

# Producción y caracterización del CSR procedente del rechazo de una planta de recuperación y compostaje

*La valorización energética constituye una de las alternativas para la gestión de los rechazos de las plantas de tratamiento de residuos, ya que se trata de un material que no se puede reciclar, ni compostar ni biometanizar. De esta forma, el rechazo puede transformarse en CSR (combustible sólido recuperado), apto para ser utilizado como combustible alternativo. Esta posibilidad es la que ha estudiado el grupo de investigación INGRES, de la Universidad Jaume I, en la planta de reciclaje y compostaje de RSU que la empresa Reciplasa tiene en Onda (Castellón). Y a tenor de los resultados que han obtenido, parece que la fabricación de CSR es una alternativa posible de valorización energética de aquellos residuos cuyo destino final es su depósito en vertederos.*

Antonio Gallardo<sup>(1,3)</sup>, Natalia Rey<sup>(1)</sup>, M. Dolores Bovea<sup>(1,3)</sup>, Francisco J. Colomer<sup>(1,3)</sup>, Mar Carlos<sup>(1,3)</sup> y Fernando Albarrán<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> INGRES Ingeniería de Residuos. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I.

<sup>2</sup> RECIPLASA, Reciclados de Residuos La Plana, S.A. <sup>3</sup> REDISA, Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental

## Introducción

En España, aproximadamente el 16% del volumen de los residuos generados corresponden a los residuos sólidos urbanos (RSU). En el año 2008 la generación de RSU disminuyó un 6,7% respecto al año anterior, debido a una mayor sensibilización respecto a la gestión adecuada de los residuos por parte de las administraciones, de los sectores económicos y de la sociedad en general. Aun así, se generaron 26,3 millones de toneladas de las cuales un 80% correspondieron a RSU mezclados, es decir, a residuos procedentes de domicilios particulares, comercios, oficinas y limpieza de las vías públicas, que no han sido separados en origen [INE, 2009].

La Directiva 2008/98/CE sobre los residuos establece la obligación para los Estados miembros de la Unión Europea de fomentar el desarrollo de tecnologías limpias y la valorización de los residuos mediante políticas de reutilización, reciclado y recuperación, así como su utilización como fuente de energía. Del mismo modo, siguiendo la jerarquía de gestión de residuos, el Plan Nacional Integral de Residuos 2008-2015 (PNIR 2008-2015) tiene como prioridades la prevención, la reutilización, el reciclaje, la valorización y por último la eliminación.

Las tres primeras fases de la jerarquía de gestión se basan por un lado en minimizar la generación y peligrosidad

de los residuos siempre que sea posible (prevención) y, por otro lado, en valorizar los materiales (reutilización y reciclaje). Cuando estas tres líneas de actuación se llevan a sus últimas consecuencias, queda cierta cantidad de residuos, llamados rechazos, que todavía es posible reducir mediante valorización energética. De este modo no sólo se reduce el volumen de residuo vertido, sino que también se contribuye al mantenimiento o no agotamiento de los recursos energéticos no renovables.

Aun disponiendo de distintas tecnologías para llevar a cabo la valorización de los residuos, el 49% de los RSU generados en España se depositan directamente en vertederos, tratándose tan solo el 51% restante [PNIR 2008-2015]. Además del elevado porcentaje de RSU que son llevados al vertedero sin tratamiento previo, también se depositan en éstos la mayoría de los rechazos

procedentes de las plantas de tratamiento. En el año 2006, éstos últimos supusieron el 60% del total de los residuos tratados, es decir, se generaron más de cinco millones de toneladas de rechazos que se depositaron en vertederos [Eurostat, 2009].

Dado que los rechazos ya han sido sometidos a distintos procesos durante el tratamiento, el material que contienen no se puede reciclar, ni compostar, ni biometanizar. Por tanto, una alternativa posible para reducir su volumen es la valorización energética. Así, el rechazo obtenido en las plantas de tratamiento puede transformarse en combustible derivado de residuo (CDR) y ser utilizado como co-combustible mezclado con otros de tipo primario [Morrissey and Browne, 2003].

El objeto de este estudio es minimizar la cantidad de rechazo generado en la

Tabla 1. Clases de la Norma CEN/TC 343

Propiedades de clasificación	Medida estadística	Unidad	Clases				
			1	2	3	4	5
Poder calorífico neto	Media	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Cloro	Media	%	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0
Mercurio	Mediana Percentil 80%	MJ/kg	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
		MJ/kg	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

planta de reciclaje y compostaje de RSU que la empresa Reciplasa tiene en Onda, que en la actualidad se deposita en el vertedero. Para ello se analizan sus características físico-químicas y se evalúan las diferentes alternativas para ser utilizado como CDR.

## Estándares de calidad de los CDR

Para poder comercializar los combustibles alternativos producidos a partir de residuos es necesario establecer unos criterios de calidad. Por este motivo, el Comité Europeo de Normalización (CEN) publicó en 2006 una serie de especificaciones técnicas, englobadas en la norma CEN/TC 343 sobre Combustible Sólido Recuperado, con el fin de estandarizar las propiedades y calidad de estos productos. Dicha norma se realizó en base a datos reales de composición y a la experiencia en el uso de los CDR, proporcionados por empresas de diversos sectores. Desde entonces se distingue el CDR del Combustible Sólido Recuperado (CSR), ya que este último implica que los materiales de partida para su producción sean residuos no peligrosos y que además, el combustible obtenido cumpla los criterios de calidad establecidos en dicha norma.

La Norma CEN/TC 343 establece tres criterios de calidad generales: el poder calorífico, el contenido en cloro y el contenido en mercurio. La elección de estos tres factores se debe a que cada uno de ellos refleja un parámetro concreto: con el poder calorífico se evalúan los aspectos económicos, con el contenido en cloro las restricciones tecnológicas y con el contenido en mercurio el impacto ambiental. Cada propiedad está dividida en cinco clases dentro de un rango determinado y la combinación de las clases de cada propiedad establece el código de clase del CSR (Tabla 1).

En algunos países como Alemania, Italia y Finlandia existen otros estándares anteriores a la aparición de la norma CEN. En Alemania, el control de la producción de CSR se verificó a través del sistema RAL-GZ 724, mediante el cual se definen unos valores límite para la media obtenida, así como para los resultados obtenidos del percentil 80. En el caso de Italia, conforme a la norma italiana UNI 9903, se definieron las propiedades físico-químicas para el CSR de calidad media y de calidad alta. En Finlandia, la regulación mediante los estándares SFS 5875 establece tres categorías de CSR en función de su calidad y definen el procedimiento de producción y las características de los CSR,

Características	Unidades	Estándares generales			Estándares en la industria del cemento		
		Alemania <sup>1</sup>	Italia <sup>2</sup>	Finlandia <sup>3</sup>	EURITS	España	Suecia
		Normal	Media	CATT II			
Cenizas	%	< 20	< 20	-	5	< 10	0,6 – 0,8
Humedad	%	< 25	-	-	-	< 10	< 10
PCI	MJ/kg (smh)	> 15	20	-	15	20	25,1 – 31,4
Cloro (Cl)	%	< 0,9	1	< 0,50	0,5	-	< 1
Antimonio (Sd)	mg/kg	-	25	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/kg	< 9	5	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/kg	-	4	< 4,0	-	-	< 5
Cobalto (Co)	mg/kg	-	6	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/kg	< 300	350	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/kg	< 100	125	-	-	< 1.500	< 30
Manganeso (Mn)	mg/kg	< 400	250	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/kg	-	0,6	< 0,2	-	-	< 5
Níquel (Ni)	mg/kg	< 40	60	-	-	-	< 10
Plomo (Pb)	mg/kg	< 200	190	-	-	< 2.500	< 100
Talio (Tl)	mg/kg	-	1	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/kg	-	10	-	-	-	< 50
Suma de metales pesados	mg/kg	-	-	-	200	-	-

<sup>1</sup> Sólo se muestran los estándares correspondientes a los valores medios.

<sup>2</sup> Sólo se muestran los estándares correspondientes a la calidad media.

<sup>3</sup> Sólo se muestran los estándares correspondientes a la segunda categoría.

de modo que su producción esté controlada.

En España, Suecia o Reino Unido se definen estándares de calidad específicos para el uso de CSR en la industria del cemento. En la región flamenca de Bélgica, aplican los estándares de la Unión Europea para la Incineración Responsable y Tratamiento de Residuos Especiales para el uso de CDR en la producción de clínquer [EURITS, 1996]. En la tabla 2 se muestran los estándares mencionados.

## Usos del CSR

En Europa, el uso más extendido del CSR suele ser en procesos de co-combustión, tanto en el sector industrial como en el sector energético (plantas de carbón, de gas o fueloil). Generalmente en la industria se utiliza como combustible, siendo los sectores de uso mayoritario los altos hornos, los hornos de cemento y el sector de la cerámica [Dunnu et al. 2009].

En España, el mayor consumo de CSR se realiza en el sector del cemento, de ahí que la Fundación CEMA realice estudios continuos sobre la producción, consumo y calidad de los CSR. Según los últimos datos recopilados por la Fundación, en España sólo un 4,2% (porcentaje energético) respecto al consumo total de combustibles utilizados por la industria del cemento proceden de residuos, mientras que en el conjunto de la UE esta cifra se eleva

hasta el 18% e incluso en algunos países el porcentaje es más elevado [CEMA 2008, 2009]. Por ejemplo, en Alemania la cantidad de CSR utilizado como combustible en el sector del cemento es de un 50% y en Holanda inclusive se ha llegado al 83% [Torres y Hernández, 2009].

Un estudio comparativo llevado a cabo por Münster and Lund (2009) sobre tecnologías energéticas que utilizan residuos, concluye que la producción de CSR es una alternativa de valorización energética con gran potencial que ya está muy desarrollada en algunos países europeos. En cambio en España, el uso de estos combustibles todavía debe fomentarse para conseguir alcanzar porcentajes de uso más elevados [Gascoyne, 2009].

## Descripción de la planta de tratamiento de RSU de Onda (Castellón)

La Planta de Reciclaje y Compostaje (PRC) de RSU de Onda está ubicada en la provincia de Castellón, situada al este de España. La PRC pertenece a la empresa Reciplasa S.A. y en ella se tratan los RSU procedentes de 44 municipios sumando una población de aproximadamente 400.000 habitantes. En el año 2009, en la PRC de Onda se trataron 152.640 t de RSU correspondientes a la fracción resto, es decir, a materiales que no han sido separados en origen sino que se han depositado mezclados en un único contenedor.

Cumpliendo con la jerarquía de gestión de residuos, los objetivos de la PRC de Onda son, por un lado, recuperar materiales de alta calidad y, por otro, separar la materia biodegradable. En la figura 1 se muestra el funcionamiento de la planta. Los RSU de entrada se tratan mediante procesos manuales y mecánicos obteniéndose distintas fracciones: materia orgánica, papel-cartón, metales, plásticos y residuos voluminosos. En la figura 1 también se indican los porcentajes de las distintas fracciones obtenidas en el año 2009.

Tras el tratamiento, las fracciones papel-cartón, metales y plásticos se envían a empresas dedicadas a su procesado y/o aprovechamiento. La materia orgánica se somete a procesos de fermentación-maduración en la propia planta con el fin de producir compost de alta calidad. Finalmente, se obtiene un rechazo que supone el 43,10% del volumen total de residuos de entrada y son depositados en su vertedero.

El rechazo de la planta está compuesto por todos los materiales característicos de los RSU que no se han podido separar en las etapas de clasificación, debido a que su estado no cumple con los criterios de calidad para poder ser recuperados o reciclados. Si se quiere cumplir con el objetivo del PNIR 2008-2015 de disminuir el volumen de residuos depositados en vertederos, es conveniente que parte de este material se valorice. Una posible alternativa es convertirlo en un combustible sólido recuperado.

### Descripción del proceso de fabricación del CSR

Una línea de producción de CSR consiste en la concatenación de varios procesos en serie con el objetivo de acondicionar los residuos para obtener un combustible con unas características determinadas y con un elevado poder calorífico. Los parámetros más importantes a tener en cuenta a la hora del diseño del proceso son: la humedad, el poder calorífico y la presencia de halógenos y metales pesados. El proceso de acondicionamiento del rechazo utilizado en este estudio se muestra en la figura 2.

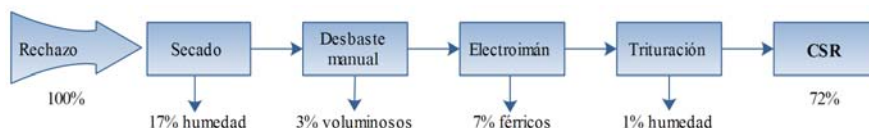


Figura 2. Proceso de producción de los CSR

La primera etapa del proceso, el secado, se lleva a cabo para reducir la cantidad de agua contenida en el rechazo y así aumentar su poder calorífico. La etapa de desbaste manual y el electroimán permiten disminuir la cantidad de material no combustible y el contenido en metales. La última etapa, la trituración, permite adecuar el tamaño del CSR de modo que, además de homogeneizar el producto, se facilita el almacenamiento, la manipulación y el transporte del mismo. En función de las necesidades de las empresas que utilicen el CSR, el producto se puede comercializar con mayor o menor grado de compactación. En la figura 3 se muestra el CSR obtenido en forma de pellets.

### Caracterización físico-química del CDR producido en la planta de Reciplasa

En este estudio se generó una cierta cantidad CDR a partir de los rechazos producidos en la planta de Reciplasa, en el invierno de los años 2008-2009, y se procedió a su caracterización. Para llevarlo a cabo se ha desarrollado una metodología que permite obtener resultados homogéneos y representativos durante el periodo de muestreo.

La toma de muestras se realizó dos veces al mes durante dos semanas no consecutivas. En cada muestreo se produjeron 5.000 kg de CDR, de los cuales se cogió una muestra de 15 kg que se llevó al laboratorio de INGRES, Ingeniería de Residuos (Universitat Jaume I) para su posterior cuarteo. Tras el cuarteo se obtuvo una muestra de 500 g, que es la que se analizó.

Las muestras de CDR se analizan de acuerdo a la normativa CEN/TC 343 cuyo anexo A establece una serie de especificaciones de cumplimiento obligatorio que son: código de clasificación, origen de la materia utilizada para producir el CSR, forma y tamaño de la

partícula, contenido en cenizas, humedad, poder calorífico inferior (PCI) y composición química. Además, también se ha determinado la concentración de metales pesados y halógenos que vienen regulados por la Directiva 2000/76/CE sobre incineración de residuos. En la tabla 3 se muestran los parámetros analizados y los resultados obtenidos. Todos los resultados del análisis han sido tratados estadísticamente para presentar unos datos medios que caractericen adecuadamente al CDR.



Figura 3. CSR producido en la PRC de Onda

Como se puede ver en la tabla 3, el contenido en cenizas del CDR es de 6,96%. La Norma CEN no utiliza este parámetro para su clasificación, no obstante, si este material se quiere destinar a la industria española del cemento, sí cumpliría con los criterios establecidos en este sector (tabla 2).

Un estudio realizado por Wilén et al. (2004) sobre los procesos de tratamiento para obtener CSR en Finlandia, indica que el porcentaje en cenizas en una determinada planta de producción de CSR finesa es del 10,3%. Consonni et al. (2004) realizaron un estudio similar, donde analizaron cuatro alternativas de aprovechamiento energético de RSU obteniendo un porcentaje de cenizas del 9,8%. En ambos casos los porcentajes son superiores al obtenido en el CDR de Onda.

La humedad del CDR analizado es del 17,94%. Este porcentaje supera los estándares establecidos por las cementeras españolas y suecas, los cuales indican que la humedad ha de ser menor al 10%. En cambio, en el caso de los estándares generales de Alemania, la humedad puede alcanzar el 25%.



Figura 1. Planta de reciclaje y compostaje de Onda

El PCI obtenido en base húmeda es de 19,83 MJ/kg, valor ligeramente inferior al establecido por la industria del cemento en España y por los estándares italianos. Sin embargo cumple las expectativas de los estándares de Alemania y EURITS fijados en 15 MJ/kg. Por otro lado, el valor del PCI en base seca (22,44 MJ/kg) es superior a los obtenidos en el estudio de Wilén et al. (14,4 MJ/kg) y Consonni et al. (14,9 MJ/kg).

La suma total de los metales pesados contenidos en el CDR analizado sobrepasa la cifra establecida por EURITS (tabla 1). No obstante, el CDR obtenido cumple con todos los criterios de los estándares generales de Alemania e Italia y los estándares españoles propuestos por la industria del cemento. Si se comparan los resultados obtenidos con la categoría II definida en Finlandia, una de las más restrictivas, sólo el contenido en mercurio es ligeramente superior al establecido.

Finalmente, en función de los resultados de la caracterización físico-química y teniendo en cuenta los estándares de la norma CEN/TC 343, el material combustible obtenido a partir del rechazo de la PRC de Onda queda clasificado como un CSR, en la categoría más alta respecto al mercurio y al cloro y en la segunda categoría respecto al PCI, tal como se muestra en la tabla 4.

## Conclusiones

El CSR estudiado cumple con la Normativa CEN y sus características son

**Tabla 3. Resultados de la caracterización físico-química del CSR**

Características	CSR producido en 2009
Tamaño de partícula	< 20 mm
Cenizas	6,96 %
Humedad	17,94 %
PCI	22,44 MJ/kg (sms)
PCI	19,83 MJ/kg (smh)
Cl	0,19 %
Antimonio (Sd)	13,65 mg/kg (sms)
Arsénico (As)	0,86 mg/kg (sms)
Cadmio (Cd)	2,75 mg/kg (sms)
Cobalto (Co)	3,00 mg/kg (sms)
Cobre (Cu)	114,50 mg/kg (sms)
Cromo (Cr)	92,88 mg/kg (sms)
Manganeso (Mn)	156,25 mg/kg (sms)
Mercurio (Hg)	0,50 mg/kg (sms)
Níquel (Ni)	12,86 mg/kg (sms)
Plomo (Pb)	53,50 mg/kg (sms)
Talio (Tl)	0,03 mg/kg (sms)
Vanadio (V)	3,66 mg/kg (sms)
Flúor (F)	1,40 mg/kg (sms)
_ Metales pesados	440,79 mg/kg (sms)

**Tabla 4. Clasificación CEN**

Características	CSR año 2009	Unidades
NCV	19,83	MJ/kg (smh)
Mercurio (Hg)	0,02	mg/MJ (smh)
Cloro (Cl)	0,19	% (sms)
Clase CEN	NCV 2; Cl 1; Hg 1	

parecidas a las obtenidas en otros países europeos. No obstante, si se desea aumentar su calidad, será necesario disminuir el contenido en humedad hasta situarlo por debajo del 10% y aumentar su PCI hasta situarlo por encima de 20 MJ/kg en base húmeda.

La humedad del CSR se puede reducir aumentando los tiempos de secado. Si se consigue reducir la humedad hasta un 10% se conseguiría aumentar el PCI hasta 22,11 MJ/kg, cumpliendo con las distintas estandarizaciones europeas. Hay que tener en cuenta que este aumento supone un gasto energético elevado y, por tanto, se debería analizar si es más conveniente obtener un CSR de menor humedad a costa de aumentar el consumo energético del proceso de fabricación.

Por otro lado, aunque el contenido en metales pesados cumple con los estándares propuestos por las cementeras españolas, se puede reducir el contenido en metales haciendo mayor hincapié en la recogida selectiva de materiales peligrosos y en la reducción del contenido de los mismos en los materiales que constituyen los envases.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que la fabricación del CSR es una alternativa posible de valorización energética de aquellos residuos cuyo destino final es su depósito en vertederos. Con esta medida no sólo se consigue valorizar los residuos sino que también se contribuye a alargar la vida útil de los vertederos.

## Referencias

- CEN/TS 15359 Technical Specification. Solid Recovered Fuels: Specification and Classes. English Version. European Comité for Standardization. Brussels, 2006.
- Consonni, S., Giugliano, M., Grosso, M. Alternatives and strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: Mass and energy balances. Waste management, v.25, n. 2, p. 123-135, sep. 2004.
- Directiva 2000/76/CE sobre incineración de residuos. [DOCE L332/91, de 28 de diciembre de 2000].

- Directiva 2008/98/CE sobre residuos. [DOCE núm L312/3, de 22 de noviembre de 2008].
- Dunnu, G., Maier, J. Scheffknecht, G. Ash Fusibility and compositional data of solid recovered fuels. Fuel, v. 89, n. 7, p. 1534-1540, sep. 2009.
- EURITS Publication. Methodology for the determination of technical co-incineration criteria. Feb. 1996.
- Europe in figures. Eurostat yearbook. 2009. ISBN 978-92-79-11625-4.
- Fundación laboral del Cemento y el Medio Ambiente, CEMA. Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España. 2009.
- Fundación laboral del Cemento y el Medio Ambiente, CEMA. Valorización de residuos en la industria cementera europea: estudio comparado. 2008.
- Gascoyne, A. Solid Recovered Fuel (SRF) - a sustainable option for Spain. Energy from Waste, SRF workshop in Madrid, 2009.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). "Encuesta sobre recogida y tratamiento de residuos. Residuos urbanos 2009".
- Morrissey, A.J., Browne, J. Waste management models and their application to sustainable waste management. Waste management, v. 24, n. 3, p. 297-308, sep. 2003.
- Münster, M., Lund, H. Comparing Waste-to-Energy Technologies by applying energy system analysis. Waste management, v. 30, n. 7, p. 1251-1263, jul. 2009.
- Plan Nacional Integral de Residuos (PNIR) 2008 - 2015 [BOE núm 49, 26 de febrero de 2009].
- RAL-GZ 724, Solid Recovered Fuels Quality Assurance. German Institute for Quality Assurance and Certification. Julio 2001.
- Standard SFS 5875.2000, Nacional Finnish Standard, Solid Recovered Fuel Quality Control System, Jan. 2000.
- Torres, P., Hernández, M. Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España. Cemento hormigón, n. 930, p. 44-86, 2009. ISSN 0008-8919.
- UNI 9903. Decreto Ministerial del 5 de febrero de 1998.
- Wilén, C., Salokoski, P., Kurkela, E. Sipilä, K. Finnish expert report on best available techniques in energy production from solid recovered fuels. Finis Environment Institute, Helsinki 2004.