

## DESIGN OF A SRF FROM REFUSES FROM A MUNICIPAL WASTE TREATMENT PLANT

Gallardo Izquierdo, A.<sup>1</sup>; Gómez Parra, A. M.<sup>1</sup>; Colomer Mendoza, F. J.<sup>1</sup>;  
Edo Alcón, N.<sup>1</sup>; Pascual Vinuesa, P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitat Jaume I, <sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo

The mixed municipal waste is treated in waste recovery and composting plants. A portion of the material that enters in the plant becomes refuse, which comprises different streams generated after the packaging selection stage and the compost refine phase. The percentage of combustible material contained in this refuse is considerable, therefore it is viable to recover it.

Currently, the refuses from waste treatment plants can be considered as a solid recovered fuel (SRF) with an acceptable value according to the European standard EN 15359. This standard provides a classification for SRF in which the economic parameter is the lower heating value (LHV), the technical parameter is the chlorine content and the environmental parameter is the mercury content.

This paper presents the design of a SRF which comes from a recovery and composting plant, with a high market value according to European standards. For that purpose physic-chemical analyses of refuse have been made. Furthermore, a set of enhancements in the mechanical, electromechanical and optical separation process has been proposed.

**Keywords:** *SRF; Municipal wastes; Treatment plants*

## DISEÑO DE UN CSR A PARTIR DE RECHAZOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS

La fracción resto de los residuos urbanos es tratada en plantas de recuperación y compostaje. Una parte de todo el material que entra en las plantas se convierte en rechazo, formado por diferentes corrientes procedentes de la etapa de selección de envases y de la etapa de afino del compost. El porcentaje de material combustible que contiene este rechazo es tan importante como para plantear un proceso de valorización del mismo.

En la actualidad, los rechazos procedentes de las plantas de tratamiento de residuos urbanos se pueden considerar como un combustible sólido recuperado (CSR). La Norma EN 15359 ofrece una clasificación para los CSR en la cual el parámetro económico es el poder calorífico inferior (PCI), el parámetro técnico es el contenido en cloro y el parámetro ambiental es el contenido en mercurio.

En este trabajo se presenta el diseño de un CSR procedente de una planta de recuperación y compostaje con un alto valor según la norma, para lo cual se ha realizado un análisis físico-químico del rechazo y se ha propuesto un conjunto de mejoras en los procesos mecánicos, electromecánicos y ópticos de separación de materiales.

**Palabras clave:** *CSR; Residuos urbanos; Planta de tratamiento*

Correspondencia: Depto. Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I. Avda. Vicent Sos Baynat s/n. C.P. 12071. Castellón, España.

## 1. Introducción

Hasta hace pocas décadas, la gestión de residuos urbanos (RU) consistía en su eliminación mediante depósito en vertedero controlado, sin embargo, en la actualidad ha experimentado una gran evolución para adaptarse a los principios del desarrollo sostenible. En la Unión Europea, la legislación comunitaria a través de la Directiva 2008/98/CE sobre residuos establece la obligación para sus estados miembros de fomentar el desarrollo de tecnologías limpias, la valorización de los residuos mediante políticas de reutilización, reciclado y recuperación, así como la utilización de los residuos como fuente de energía. Por tanto, existe la necesidad de un modelo de planificación y gestión de los RU basado en la prevención, reutilización, reciclado, recuperación y valorización energética que debe aplicarse de forma prioritaria tanto en la legislación como en la política de gestión.

En España, la cantidad de residuos depositados en vertederos supera la cifra de 17 millones de toneladas anuales (MMAMRM, 2010). En ellos no solo se vierten aquellos residuos que, cumpliendo con el RD 1481/2001 sobre depósito en vertedero, pueden depositarse de forma directa, sino también aquellas fracciones rechazadas en el resto de instalaciones como pueden ser las instalaciones de recuperación de materiales, las instalaciones de compostaje, las instalaciones de recuperación de materiales y compostaje y las instalaciones de clasificación, biometanización y compostaje. El volumen vertido en la actualidad es muy importante, provocando en algunas ocasiones problemas en cuanto a falta de lugares de depósito se refiere.

En el año 2009, España contaba con 120 instalaciones de recuperación de materiales y compostaje (MMAMRM, 2010), y según el Plan Nacional Integral de Residuos (PNIR) 2008-2015 se prevé un aumento en este tipo de tratamiento y, por tanto, un incremento del número de instalaciones. Esto se debe a que el PNIR incluye la estrategia de reducción de vertido de residuos biodegradables, es decir, los RU se deben someter a procesos de tratamiento, tales como el compostaje y la biometanización, para valorizar la materia biodegradable que puedan contener evitando así depositarla en los vertederos. Por otro lado, la modificación de la legislación mediante el Real Decreto 252/2006 por el cual se establecen nuevos objetivos más exigentes de recuperación de materiales para su reciclado, también contribuye a aumentar el número de este tipo de instalaciones.

Sin embargo, a pesar del gran volumen de rechazo que se genera durante el proceso de tratamiento de los RU, son pocos los trabajos de investigación y las referencias relacionadas con la gestión y aprovechamiento del rechazo (Nithikul et al., 2010). Existen algunos trabajos que se han centrado en estimar, mediante modelos, el potencial energético del rechazo (Aranda et al., 2012). Otros se han centrado únicamente en el estudio de su utilización como combustible en un proceso de incineración con recuperación de energía (Montejo et al., 2011; Cheng et al., 2010). Siguiendo en esta línea, otros estudios evalúan únicamente la composición química del rechazo como combustible, para disminuir su contenido en metales pesados con la finalidad de asegurar el cumplimiento de la normativa de incineración (Rotter et al., 2004).

Una alternativa de valorización del rechazo es su conversión en un combustible sólido recuperado (CSR). En la Unión Europea se estima que las cantidades totales de CSR producidos a partir de RU suman alrededor de 4-5 millones de toneladas anuales (Grau y Farré, 2011). Esta capacidad de producción está viéndose incrementada en numerosos países con la construcción de nuevas plantas de tratamiento mecánico-biológico. La industria y el sector energético están cada vez más interesados en la posibilidad de la utilización de un combustible sustitutivo más económico y con unas calidades específicas y homogéneas, como puede ser el CSR derivado de los rechazos de las plantas de tratamiento de RU. En la actualidad ya existen instalaciones dedicadas a la producción de

CSR, como la Planta de CSR de la Zona Franca (Barcelona), una de las más modernas de Europa (Vidal, 2012), o Parques Tecnológicos, como el de Valdemingómez (Madrid), donde se aprovecha energéticamente el CSR producido a partir de los rechazos generados en las plantas de tratamiento de residuos del mismo Parque Tecnológico (Ayto. de Madrid, 2012). Sin embargo, en España la sustitución de combustibles fósiles por residuos, aunque va aumentando cada año, resulta todavía escasa en comparación con otros países de nuestro entorno donde los sistemas de gestión de los RU llevan décadas orientados a prevenir el vertido y aprovechar la capacidad de tratamiento.

Para determinar si el CSR creado a partir del rechazo de plantas de tratamiento de RU se puede utilizar como un combustible en las distintas tecnologías existentes, es imprescindible conocer sus características físico-químicas y su comportamiento térmico (Kaliyan y Morey, 2009). Por ejemplo, el azufre y el cloro causan problemas en la combustión, tales como la formación de depósitos en el horno o la oxidación de la capa interna del horno (Öhman y Nordin, 1998). Elevadas concentraciones de potasio pueden producir depósitos en las calderas de recuperación, creando así una capa aislante (Oberberger y Thek, 2004). El diseño y control del horno depende del poder calorífico del material que se utiliza como combustible (Erol et al., 2010). Pero uno de los grandes problemas asociados a la combustión de los biorresiduos es su porcentaje en cenizas, su composición y su cantidad influyen en la tecnología de combustión utilizada, las características del horno, la temperatura y el método de su extracción (Tortosa et al., 2007).

## 2. Objetivo

El objetivo del trabajo de investigación es el diseño de un CSR procedente de una planta de recuperación y compostaje de RU, con un alto grado de calidad. Para ello, se ha realizado un análisis físico-químico del rechazo y se han propuesto un conjunto de mejoras en los procesos mecánicos, electromecánicos y ópticos de separación de materiales.

Para alcanzar dicho objetivo se proponen los siguientes objetivos secundarios:

- Revisar y estudiar las investigaciones realizadas hasta el momento sobre el tema, así como los estándares de calidad que se le aplican a este tipo de proyecto.
- Analizar el marco regulador y los parámetros utilizados para determinar la calidad y el ámbito de aplicación de este tipo de material.
- Caracterizar física y químicamente los rechazos. Se han caracterizado los rechazos procedentes de una planta de tratamiento de RU. En el Laboratorio de Residuos de la Universidad Jaume I (UJI) se realizaron los análisis.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1 Descripción de una planta de recuperación y compostaje

Una planta de recuperación y compostaje de RU tiene la función de separar y procesar aquellos materiales que componen los RU y son susceptibles de ser valorizados (Gallardo y Colomer, 2011). Todas las plantas presentan dos partes bien diferenciadas: pretratamiento-recuperación y compostaje.

En la etapa de pretratamiento-recuperación se reciben los RU provenientes de la fracción resto (aquellos RU no preseleccionados en origen). Esta etapa se subdivide en dos fases, la selección primaria y la secundaria. La primera comienza con el proceso de recepción de los materiales y la alimentación al trómel. En algunos casos antes del trómel existe un abrebolsas. En el trómel se realiza una primera selección por tamaños, donde se separa la fracción orgánica susceptible de convertirse en compost (fracción fina). La fracción

gruesa pasa a la selección secundaria, que puede ser manual o automatizada. En esta fase se realiza una separación por métodos manuales, electromagnéticos, densimétricos, ópticos y por corrientes de Foucault. En ella se recuperan todos los plásticos, aluminio, féreos, envases y brik. Por último, el resto es enviado a rechazo.

A la etapa de compostaje llega la fracción fina, susceptible de convertirse en compost, la cual es recibida en los reactores de compostaje, donde fermenta y madura. Este material, tras permanecer un tiempo en los reactores, es extraído y se realiza sobre él un afino mediante métodos de separación por tamaño y peso. En esta etapa de afino también se recupera parte férrea. Como resultado, se obtiene el compost listo para vender como abono agrícola y un rechazo.

### 3.2 Estándar de calidad del CSR

Los CSR son combustibles producidos a partir de un residuo no peligroso como el RU o el rechazo producido en una planta de recuperación y compostaje (Gallardo et al., 2006), que son triturados y tratados adecuadamente. En el caso de CSR procedente de RU, se compone principalmente por textil, madera, plástico lámina, papel, etc. La transformación del RU a CSR se debe a dos propósitos: reducir el volumen de residuos en vertederos y proporcionar combustibles alternativos a las industrias que hacen uso intensivo de energía no renovable. Los CSR son utilizados como co-combustibles en hornos de cemento, centrales eléctricas y calderas industriales.

Por otro lado, las características físicas y químicas de los CSR pueden ser muy variables, y dependen principalmente del residuo y el tratamiento aplicado. Por lo tanto, este tipo de combustibles tiene que estar sujeto a unos parámetros específicos de calidad. Es decir, la calidad química y física del combustible debe cumplir las especificaciones o estándares que aseguren protección medioambiental, protección del horno del proceso y calidad del producto (si existe, como es el caso del cemento). Además, el contenido energético y mineral debe ser suficientemente estable en el tiempo, para permitir la alimentación óptima del horno y la forma física debe asegurar una manipulación, almacenamiento y alimentación en condiciones adecuadas de seguridad laboral.

En este sentido, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha redactado la norma EN 15359: *Solid recovered fuels – Specifications and classes*. Este estándar tiene como objetivo servir como herramienta para permitir una negociación eficaz para los CSR en el mercado de los combustibles, promoviendo su aceptación y aumentando la confianza del público. En él se prescribe un modelo de especificación y un sistema de clasificación para los CSR en el cual el parámetro económico es el poder calorífico inferior (PCI), el parámetro técnico es el contenido de cloro y el parámetro ambiental es el contenido de mercurio. Estos parámetros dan una idea inmediata, pero simplificada, de cómo es el combustible en cuestión.

Cada parámetro se divide en 5 clases con sus valores límite (tabla 1). A cada parámetro del combustible clasificado se le asignara un número de clase del 1 al 5. Una combinación de los números constituye el código de clase. Los parámetros son de igual importancia y por lo tanto no hay ninguna clasificación, solo se determina el código. Este código es una de las propiedades obligatorias que hay que especificar según el estándar europeo a la hora de caracterizar un CSR, junto con su origen, forma de la partícula (pellets, briquetas, etc.), tamaño de partículas, contenido de cenizas, contenido de humedad, el poder calorífico inferior y propiedades químicas.

**Tabla 1: Parámetros para la clasificación del CSR según UNE-EN 15359:2012**

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

### 3.3 Análisis de laboratorio

Para llevar a cabo la caracterización del rechazo producido en una planta de recuperación y compostaje, se ha procedido del siguiente modo:

1. Muestreo: se han tomado cinco muestras en un período de cinco meses, una por mes. Para que la muestra sea representativa, se ha partido de una cantidad de 10 kilogramos que se ha ido cuarteando hasta llegar a una muestra de 500 gramos.
2. Tratamiento de la muestra: La muestra se ha llevado al Laboratorio de Residuos de la Universitat Jaume I, se ha secado, y se ha obtenido su humedad.
3. Determinación de las propiedades químicas: Se han determinado el poder calorífico inferior (PCI), el contenido de cloro y de mercurio y el porcentaje de cenizas. Con los resultados obtenidos se procede a clasificar el CSR según la norma.
4. Determinación de la composición física de la muestra: La composición física determina el porcentaje, en peso, de cada uno de los componentes del rechazo. La muestra se ha separado en sus diferentes componentes y se ha determinado su composición.
5. Determinación del cloro de cada una de las fracciones que componen la muestra.

Las Normas utilizadas para los análisis son las siguientes:

- UNE-EN 15414-3:2011. Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido en humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general.
- UNE-EN 15400:2011. Combustibles sólidos recuperados. Determinación del poder calorífico.
- UNE-EN 15408:2011. Combustibles sólidos recuperados. Métodos para la determinación del contenido en azufre (S), cloro (Cl), flúor (F) y bromo (Br).

- UNE-EN 15411:2012. Combustibles sólidos recuperados. Método para la determinación del contenido en oligoelementos (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V y Zn). De las diferentes técnicas propuestas en esta norma para el análisis de mercurio, se utilizó el análisis directo según el método EPA 7473, método basado en la descomposición térmica de la muestra, amalgamación y posterior espectrometría de absorción atómica. Para ello se utilizó un analizador de mercurio total LECO modelo AMA-254. (EPA Method 7473).
- UNE-EN 15403:2011. Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido de ceniza.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Caracterización química del rechazo

Las cinco muestras se han secado y se ha determinado la humedad de cada una de ellas. La humedad media es del 22,71%. Para determinar las propiedades químicas, cada una de las muestras secas se ha tratado de la siguiente forma: se ha cuarteado hasta obtener una submuestra de 25 g, que se ha triturado utilizando una malla de 1 mm, posteriormente se han determinado las cenizas, PCI, Cl y Hg. Los valores medios obtenidos y la desviación estándar ( $\sigma$ ) se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2: Clasificación del rechazo**

Característica de clasificación	Medida estadística	Valor (sms)	$\sigma$	CLASE
Poder calorífico neto (MJ/kg)	Media	24,28	0,85	2
Cl (%)	Media	1,22	0,19	4
Hg (mg/MJ)	Mediana	0,0032	-	1
Cenizas	Media	12,08	0,19	-

El PCI obtenido varía entre 5.596,9 kcal/kg (23,4 MJ/kg) y 6.045,9 kcal/kg (25,3 MJ/kg), son valores elevados comparados con otros combustibles como los procedentes de residuos de madera seca o biomasa forestal (Gallardo et al., 2012). Respecto a la variabilidad de los valores obtenidos, es baja, lo que significa que un futuro CSR a partir de este rechazo sería bastante homogéneo desde el punto de vista energético. Desde el punto de vista de la norma UNE-EN, el parámetro PCI se puede clasificar de clase 2. Este parámetro tiene poca capacidad de mejora puesto que depende de la naturaleza del residuo. Si se quiere aumentar se deberían eliminar aquellas fracciones que aportan menor poder calorífico.

En cuanto al mercurio, los valores obtenidos son bajos. Desde el punto de vista de la Norma UNE-EN, el parámetro Hg se puede clasificar de clase 1, la más favorable.

El cloro es el parámetro que peores resultados obtiene. En las cinco muestras varía entre 1,02% y 1,47%, ambos sobre base seca. En este caso la variación entre las cinco muestras es mayor. Este hecho se debe a que el tamaño de muestra de análisis de muy pequeño (0,7-1,0 g) y la muestra, aunque triturada y homogeneizada, sigue siendo una mezcla de diferentes materiales. La presencia en mayor o menor medida de plásticos clorados, como el PVC, introduce grandes variaciones en el porcentaje de Cl. Desde el punto de vista de la Norma UNE-EN, el parámetro Cl se puede clasificar de clase 4. Para mejorar la clasificación del CSR será conveniente mejorar este parámetro.

El contenido en cenizas no es un parámetro que la norma UNE-EN tenga en cuenta a la hora de clasificar un CSR, no obstante, su importancia en algunos procesos de combustión, hace que también tenga que ser tenido en cuenta. El porcentaje medio de cenizas es del 12%, que puede ser excesivo para algunos procesos de generación de calor.

#### 4.2 Caracterización física del rechazo

La caracterización física del rechazo determina el porcentaje en peso de los materiales que lo componen. Se procedió a realizar la caracterización de las cinco muestras secas, con peso aproximado de cada una de ellas de 475 g. Inicialmente se tamizó la muestra con un tamiz de malla 1 cm separándose una primera fracción que visualmente era imposible de caracterizar a la que se ha denominado *finos < 1 cm*. El resto de la muestra que superaba ese tamaño de partícula, se separó en ocho fracciones: brik, caucho/goma, esponja, madera, papel/cartón, plástico lámina, plástico rígido y textil/celulosa. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 3. El porcentaje en peso hace referencia a la suma de las fracciones de cada una de las muestras. La principal fracción es la de plástico lámina, seguida de papel/cartón y finos. Los finos están formados por una mezcla de tierras y mezcla de materiales pertenecientes al resto de fracciones.

**Tabla 3: Composición media del rechazo**

FRACCIÓN	(%)
Brik	2,40
Caucho/goma/cuero	1,23
Esponja	0,53
Madera	1,89
Papel/cartón	20,00
Plástico lámina (film, bolsas...)	23,87
Plástico rígido	13,37
Textil/celulosa	17,90
Finos < 1 cm	18,81

Con el objetivo de determinar cuáles eran las fracciones que aportaban más cloro, se determinó el cloro de cada una de ellas (tabla 4). Se puede observar que las fracciones que más cloro aportan son: Plástico lámina, plástico rígido, celulosa y finos. El plástico rígido tiene un porcentaje medio de cloro de 0,72%, con una elevada desviación estándar. Esto es debido a que en esta fracción hay PVC. En aquellas muestras analizadas donde no aparece este producto el contenido en cloro es muy bajo, sin embargo, en aquellas otras que lo contienen se eleva de forma importante. Se ha realizado un análisis de los plásticos que mayoritariamente aparecen en los residuos (tabla 5), y se ha podido comprobar que, lógicamente, es el PVC el que mayoritariamente aporta el cloro al rechazo. La fracción textil también contiene cloro debido a que gran parte de este material es sintético, y puede contener cloro en su composición. La fracción de plástico lámina tiene menor porcentaje de cloro, que puede ser debido a que también sea menor el porcentaje de PVC en lámina. La fracción de caucho/goma/cuero tiene una elevada cantidad de cloro, pero solo supone el 1,23% en peso de los rechazos. La aparición de cloro puede deberse a que aparecen trozos de suelas de zapatos y zapatillas de deporte, alguno de los materiales que las componen tiene cloro. Finalmente la fracción de finos, mezcla del resto de materiales, contiene cloro por los motivos anteriormente expuestos.

**Tabla 4: Contenido en cloro en las fracciones del rechazo**

FRACCIÓN	(% Cloro (sms))	
	media	$\sigma$
Brik	0,15	0,00
Caucho/goma/cuero	2,18	-
Esponja	0,26	-
Madera	0,36	-
Papel/cartón	0,44	0,13
Plástico lámina (film, bolsas...)	0,46	0,41
Plástico rígido	0,72	1,10
Textil/celulosa	0,72	0,22
Finos < 1 cm	0,56	0,12

**Tabla 5: Análisis del contenido de cloro en diferentes tipos de plásticos**

	% Cloro (sms)
PEAD	0,06
PET	0,05
PP	0,12
PVC	38,40

## 5. Conclusiones

En la presente experiencia se ha analizado la posibilidad de que los rechazos puedan ser clasificados como CSR con un nivel de calidad aceptable. Dentro de los parámetros que marca la norma estándar EN 15359, se ha observado que tanto el PCI como el contenido en Hg son aceptables. Sin embargo, para mejorar la calidad del CSR procedente del rechazo producido en la planta, será necesario establecer medidas para rebajar el porcentaje en cloro y en cenizas.

Se ha diseñado un procedimiento de análisis de los rechazos de una planta de tratamiento de residuos urbanos que se puede utilizar para un estudio sistemático de este tipo de materiales y ha sido puesto en práctica con la caracterización de unas muestras de rechazo.

## 5 Referencias

- Aranda, A., Ferreira, G., Zambrana, D. Zabalza, I., Llera, E. (2012). Estimation of the energy content of the residual fraction refused by MBT plants: a case study in Zaragoza's MBT plant. *Journal of Cleaner Production*, 20, pp. 38-46.
- Ayuntamiento de Madrid (2010). Memoria de Actividades de la Dirección General del Parque Tecnológico de Valdemingómez.

- Cheng, H., Hub, Y. (2010). Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. *Bioresource Technology* 101, pp. 3816–3824.
- Directiva 2008/98/CE sobre residuos, DOCE núm L.312/3, 22 de noviembre, 2008.
- EPA Method 7473. Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry.
- Erol M, Haykiri-Acma H, Küçükbayrak S. (2010). Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable Energy*; 35 (1): 170-173.
- Gallardo, A. Colomer, F.J. (2011). Tema 2. Principios generales de la gestión de los residuos sólidos urbanos. *Residuos sólidos: Un enfoque multidisciplinar*. Ed. Librosenred
- Gallardo A.; Bovea, M.D.; Ochera, L.; Beltrán, M. y Albarrán F. (2006). Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón) (I). *Residuos*, N° 90, pp: 2-8.
- Gallardo, A. Edo, N., Cuquerella, J. y Pascual P. (2012). Análisis del rendimiento de las plantas de clasificación de residuos de envases en España: Valorización de sus rechazos. *RETEMA*, N° 163. pp. 44-54.
- Grau, A; Farré, O. (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011–2020. IDAE (11 de septiembre de 2012). IDAE <[http://www.oficemen.com/1stPublicaciones.asp?id\\_cat=38](http://www.oficemen.com/1stPublicaciones.asp?id_cat=38)>.
- Kaliyan N, Morey RV. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*; 33 (3): 337-359.
- MMAMRM (2010). Anuario de estadística 2010. Madrid. MMAMRM. 2010.
- Montejo, C., Costa, C., Ramos, P., Márquez, M.C. (2011). Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. *Applied Thermal Engineering*, 31, pp. 2135-2140.
- Nithikul, J., Karthikeyan, P. and Visvanathan, C. (2011). Reject management from a Mechanical Biological Treatment plant in Bangkok, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*; 55, pp 417-422.
- Obernberger I, Thek G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass and Bioenergy*; 27 (6): 653–669.
- Öhman M, Nordin A. (1998). A new method for quantification of fluidized bed agglomeration tendencies: a sensitivity analysis. *Energy and Fuels*; 12: 90–94.
- R.D. 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, BOE núm 25, 29 de enero, 2002.
- R.D. 252/2006 por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases, BOE núm 54, 4 de marzo, 2006.
- Rotter, V. S., Kost, T., Winkler, J., Bilitewski, B. (2004). Material flow analysis of RDF-production processes. *Waste Management*, 24, pp. 1005–1021.
- Tortosa Masiá AA, Buhre BJP, Gupta RP, Wall TF. (2007). Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Processing Technology*; 88 (11-12); 1071-1081.
- Vidal, J. (2012). Planta de CSR de Zona Franca (Barcelona). *RETEMA*, N° 158. pp. 9-17.