

# ÁRIDOS RECICLADOS PARA HORMIGONES Y MORTEROS. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA.

## AUTORES

Calvo Pérez, Benjamín<sup>1</sup>; Parra y Alfaro, José-Luis<sup>1,2</sup>; Astudillo Matilla, Beatriz<sup>2</sup>;  
Sanabria Zapata, C. Mariano<sup>2</sup>, Carretón Moreno, Rosa <sup>1</sup>



<sup>1</sup> **Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.**

Universidad Politécnica de Madrid

C/ Ríos Rosas 23

28003 Madrid. España



<sup>2</sup> **LOEMCO. Laboratorio Oficial para el Ensayo de Materiales de Construcción.**

C/ Alenza 1

28003 Madrid. España

## RESUMEN

En este artículo presenta los resultados obtenidos en la caracterización mineralógica y química de los áridos reciclados, procedentes de residuos de construcción y demolición, para su utilización como materia prima en la fabricación de hormigones y morteros.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios legislativos en materia medioambiental acontecidos en España e impulsados enormemente desde el ingreso de ésta en la Comunidad Europea, han conducido a la necesidad de dar respuesta al problema de la gestión de los residuos ocasionados por las demoliciones de edificios y estructuras, así como por su construcción.

Actualmente la situación ofrece un marco legislativo en el que empieza a considerarse que no reutilizar dichos desechos no es viable ni ventajoso económicamente para la sociedad, estando en algunos casos obligado a hacerse por ley.

A este hecho se ha unido el impulso, por parte gubernamental, consistente en la implantación *de facto* del Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición, quedando pendiente la disposición estratégica de centros de tratamiento y puesta en valor de áridos reciclados, así como un más amplio impulso a la investigación sobre las distintas aplicaciones que estos productos puedan tener para la industria.

Todo lo anteriormente descrito ha abierto el camino a la realización de diferentes estudios sobre las posibilidades de inserción, en el ciclo productivo, de los residuos de construcción y demolición (RCD) como material de aportación en la fabricación de argamasas para la industria de la construcción, así como a la necesidad de presentar nuevas propuestas de plantas de puesta en valor de RCD orientadas a realizar esta tarea de forma eficaz y eficiente tanto técnica como económicamente, y al mismo tiempo respetuosa con el medio ambiente.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DEL ÁRIDO RECICLADO

#### **1. Ensayos Físicos**

El árido de origen reciclado utilizado en el presente proyecto proviene de la planta *La Palentina* propiedad de la empresa TECREC sita en la Comunidad Autónoma de Madrid (España).

El producto obtenido en esta planta se presenta inicialmente en varios husos granulométricos, proviniendo de dos circuitos diferentes de molienda, un circuito primario en el que se produce la primera etapa de conminución, de la que se obtiene el árido denominado (a efectos del estudio) RCDc1, y un circuito secundario que trata el rechazo mineral del anterior circuito y tras el que se obtiene un árido denominado RCDc2.

Para el análisis de la sensibilidad de este árido se han utilizado productos provenientes del circuito primario de trituración (RCDc1) y del circuito secundario de trituración (RCDc2).

#### **1.1 Árido reciclado de origen primario. RCDc1**

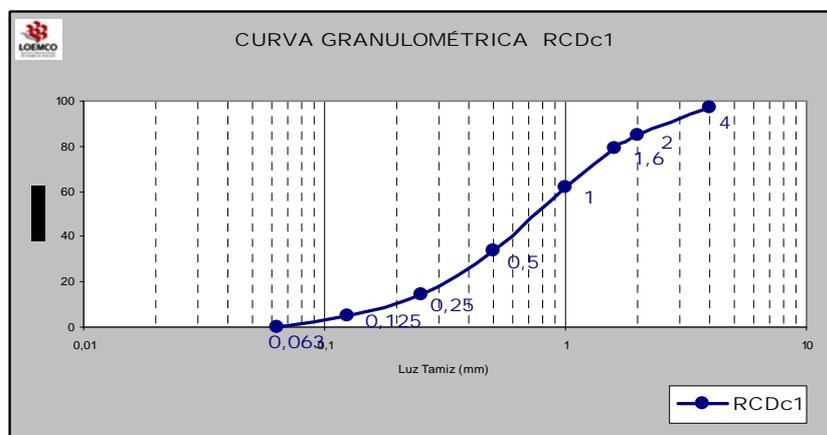
Los ensayos realizados sobre los áridos reciclados procedentes del circuito primario de molienda, denominados genéricamente RCDc1, han sido orientados a determinar sus propiedades cualitativas y cuantitativas.

Los valores presentados a continuación en forma de tablas representan los resultados obtenidos tras la realización de ensayos físicos. Los resultados obtenidos en éstos no evidencian ninguna característica del árido RCDc1 que pueda desaconsejar su uso en la fabricación de morteros.

*Ensayos físicos RCDc1.*

Ensayo	Resultado %
Coefficiente de absorción de agua	3,2
Índice de lajas	8,57
Ensayo de los ángulos	40

La curva de distribución granulométrica de este tipo de árido, reflejada en la siguiente figura refleja una distribución uniforme del material que propicia su uso como árido para la fabricación de morteros.



*Curva granulométrica RCDc1  
Fuente: elaboración propia.*

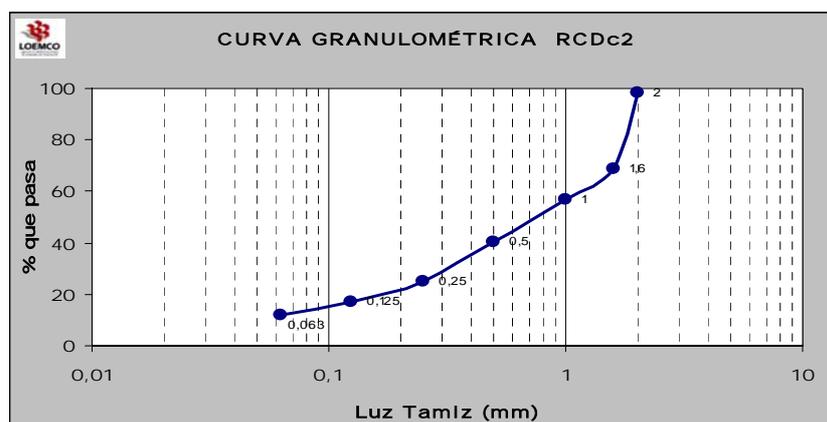
## 1.2 Árido reciclado de origen secundario. RCDc2

El material denominado RCDc2, procedente del circuito secundario de molienda, es un material formado mayoritariamente por clinker de cemento, restos de hormigones y asfaltos. Debido a su composición los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización han resultado más favorables que los correspondientes al árido RCDc1.

*Ensayos físicos RCDc2.*

Ensayo	Resultado %
Coeficiente de absorción de agua	4
Índice de lajas	4,11
Ensayo de los ángulos	36

La curva de distribución granulométrica de este tipo de árido, reflejada en la figura anexa, refleja una distribución de uniforme del material, de carácter más marcado que en el caso anterior, pudiéndose afirmar que este árido es perfectamente utilizable en la fabricación de morteros.



## 2. Ensayos petrográficos

### 2.1 Descripción petrográfica simplificada del árido reciclado

Debido a los diferentes componentes pétreos que componen este tipo de árido para tener una representación petrográfica representativa y simplificada del mismo, se han realizado cinco petrografías diferentes, siendo los resultados de las mismas los representados a continuación.

#### 2.1.A MUESTRA DE ÁRIDO RECICLADO Nº 1

*Reconocimiento de visu:*

Fragmento de ladrillo de granulometría fina y homogénea, de color anaranjado claro, presentando una ligera orientación y fractura irregular.

*Estudio microscópico:*

Composición mineral:

Componentes principales: Minerales arcillosos, cuarzo

Componentes accesorios: Opacos

Textura: De tipo pizarroso

*Observaciones:*

Fragmento de ladrillo constituido por matriz rojiza de tipo sericitico – arcillosa, formada por microlitos parcialmente orientados, rara vez mayores de 0.01 mm y granos de cuarzo, entre anguloso y subredondeado, con una marcada elongación paralela a la pizarrosidad general, de entre 0.05 y 0.2 mm para la mayor parte de los ejemplares si bien los mayores alcanzan, excepcionalmente, los 0.4 mm.

No es raro observar agregados redondeados con composición similar a la anterior, pero claramente delimitados e interrumpiendo la orientación de la matriz, que parecen corresponder a agregados de arcilla individuales mal amasados.

Presencia de opacos granulares, formando microacumulados alargados y paralelos a la S1.

CLASIFICACIÓN: Ladrillo

## **2.1.B MUESTRA DE ÁRIDO RECICLADO Nº 2**

*Reconocimiento de visu:*

Fragmento centimétrico de cuarcita redondeada (canto de río) en un mortero de cal englobando además fragmentos de naturaleza diversa y tamaños milimétricos.

*Estudio microscópico:*

Composición mineral:

Componentes principales: Cuarzo, sericita, minerales arcillosos, opacos, óxidos de hierro.

Componentes accesorios: Circón, turmalina, moscovita, feldespato potásico, calcita, biotita, sillimanita

Textura: Fragmental con árido granoblástico con intensa subgranulación.

*Observaciones:*

La muestra corresponde a un gran fragmento pluricentimétrico redondeado de cuarcita (canto de río), constituida por cuarzo rara vez mayor de 0.3 mm, con avanzado proceso de subgranulación, escasa sericita acicular formando una matriz arcillosa relictas, abundantes opacos - óxidos de hierro intersticiales y cristales aislados de circón y turmalina formando la fracción pesada.

Dicha cuarcita aparece incluida en un cemento carbonatado (probable mortero de cal) que también engloba cristales entre subredondeados y subangulosos de cuarzo, bastante heterométricos, feldespato potásico (microclino) de hasta 1 mm, con características maclas en reja, escasas biotitas tabulares de hasta 0.3 mm y diversos fragmentos de rocas (esquistos silimanítico, micritas).

CLASIFICACIÓN: Mortero de cal con áridos de diversa naturaleza.

## **2.1.C MUESTRA DE ÁRIDO RECICLADO Nº 3**

*Reconocimiento de visu:*

Roca silíceo recristalizada, de color blanco lechoso, compacta y de fractura concoidea. No presenta efervescencia alguna al ser atacada en frío con HCl diluido al 10 %.

*Estudio microscópico:*

Composición mineral:

Componentes principales: Cuarzo  
Componentes accesorios: Opacos

Textura: Granoblástica.

*Observaciones:*

Cuarcita cuasi monomineral, constituida por un mosaico granoblástico de cuarzo muy heterométrico, con tamaños de grano variado desde 0.2 a 2.68 mm, predominando cristales mayores de 1.5 mm.

El cuarzo presenta extinción ondulante, microfracturas intracristalinas, sin orientaciones claras y abundantes inclusiones fluidas que delimitan superficies paralelas de crecimiento de los cristales.

Aunque petrográficamente la muestra debe clasificarse como una cuarcita a falta de más información en campo, dichas inclusiones hacen pensar en un probable origen hidrotermal de la muestra (posible veta de cuarzo).

CLASIFICACIÓN: Cuarcita o veta hidrotermal de cuarzo.

#### **2.1.D MUESTRA DE ÁRIDO RECICLADO Nº 4**

*Reconocimiento de visu:*

Fragmentos heterométricos de cuarcita grisáceas redondeadas (cantos rodados) englobados por un cemento de color negruzco que a su vez engloba cristalillos o fragmentos milimétricos de rocas blanquecinas. Al ser atacada en frío con HCl diluido al 10 % parte de la matriz efervece intensamente.

*Estudio microscópico:*

Composición mineral:

Componentes principales: Cuarzo, calcita.  
Componentes accesorios: Turmalina, circón, probable cemento, sericita, opacos.

Textura: Fragmental con fragmentos de rocas ya sea granoblásticas con intensa subgranulación, ya sea micrítica.

*Observaciones:*

La muestra está constituida por fragmentos de diversos tamaños y naturaleza englobados en una matriz isótropa correspondiente probablemente a cemento.

Entre lo áridos cabe destacar:

- Fragmentos de cuarcitas de gran tamaño (algunos pluricentimétricos), con intensa subgranulación y matriz sericítica relictas, con una escasa fracción pesada con circón, turmalina y opacos granulares dispersos.
- Fragmentos de rocas carbonatadas de tipo micrítico, rara vez mayores de 0.93 mm.
- Cristales aislados de cuarzo subredondeado de entre 0.08 y 0.2 mm.

CLASIFICACIÓN: Probable hormigón con áridos cuarcíticos y micríticos.

## 2.1.E MUESTRA DE ÁRIDO RECICLADO Nº 5

### *Reconocimiento de visu:*

Mortero de cal constituido por fragmentos heterométricos de diferente naturaleza y color (blancos, rojizos, grisáceos), en una matriz carbonatada con bastantes poros y muy efervescente al ser atacada en frío con HCl diluido al 10 %.

### *Estudio microscópico:*

#### Composición mineral:

Componentes principales: Feldespato potásico (microclino), cuarzo, calcita.

Componentes accesorios: Plagioclasa, sericita, moscovita, biotita, piroxeno (?), opacos.

#### Textura: Fragmental

### *Observaciones:*

La muestra parece corresponder a un mortero de cal con abundantes áridos de naturaleza diversa y bastante heterométricos.

Se pueden distinguir:

- Fragmentos granitoideos de textura granuda, con plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita.
- Ortoneises orientados de probable origen dinámico y derivados de protolitos similares a las rocas descritas anteriormente.
- Cuarzitas impuras, con matrices sericíticas relativamente abundantes, intersticial entre los cuarzos y sin orientación preferente observable.
- Escaso fragmentos de micritas.
- Abundantes cristales aislados de feldespato potásico (microclino) en ocasiones centimétricos, con inclusiones de plagioclasa y características maclas en reja, de cuarzo entre anguloso y subanguloso por lo general de mayor tamaño e incluso un probable cristal de piroxeno.

CLASIFICACIÓN: Mortero de cal con áridos granitoides, cuarcíticos y calizos

De esta última lámina para petrografía, correspondiente a la muestra de árido reciclado procedente de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición número 5, se realizó una foto al microscopio la cual puede observarse en la figura 4-2, y donde se aprecia lo descrito anteriormente.



Figura: Fotografía al microscopio de la lámina de árido reciclado - 5

## **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL ÁRIDO RECICADO**

### **1. Análisis por difracción de rayos X del árido reciclado**

Del análisis realizado sobre las muestras de árido reciclado se han determinado picos intensos de las siguientes mineralógicas

- Cuarzo
- Calcita
- Feldespato

Así como trazas de Moscovita

### **2. Ensayos químicos normalizados**

#### **2.1 Árido reciclado de origen primario. RCDc1**

*Tabla: Ensayos químicos normalizados RCDc1*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultados</b>
Determinación de los cloruros solubles en agua. Método de Volhard	UNE-EN 1744-1:1999	0,00%
Determinación de los sulfatos solubles en agua	UNE-EN 1744-1:1999	0,00%
Determinación del contenido total de azufre	UNE-EN 1744-1:1999	0,52%
Determinación de los sulfatos solubles en ácido	UNE-EN 1744-1:1999	0,38%

#### **2.2 Árido reciclado de origen secundario. RCDc2**

*Tabla: Ensayos químicos normalizados RCDc2*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resultados</b>
Determinación de los cloruros solubles en agua. Método	UNE-EN 1744-1:1999	0,00%

de Volhard		
Determinación de los sulfatos solubles en agua	UNE-EN 1744-1:1999	0,00%
Determinación del contenido total de azufre	UNE-EN 1744-1:1999	0,39%
Determinación de los sulfatos solubles en ácido	UNE-EN 1744-1:1999	0,33%

### **3. Análisis de Lixiviados**

#### **3.1 Árido reciclado de origen primario. RCDc1**

*Tabla: Contenido en Metales RCDc1*

<b>LIXIVIADOS</b>	<b>Resultado (mg/l)</b>	<b>Método</b>
<b>Arsénico</b>	< 0,0014	Espectrometría de absorción atómica
<b>Antimonio</b>	0,0367	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cadmio</b>	<0,0001	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cobre</b>	0,058	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cromo</b>	0,1155	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cromo VI</b>	<0,01	Espectrometría de absorción
<b>Mercurio</b>	0,0076	Espectrometría de absorción atómica
<b>Niquel</b>	0,0428	Espectrometría de absorción atómica
<b>Plomo</b>	0,0092	Espectrometría de absorción atómica
<b>Vanadio</b>	0,1751	Espectrometría de absorción atómica
<b>Zinc</b>	<0,0060	Espectrometría de absorción atómica

#### **3.2 Árido reciclado de origen secundario. RCDc2**

*Tabla: Contenido en Metales RCDc2*

<b>LIXIVIADOS</b>	<b>Resultado (mg/l)</b>	<b>Método</b>
<b>Arsénico</b>	< 0,0014	Espectrometría de absorción atómica
<b>Antimonio</b>	0,0137	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cadmio</b>	<0,0001	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cobre</b>	0,0463	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cromo</b>	0,0739	Espectrometría de absorción atómica
<b>Cromo VI</b>	<0,01	Espectrometría de absorción
<b>Mercurio</b>	0,0078	Espectrometría de absorción atómica
<b>Niquel</b>	0,0212	Espectrometría de absorción atómica
<b>Plomo</b>	0,0028	Espectrometría de absorción atómica
<b>Vanadio</b>	<0,0048	Espectrometría de absorción atómica
<b>Zinc</b>	<0,0060	Espectrometría de absorción atómica

En el análisis de lixiviados del árido reciclado se observa que los elementos en el presente no se encuentran en concentraciones suficientes como para que éstos puedan considerarse potencialmente peligroso.

## CONCLUSIONES

- Del análisis de los resultados obtenidos de la caracterización del árido reciclado, orientados a determinar la viabilidad del mismo para la fabricación de mortero se concluye que dicho árido es viable técnicamente para la fabricación de mortero de albañilería con independencia de la procedencia del mismo.
- Profundizando en las propiedades cualitativas del árido obtenido como reciclaje de RCD se concluye que existe una mayor desviación en el material obtenido en el circuito primario de trituración (RCDc1), presentando este un mayor porcentaje de elementos que pueden resultar perniciosos para la fabricación de mortero. Si bien, a tenor de los resultados, la presencia de dichos elementos no parece suficiente argumento para desaconsejar su uso.
- En lo que respecta al árido obtenido del circuito secundario de molienda (RCDc2) se puede afirmar, sin lugar a dudas, que este material presenta una altísima viabilidad técnica para su uso como árido en la fabricación de mortero. De los resultados obtenidos del estudio de dicha fracción, correspondientes a la familia MR-B, se desprende que este árido resulta cualitativa y cuantitativamente correcto para dicha aplicación.
- Del análisis de lixiviados del árido reciclado se concluye que este árido y los lixiviados por el emitidos no son potencialmente peligrosos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR (1995): "Ensayos de Hormigón, morteros y sus componentes". Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid
2. AFAMIX, (1998) "Morteros de albañilería. Consejos prácticos", Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero MORMIX.
3. Aguilar, A (1997): "Reciclado de materiales de construcción". Universidad Politécnica de Madrid. Boletín "CF+S" nº5.
4. Balogh, A. (1996) "New admixture combats concrete shrinkage", Concrete Construction, V.41, Nº 7, pp. 546-551.
5. BC Ready-Mixed Concrete Association (1998): "Concrete News". Agosto. Canadá.

6. Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente (2000): "Management of construction and demolition waste"
7. Consejo de Gobierno. "Plan de Gestión Integrada de los residuos de Construcción y Demolición de la Comunidad de Madrid 2002-2011". BOCM 82 de 8 de abril de 2002
8. D.S. Kosson, H.A. Van der Sloot, F. Sánchez, A.C. Garrabrant. (2002). "An Integrated Framework for evaluating leaching in waste management and utilization of secondary materials". Environmental Engineering Volumen 19; Número 3; año 2002
9. Folliard, K.J., y Berke, N.S. (1997) "Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixtures", Cem. Concr. Res., V.27, N<sup>o</sup>.9, pp. 1357-1364.
10. Gaspar-Tébar, D. (2001) "Aditivos para hormigones. Tipos y clasificación. Acciones e interacciones".
11. Gaspar-Tebar, D. (2002) "Antecedentes históricos de la utilización de los cementos, de los morteros y de los hormigones".
12. Gaspar-Tebar, D. (2002) "Morteros para albañilería, normativa".
13. Parra y Alfaro J.L. (2001) "Caracterización de RCD en la Comunidad de Madrid como áridos reciclados para la fabricación de hormigones". Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.