	90	1
Bélgica (1999)	6,7	666	92	17	81	2
Dinamarca(1999)	2,6	509	30	16	75	9
Reino Unido (1999)	30,0	509	50-100	55	45	0
Austria(1999)	4,7	580	150	59	41	0
Alemania(1999)	59,0	720	1.000	82	18	0
Francia (1999)	23,6	404	50	85	15	0
<b>España (2005)<sup>(1)</sup></b>	<b>10,3</b>	<b>229</b>	<b>58</b>	<b>83</b>	<b>17</b>	<b>-</b>

**Tabla 4:** Gestión de residuos de construcción y demolición en Europa

### 3.- VALORIZACIÓN

#### 3.1- PROPIEDADES DEL RESIDUO

Las propiedades de los residuos de construcción y demolición varían notablemente en función de su origen y composición. Es conveniente diferenciar entre los materiales que tienen su origen en la construcción y demolición de edificación y estructuras, de los que proceden de capas de firmes. Los primeros pueden presentar en su composición una amplia variedad de residuos, algunos

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

incluso peligrosos, que pueden contaminar otros valorizables y que en cualquier caso deben separarse, preferiblemente en la propia obra. Los segundos, suelen presentar una mayor homogeneidad, menor presencia de posibles productos contaminantes en origen, requieren en muchos casos equipos y tecnología específica, y la incidencia del transporte en el coste de la valorización y puesta en obra de los áridos reciclados en la misma carretera es menor.

### Propiedades físicas

El tamaño de los escombros es muy heterogéneo y depende del tipo de técnica de demolición utilizada.

Estos residuos pueden tener impurezas y contaminantes como metales, vidrio, betún, materia orgánica y yeso.

### Propiedades químicas

La composición química de los **escombros de hormigón** depende de la composición del árido utilizado en su producción, puesto que más del 75% del total del hormigón lo constituye el árido, siendo el resto los componentes de hidratación del cemento, silicatos y aluminatos cálcicos hidratados o hidróxidos cálcicos. En función del árido utilizado (calizo o silíceo) se pueden distinguir<sup>(4)</sup> las siguientes composiciones químicas

Compuestos	Escombro silíceo (%)	Escombro calizo (%)
SiO <sub>2</sub>	45-60	4-5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-20	1-2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-5	1-2
CaO	5-7	52-54
MgO	0,5-1,5	0,2-0,8

**Tabla 5:** Composición química de los escombros de hormigón

La composición química de los **escombros mayoritariamente cerámicos** es muy heterogénea, dependiendo de las propiedades del componente principal. Como datos orientativos se pueden tomar los que figuran en la siguiente tabla<sup>(4)</sup>.

	Escombros cerámicos
SiO <sub>2</sub>	40-50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-4
CaO	20-28
MgO	0-1

**Tabla 6:** Composición química de los escombros cerámicos

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

### 3.2.- PROCESAMIENTO

Hay que diferenciar dos fases en el procesamiento: la demolición y el reciclado de los materiales.

#### - *Demolición*

Si los escombros van a ser reciclados, conviene utilizar métodos de demolición que reduzcan in situ los escombros a tamaños que puedan ser tratados por el triturador primario de la planta de reciclaje (menores de 1200 mm en plantas fijas y de 400-700 mm para plantas móviles). Asimismo, los procesos de demolición selectiva son fundamentales para disminuir la presencia de impurezas en los escombros, por ejemplo: el yeso.

#### - *Reciclado*

##### Plantas de Transferencia:

Son instalaciones para el depósito temporal de residuos de construcción y demolición que han de ser tratados o eliminados en instalaciones localizadas a grandes distancias. A veces es posible realizar la separación y clasificación de las fracciones de los residuos con lo que se mejora la gestión en las plantas de valorización y depósitos controlados que constituyen su destino final.

##### Plantas de valorización:

Son instalaciones de tratamiento de los residuos de construcción y demolición en las que se depositan, seleccionan, clasifican y valorizan las diferentes fracciones que contienen estos residuos, con el objetivo de obtener productos finales aptos para su utilización.

Las plantas de producción de áridos reciclados son bastante similares a las plantas de machaqueo de áridos naturales, incluyen machacadoras, cribas, mecanismos transportadores y equipos para la eliminación de contaminantes y electroimanes para la separación del acero.

La planta de tratamiento debe asegurar unas mínimas distancias de transporte, es decir, situarse lo más cerca posible del centro de la ciudad donde se originan la mayoría de los residuos de la construcción y donde se da una más amplia demanda de los productos del reciclaje de materias primas. También se pueden habilitar vertederos temporales de residuos y pequeñas plantas móviles que pueden emplearse para un tratamiento primario de los residuos.

Los sistemas de procesamiento utilizados dependerán de la aplicación final que se le vaya a dar al material reciclado (material para relleno, para zahorras en firmes para carreteras u hormigón) y de la cantidad de impurezas que contenga.

Las plantas se pueden clasificar en<sup>(5)</sup>:

1. Plantas de 1ª generación: carecen de mecanismos de eliminación de contaminantes, a excepción del acero y otros elementos mecánicos.
2. Plantas de 2ª generación: añade al tipo anterior sistemas mecánicos o manuales de eliminación de contaminantes previos al machaqueo, y elementos de limpieza y clasificación del producto machacado, por vía seca o húmeda. Son las más extendidas en el reciclado del hormigón.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

3. Plantas de 3ª generación: dirigidas a una reutilización prácticamente integral de otros materiales secundarios, considerados como contaminantes de los áridos generados.

Además se puede realizar otra clasificación de las plantas según su capacidad de desplazamiento en: móviles, semimóviles y fijas.

Las *plantas móviles* están constituidas por maquinaria y equipos de reciclaje móviles que, aún disponiendo de una ubicación de referencia como almacén, suelen desplazarse a las obras para reciclar en origen. Utilizan un remolque de lecho plano como plataforma para el equipo de precibado, trituración, separación magnética y cribado final, junto con transportadoras, conductos y controles. Los sistemas se pueden montar en menos de un día mediante el despliegue de patas hidráulicas y la subida y alineación del equipo para conseguir un correcto flujo de materiales. Pueden procesar hasta 100 toneladas a la hora, suponiendo que la alimentación sea del mismo tamaño y que se emplee la separación magnética y los sistemas de cribado. Como se ha comentado anteriormente, estos equipos pueden procesar material con tamaño inferior a 700 mm, siendo necesaria la reducción del tamaño de los bloques mayores mediante martillos o cizallas hidráulicos.

Las *plantas semimóviles*, aunque también se entregan con camiones, son más grandes que las unidades móviles y se puede tardar hasta tres días en montarlas para su operación en un lugar determinado.

Las *plantas fijas* son instalaciones de reciclaje ubicadas en un emplazamiento cerrado, con autorización administrativa para el reciclaje de RCD, cuya maquinaria de reciclaje (fundamentalmente los equipos de trituración) son fijos y no operan fuera del emplazamiento donde están ubicados. Se montan de una forma permanente y proporcionan la mayor gama de capacidad. Estas plantas son en líneas generales, similares a las empleadas en áridos naturales, si bien incorporan de forma específica elementos para la separación de impurezas y otros contaminantes. Generalmente incluyen varios procesos de trituración y pueden procesar entre 300 y 400 toneladas por hora.

Una vez procesados los áridos se almacenan, teniendo en cuenta que <sup>(6)</sup>:

- Se deben almacenar por separado los áridos reciclados y los árido naturales, así como los áridos gruesos reciclados y los áridos finos reciclados.
- La absorción de agua del árido grueso reciclado es elevada, por lo que estos áridos deben ser usados normalmente en condiciones de saturación. Los almacenes de los áridos deben estar provistos de aspersores de agua para mantener estas condiciones de humedad.

### **3.3.- PROPIEDADES DEL MATERIAL PROCESADO**

Se entienden como áridos reciclados a aquellos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.



<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Las características de los áridos de reciclados dependen:

- De las características de los materiales de los que proceden.
- De las características de los equipos de machaqueo utilizados en su producción.
- De la naturaleza de los cribados que se hayan realizado.
- De los procedimientos empleados para eliminar impurezas.

### 3.3.1.- Arido reciclado procedente de hormigón

Los áridos reciclados procedentes de hormigón presentan una gran heterogeneidad en sus propiedades, debida principalmente a las distintas características de los hormigones que llegan a la planta de reciclado, a los sistemas de trituración empleados y a la presencia de impurezas.

En general, la calidad del árido reciclado está claramente influida por el tamaño del árido reciclado, presentando las fracciones finas unas peores propiedades (menor densidad, mayor absorción, mayor contenido de mortero, mayor contenido de impurezas, mayor contenido de partículas ligeras, mayor contenido de terrones de arcilla, mayor contenido de cloruros y de sulfatos).

#### Propiedades físicas

El producto reciclado del hormigón original tras el proceso de trituración, es una mezcla de árido grueso ( $\geq 4$  mm) y árido fino ( $< 4$  mm). El porcentaje de árido grueso que se obtiene varía del 70% al 90% de la masa total del hormigón original.

La fracción gruesa posee una distribución granulométrica adecuada para casi todas las aplicaciones de material granular en construcciones, incluso en la producción de un nuevo hormigón, aunque suelen presentar un mayor porcentaje de desclasificados inferiores<sup>(7)</sup>.

El coeficiente de forma del árido reciclado es similar al del árido natural, aunque suele presentar un porcentaje de lajas inferior.

La textura de los áridos reciclados suele ser rugosa y porosa, debido a la presencia del mortero que queda adherido a los áridos.

La densidad del árido reciclado es muy similar a la del hormigón original y algo menor que la densidad del árido natural empleado para la producción de dicho hormigón, entre un 5-10% menor, aunque se considera un árido de densidad normal ( $> 2.000$  kg/m<sup>3</sup>). Los valores más habituales varían entre 2,07-2,65 kg/dm<sup>3</sup> en el caso de la densidad real y entre 2,10-2,64 kg/dm<sup>3</sup> para la densidad saturada con superficie seca.

Se puede establecer el control de la densidad como un índice de la uniformidad del árido reciclado.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

La diferencia más marcada entre las propiedades de los áridos reciclados y los convencionales, es la absorción. Depende de la composición del hormigón original, situándose los valores más habituales entre 4-9%<sup>(8)</sup>.

Los áridos reciclados presentan un desgaste en el ensayo de Los Ángeles comprendido entre 25-45%<sup>(8)</sup>.

La peor calidad del árido reciclado es debida a la presencia de mortero adherido al árido natural, cuyo porcentaje varía entre 25-60%. Algunos estudios<sup>(8)</sup> han demostrado que el contenido de mortero está directamente relacionado con otras propiedades como la densidad, el coeficiente de Los Ángeles y la absorción. Debido a que las fracciones más finas presentan mayor contenido de mortero, tienen por lo tanto una peor calidad.

### **Propiedades químicas**

La caracterización química de los áridos reciclados es similar a la del residuo. Una parte de los componentes de hidratación del cemento quedan adheridos a las partículas más finas.

Entre los principales posibles contaminantes en los áridos reciclados se pueden considerar: las arcillas y suelos en general, el betún y los polímeros procedentes de los sellados de juntas, los filleres expansivos -también procedentes de juntas-, el yeso, los ladrillos refractarios con presencia de periclase, los cloruros, materiales orgánicos, metales, vidrio, áridos ligeros, partículas de hormigón dañadas en un incendio, diversas sustancias reactivas y hormigón de cemento aluminoso.

La presencia de estos contaminantes en los áridos reciclados debe evaluarse y limitarse para controlar los efectos sobre el nuevo hormigón o producto a que vayan a ser destinados.

El contenido de cloruros puede ser elevado cuando el árido reciclado procede de hormigones procedentes de obras marítimas, puentes en los que se utilicen sales fundentes, etc., pero en el resto de los casos presenta unos niveles aceptables.

El árido reciclado podría contener un elevado contenido de sulfatos, siendo especialmente perjudiciales los procedentes de contaminantes como el yeso cuando el hormigón procede de edificación. Los sulfatos presentes en la pasta de cemento del hormigón original no van a producir problemas en el hormigón nuevo. Si el árido reciclado procede de escombros de hormigón, se obtienen resultados favorables, cumpliendo, en general, las especificaciones que establece la EHE.

El contenido total de álcalis en el árido reciclado es elevado, debido en parte a los aportados por la pasta de cemento adherida al árido natural.

La gran heterogeneidad de los áridos reciclados y la incorporación de algunas impurezas, como madera, metales o yeso, puede producir contaminación por lixiviados, especialmente cuando el árido reciclado se utiliza en aplicaciones diferentes al hormigón, como rellenos o carreteras, y cuando proceden de residuos de edificación, donde la concentración de impurezas es mayor.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Existen numerosas normas de ensayo para determinar la concentración de metales pesados y sustancias orgánicas en los lixiviados de los materiales de construcción:

- La norma alemana DIN 4226-100:2000 “Áridos para hormigón y mortero. Áridos reciclados”,
- la norma holandesa NEN 7345/95 “Leaching characteristics of solid earthy and stony building and waste materials”, describe el ensayo de difusión para obtener los lixiviados (medidos en mg/m<sup>2</sup>) en función del tiempo, para materiales de construcción no granulares y materiales residuales.
- la norma europea EN 12457-2/02 “Characterisation of waste-Leaching-Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges-Part 2”

Los ensayos consultados de lixiviación sobre el árido reciclado, así como sobre el hormigón reciclado fabricado con él, han resultado en todos los casos favorables, satisfaciendo las diferentes normativas<sup>(53)(54)(55)</sup>.

Aunque algunos estudios han detectado problemas de resistencia a la helada en los áridos reciclados, estudios españoles<sup>(8)</sup> han demostrado que en el método de ensayo de la norma UNE-EN 1367-2:99 debe realizarse una preparación previa de la muestra. Con esta modificación, el árido reciclado puede cumplir la especificación establecida en la EHE.

### 3.3.2.- Arido reciclado cerámico

Las propiedades varían de acuerdo a la composición de los materiales, por lo que es necesario hacer una distinción entre los componentes principales y secundarios.

Se considera como áridos reciclados cerámicos a aquellos que contienen al menos un 65% en peso de los siguientes componentes: ladrillo y ladrillo silico-calcáreo, mezclados o no con hormigón

#### Propiedades físicas<sup>(6)(9)</sup>

La absorción es una de las propiedades físicas del árido reciclado de tipo cerámico que presenta una mayor diferencia con respecto al árido natural. Según los estudios consultados, la absorción del árido cerámico suele variar entre 6 y 25%, aunque cuando el árido reciclado incorpora además de material cerámico otros materiales como hormigón o árido natural, la absorción suele ser inferior a estos valores, situándose por debajo del 12%. La saturación se produce después de 30 minutos sumergidos en agua.

La densidad depende del tipo de ladrillo usado y de la cantidad de arena utilizada en la fabricación de los ladrillos. Como orden de magnitud se puede considerar que la densidad del ladrillo triturado está entre 1200 y 1800 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad de conjunto está comprendida entre 1000 y 1500 kg/m<sup>3</sup>. Cuando la proporción de hormigón triturado es elevada la densidad de las partículas puede aumentar hasta los 2200 kg/m<sup>3</sup>.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

El coeficiente de Los Ángeles puede ser muy variable, encontrándose valores comprendidos entre 20% y 55% en los áridos de origen mayoritariamente cerámico.

Otro problema es la presencia de impurezas en áridos reciclados cerámicos, sobre todo de madera, yeso o vidrio. Esas impurezas afectan de manera importante a las propiedades del hormigón reciclado.

### **Propiedades químicas**

El contenido de sulfatos ( $SO_3$ ) -que puede ser debido a la presencia de mortero en los escombros, piezas de yeso u otros contaminantes-, no debería exceder de 1% en peso del árido seco. Aún con valores de  $SO_3$  del 1%, si los áridos reciclados se utilizan en la fabricación de hormigón, éste puede sufrir una apreciable pérdida de resistencia, principalmente cuando el contenido de cemento es bajo.

Cuando se utiliza ladrillo triturado como principal componente, la pérdida por ignición es menor de 5% en peso. Si se utiliza ladrillo silico-calcáreo u hormigón la pérdida es mayor <sup>(6)</sup>.

### **3.4.- APLICACIONES**

La utilización de árido reciclado es cada vez más habitual en el campo de la construcción, en ámbitos muy variados como son la construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos), capas de firmes de carreteras, o en la fabricación de hormigón.

Los destinos de estos materiales reciclados dependerán de la naturaleza o composición mayoritaria de los residuos. Así, mientras que para explanaciones se suelen utilizar materiales procedentes tanto de residuos cerámicos, como de asfalto, de hormigón o mezclas de estos, para otras aplicaciones más restrictivas, como la fabricación de hormigón, los materiales reciclados suelen proceder de residuos de hormigón o en algunos casos de mezcla de residuos de hormigón y cerámicos.

Cada una de estas aplicaciones obliga a fijar distintos niveles de exigencias en las propiedades del árido reciclado.

#### **3.4.1.- Arido reciclado procedente de hormigón**

##### **3.4.1.1 Obras de tierra y terraplenes <sup>(10 a 12)</sup>**

Los residuos de la demolición de estructuras de hormigón pueden emplearse en obras de tierra y terraplenes. Para esta valorización hay que tener en cuenta la homogeneidad del residuo así como la ausencia de armaduras, contaminantes, y la granulometría. El empleo de estos escombros "limpios" en terraplén supone desaprovechar las posibilidades de estos materiales. Si a pesar de ello se utilizan en obras de tierra, se haría como si de materiales naturales se tratara. Según la norma francesa NF P 11-300, estos materiales están adscritos a la familia F7 de subproductos industriales y en este país se emplean en terraplenes y explanada los materiales resultantes del pretratamiento y los áridos reciclados no clasificados, siempre asociado a un tratamiento muy reducido, que puede limitarse a un machaqueo primario para satisfacer las exigencias granulométricas y en su caso, la eliminación de armaduras. Algunas administraciones norteamericanas de carreteras permiten el empleo de trozos de hormigón, siempre que no se

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

supere el tamaño máximo (150-200 mm). En el caso de que el contenido en sulfatos solubles de los residuos -determinado según la norma francesa XP P 18 581- fuera superior al 7‰, la norma específica de terraplenes (NF P 11 300) señala que no se podrán estabilizar con ligantes hidráulicos, ni utilizarlos en zonas próximas a obras o capas tratadas con cemento, o en zonas inundables, ni tampoco en coronación de terraplenes.

Para prevenir la expansividad, hay que prestar atención al azul de metileno y al contenido en sulfatos, mientras que en la puesta en obra son la absorción de agua y la naturaleza frágil de los áridos reciclados, las variables a atender especialmente. Los departamentos del transporte de los estados de Illinois, Minnesota y Montana tienen especificaciones para la valorización de los escombros de hormigón y en particular, para los casos de empleo en obras de tierra y estabilizaciones.

### 3.4.1.2.- Carreteras

La incorporación de los materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición a la infraestructura de una carretera, puede hacerse, siempre que se cumplan las condiciones técnicas y medioambientales exigidas, como materiales para explanaciones; en terraplenes y rellenos, y como áridos reciclados para distintas capas del firme.

En España las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de materiales en terraplenes y rellenos se recogen en los artículos 330 y 332 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). En el apartado 3.2, Características de los materiales, del art. 330, Terraplenes, se indica que *“Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan con las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto”*. Para rellenos localizados, art.332, se deben utilizar solamente suelos adecuados y seleccionados según el apartado 330.3, Materiales para terraplenes.

Las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de áridos reciclados en la construcción de capas de firmes de carreteras se encuentran esencialmente recogidas dentro de la normativa UNE-EN, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4).

En el PG-3 se hace mención expresa a la utilización de áridos reciclados procedentes de hormigón machacado en algunas unidades de obra para firmes de carretera como: Zahorras (art. 510) y Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento) (art.513). Además, se admite la utilización de materiales procedentes de residuos de construcción y demolición en Hormigón magro vibrado (art. 551) siempre y cuando hayan sido tratados adecuadamente para satisfacer las especificaciones técnicas establecidas. En algunos países se han utilizado estos áridos en mezclas bituminosas.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

### Capas granulares sin tratar (Zahorras)

Se trata de la aplicación más común del hormigón triturado en carreteras, ya que puede absorber grandes volúmenes y normalmente se puede obtener la calidad deseada.

La mayor parte de los países que permiten la utilización de áridos reciclados de hormigón en carreteras, exigen a este material las mismas especificaciones que al árido natural, imponiendo además un contenido mínimo de hormigón y máximo de impurezas (materia orgánica, yeso, etc).

Cuando se utilizan en capas granulares sin tratar, aunque inicialmente la capacidad de soporte puede ser menor que en las capas granulares convencionales, debido a la mayor dificultad para su compactación, a lo largo del tiempo se suelen cementar, igualando o superando la capacidad de soporte de otros materiales granulares. Generalmente se mezcla el material reciclado con arena de aportación que mejora su trabajabilidad y disminuye su permeabilidad.

En Francia, por ejemplo, el 75-80% de la producción de hormigón triturado se emplea como capa granular en este tipo de aplicaciones.

### Materiales tratados

El tratamiento del hormigón reciclado con cemento o ligantes bituminosos aumenta la resistencia del material, reduce la susceptibilidad frente al hielo, la permeabilidad y la posible lixiviación.

Suele ser necesario un contenido de ligante mayor en la mezcla para compensar la menor densidad del árido reciclado o la posible lixiviación.

#### 3.4.1.3.- Edificación y obra pública

Las principales aplicaciones de los áridos procedentes de hormigón triturado son: árido grueso para hormigones, árido fino para morteros y finos para cementos.

#### **Árido para hormigón estructural**

En general, los áridos gruesos reciclados procedentes de hormigón, pueden ser utilizados tanto para hormigón en masa como para hormigón armado, manteniéndose los criterios de dosificación de los hormigones convencionales.

Las principales propiedades del hormigón reciclado son las siguientes.

La **demanda de agua** del hormigón fresco reciclado es mayor que la del hormigón fresco hecho con gravas naturales y el consumo de cemento para la misma resistencia algo mayor.

La **densidad** del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón original; con el reemplazo del 100% del árido grueso, se puede obtener una densidad entre un 10-20% menor<sup>(13)</sup>.

Sustituciones de hasta 30% del árido convencional por árido reciclado, no alteran de forma significativa la **resistencia a compresión** del nuevo hormigón. Cuando se sustituye el 100% del árido grueso, la resistencia a compresión puede disminuir entre un 10 y un 20%<sup>(13)(14)</sup>.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

El **módulo de elasticidad** del hormigón reciclado es siempre inferior (entre un 15 y un 40% ) al del hormigón de referencia<sup>(15)</sup>, y alcanza los valores menores cuando se utiliza también árido fino reciclado.

La **retracción y la fluencia** del hormigón reciclado se mantienen cuando el reemplazo del árido grueso es inferior a 20%, mientras que con un reemplazo del 100% del árido grueso la retracción puede aumentar hasta un 50% y la fluencia entre un 30-60%. Si se utiliza también árido fino reciclado ambos valores aumentan aún más<sup>(6)</sup>.

Para la misma dosificación, tanto la **absorción** como la **porosidad** del hormigón con árido reciclado aumentan. Según estudios españoles<sup>(16)</sup>, en un hormigón de referencia con absorciones comprendidas entre 5 y 6%, y porosidad entre 11 y 13%, puede alcanzar valores de absorción del orden del 8-9%, y porosidad entre 16-20%.

La **resistencia al hielo-deshielo** del hormigón reciclado depende de la resistencia al hielo-deshielo del hormigón original y de la dosificación del nuevo hormigón. Hormigones resistentes a las heladas darán lugar a hormigones reciclados que se comportarán bien frente a este tipo de ambiente.

El árido reciclado puede funcionar como un foco de propagación de la **carbonatación**, porque no impide el paso del CO<sub>2</sub> como un árido convencional, por lo que se debe tener un especial cuidado con la carbonatación.

Los áridos reciclados deberán limitar tanto el contenido de cloruros como de SO<sub>3</sub> para su uso en hormigones, al mismo valor que se contempla en las normas para los áridos convencionales.

La utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón estructural está incluida en el Anejo 15 de la EHE<sup>(17)</sup>, y establece unas limitaciones al uso del árido reciclado, cuyas líneas generales se señalan a continuación:

- La aplicación del árido reciclado se limitará a los casos de hormigón en masa y armado de resistencia característica no superior a 40 N/mm<sup>2</sup>, quedando excluido su empleo en hormigón pretensado.
- El árido reciclado debe obtenerse a partir del machaqueo de hormigón convencional, excluyendo el reciclaje de hormigones especiales tales como hormigones ligeros, hormigones con fibras o aquellos fabricados con cemento aluminoso, etc.
- Se contempla la utilización de la fracción gruesa del árido reciclado sustituyendo a un 20% en peso de la grava natural.
- La utilización del árido reciclado en hormigones que vayan a estar expuestos a ambientes agresivos, estará condicionada por la necesidad de tomar precauciones especiales.

El Anejo recomienda limitar el contenido de árido grueso reciclado al 20% en peso sobre el contenido total de árido grueso. Con esta limitación, las propiedades finales del hormigón reciclado apenas se ven afectadas en relación a las que presenta un hormigón convencional, siendo necesaria, para porcentajes superiores, la realización de estudios específicos y experimentación complementaria en cada aplicación.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

La siguiente tabla recoge las especificaciones que debe cumplir el árido reciclado para esta aplicación:

	<b>ÁRIDO RECICLADO</b>
Contenido de partículas < 4 mm	≤5%
Contenido de terrones de arcilla (*)	≤0,6%
Absorción	≤7%
Impurezas	
-Material cerámico	≤5%
-Partículas ligeras	≤1%
-Asfalto	≤1%
-Otros materiales (vidrio, plástico, metales, etc)	≤1%

(\*) Contenido máximo utilizando un 20% de árido reciclado, de forma que la combinación de árido reciclado y árido natural cumpla el límite de 0,25%

**Tabla 7:** Requisitos adicionales para el árido reciclado

En general, para hormigones reciclados con un porcentaje de árido grueso reciclado no superior al 20% se pueden utilizar las fórmulas del articulado, aunque para porcentajes mayores el Anejo propone unos coeficientes de corrección para poder utilizar la formulación propuesta en la EHE para estimar el módulo de elasticidad, la fluencia y la retracción del hormigón reciclado.

Resistencia a tracción	1
Módulo de elasticidad	0,8
Coefficiente de fluencia	1,25
Retracción	1,5

**Tabla 8:** Coeficientes de corrección para estimar las propiedades del hormigón reciclado fabricado con árido reciclado de hormigón

A nivel internacional, existe una gran variación entre los requisitos fijados por las diferentes normativas o recomendaciones, tanto en los requisitos exigidos al árido reciclado como en el uso de los hormigones reciclados.

### Árido para hormigón no estructural

La utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón no estructural está incluida en el Anejo 18 de la EHE, permitiéndose hasta un 100% de árido grueso reciclado, siempre que cumplan las especificaciones definidas en el Anejo 15 de la EHE<sup>(17)</sup> (Recomendaciones para la utilización de hormigones reciclados), recogidas en la Tabla 7.

### Árido fino para morteros

Una alternativa al empleo de estos áridos reciclados es su utilización como arena para la producción de morteros<sup>(18)(19)</sup>. Estos morteros presentan una resistencia a compresión algo menor que la de los morteros con árido natural. En lo referente a la absorción capilar y la adherencia presenta valores muy similares.



<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Considerando que los finos procedentes del hormigón machacado contienen una cierta cantidad de hidróxido de calcio, al mezclarlos con agua y materiales puzolánicos como cenizas volantes, humo de sílice o escorias de alto horno a temperatura ambiente adquieren propiedades hidráulicas y forman unos productos con una alta resistencia a compresión.

### **Cementos fabricados con finos procedentes de hormigón triturado**

Para este fin se utiliza una mezcla de finos menores de 5 mm procedentes de hormigón machacado (que se pulveriza para obtener la finura del cemento), escorias de horno alto pulverizadas o lodos con desechos de cemento procedente de las plantas de fabricación de hormigón, 2-3% de yeso y un acelerador inorgánico de fraguado<sup>(4)(6)</sup>. Comparando hormigones que tienen la misma consistencia y resistencia a compresión, hechos con cemento reciclado y con cemento Portland con escorias, se obtiene que presentan características similares en cuanto al desarrollo de la resistencia en el tiempo, retracción de secado y la resistencia a las heladas, mientras que el calor de hidratación es menor y la profundidad de carbonatación mayor al utilizar cementos reciclados.

En España no se fabrican esta clase de cementos, pero por ejemplo en Japón en el año 1988 ya se producían unos 2000 m<sup>3</sup> de hormigón hecho con cementos reciclados cada mes, para ser utilizados en elementos no estructurales, como aplicaciones para cimentaciones, muros de revestimiento o aplicaciones de hormigón en masa. El precio del hormigón fabricado con cemento reciclado resulta aproximadamente un 4% menor que el del hormigón normal.

### **3.4.2.- Arido reciclado procedente de residuos cerámicos**

#### **3.4.2.1 Obras de tierra y terraplenes<sup>(20)</sup>**

Los escombros de mampostería pueden utilizarse en terraplenes y obras de tierra con las adecuadas condiciones de homogeneidad y limpieza, siendo muy recomendable eliminar el yeso por la posibilidad de causar reacciones expansivas. Esto implica notables costes, por lo que el objetivo es producir áridos que puedan ser utilizados en usos de mayor valorización, como capas de firme de modo que se puedan compensar en la medida de lo posible dichos costes. En el caso de áridos reciclados heterogéneos que no contengan sustancias peligrosas ni contaminantes inertes se podrían utilizarse en la construcción de rellenos y terraplenes, siendo interesante el aprovechamiento de la fracción 0/20 como material para la construcción de terraplenes.

#### **3.4.2.2.- Carreteras**

Los áridos reciclados procedentes de materiales cerámicos no cumplen en general las especificaciones que se exigen en nuestro país a los áridos para capas de firme como zahorras o materiales tratados con cemento. Su utilización en infraestructuras de carreteras se centra esencialmente en materiales para explanaciones (terraplenes y rellenos) de distinta categoría según su composición y características.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

### 3.4.2.3.- Edificación y obra pública

#### Árido para hormigón

Una de las aplicaciones del árido reciclado cerámico es la fabricación de hormigones y morteros.

Dada la reducida densidad del escombros triturado, estaría en la condición de árido ligero, por lo que puede ser de aplicación para la obtención de hormigones ligeros sin finos. El hormigón no ligero fabricado con ladrillo triturado suficientemente denso, se puede utilizar en la construcción de estructuras de hormigón en masa y hormigón armado, tales como: muros de sótano, pilas de hormigón, chimeneas, todo tipo de productos de hormigón armado prefabricado, elementos para tejados, bloques de hormigón o tejas de hormigón para tejados. La resistencia de este tipo de hormigón reciclado disminuye considerablemente en relación con la del hormigón normal.

Las principales características de este tipo de hormigones son las siguientes:

**Dosificación del hormigón con áridos reciclados:** el contenido de cemento debe ser aproximadamente un 20% superior al de un hormigón normal<sup>(6)</sup>. Si se usa la fracción 0/4 mm de los escombros de albañilería triturada, se necesita una mayor cantidad de cemento para alcanzar la equivalente resistencia del hormigón. Para hormigones ligeros sin finos con ladrillos triturados, el contenido de cemento puede variar entre 130 y 170 kg/cm<sup>3</sup>, aunque se recomienda aumentar estos valores hasta 200-230 kg/m<sup>3</sup>.

El hormigón fabricado con ladrillo triturado presenta una peor **trabajabilidad**, debido a la textura rugosa de la superficie del ladrillo triturado. La **absorción** varía en función de la composición del árido reciclado empleado, alcanzando los valores más altos (aproximadamente entre el 22-30% del peso seco de los áridos)<sup>(6)</sup> cuando se utiliza árido procedente de ladrillos, valores intermedios con áridos procedentes principalmente de hormigón y los valores inferiores con el empleo de arena natural.

La **densidad** del hormigón no sólo depende del contenido de cemento, sino también de la densidad y la granulometría de los escombros. La densidad del hormigón fabricado con árido reciclado cerámico<sup>(6)</sup> varía entre 1600 y 2100 kg/m<sup>3</sup>, mientras que la densidad de los hormigones ligeros sin finos está comprendida entre 1400 y 1700 kg/m<sup>3</sup>.

La **resistencia a compresión** de este tipo de hormigones es reducida; las máximas resistencias alcanzadas están en 30 N/mm<sup>2</sup> con 350 kg/cm<sup>3</sup> de cemento y ladrillos de densidad cercana a 2 t/m<sup>3</sup>. Los valores más normales están en el rango 10-20 N/mm<sup>2</sup> <sup>(6)</sup>.

La **resistencia a tracción y flexión** del hormigón con áridos procedentes de ladrillos triturados no sufre grandes variaciones, pudiendo alcanzar en ocasiones valores superiores, hasta un 10%, a los del hormigón normal <sup>(6)(21)(22)(23)</sup>.

El **módulo de elasticidad** de hormigones con árido reciclado cerámico, está comprendido entre la mitad y dos tercios del de un hormigón normal de la misma resistencia. Como orden de magnitud<sup>(22)(23)</sup>, diferentes ensayos han obtenido en hormigones de resistencia a compresión igual a 32 N/mm<sup>2</sup> un módulo alrededor de 15.000 N/mm<sup>2</sup>.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Existe una relación lineal entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión para este tipo de hormigones.

La **fluencia** es mayor para todo tipo de hormigones con árido reciclado cerámico.

La **retracción** de secado final del hormigón con árido reciclado cerámico es aproximadamente un 40% mayor que la de un hormigón ordinario (en particular entre 20 y 60% para hormigones con ladrillos triturados, cerca de un 49% para ladrillos silico-calcáreos triturados)<sup>(6)</sup>.

**Permeabilidad.** Los ensayos de penetración de agua dan profundidades hasta un 50% superiores a las obtenidas en los hormigones convencionales.

La **resistencia a las heladas** del hormigón con ladrillos triturados se considera inadecuada. Se produce una intensa descamación sobre los áridos cercanos a la superficie del hormigón.

La velocidad de **carbonatación** del hormigón con árido reciclado procedente de ladrillos o ladrillos silico-calcáreo, es mayor que en hormigones normales, debido a la porosidad del árido. Este efecto puede compensarse incrementando el contenido de cemento en el hormigón.

El hormigón con árido reciclado cerámico presenta una buena **resistencia al fuego** si se conserva convenientemente seco.

Las principales características que se le exige al árido grueso reciclado cerámico para la fabricación de hormigón se incluyen en la siguiente tabla (según las recomendaciones del TC 121 DRG de Rilem, 1994)<sup>(24)</sup>.

Exigencias obligatorias	RCAC Tipo I	Método de ensayo
Densidad seca mínima de las partículas (kg/m <sup>3</sup> )	1500	ISO 6783 y 7033
Máxima absorción de agua (%)	20	ISO 6783 y 7033
Máx. contenido de material de densidad(*) <1800 kg/m <sup>3</sup> (%)	10	ASTM C123
Máx. contenido de material de densidad(*) <1000 kg/m <sup>3</sup> (%)	1	ASTM C123
Máx. contenido de materiales extraños (metales, vidrios, materiales blandos, betún) (%)	5	Visual
Máx. Contenido de metales (%)	1	Visual
Máx. Contenido de materia orgánica (%)	1	NEN 5933
Máx. contenido de finos (<0,063mm) (%)	3	PrEN 933-1
Máx. contenido de arena (<4mm)	5	PrEN 933-1
Máx. Contenido de sulfatos (calculado como SO <sub>3</sub> )	1	Bs 812
Contenido máx. de partículas con textura superficial lisa (%)	30	NEN 5941
Pérdida de peso en los ciclos hielo-deshielo (%)	3	NEN 5924

(\*) determinada en condiciones de árido saturado con la superficie seca.

**Tabla 9:** Características de los áridos reciclados cerámicos para la fabricación de hormigón

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Se debe limitar también el contenido de cloruros en función del tipo de hormigón a los siguientes valores<sup>(6)</sup>

Fracción	Máximo contenido de cloruros en % del peso del árido seco		
	hormigón en masa	hormigón armado	hormigón pretensado
Fracción 0/4	1,0	0,1	0,015
Resto de fracciones	1,0	0,05	0,007

**Tabla 10:** Contenido máximo de cloruros del árido reciclado cerámico para la fabricación de hormigón

Es importante el control de calidad para evitar reducir la calidad del hormigón fabricado, que de acuerdo con las experiencias prácticas, ha tenido su origen en la presencia de impurezas, en la utilización de un árido que originó segregación y en la falta de agua para hidratar el cemento.

En general, los áridos gruesos reciclados procedentes de residuos cerámicos, pueden ser utilizados tanto para hormigón en masa como para hormigón armado. Según las recomendaciones de la RILEM<sup>(24)</sup>, el árido reciclado procedente de escombros de albañilería se podría utilizar en hormigones con categoría resistente de hasta C 16/20, excepto en ambientes agresivos, en los que estaría prohibida su utilización.

La categoría resistente se puede incrementar a C 30/37 dependiendo de que la densidad de los áridos reciclados, determinada en condiciones de saturación con la superficie seca, sea superior a 2000 kg/m<sup>3</sup>.

En ausencia de datos precisos relacionados con un material reciclado específico, se han propuesto una serie de factores para evaluar las propiedades del hormigón reciclado, que se reflejan en la siguiente tabla<sup>(24)</sup>.

Resistencia a tracción	1
Módulo de elasticidad	0,65
Coefficiente de fluencia	1
Retracción	2

**Tabla 11:** Coeficientes de corrección para estimar las propiedades del hormigón reciclado fabricado con árido reciclado cerámico

El aumento de la fluencia al utilizar áridos reciclados se tiene en cuenta a través de la disminución del módulo de elasticidad.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

### 3.5.- OBRAS REALIZADAS

#### 3.5.1.- Arido reciclado procedente de hormigón

##### 3.5.1.1.- Carreteras

Existe a nivel internacional una amplia experiencia en la utilización de áridos reciclados procedentes de hormigón en capas de firmes de carreteras, fundamentalmente en capas granulares. En Europa es práctica habitual en países como Francia, Reino Unido, Países Bajos, Alemania, Austria, Suiza y Dinamarca.

En nuestro país se están utilizando áridos reciclados procedentes de hormigón en capas granulares en polígonos industriales y urbanizaciones: En carreteras autonómicas y estatales la utilización ha sido escasa y generalmente no figuran relacionadas, ni se ha hecho un seguimiento de su comportamiento.

##### 3.5.1.2.- Edificación y obra pública

Aunque a nivel práctico, el uso de árido reciclado procedente de hormigón para la fabricación de un nuevo hormigón, es muy reducido en España, existen ya algunos casos en los que se ha utilizado o está previsto utilizar áridos reciclados.

##### ***Puente de Marina Seca del Forum 2004 de Barcelona***

El puente de Marina Seca, una de las obras emblemáticas del FOURM 2004 de Barcelona, fue construido utilizando hormigón reciclado en alguno de sus elementos. Se utilizó un árido reciclado de un único origen (fracción 4/25 mm), con una absorción media de 6,7%, exento de cloruros, y sulfatos. Más del 95% del árido reciclado eran partículas de hormigón. La cantidad de finos inferiores a 0,063 mm fue del 1% y el aporte de finos menores de 4 mm fue del 10%, lo que obligó a una ligera corrección en la cantidad de arena.

Se utilizó una sustitución del 20% de árido reciclado previamente presaturado, con una grado de saturación entre el 80% y el 90%.

La resistencia obtenida fue de 47,8 N/mm<sup>2</sup>, y los resultados de los ensayos de penetración de agua fueron adecuados. La puesta en obra de este hormigón tampoco presentó ninguna dificultad.

##### ***Puente atirantado sobre el rio Turia<sup>(25)</sup>***

La experiencia piloto, que finalizará en el año 2008, propone la utilización de hormigón reciclado en un puente atirantado de hormigón armado, situado en Manises (Valencia), propiedad de la Diputación de Valencia.

Este puente se ejecutará como sustitución de una estructura de hormigón ya existente. El objetivo del proyecto es reciclar el material de hormigón procedente de esta estructura para la fabricación de parte del hormigón de la nueva estructura, utilizando una sustitución del 20% del árido natural por árido reciclado en el hormigón de un tramo de la losa.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Las condiciones de utilización de los áridos reciclados y del hormigón son las siguientes:

- El árido reciclado así producido se utilizará como sustitución de una parte del árido grueso natural, en un porcentaje no superior al 20%. El árido mezcla así utilizado deberá cumplir las especificaciones que establece la EHE para los áridos naturales.
- Calidad del hormigón de origen  $f_{cm}$  deberá ser superior a  $25 \text{ N/mm}^2$ .
- Resistencia máxima hormigón reciclado  $f_{cm} < 50 \text{ N/mm}^2$ .
- Estudios específicos en ambientes distintos al I y IIb.

Fuera de España la experiencia práctica en la utilización de hormigón reciclado es más amplia. Algunos de los proyectos llevados a cabo se resumen a continuación <sup>(26)</sup>.

### Países Bajos

En 1988 se empleó aproximadamente  $500 \text{ m}^3$  de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32 cerca de Meppel.

En 1990 se construyó un segundo viaducto en esa misma zona. En este caso se utilizó árido grueso reciclado (en un porcentaje del 20%) para todas las partes de hormigón del viaducto. La cantidad total de hormigón reciclado que se usó fue de  $11.000 \text{ m}^3$ .

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Almelo (en 1988) se emplearon unas  $2.000 \text{ t}$  de hormigón reciclado para la construcción de la losa de hormigón bajo el agua.

Debido a los buenos resultados obtenidos en la utilización de hormigón reciclado, desde 1991 se exige la utilización de árido de hormigón reciclado en un porcentaje del 20% de la fracción gruesa en todos los proyectos de hormigón, con excepción de las estructuras de hormigón pretensado.

### Reino Unido

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados en el Reino Unido se llevó a cabo en Watford en el año 1995 durante la construcción de un bloque de oficinas. Se empleó hormigón triturado procedente de la demolición de un edificio de 12 plantas en el centro de Londres. El árido grueso se utilizó para la construcción de cimentaciones, pilares y forjados.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Las características de cada tipo de hormigón quedan reflejadas en la siguiente tabla:

	<b>CIMENTACIONES</b>	<b>FORJADOS</b>	<b>HORMIGÓN BOMBEADO</b>
<b>Resistencia</b>	C25	C35	-
Cemento	>330 kg/m <sup>3</sup>	>330 kg/m <sup>3</sup>	>340 kg/m <sup>3</sup>
	50% de escorias de horno alto	70% de escorias de horno alto	
Relación agua/cemento	< 0,50	< 0,50	-
Cantidad de árido grueso reciclado	985 kg/m <sup>3</sup>	985 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>
Asentamiento	75 mm	75 mm	-

**Tabla 12:** Características del hormigón reciclado utilizado en un bloque de oficinas en Watford

### **Bélgica**

Para la ampliación del puerto de Antwerp, se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor. La demolición se realizó con explosivos, originando unos 80.000 m<sup>3</sup> de escombros. Por consideraciones tanto ambientales como económicas se optó por la utilización de los escombros de hormigón para la fabricación de hormigón reciclado.

El hormigón producido disponía de suficiente resistencia a compresión ( $f_c$  de 35 N/mm<sup>2</sup>) y retracción aceptable (<150  $\mu$ m/m). Para mejorar la trabajabilidad del hormigón se optó por presaturar los áridos reciclados antes de incorporarlos a la mezcla, corrigiendo así la cantidad de agua añadida.

Después de casi 15 años de servicio la estructura no ha presentado problemas de durabilidad.

### **Alemania**

En Alemania se usó árido reciclado para la construcción de grandes bloques de hormigón como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg (1999). Estos bloques se encuentran en el exterior y en contacto con agua. En este caso, solo se empleó árido grueso reciclado.

En 1993-1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Se empleó árido reciclado en la construcción de los elementos estructurales de hormigón, realizándose una estricta selección de los áridos reciclados y exhaustivo control de calidad. Se utilizaron 290 kg/m<sup>3</sup> de cemento Pórtland CEM I 42,5 R; el árido

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

grueso era reciclado (con tamaños comprendidos entre 4 y 32 mm) y el árido fino arena natural. La mezcla contenía además 70 kg/m<sup>3</sup> de cenizas volantes y plastificante. Con un contenido de agua de 201 kg/m<sup>3</sup> se consiguió una resistencia cúbica de 35 N/mm<sup>2</sup>.

### **Dinamarca**

Uno de los proyectos más significativos sobre reutilización de escombros de demolición para la fabricación de hormigón ha tenido lugar en Dinamarca. La construcción del "Great Belt Link" una gran red de enlace entre Dinamarca y Suecia, suponía la modificación de la red de carreteras existentes y la demolición de varias estructuras, entre las que se encontraba la demolición de un puente de hormigón armado. En esta demolición se llevaron a cabo distintas investigaciones sobre técnicas de demolición y utilización del hormigón triturado como árido para un nuevo hormigón. Finalmente los escombros fueron procesados y empleados en la fabricación de hormigón, que se utilizó para la construcción de "La casa reciclada", en Odense<sup>(49)</sup> y las cimentaciones de pantallas acústicas. Esta casa reciclada consiste en un bloque de 14 apartamentos de tres pisos con sótano.

### **Japón**

En Japón se emplean los áridos reciclados como material para la fabricación de bloques de hormigón prefabricados.

### **3.5.2.- Arido reciclado procedente de residuos cerámicos**

#### **3.5.2.1.- Carreteras**

En nuestro país no existe experiencia en la utilización de árido reciclado de residuos cerámicos en capas de firmes de carreteras. Si se han utilizado mezclas procedentes de hormigón y cerámico, por ejemplo en calles y carreteras de la Ciudad Olímpica de Barcelona.

#### **3.5.2.2.- Edificación y obra pública**

La experiencia práctica en la utilización de hormigón reciclado con áridos procedentes de escombros de albañilería es escasa, aunque se han llevado a cabo algunos proyectos que se resumen a continuación <sup>(26)</sup>.

### **Países Bajos**

En los Países Bajos es habitual la utilización de árido reciclado procedente de hormigón (se exige su empleo en un porcentaje del 20% de la fracción gruesa en todos los proyectos de hormigón, con excepción de las estructuras de hormigón pretensado). Debido a la falta de disponibilidad de este tipo de árido reciclado ya se han llevado a cabo varios proyectos piloto donde se ha reemplazado el 20% del árido grueso por una mezcla de hormigón y ladrillo triturado.

En 1992 se empleó árido reciclado (mezcla de hormigón y ladrillo) en la construcción de los estribos de un viaducto cerca de Helmond.



<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Schijndel (en 1992), se emplearon unos 300 m<sup>3</sup> de hormigón con árido reciclado procedente de una mezcla de hormigón y ladrillo.

Desde 1994 el Gobierno holandés permite el uso de este tipo de árido reciclado (mezcla de hormigón y ladrillo) en hormigón estructural, con un reemplazo máximo del 20% del árido grueso. A pesar de esta restricción se han llevado a cabo varios proyectos piloto que han demostrado la posibilidad de utilizar cantidades mayores de árido reciclado, siempre y cuando se tomen las precauciones necesarias.

Entre 1997 y 1998 se construyeron 272 casas unifamiliares empleando un 100% de árido reciclado. Se utilizó para la construcción de muros de carga de hormigón en masa y elementos de hormigón para fachadas y suelos.

### **Alemania**

El uso del árido reciclado en Alemania data desde aproximadamente 1950 y se ha usado principalmente para la construcción de viviendas.

En 1996-1997, se desmanteló una zona militar a las afueras de Itzehoe que produjo aproximadamente unas 50.000 t de escombros cerámicos y unas 20.000 t de escombros de hormigón. Estos se utilizaron para la edificación nuevamente de esa misma zona.

### **Reino Unido**

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados mezcla de hormigón y ladrillos se llevó a cabo en Cardington (1996), para la construcción de la losa de la segunda planta de un edificio de esta ciudad. La losa estaba fuertemente armada y tenía 0,5 m de espesor.

Se optó por una sustitución del 20% del árido grueso y se emplearon unas 100 t de árido reciclado (que contenía hasta un 50% de ladrillo). La dosificación del hormigón empleado fue la misma que la de la losa construida en la primera planta de ese mismo edificio, y para ambos hormigones se obtuvieron unas resistencias similares (60 N/mm<sup>2</sup> a los 91 días). El uso de árido reciclado no afectó al bombeo ni a la puesta en obra del hormigón.

### **España**

La única experiencia de la que se tiene constancia fue la construcción de la ciudad Olímpica de Barcelona <sup>(27)</sup>. Las construcciones situadas en esta zona fueron demolidas (alcanzando una cantidad aproximada de escombros de 1,5 millones de toneladas), para ello se utilizaron procedimientos selectivos de demolición, realizando in situ una primera eliminación de impurezas. Sólo se trataron materiales inertes como hormigón, piedra, cerámicas y ladrillos, procedentes de la demolición de estructuras, cerramientos y cimentaciones. Otros materiales mezclados o aquellos que contenían impurezas como madera, plásticos o acero se rechazaron. Los materiales reciclados se utilizaron para construir las calles y carreteras de la Ciudad Olímpica y estructuras de escollera en la línea litoral.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

#### **4.- CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES**

##### **Generalidades**

La Ley 10/1998, de Residuos, de 21 de abril, establecía en su artículo 3 que tendrían consideración de residuos todos aquellos que figurasen en el Catálogo Europeo de Residuos (CER). Este Catálogo fue aprobado por la Decisión 94/3/CE de 20 de diciembre de 1993, y complementado con la Decisión 94/904/CE, ambas aprobadas en el Real Decreto 952/1997.

Las Decisiones Comunitarias 94/3/CE y 94/904/CE han sido derogadas por la Decisión 2000/532/CE mediante la que se aprueba La Lista Europea de Residuos. La orden MAM/304/2002 de 8 de febrero (con corrección de errores de 12 de marzo), publica en su Anejo 2 la mencionada Lista Europea de Residuos.

Los residuos de construcción y demolición vienen incluidos en la Lista Europea de Residuos en el Capítulo 17 correspondiente a "Residuos de la construcción y demolición" con los siguientes códigos:

- 17 01 Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos
  - 17 01 01 Hormigón
  - 17 01 02 Ladrillos
  - 17 01 03 Tejas y materiales cerámicos
  - 17 01 06 Mezclas, o fracciones separadas, de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos que contienen sustancias peligrosas
  - 17 01 07 Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas de las especificadas en el código 17 01 06

Los áridos reciclados procedentes de hormigón procederían de residuos tipificados con el código 17 01 01, mientras que los áridos reciclados procedentes de fábrica de ladrillo procederían de residuos tipificados con los códigos 17 01 02, 17 01 03 y 17 01 07.

Si bien la mayor parte de los residuos que se generan en actividades de construcción y demolición no suelen revestir características de peligrosidad, su recogida de forma no selectiva provoca la mezcla de distintos tipos de residuos que en general no son peligrosos pero que, al mezclarse, pueden dar lugar a residuos contaminados en su conjunto, lo que impide someterlos a un aprovechamiento apropiado, o a que se envíen a vertederos que no cuentan con las barreras de protección adecuadas al tipo de residuo que reciben.

Entre los materiales y sustancias que pueden encontrarse entre los RCD y que pueden tener alguna característica de peligrosidad cabe destacar:

- Aditivos de hormigón (inflamable)
- Adhesivos, másticos y sellantes (inflamable, tóxico o irritante)
- Emulsiones alquitranadas (tóxico, cancerígeno)
- Materiales a base de amianto, en forma de fibra respirable (tóxico, cancerígeno)
- Madera tratada con fungicidas, pesticidas, etc (tóxico, ecotóxico, inflamable)
- Revestimientos ignífugos halogenados (ecotóxico, tóxico, cancerígeno)

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- Equipos con PCB (ecotóxico, cancerígeno)
- Luminarias de mercurio (tóxico, ecotóxico)
- Sistemas con CFCs
- Elementos a base de yeso (fuente posible de sulfhídrico en vertederos, tóxico, inflamable)
- Envases que hayan contenido sustancias peligrosas (disolventes, pinturas, adhesivos, etc)

Sin embargo la mayor parte de los RCD se pueden considerar inertes o asimilables a inertes, y por lo tanto su poder contaminante es relativamente bajo pero, por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto por el gran volumen que ocupan y por el escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito.

### **Ventajas**

Los principales beneficios ambientales que se producen son:

- Disminución del volumen de escombros que se depositan en vertederos.
- Reducción del número de explotaciones necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto ambiental y de protección de los recursos naturales.

### **Inconvenientes**

Los aspectos ambientales negativos que se deben destacar son:

- Generación de polvo, ruido y vibraciones producidos en las operaciones de tamizado y machaqueo en las plantas de procesado de los áridos, por lo que hay que estudiar el emplazamiento más conveniente para reducir en lo posible su impacto ambiental. En el caso de plantas fijas de reciclaje de áridos es conveniente situarlas en las proximidades de una planta de fabricación de hormigón.
- Posibles impactos sobre la salud, causados por el inadecuado manejo y/o protección frente a componentes peligrosos que pueden existir en los residuos ( particularmente en algunos de demolición), como el amianto.

## **5. ASPECTOS ECONÓMICOS**

Las tasas de vertedero de residuos sólidos inertes en España son de competencia municipal, encontrándose una gran variación entre los distintos municipios, tanto en las cuotas de las tasas como en su forma de aplicación. Así, en cuanto a este último, existen municipios que aplican una tarifa única de vertido, mientras que otros aplican diferentes tasas según la naturaleza del residuo.

Como ejemplo, se han consultado las tasas de varias capitales de provincia españolas, con el fin de tener una idea representativa.

Entre los municipios que tienen una tarifa única de vertido, se pueden encontrar precios que varían entre 1 euro/t (Pamplona) y 25,20 euros/t (Madrid).

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Dentro de los municipios que poseen diferentes tasas, los residuos inertes limpios tienen una tasa de vertido inferior a la de los residuos mezclados, pudiendo variar entre 2 y 10 euros/t la tasa de vertido de residuos inertes limpios, y entre 8 y 30 euros/t si están mezclados.

También las plantas que producen áridos reciclados admiten el vertido de residuos inertes. En la tabla 13 se incluyen algunos precios de admisión de los residuos en las plantas de reciclado<sup>(50)(52)</sup>:

	<b>COSTE DE VERTIDO DE RESIDUOS EN LAS PLANTAS DE RECICLADO</b>
RCDs mezclados	12 euros/t
RCDs de hormigón	6 euros/t
Hormigón limpio	4 euros/t
Residuo sucio	16 euros/t

**Tabla 13:** Costes de vertido de RCDs en una planta de reciclado

Por otra parte, si comparamos los precios de los áridos naturales con los de los áridos reciclados, los primeros pueden variar entre 10 y 20 euros/t<sup>(51)</sup>, mientras que los precios de los áridos reciclados suelen ser inferiores, según se recoge en la siguiente tabla (datos facilitados por varias plantas de reciclado)<sup>(50)(52)</sup>.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

	<b>ARIDO RECICLADO</b>
Arena de miga	3,5 - 4,15 euros/t
Zahorra 0-20 mm	3,5 euros/t
Zahorra 0-40 mm	5 euros/t
Zahorra 0-60 mm	5 euros/t
Zahorra procedente de asfalto 0-40 mm	6 euros/t
Grava cerámica 6-12 mm	1,5 euros/t
Grava cerámica 12-80 m	3,5 euros/t
Grava de hormigón 6-20 mm	6,5 euros/t
Grava 20-40 mm	3,5 euros/t
Tierras para relleno	0,1 euros/t

**Tabla 14:** Precio de los áridos reciclados

## **6.- NORMATIVA TÉCNICA**

### **Terraplenes y rellenos**

#### *ESPAÑA*

En España las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de materiales en terraplenes y rellenos en carreteras se recogen en los artículos 330 y 332 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

En el apartado 3.2, Características de los materiales, del art. 330, Terraplenes, se indica que *“Además de los suelos naturales, se podrán utilizar en terraplenes los productos procedentes de procesos industriales o de manipulación humana, siempre que cumplan con las especificaciones de este artículo y que sus características físico-químicas garanticen la estabilidad presente y futura del conjunto”*.

En el apartado 3, Materiales, del art. 332, Rellenos localizados, se indica que solamente se utilizarán suelos adecuados y seleccionados según el apartado 330.3, Materiales para terraplenes.

### **Capas de firmes de carreteras**

#### *ESPAÑA*

En España las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de áridos reciclados en la construcción de capas de firmes de carreteras se encuentran esencialmente recogidas dentro de la normativa UNE-EN, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4).

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

### Normativa UNE-EN

Desde el 1 de junio de 2004 son de obligado cumplimiento en nuestro país las siguientes normas armonizadas relativas a áridos para capas de firmes de carreteras:

- UNE-EN 12620:2002, "Áridos para hormigón".
- UNE-EN 13043:2002, "Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas".
- UNE-EN 13242:2002, "Áridos para capas granulares y capas tratadas con conglomerantes hidráulicos para uso en capas estructurales de firmes".

Además, dentro de CEN se elaboró la Norma Europea EN 13285:2003, "Mezclas de áridos sin ligantes. Especificaciones", no armonizada, y que ya ha recibido el rango de norma UNE-EN.

En las tres normas europeas armonizadas (UNE-EN 12620:2002, UNE-EN 13043:2002 y UNE-EN 13242:2002) se definen los "áridos reciclados" como los áridos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción. En el apartado 1 de las normas europeas armonizadas, "Objeto y campo de aplicación", se señala que en ellas se especifican las propiedades de los áridos obtenidos por tratamiento de materiales naturales, artificiales o reciclados para su utilización en las respectivas unidades.

Con la finalidad de considerar las distintas exigencias que pueden establecerse para una determinada característica de los áridos en función de las circunstancias del uso que se les vaya a dar, en las normas se establece, para algunas de sus características, una clasificación por categorías. La aplicación concreta de las normas hace necesario que se fijen las categorías de las distintas especificaciones en función de la utilización prevista. En las normas en vigor no está completado lo relativo a requisitos adicionales y métodos de ensayo específicos para áridos reciclados. Está previsto ir introduciendo, mediante enmiendas a cada norma, las cláusulas con especificaciones concretas.

Las normas armonizadas incluyen, entre otros, un anexo normativo sobre el control de producción en fábrica, y un anexo ZA, informativo, que recoge las cláusulas que contienen las condiciones cuyo cumplimiento permite al fabricante estampar el marcado CE en su producto. Además, se incluyen las tareas que tienen que realizar los fabricantes y los organismos notificados para certificar, así como la información que debe acompañar al marcado CE.

### Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)

Mediante ORDEN FOM/891/2004, de 1 de marzo (BOE de 6 de abril de 2004), se actualizaron una serie de artículos del PG-3 relativos a firmes,. En el nuevo articulado se hace mención expresa a la utilización de materiales granulares reciclados en capas de firmes de carreteras en los siguientes artículos:

- 510.- Zahorras.
- 513.- Materiales tratados con cemento (suelocemento y gravacemento).

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- 540.- Lechadas bituminosas.
- 542.- Mezclas bituminosas en caliente.
- 551.- Hormigón magro vibrado.

En cada artículo, en el apartado sobre las características generales de los áridos, se incluyen párrafos en los que se indica que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá exigir propiedades o especificaciones adicionales a las que figuren en el artículo cuando se vayan a emplear áridos cuya naturaleza o procedencia así lo requiera. También se hace referencia a la inalterabilidad que se debe exigir a los materiales, debiendo el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, el Director de las obras fijar los ensayos para determinarla. Asimismo, se exige que los áridos no originen disoluciones con el agua que puedan causar daños a estructuras u otras capas del firme, o contaminar corrientes de agua. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes solubles de los áridos de cualquier tipo se empleará la norma NLT-326, Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras (Método del tanque).

#### Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4)

Desde el 18 de enero de 2002 está en vigor la Orden Circular 8/2001 sobre Reciclado de Firmes, que recoge los tres primeros artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras (PG-4), con los que se inicia su redacción:

- Artículo 20. Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas.
- Artículo 21. Reciclado in situ con cemento de capas de firme.
- Artículo 22. Reciclado en central en caliente de capas bituminosas.

En tanto que los artículos superan la tramitación en el ámbito europeo y son aprobados por el Ministerio de Fomento, en la propia Orden Circular se indica que serán de aplicación en los Pliegos de Prescripciones Técnicas Particulares para obras de conservación de carreteras.

Estas prescripciones técnicas se encuadran dentro del “Reciclado de pavimentos asfálticos” (Ficha técnica 5.1 del Catálogo).

### **Hormigón**

*ESPAÑA<sup>(17)</sup>*

En Noviembre de 2002 se constituyó el Grupo de Trabajo “Hormigón Reciclado” a instancias de la Comisión Permanente del Hormigón y de ACHE para elaborar un documento que complementara a la reglamentación actual de hormigón estructural (Instrucción EHE). La nueva EHE incluye un anejo (Anejo 15), que recoge las recomendaciones específicas sobre la utilización del árido reciclado procedente de hormigón en hormigón estructural.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

Además, la utilización de árido reciclado procedente de hormigón en hormigón no estructural está incluida en el Anejo 18 de la EHE.

*RILEM*<sup>(23)</sup>

- RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures): "Specifications for Concrete with Recycled Aggregates". Materials and Structures, N°27. p.p. 557-559, 1994.

*JAPÓN*<sup>(28)(29)(30)</sup>

- "Proposed standard for the use of recycles aggregate and recycled aggregate concrete". Building Contractors Society of Japan (BCS). 1977.
- "Proposed Recommended Practice for Design and Construction of Concrete Structures Made Using Recycled Aggregate". 1986.
- "Proposed Specification for Concrete Containing Recycled Coarse Aggregate". 1996.

*BELGICA*<sup>(31)</sup>

- VINCKE, J.; ROUSSEAU, E.: "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. 1994.

*AUSTRALIA*<sup>(32)(33)</sup>

- Guía australiana para la utilización de árido reciclado (RCA) en hormigón. 1998.

*HONG KONG*<sup>(34)</sup>

- Recomendaciones BS 812. 2002.

*ALEMANIA*<sup>(35)</sup>

- DIN 4226-1:2000: "Concrete Aggregate".

*REINO UNIDO*<sup>(36)(37)(38)(39)(40)</sup>

- BSG "Use of industrial by-products and waste materials in building engineering". British Standard Guide 6543. 1985.
- "Recycled Aggregates: BRE Digest 433" 1998.
- "Quality Control: The production of Recycled Aggregates. BR 392". ISBN 186081 381 X
- BS 8500-2:2002: "Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part2: Specification for Constituent Materials and Concrete".



<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- WRAP “Mix Design Specification for Low Strength Concretes Containing Recycled and Secondary Aggregates”. 2002.

#### *BRASIL<sup>(41)</sup>*

- “Recycled Aggregate Standardization in Brazil”. Universidade Estadual Paulista, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Universidade de Taubaté. 2004.

#### *FRANCIA<sup>(42)</sup>*

- Guide technique pour l’utilisation des matériaux régionaux d’Île-de-France: les bétons et produits de démolition recyclés-LCPC, Paris. Diciembre 1996.

#### *DINAMARCA<sup>(43)(44)</sup>*

- Danish Concrete Code. “Use of recycled demolition rubble”. 1989.
- Danish Concrete Association. “Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class”. Publicación N°34, 1990.

#### *PAISES BAJOS<sup>(45)</sup>*

- CUR report nr. 125 “Crushed Concrete Rubble and Masonry Rubble as Aggregate for Concrete”. FALTA AÑO

#### *AUSTRIA<sup>(46)(47)(48)</sup>*

- Austrian Quality Protection Association for Recycled Building Materials. “Guidelines for recycled building materials”. 1992.
- Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Cement-bonded Substances.
- Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Unbound Substances.

## **7.- REFERENCIAS**

- [1] PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) 2007-2015. Anexo 6. II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD).
- [2] PLAN DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MADRID (2002-2011). Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. [http://www.madrid.org/staticFiles/site\\_52811278/cit\\_13710/P\\_RCD.pdf](http://www.madrid.org/staticFiles/site_52811278/cit_13710/P_RCD.pdf)

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- [3] SYMONDS, ARGUS, COWI Y PRC BOUWCENTRUM: "Construction and Demolition; Waste Management Practices, and Their Economic Impacts"; Report to DGXI, European Commission, Febrero 1999.
- [4] URCELAY, C. "Reciclado de escombros de demolición para la fabricación de cemento", Cemento-Hormigón, N°786. p. 149-155. 1997. <http://www.icce.es/icce/artículo29.htm>.
- [5] GEHO-CEB. "Demolición y reutilización de estructuras de hormigón", Recomendaciones y Manuales Técnicos (E-7), Editado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1997.
- [6] RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Recycled aggregates and recycled aggregate Concrete", Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6, Edited by Hasen, T.C., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1992.
- [7] MONOGRAFÍA ACHE "Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural". Comisión 2 Grupo de Trabajo 2/5 "Hormigón Reciclado". 2006.
- [8] M. SÁNCHEZ DE JUAN, P. ALAEJOS. MONOGRAFÍA CEDEX: "Estudio sobre las propiedades del árido reciclado: utilización en hormigón estructural". 2006.
- [9] KIBRIYA, T.; SPEARE, P.R.S.; "The use of crushed brick coarse aggregate in concrete", Concrete for Environment Enhancement and Protection. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, p.495-503. 2004.
- [10] Bauchard, M., "Les matériaux de démolition en France. Le recyclage de la fraction inerte". Paris, 1992.
- [11] <http://ofrir.lcpc.fr>
- [12] Turner-Fairbanks Highway research Center and Federal Highway administration, "User Guidelines for Waste and By-product Materials in Pavement Construction, 2002.
- [13] VRIES, P. "Concrete re-cycled: crushed concrete as aggregate". 21st annual Convention of the Institute of Concrete Technology Coventry, April, 1993.
- [14] WAINWRIGHT, P.J.; TREVORROW, A; YU, Y.; WANG, Y. "Modifying the performance of concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregates", RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry". Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1994. p. 319-330.
- [15] RAVINDRARAJAH, R.S.; TAM, C.T. "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", Magazine of Concrete Research, Vol. 37, n° 130, p. 29-38. March, 1985.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- [16] BARRA, M. "Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 1996.
- [17] Instrucción de Hormigón Estructural EHE. Borrador 2007. <http://www.fomento.es/>
- [18] ALVAREZ, J.L.; URRUTIA, F.; LECUSAY, D.; FERNÁNDEZ, A. "Morteros de albañilería con escombros de demolición". Materiales de construcción Vol.47, N°246, p.43-48. España1997.
- [19] HAMASSAKI, L.T.; NETO, C.S.; FLORINDO, M.C. "Utilization of construction waste in rendering mortar". CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION. Concrete in the Service of Mankind. Vol 1. Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK. June 1996, Edited by Dhir, R.K, Dyer, T.D, Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1996. p.485-494.
- [20] OCDE, "Stratégies de recyclage dans les travaux routiers", 1997.
- [21] PAKVOR, M.; MURAVLJOV, M.; KOVACEVIC, T. "Exploration of concrete and structural concrete elements made of reused masonry", RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry", Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1994. p. 391-404.
- [22] MANSUR, M.A.; WEE, T.H.; LEE, S.C. "Crushed Bricks as Coarse Aggregate for Concrete", CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION. Concrete in the Service of Mankind. Vol 1. Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK. June 1996, Edited by Dhir, R.K, Dyer, T.D, Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1996. p. 505-514.
- [23] AKHTARUZZAMAN, A.A.; HASNAT, A. "Properties of Concrete Using Crushes Bricks as Aggregate", Concrete International. Febrero, 1983.
- [24] RILEM. "Specifications for concrete with recycled aggregates", Materials and Structures, N°27, p. 557-559, 1994.
- [25] ALAEJOS,P.; DOMINGO,A.,LÁZARO,C.;MONLEÓN,S.Y SÁNCHEZ,M. "Puente reciclado sobre el río Turia en Manises (Valencia)". III Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación. Zaragoza. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). 2005.
- [26] EUROPEAN THEMATIC NETWORK. "Use of recycled materials as aggregates in the construction industry", Recycling in construction. Combined Volume 2, Issue 3 & 4. March/September 2000. [www.ETNRecy.net](http://www.ETNRecy.net)

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- [27] MOREL, A.; GALLIAS, J.L.; BAUCHARD, M.; MANA, F.; ROUSSEAU, E. "Practical Guidelines for the Use of Recycled Aggregates in Concrete in France and Spain", RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry", Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition. 1994. p. 71-81.
- [28] KASAI, Y: "Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition. pp. 93-104, 1994.
- [29] KAWANO, H.: "The State of Using By-Products in Concrete in Japan and Outline of JIS/TR on Recycled Concrete Using Recycled Aggregate". Public Works Research Institute. Proceedings of the 1st FIB Congress, 2002.
- [30] PSAWA, F.; NOGUCHI, T.: "New Technology for the Recycling of Concrete. Japanese experience". Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21th Century. pp. 274-287, 2000.
- [31] VINCKE, J.; ROUSSEAU, E.: "Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First Edition, 1994. pp. 57-69.
- [32] CSIRO: "Construction and Demolition Waste". Building Innovation & Construction Technology, N°12, Abril 2000. [www.debe.csiro.au/inno-web/0400/conswaste.htm](http://www.debe.csiro.au/inno-web/0400/conswaste.htm).
- [33] SAGOE-CRENTSIL, K.; BROWN, T.: "Guide for Specification of Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Concrete Production". CSIRO, Building, Construction And Engineering. Ecocycle, Victoria. September 1998.
- [34] HONG KONG: "Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates". Works Bureau Technical Circular 12/2002.
- [35] DIN 4226-1:2000: "Concrete Aggregate".
- [36] BSG "Use of industrial by-products and waste materials in building engineering". British Standard Guide 6543. 1985.
- [37] COLLINS, R.J.: "BRE Digest 433: Recycled Aggregates". Noviembre 1998.
- [38] "Quality Control: The production of Recycled Aggregates. BR 392". ISBN 186081 381 X

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- [39] BS 8500-2:2002: "Concrete-Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specification for Constituent Materials and Concrete".
- [40] WRAP "Mix Design Specification for Low Strength Concretes Containing Recycled and Secondary Aggregates". 2002
- [41] DE OLIVEIRA, M. J. E.; DE ASSIS, C. S.; DE MATTOS, J.T.; "Recycled Aggregate Standardization in Brazil". Universidade Estadual Paulista, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Universidade de Taubaté. Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures. Barcelona 2004.
- [42] Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France: les bétons et produits de démolition recyclés-LCPC, Paris. Diciembre 1996.
- [43] Danish Concrete Code. "Use of recycled demolition rubble". 1989.
- [44] Danish Concrete Association. "Recommendations for the use of recycled aggregates for concrete in passive environmental class". Publicación N°34, 1990.
- [45] CUR: "Report nr. 125: Crushed Concrete Rubble and Masonry Rubble as Aggregate for Concrete". (Dutch language, summary in English).
- [46] Austrian Quality Protection Association for Recycled Building Materials. "Guidelines for recycled building materials". 1992.
- [47] Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Cement-bonded Substances. FALTA AÑO
- [48] Guidelines for Recycled Construction Materials from Building Construction, Application Unbound Substances. FALTA AÑO
- [49] BITSCH OLSEN E. "The Recycled house". RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures). "Demolition and Reuse of Concrete and Masonry". Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Edited by Lauritzen, E.K., Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE 1 8HN, First edition, 1994. p. 521-527.
- [50] Información facilitada por UTE Planta de Navalcarnero (Madrid).
- [51] BEDEC. Banco de precios BEDEC PR/PCT. CONSTRUMÁTICA: Arquitectura, Ingeniería y Construcción. <http://www.construmatica.com/>
- [52] Información facilitada por TEC REC (Tecnología y Reciclado, S.L.).
- [53] ETXEBARRIA, M.: "Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. 2004.

<b>FICHA TÉCNICA</b>	CLAVE: 4.1	Mes: MARZO Año: 2009
<b>RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>		

- [54] MUELLER, A.; WINKLER, A.: "Characteristics of Processed Concrete Rubble"; Use of Recycled Concrete Aggregate, Sustainable Construction; Ed. Dhir, Henderson y Limbachiya; p.p. 109-120, 1998.
- [55] WAHLSTRÖM, M; LAINE-YLIJOKI. J; MÄTTÄNEN, A; LUOTOJÄRVI, T; KIVEKÄS, L: "Environmental Quality Assurance System for Use of Crushed Mineral Demolition Wastes in Earth Constructions". Waste Material in Construction: Putting Theory into Practice. Edited by Goumans, Senden, and van der Sloot. 1997, pp. 725-734.

## **8.- ENTIDADES DE CONTACTO**

- ANEFHOP (Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón preparado)  
c/ Antonio González Porras nº 35 - 2º  
Tel. 91 4690420  
[www.hormigón.org](http://www.hormigón.org).
- EDA (European Demolition Association)  
P.O. Box 90606. The Hague.  
Tel. 31 70 3286801.
- FEDERACIÓN DE ÁRIDOS (FdA)  
Travesía de Téllez nº 4 entreplanta izquierda  
280007 Madrid.  
Tel. 91 5021417  
Fax 91 4339155
- GERD: (Gremio de Entidades del Reciclaje de Residuos)  
c/ Filadors nº 35-41 - 6º  
08206 Sabadell.
- CER: (Club Español de los Residuos)  
c/ Rioja nº 12  
28042 Madrid.  
Tel. 917 472 921  
Fax 913 295 493  
[www.clubresiduos.org](http://www.clubresiduos.org)