

# Aplicación de los sistemas de separación hidráulica y magnética al reciclado de los residuos de construcción y demolición.

Christian Peña Narciso <sup>(1)</sup>, Luis Fueyo <sup>(2)</sup>, Dulce Gómez Limón <sup>(3)</sup> Ángel Rodríguez Avello <sup>(4)</sup>

(1,3 y 4) Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Minas, calle Ríos Rosas 21, 28003 Madrid

[christianpn@alumnos.upm.es](mailto:christianpn@alumnos.upm.es)

[dulce.gomezlimon@upm.es](mailto:dulce.gomezlimon@upm.es)

[angel.rodriguezavello@upm.es](mailto:angel.rodriguezavello@upm.es)

(2) Fueyo Consultores, Calle Torrelaguna 127 posterior, 28043 Madrid

[luisfueyo@fueyoconsultores.com](mailto:luisfueyo@fueyoconsultores.com)

## RESUMEN

En el presente estudio se analizan las últimas técnicas aplicadas al reciclaje de los residuos de construcción y demolición (RCD), en los que además de los sistemas clásicos de estrijo manual y mecánico, trituración y clasificación granulométrica se introducen los equipos de separación hidráulica (clasificadores de banda y tornillos sin fin) y los de pulsación por corriente turbulenta de acción diferencial (Jig). De igual forma los áridos reciclados ganan en calidad cuando se someten a procesos de separación magnética en los cuales las fracciones cerámicas (ladrillos) responden de forma positiva teniendo en cuenta los componentes férricos de las arcillas en su composición. La eficacia de estos sistemas de separación han sido ensayados en el laboratorio de concentración de menas de la Escuela de Minas de Madrid y los resultados obtenidos demuestran su potencial utilización en el reciclaje para la obtención de áridos más limpios.

**PALABRAS CLAVE:** residuo, reciclaje, clasificador hidráulico, Jig, separador magnético.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son materiales de naturaleza inerte constituidos fundamentalmente por residuos procedentes de la deconstrucción o demolición de edificios, naves, estructuras civiles, etc. también se incluyen aquí las tierras de vaciados, desmontes y obras públicas. La naturaleza de estos residuos depende del tipo de obra o infraestructura en la que se generan, de la calidad de los materiales que lo componen, y en parte también de la modalidad de demolición aplicada.

Los RCD pueden clasificarse, según el gremio de entidades del reciclaje de derribos, en diferentes tipos: pétreo, entre los que se encuentran los de origen cerámico (ladrillos), el pétreo propiamente dicho (piedras), los hormigones y los asfaltos; y otros de naturaleza no pétreo, como son los plásticos, papel y cartones, madera, objetos voluminosos, etc.

Inicialmente los materiales se clasifican en homogéneos (no mezclados o limpios), y en heterogéneos (mezclados o sucios), para poder tratarlos adecuadamente y de forma diferenciada, optimizando los procesos de reciclaje y valorización. Otros contaminantes como pueden ser fibrocementos, pinturas, disolventes que pueden ser considerados peligrosos deben ser retirados previamente y almacenados hasta su recogida por el correspondiente gestor autorizado.

Estos residuos considerados fundamentalmente inertes pueden proceder de carreteras e infraestructuras, excavaciones de suelos o ejecución de obras de reforma en casas del casco urbano, rechazos o piezas defectuosas de la fabricación de elementos de construcción, mezcla de los escombros de construcción o demolición de edificios.

Todos estos materiales después del reciclado en plantas con sistemas de trituración, clasificación y separación magnética producen áridos reciclados y chatarras metálicas que generalmente tienen precios de venta inferiores a los áridos naturales pero suponen una alternativa de aprovechamiento de recursos que permiten su tratamiento frente al vertido directo en el vertedero.

## 2. SISTEMAS DE RECICLADO DEL RCD

Una planta de valorización o reciclaje es aquella en la que entran RCD y tras una serie de procesos de tratamiento se transforma en árido reciclado. Así, toda planta de reciclaje tiene que contar con unas instalaciones mínimas para garantizar el correcto cumplimiento de sus funciones. Entre ellas es fundamental la caseta de admisión con una o dos básculas, para el control de entrada y salida de material, así como para su reconocimiento y clasificación previa; la playa de descarga inicial y acopio de material, en la cual se debe tener diferenciado el residuo homogéneo del heterogéneo.

Las líneas de tratamiento del material considerado más limpio como es el que contiene mayor cantidad de hormigón puede estar diferenciada de la línea de tratamiento de materiales más sucios como son los que contienen mayor cantidad de materiales cerámicos. Como equipos de trituración se suelen utilizar machacadoras de mandíbulas y molinos impactores; Para la clasificación se utilizan trómeles y cribas vibrantes; En cada etapa se introducen separadores

magnéticos tipo overbands para la retirada de los metales férricos igualmente se instalan cabinas de estrío manual en los que se escogen otros metales como el aluminio y plásticos. Por último los materiales más ligeros se eliminan con sistemas de separación neumática mediante sopladores y ciclones.



Figura 1. Edificio en demolición



Figura 2. Planta de reciclaje

Recientemente con el objeto de obtener áridos más limpios se han utilizado sistemas de separación hidráulica con clasificadores de banda y tornillo sin fin en los cuales se eliminan las fracciones más ligeras contaminantes que flotan al introducirse en una cuba de agua. Sin embargo estos equipos son de rendimiento relativamente bajo teniendo en cuenta que el agua se introduce de forma discontinua y el mantenimiento resulta muy costoso.

Existen en España actualmente alrededor de 180 plantas de valorización de RCD entre fijas y móviles. Sólo el 15% cuenta con equipos para la separación hidráulica, lo que quiere decir que casi 30 de estas plantas emplean alguno de los diferentes sistemas de separación mediante agua

### 3. SEPARADORES HIDRÁULICOS DE CORRIENTE ASCENDENTE (JIG)

Estos equipos de separación gravimétrica tienen su origen en el lavado de carbones y minerales con flujo de agua en continuo y gran rendimiento en la separación de elementos pesados y ligeros. Su aplicación en el tratamiento de RCD lleva a la obtención de áridos reciclados de calidad superior.

Hay diferentes tipos de jigs, los cuales difieren por la geometría, accionamiento, y otros detalles de construcción. A pesar de la gran variedad de jigs existentes en el mercado se puede decir que se componen de los siguientes elementos básicos: Una caja fija, en cuyo interior el medio fluido sufre el movimiento de impulsión y succión, un mecanismo de accionamiento, generalmente compuesto de motor, pistón, sistema de lubricación, etc. Una rejilla para mantener el lecho, un sistema de descarga del flotado y del hundido. En cuanto al sistema de accionamiento, existen jigs con accionamiento mecánico, hidráulico-mecánico, hidráulico y neumático.

Varios factores ejercen influencia en la estratificación obtenida en un Jig, entre estos se pueden señalar, el tipo de lecho, la distribución del material sólido, la distribución del agua, la frecuencia, la amplitud, etc. Los efectos principales para la estratificación de los minerales en los Jigs según Gaudin son:

- a) Clasificación por caída retardada.
- b) Aceleración diferencial en el inicio de la caída.
- c) Consolidación intersticial al final de la caída.

En la clasificación por caída retardada de las partículas, al considerar una mezcla de partículas en una columna hidráulica, donde existen corrientes ascendentes en su interior. Así, las partículas se dividen en dos categorías según su comportamiento: aquellas en que la fuerza de gravedad es mayor que la impuesta por la corriente ascendente, y que por lo tanto, se acumularán en el fondo, y aquellas partículas ligeras que serán arrastradas por la corriente ascendente. La razón de separación es mayor en condiciones de caída retardada que en caída libre.

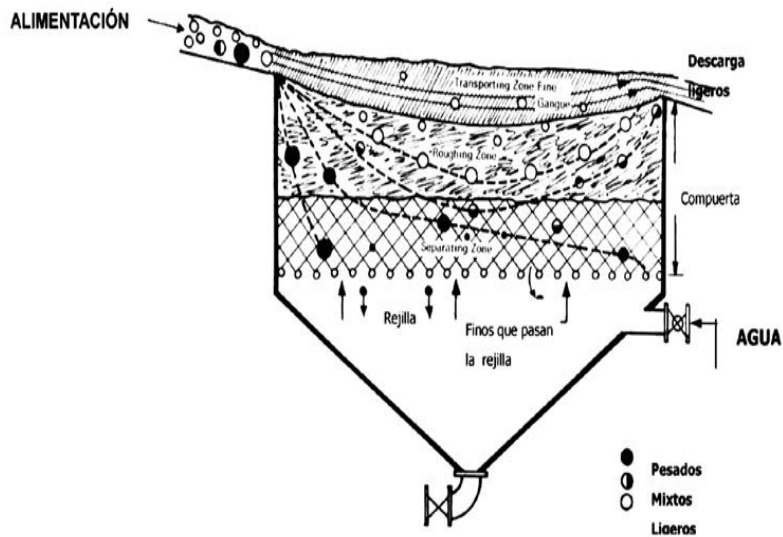


Figura 3. Esquema de funcionamiento del Jig

#### 4. SEPARADORES MAGNÉTICOS

Las sustancias minerales se dividen en fuertemente magnéticas ( $H < 1500$  Gauss), medianamente magnéticas ( $H < 3000-6000$  Gauss), débilmente magnéticas ( $H < 6000-30000$  Gauss) y no magnéticas.

Según la naturaleza de los imanes los separadores magnéticos se dividen en:

Imanes permanentes: Se emplean para tratar materiales ferromagnéticos y algunos minerales altamente paramagnéticos.

Electroimanes: Se utilizan en aquellos aparatos destinados a separar principalmente partículas débilmente paramagnéticas.

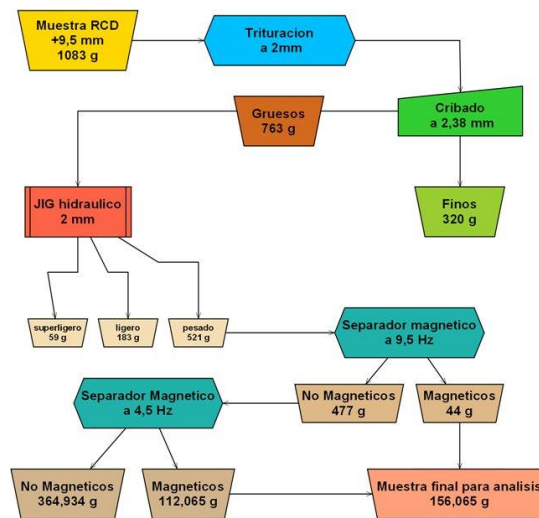
Imanes de materiales superconductores: Debido a que los electroimanes están limitados a intensidades de campo magnético de 2,5 Teslas (25000 Gauss) debido a la saturación de la bobina eléctrica, se comprende que la única posibilidad de conseguir un incremento significativo de la intensidad de campo magnético es mediante el empleo de materiales superconductores. Se adjunta en la tabla 1 la clasificación de los separadores magnéticos.

**Tabla 1** SEPARADORES MAGNÉTICOS

SEPARADORES MAGNÉTICOS			
BAJA INTENSIDAD	SECO	TAMBOR (Ball-Norton) Rodillo inducido	
	HÚMEDO	Banda (Crocket) Tambor	
ALTA INTENSIDAD CONVENCIONAL		Bandas cruzadas (Wheterill)	
	SECO	Discos Rodillo Inducido Rodillo de imanes permanentes	
		Carrusel	Jones
	HÚMEDO	Filtro magnético	Sol
ALTA INTENSIDAD CON SUPERCONDUCTORES		SECO Y HÚMEDO DISEÑOS ESPECIALES (CUADRIPOLAR, MULTIPOLO, CENTRIFUGO) O DISEÑO CLÁSICO (TAMBOR)	

#### 5. ENSAYOS DE RECICLADO DE RCD EN LABORATORIO

El estudio se realizó en el Laboratorio de Concentración de Menas de la ETSI Minas de Madrid, donde se ensayaron cinco diferentes muestras (homogéneas y heterogéneas) procedentes de tres plantas españolas de RCD: Cataluña, Madrid y Cádiz. El esquema de tratamiento se muestra en la figura 4.



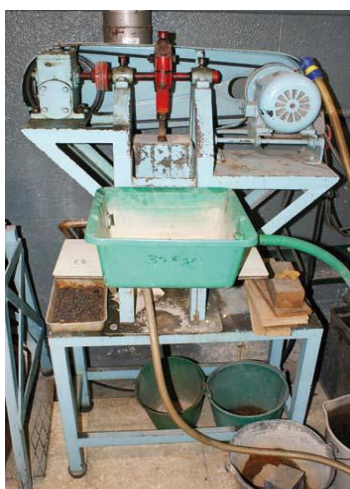
**Figura 4.** Esquema de ensayo de laboratorio con una de las muestras

Las cinco muestras se cuartearon para realizar los análisis previstos, tomando entre 800 y 1100 gr. Mediante machaqueo, cada muestra se redujo a una granulometría inferior a 3 mm, que posteriormente fue clasificada con una criba manual a 2,38 mm para eliminar los finos.

La parte gruesa o no pasante se llevó a un Jig hidráulico que separó las muestras en 3 partes (superligero, ligero y pesado) dando una razón de ser a la apuesta por los separadores hidráulicos en las plantas. El equipo utilizado en el laboratorio para las pruebas fue el jig tipo Harz, con recipiente de criba hidráulica de 125 de largo × 100 de ancho × 130 milímetros de alto. El tiempo de residencia se estimó en 5 minutos. Se trata de un equipo que trabaja según el principio de aceleración diferencial. Los resultados obtenidos en los ensayos permitieron detectar una importante diferenciación entre los materiales densos y los ligeros.

Los de mayor peso, constituidos por la fracción pétreo, quedaron depositados en la parte inferior del recipiente, mientras que la fracción ligera (no pétreo) se desplazó hacia la zona superior.

Con objeto de incrementar aún más la calidad de las fracciones pétreas (más densas) procedentes de la separación en el Jig, a las que ya se les habían extraído los elementos no pétreos y yesos, se les sometió de nuevo a otro tipo de clasificación, en este caso según su característica magnética. Para ello se utilizó un separador magnético de banda de alta intensidad con imanes permanentes Eriez con potencia de 13.000 Gauss a 2,5 Hz (Figura 5 y 6).



**Figura 5.** Jig hidráulico de laboratorio



**Figura 6.** Separador magnético de alta intensidad en seco con imanes permanentes

En la separación magnética se estudiaron las muestras homogéneas y heterogéneas correspondientes a la fracción de hormigón (que es la que realmente tiene valor en el mercado) y una con mayor contenido en cerámicos.

La parte pesada proveniente del Jig hidráulico se llevó al separador magnético de alta intensidad en seco en el cual se hizo una primera separación de magnéticos y no magnéticos y una segunda pasada con los no magnéticos simulando circuito cerrado para mejorar la recuperación.

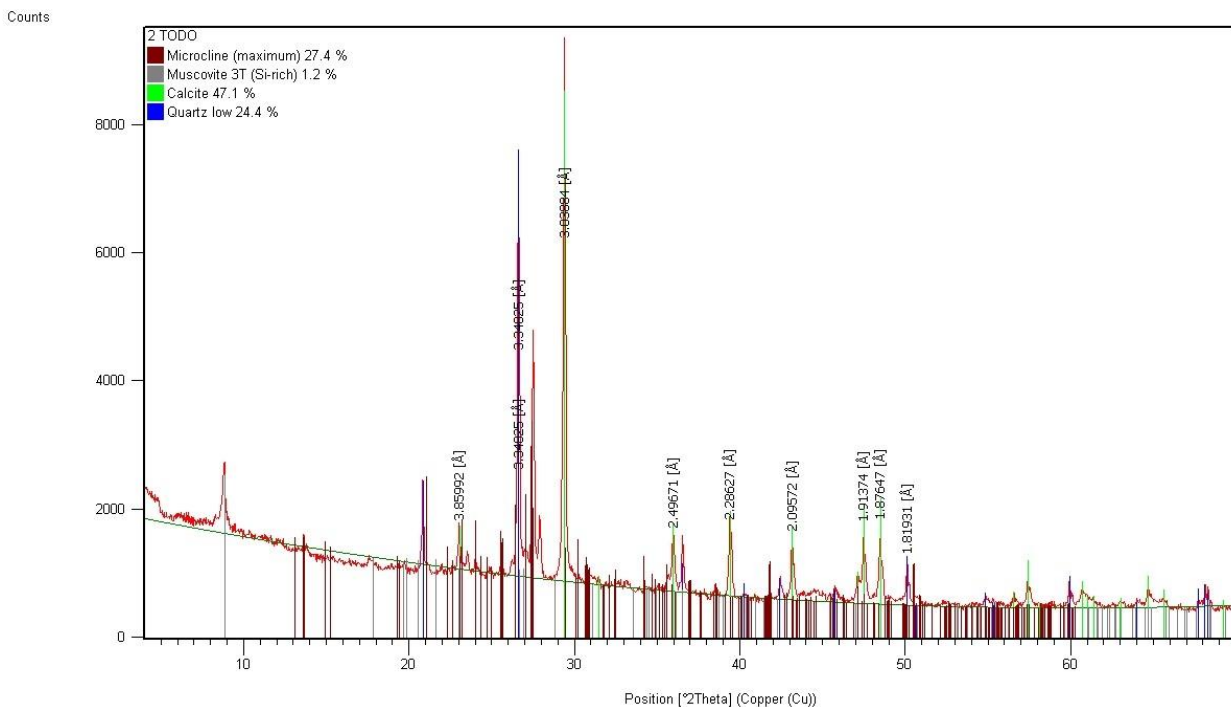
Una vez obtenidas las muestras finales se decidió realizar unos ensayos de difracción de rayos x en los cuales poder observar el contenido en hierro para determinar si el método seguido consigue buenos resultados para bajas relaciones de hierro en la composición de los materiales separados y medir así su efectividad.

Se utilizaran dos equipos diferentes de difracción:

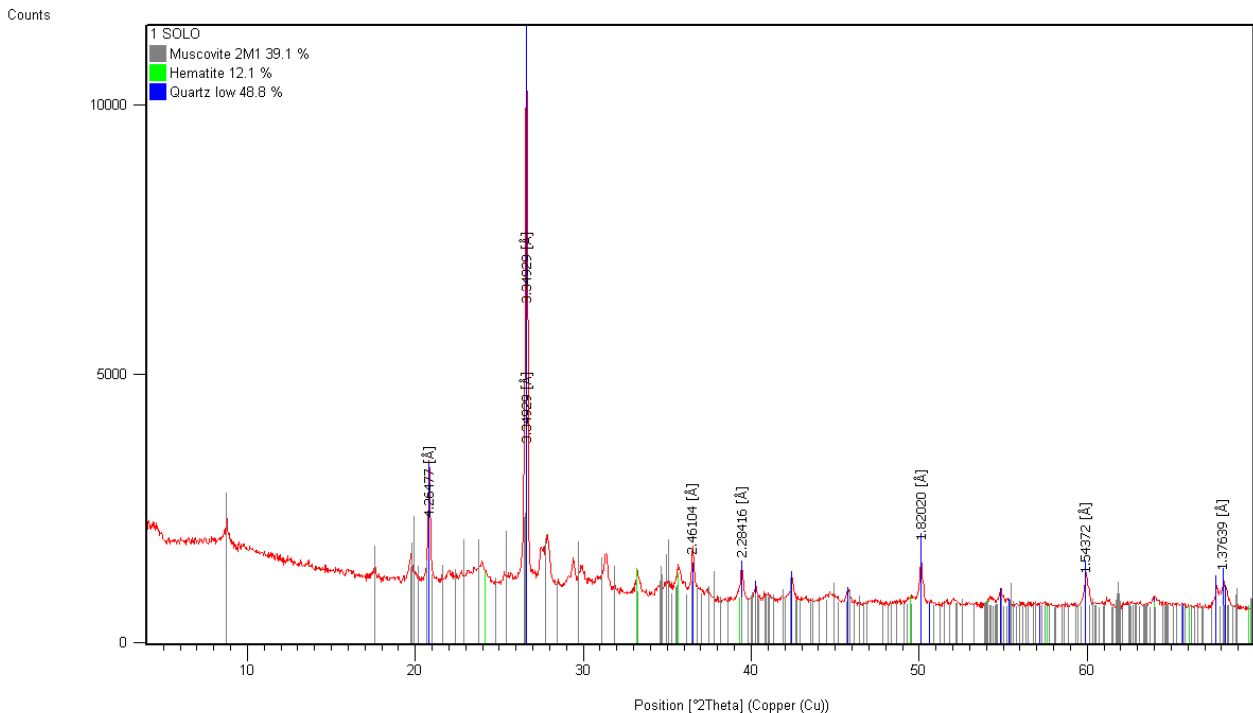
Un siemens D-500 con una velocidad de barrido de 2°/min y un intervalo de 2 a 70° perteneciente al departamento de mineralogía de la facultad de geológicas de la universidad complutense de Madrid.

El segundo un Emyream de Pan analytical con una velocidad de barrido de 3°/min y un intervalo de 4 a 70°, perteneciente al laboratorio de la Fundación instituto petrofísico en el centro tecnológico de Getafe en Madrid.

El procedimiento realizado fue enviar muestras diferenciadas primero de la muestra de RCD obtenida y segundo de una muestra de estaba compuesta por solo arcillas para mejorar la visibilidad de los resultados en la búsqueda del contenido de hierro. En la figura 8 y 9 se observan los resultados obtenidos.



**Figura 8.** Muestra completa de materiales obtenidos en la separación magnética.



**Figura 9.** Muestra de solo materiales arcillosos.

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de los ensayos de separación de los áridos reciclados mediante equipos de clasificación hidráulica con acción diferencial (jig) indican que la separación de los áridos reciclados es posible con esta tecnología. A continuación se mencionan los aspectos más destacables:

Es posible una limpieza de la fracción pétreo retirando los componentes ligeros (impropios), produciendo un árido reciclado de mayor calidad. El yeso, verdadero problema de los áridos reciclados, puede ser eliminado en las fracciones más ligeras del resto de fracciones pétreas. En esta clasificación hidráulica por jig, la distribución granulométrica influye en la calidad de la separación. Se comprueba que en las muestras homogéneas se consigue una importante fracción pesada de hormigón limpio, recuperando altos porcentajes, entre 65,62-73,3%, muy superior al caso de heterogéneas.

Los resultados obtenidos en la separación magnética fueron positivos. Se generó una importante separación entre la fracción de hormigón y la fracción cerámica. La causa de esta depuración radica en la presencia de minerales férricos que entran en la composición de las arcillas de los cerámicos, y no están inhibidos tal y como ocurre con los que están presentes en el hormigón, de forma que al ser sometidos a la acción del campo magnético, se adhieren al rodillo y se recogen separados de la fracción de hormigón.

Por tanto se puede afirmar que la separación magnética puede resultar útil para eliminar los materiales pétreos de naturaleza cerámica de los de hormigón, valorizando así esta última fracción de mayor aceptación en el mercado de los áridos reciclados.

Tras esta experimentación a nivel de laboratorio, se hace preciso profundizar en esta investigación, extrapolando con RCD de naturaleza semejante a otras granulometrías de mayor rango, caracterizando al mismo tiempo los áridos obtenidos, y de esa forma poder homologar con mayor precisión la calidad de los mismos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Bustillo, M. (2010). Manual de RCD y áridos reciclados. Fuego Editores, S.L. Madrid. España.

Congreso nacional de demolición y reciclaje. Zaragoza, 67-76.

De Benito, E. (2003). Normativa aplicable a la gestión de los RCD. En: Fuego Editores, S.L. Manual de Demoliciones, Reciclaje y Manipulación de Materiales, Madrid, 367-405.

- Fargas, J. (2004). Comercialización del árido reciclado (Zaragoza, España). II Congreso nacional de demolición y reciclaje. Zaragoza, 67-74.
- Fueyo, L. (2010). Estudio comparativo de los separadores hidráulicos en el sector de los residuos de construcción y demolición. E.T.S.I. Minas de Madrid. Madrid. España.
- Fueyo Editores (2003). Manual de demoliciones, reciclaje y manipulación de materiales. Madrid. España
- Fueyo, L. (2010). Estudio comparativo de los separadores hidráulicos en el sector de los residuos de construcción y demolición. Informe inédito. E.T.S.I. Minas de Madrid. Madrid. 67 pp.
- Fueyo, L. (2010). RCD y áridos reciclados. Informe inédito. Cátedra ANEFA de Tecnología de Áridos. E.T.S.I. Minas de Madrid. Madrid. 34 pp.
- Fueyo, L. (2010). Los áridos reciclados. Tierra y Tecnología, 38, 67-72.
- Galindo Gomez-Limon Dulce (1992) Apuntes de la asignatura mineralurgia, bloque 8 procesos industriales de concentración magnética y sus fundamentos.
- García, A. (2006). Planificación y gestión de residuos en obras de demolición. Ejemplos prácticos. III Congreso nacional de demolición y reciclaje. Zaragoza, España. 9 p.
- Lund, H. (1996). Manual McGraw-Hill de reciclaje. McGraw- Hill Iberoamericana de España, S.A. Madrid, España.
- Rodríguez-Avello, A. (2003). Tecnologías del reciclaje de residuos de construcción y demolición (Pamplona, España). I Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje. Barcelona, 127-154.
- Rodríguez-Avello, A. (2003). Tecnologías del reciclaje de residuos de construcción y demolición. I Congreso nacional de demolición y reciclaje. Pamplona, España. 26 p.
- Terre Toran, I. (2003). Reciclado de materiales de construcción. En: Fueyo Editores, S.L. Manual de Demoliciones, Reciclaje y Manipulación de Materiales, Madrid, 331-365.