

Posibilidad de generación de energía eléctrica a partir de residuos sólidos urbanos en Grandes Metrópolis Latinoamericanas.

Ernesto Calderón, Hernán Milberg, Cecilia Hoschoian, Fabián Espósito.
TECHINT Ingeniería y Construcciones, Bouchard 557, piso 14, 1106 Buenos Aires
ecalderon@techint.com

Resumen - El objetivo es realizar un ejercicio teórico para la aplicación de un sistema de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), en Grandes Metrópolis Latinoamericanas. Supone la construcción de una planta constituida por: Instalación de Recuperación de Materiales y Planta de Biodigestión, capaces de procesar en conjunto 3500 tpd de RSU produciendo electricidad y recuperando materiales reciclables. El proceso disminuye la cantidad de residuos a disponer en rellenos sanitarios y se podrían comercializar Certificados de Reducción de Emisiones, por disminución de las mismas de efecto invernadero (GEI). Los sistemas de tratamiento biológico de digestión anaeróbica (DA), consisten en la degradación de materia orgánica a través de microorganismos. Producen biogás y como subproducto digestato. El gas, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, es usado en motores de combustión interna para generar electricidad. El digestato es aprovechado como acondicionador de suelo.

Abstract - The aim is to achieve a theoretical exercise to implement a system of solid waste (MSW) in Large Latin American Metropolis. Involves the construction of a plant consisting of: Materials Recovery Facility and Bio-digestion Plant, capable of processing in 3500 tpd of MSW whole producing electricity and recovering recyclable materials. The process reduces the amount of waste disposal in landfills and could sell Certified Emission Reductions, by decreasing the same greenhouse gas (GHG) emissions. Biological treatment systems for anaerobic digestion (AD) consist in the degradation of organic matter by microorganisms. Produce biogas and digestate as a byproduct. The gas, consisting principally of methane and carbon dioxide, is used in internal combustion engines to generate electricity. The digestate is used as soil conditioner.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los hidrocarburos son una de las grandes bases energéticas de nuestra sociedad, pero son energías no renovables a corto plazo. Aunque los hidrocarburos

seguirán siendo la base de la producción de energía por varias décadas, la sociedad actual se enfrenta a una etapa en la que se vislumbra el posible agotamiento de las reservas petrolíferas internacionales. Junto con esa necesidad de garantizar el abastecimiento de energía, es esencial proteger el medio ambiente y fomentar el uso racional de los recursos.

La generación de energía eléctrica con residuos es una opción técnica y económicamente viable para resolver un problema que deteriora gravemente el medio ambiente.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

En Argentina actualmente los RSU comienzan a ser valorados para aprovechar su contenido energético. Los primeros esfuerzos han sido encaminados para aprovechar el biogás de los rellenos sanitarios ya existentes y que aún poseen un potencial adecuado para la generación de energía eléctrica. La creación de nuevos rellenos sanitarios debería ser la última alternativa a seleccionar, existiendo otras técnicas como la biodigestión de materia orgánica para la generación de biogás y como subproducto compost.

Se obtienen grandes beneficios ambientales, entre los que se encuentra la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente metano. También es importante debido a que posibilita la obtención de financiamientos a los proyectos mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

BIOGÁS - PRODUCE ENERGÍA ECOLÓGICA y ELIMINA RESIDUOS ORGÁNICOS

El biogás se puede generar tanto de forma natural como de forma artificial. Con tecnologías apropiadas se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica. El biogás produce en plantas especiales: los residuos orgánicos se mezclan con agua y se depositan en grandes recipientes cerrados, en los que se produce la fermentación por medio de bacterias anaeróbicas.

PLANTA DE BIODIGESTIÓN

En la Planta de Biodigestión se realiza el proceso de conversión por métodos bioquímicos de los residuos orgánicos, obteniéndose como resultado compost y biogás. A continuación se puede observar, a modo figurativo, el diagrama de una planta de biodigestión anaeróbica de estas características (Figura 1)

TRATAMIENTO MECÁNICO-BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Las plantas de Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB), tienen por objetivo reducir la cantidad de residuos biodegradables que se envían a relleno sanitario e incrementar la recuperación potencial de recursos de los RSU. Este tipo de plantas están caracterizadas por tener dos unidades diferenciadas: una de tratamiento mecánico y otra de tratamiento biológico. La fase mecánica (que puede ser manual y/o automática) tiene 3 objetivos: maximizar la recuperación de materiales reciclables, preparar los materiales biodegradables para la fase biológica y refinar las corrientes de salida.

El grado de clasificación y separación que se logra sobre los residuos de entrada, depende del tipo de residuo que se trata, el nivel potencial de reciclables que poseen dichos residuos y de los productos deseados. Según cuales sean estos objetivos, hay plantas TMB diseñadas con equipos mecánicos complejos y plantas con sistemas muy simples. Algunos de los equipos mecánicos son: cintas transportadoras, trómeles inclinados, tamizadores, separadores por inyección de aire, trituradoras, separadores por corrientes de Foucault y separadores magnéticos. Los materiales reciclables que se recuperan en esta fase son: metales ferrosos y no ferrosos, vidrios, plásticos, papeles y cartones. En cuanto a la fase biológica, existen varios tipos de tratamientos. Entre los más comunes se pueden citar: Digestión Anaeróbica, Digestión Aeróbica, Bio-secado para producir un combustible derivado de los residuos y Percolación.

VENTAJAS DEL TMB

a) Reduce la cantidad de residuos enviados a rellenos, lo que disminuye la necesidad de espacio; b) Es una tecnología segura y probada sobre la cual se cuenta mundialmente con amplia experiencia y c) Es una de las tecnologías de mayor aceptación en cuanto al desempeño ambiental.

DESVENTAJAS DEL TMB

a) Dependencia de los mercados para ubicar los productos reciclados; b) En comparación con otras tecnologías tales como la incineración, los volúmenes de reducción de los residuos son menores y c) Las plantas TMB ocupan una superficie mayor en comparación a plantas de tratamientos térmicos de RSU.

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)

Considerando que la disposición de residuos sólidos domiciliarios en relleno sanitario está presente en muchos países en vías de desarrollo, puede llegar a ser una de las más importantes fuentes de emisiones de metano contribuyendo de manera significativa al efecto invernadero. Por lo tanto, si queremos reducir significativamente este efecto, es necesario aumentar la recuperación del metano del relleno sanitario o lograr una excelente combustión para generar dióxido de carbono.

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

A través del mecanismo de desarrollo limpio (MDL), países signatarios del Protocolo de Kyoto del Anexo 1 pueden ampliar proyectos que reducen las emisiones o que incrementan la absorción de CO₂ en países que no están incluidos en el Anexo 1, tales como los países en vías de desarrollo. El uso de los biocombustibles está siendo promocionado con mucha agresividad por gobiernos, empresas, organizaciones internacionales y hasta por organizaciones no gubernamentales.

BASES DE DISEÑO

Cantidad y Clasificación de los Residuos Sólidos Urbanos

La cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) enviada a disposición final por ciudades cuya cantidad de habitantes supera los 5 millones se ejemplifican a continuación con la información disponible de una de las grandes metrópolis argentinas.

Los residuos enviados a disposición final se clasifican de la siguiente manera: Residuos Domiciliarios (RSD), Residuos de Producido de Barrido (RPB) y Residuos Clase Otros. El detalle de toneladas anuales enviadas a disposición final según esta clasificación de los RSU desde el año 2004 se muestra en la Tabla 1. (Tabla 1)

Caracterización Física de los RSU: Antecedentes

La caracterización física de los RSU, en Argentina, se obtiene de los Estudios de Calidad de los Residuos Sólidos Urbanos encargados por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA). Existen estudios de caracterización desde el año 1972. Desde 2005, estos estudios se realizan con continuidad y en condiciones equivalentes. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de los principales componentes de los RSD y los RPB de los estudios de los últimos 4 años. (Tabla 2)

Descripción del Proceso Mecánico-Biológico

La composición de los RSU contiene aproximadamente un 80% de componentes orgánicos (papel, restos de poda y jardín, restos de comida y otros orgánicos, incluyendo plásticos). La fracción biodegradable (papel, jardinería y restos de comida) representa el 60%, con un contenido de humedad de entre el 15% y el 70%. El sistema de digestión anaeróbico es el más apropiado para el tratamiento de los componentes orgánicos contenidos en los RSU. El elemento común a las dos fases, la mecánica y la biológica, es el agua. Así, en la fase inicial de características hidromecánicas, ocurre la separación de los materiales entrantes por su densidad, mediante su vertido en una pileta con agua que elimina los olores y el polvo, permite un primer paso de separación física por densidades de los materiales, así como también el humedecimiento inicial de toda la materia orgánica que comienza, desde el inicio, su proceso de fermentación. Los sistemas de tratamiento biológico de digestión anaeróbica son los que han tenido últimamente un mayor desarrollo tecnológico. En esencia, la digestión anaeróbica consiste en la degradación de la materia orgánica con el aporte de microorganismos en ausencia de oxígeno. Dicho proceso produce biogás y un subproducto sólido (digestato). El gas está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono (CO_2), normalmente usado en motores de combustión interna para generar electricidad, y tiene potencial uso como combustible vehicular (tipo GNC) si previamente se remueven el CO_2 y el sulfuro de hidrógeno (H_2S). El digestato puede ser usado como acondicionador de suelo, o compost, después de un período de estabilización. El proceso de digestión anaeróbico puede ser húmedo o seco dependiendo del porcentaje de sólidos en el reactor. Las tecnologías húmedas producen, en general, más energía y tienen mayor capacidad de adaptación a todo tipo de residuos. La temperatura también debe ser controlada para promover el crecimiento de poblaciones específicas de microorganismos: mesófilos a aproximadamente 35°C o termófilos a aproximadamente 55°C . El proceso de digestión anaeróbico húmedo comienza cuando la fracción orgánica de los RSU es mezclada con agua para formar una pulpa que es alimentada al reactor, donde condiciones óptimas de temperatura y humedad promueven el desarrollo microbiano y descomposición de los RSU.

El proceso mecánico-biológico puede llevarse a cabo en una o varias etapas. Las principales etapas del tratamiento son: los RSU son aportados por los camiones de recolección hacia un gran trómel de entrada que procede al desgarramiento de las bolsas de plástico para proceder a la separación en forma manual de residuos voluminosos y

otros materiales y a la recuperación de papeles y cartones, antes de su entrada a un tanque de agua. En el tanque de agua se producen los procesos de flotación, sedimentación y dispersión requeridos en el pretratamiento. Estos procesos se basan en el principio que los materiales inorgánicos, como metales y vidrio, tienen un peso específico mayor al del agua, mientras que los plásticos y otros materiales orgánicos biodegradables tienen un peso específico que es igual o inferior que el del agua. Los elementos más pesados, tales como metales ferrosos y no ferrosos, vidrio y materiales inertes sedimentan en el fondo del tanque, separándose del flujo líquido orgánico. La corriente sedimentada es removida por una cinta transportadora hacia un sistema de separación magnética donde se recuperan los metales ferrosos. Luego se envía a un equipo de separación por corrientes de Foucault donde se recuperan los metales no ferrosos. De allí se envía a un sistema óptico o manual de separación de cristales. Finalmente, lo que resta se envía a un segundo tanque de sedimentación, donde se separan piedras y arena en la parte baja, mientras que por la parte superior se retira una corriente más liviana que se recircula al tanque principal.

Las tasas de recuperación regulares de los distintos materiales reciclables se detallan a continuación:

- papeles y cartones: 40%
- plásticos: 40%
- vidrio: 40%
- metales ferrosos: 85%
- metales no ferrosos: 75%.

La parte orgánica liviana del tanque inicial, ya separada de los componentes pesados, se traslada a través de una cinta transportadora hacia un clasificador de tamaño (trómel), donde los elementos de pequeño tamaño caen a través de los orificios de distinto diámetro. Los elementos de mayor tamaño continúan hacia una cinta transportadora de salida donde los plásticos son separados manualmente y luego por inyección de aire. El material biodegradable entra en los sistemas de filtrado, previo paso por el tratamiento de trituración. Aquí los restos contaminantes son filtrados y separados. Así, la gravilla, la arena, cristales rotos y pequeños elementos metálicos son separados usando un tanque de deposición. El sobrante de la solución acuosa rica en materia orgánica, material

biodegradable, pequeños trozos de papel y cartón y otras sustancias se envía a los digestores de dos etapas. Las dos etapas se llevan a cabo en digestores separados, ya que los procesos que se producen ocurren en diferentes condiciones de temperatura y pH.

En la primera ocurre la hidrólisis, donde los residuos biodegradables se convierten en glucosa y aminoácidos y luego se produce la acetogénesis, donde los compuestos intermedios mencionados se transforman en ácidos grasos, hidrógeno y ácido acético. Hay dos tiempos de residencia característicos: el TRH (tiempo de residencia hidráulico) y el TRS (tiempo de residencia de los sólidos). El primero es el tiempo en que se llena el digestor y el segundo es el tiempo que los sólidos permanecen en el mismo. Para este primer digestor, ambos tiempos coinciden y su valor es de 4 minutos.

La suspensión que sale de la primera etapa es calentada a unos 35/40°C en un intercambiador de calor que utiliza como medio calefactor agua que a su vez es calentada en otro intercambiador de calor que trabaja con los gases que abandonan el motor que genera electricidad. Luego la suspensión es enviada a la segunda etapa, donde se produce la reacción de metanogénesis en un digestor de lecho anaeróbico de lodos. Aquí, la suspensión ingresa por el fondo del digestor, fluye hacia arriba a través de un lecho de gránulos biológicos donde se produce la reacción química, con la consecuente formación de biogás y compost. El TRH de la segunda etapa es de 1 a 3 días. En cambio el TRS promedio es de 80 días. Este último valor influye en la eficiencia de digestión, más alto el TRS más eficiente la misma. Dicha eficiencia se logra no permitiendo la entrada de partículas orgánicas en los reactores hasta que no hayan conseguido una reducción de tamaño apropiada. Este objetivo se consigue gracias a filtros que mantienen las partículas en cada fase del proceso hasta que estén suficientemente reducidas por la acción biológica. El resultado es la obtención de gran cantidad de biogás de excelente calidad y paralelamente, la generación mínima de fangos biológicos, sin necesidad de construir túneles de secado. Las eficiencias de generación de electricidad, biogás y compost son las siguientes.

- Eficiencia Producción Energía Eléctrica = 93 kWh/ton RSU
- Eficiencia Producción Biogás = 0,057 ton biogás/ton RSU [49,6 Sm³/ton RSU]
- Eficiencia Producción Compost = 0,220 ton compost/ton RSU

El biogás producido en la etapa de biodigestión se utiliza como combustible en un motor de combustión interna que acciona un generador para la producción de energía eléctrica. El biogás se somete previamente a un proceso de purificación (remoción de CO_2 , H_2S y otros contaminantes) para cumplir con las especificaciones para su uso como combustible obteniéndose la siguiente composición:

Metano (CH_4): 55 a 70%

Dióxido de Carbono (CO_2): 30 a 40%

Hidrógeno (H_2): 1 a 3%

Gases diversos: 1 a 5%

DIAGRAMA DE BLOQUES

Un esquema simplificado de las dos etapas del proceso se muestra en la figura 2 (Figura 2)

Más específicamente la instalación podría tener la disposición que se muestra en la Figura 3. (Figura 3)

CONCLUSIONES

Los digestores cumplen una función ecológica ideal: reciclar totalmente los desechos a un costo muy beneficioso. Es necesario que desde el ámbito gubernamental, se incentiven políticas fomentando este tipo de energías, como es el caso de otros países de América Latina los cuales han generado proyectos de tratamientos de la basura y utilización del biogás. Muchos de los proyectos sobre los mismos han sido aprobados o están en proceso de ser seleccionados como elegibles dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, lo que significaría ingresos económicos adicionales para los grupos empresariales interesados.

COPYRIGHT

“Copyright © 2010. Ernesto Calderón: The author assigns to UADI/CAI a license to reproduce this document for the congress purpose provided that this article is used to publish in full or in an abbreviated or edited form in the congress Internet website, on CD and in printed form within World Congress and Exhibition: ENGINEERING 2010-ARGENTINA's proceedings.”

FIGURA 1. DIAGRAMA DE UNA PLANTA DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.

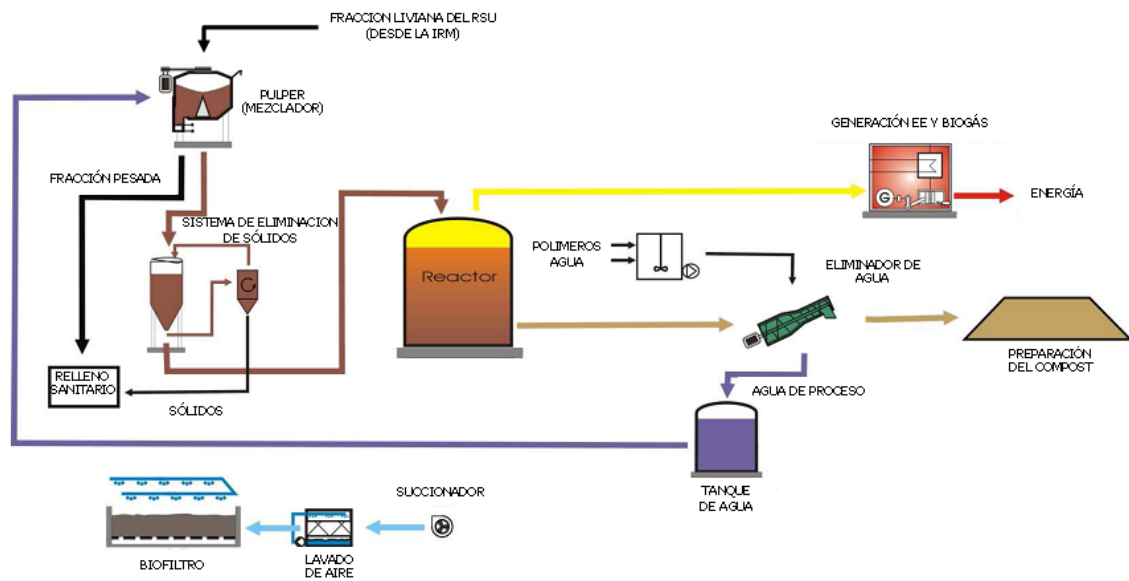


FIGURA 2. DIAGRAMA DE UNA PLANTA DE BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA.

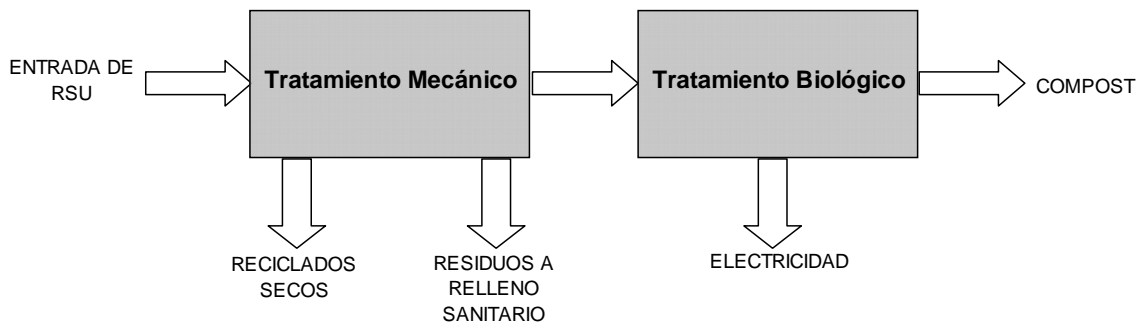


FIGURA 3. LAY OUT O DISPOSICIÓN GENERAL DE UNA PLANTA TMB

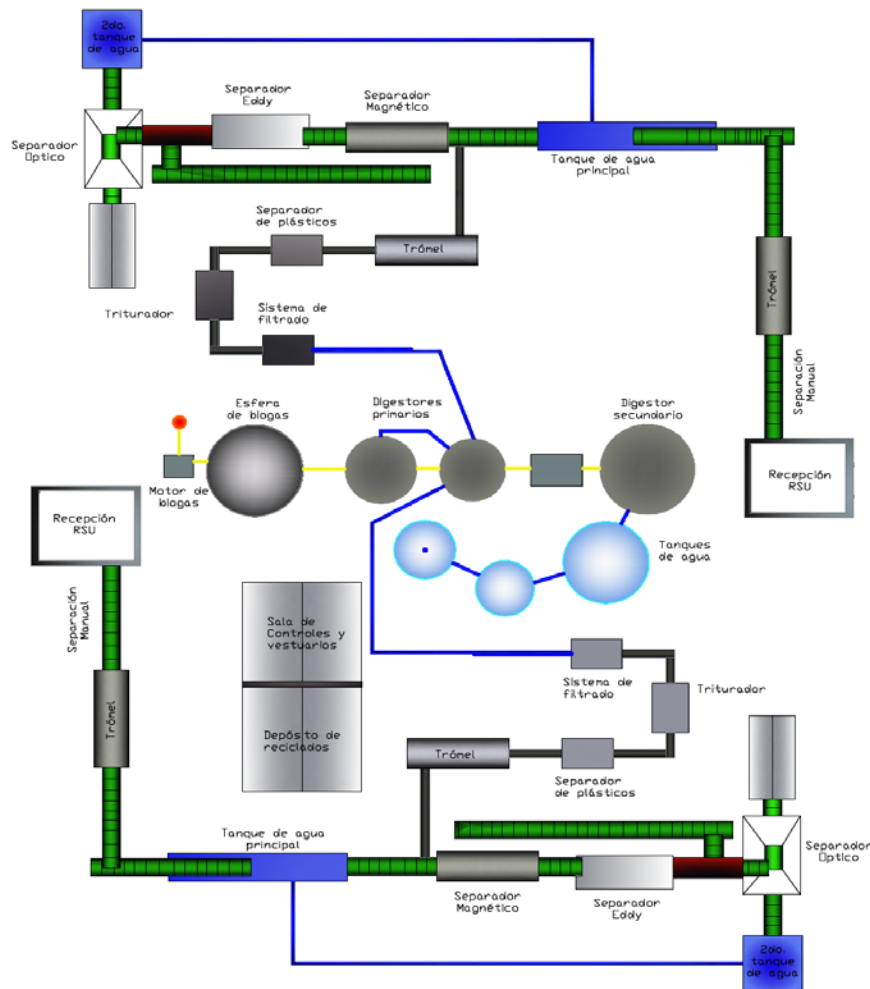


TABLA 1. DETALLE DE RESIDUOS ANUALES ENVIADOS A DISPOSICIÓN (TN)

	2004	2005	2006	2007	2008
RSD	766.425	825.702	831.604	831.212	778.508
RPB	181.259	207.274	210.569	186.555	116.362
Otros	545.184	444.172	494.280	627.601	949.154
Total	1.492.868	1.477.148	1.536.453	1.645.368	1.844.024

RSD: residuos sólidos domiciliarios

RPB: residuos producidos de barrido

Otros

TABLA 2. COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LA BASURA PRODUCIDA (RSD + RPB)

Componente	%	Ton/d
Papeles y Cartones	15,80%	548
Plásticos	15,10%	523
Vidrio	5,70%	196
Metales Ferrosos	1,10%	39
Metales No Ferrosos	0,30%	12
Materiales Textiles	3,10%	107
Madera	1,30%	44

Goma, Cuero, Corcho	1,00%	34
Pañales Descartables y Apósitos	3,60%	123
Materiales de Construcción y Demolición	1,70%	60
Residuos de Poda y Jardín	10,50%	363
Residuos Peligrosos	0,50%	17
Residuos Patógenos	0,30%	10
Medicamentos	0,00%	1
Desechos Alimenticios & Orgánicos	34,30%	1.186
Misceláneos Menores a 12, 7 mm	2,90%	102
Misceláneos Menores a 25, 4 mm	2,00%	70
Materiales Finos	0,30%	11
Aerosoles	0,30%	9
Pilas	0,00%	0
Material Electrónico	0,10%	2
Otros	0,00%	1

Referencias

<http://www.bekon-energy.de/Spanisch/Info%20spanisch%20format%203.pdf>

http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/grilli/grilli_biodigest.htm

<http://www.ambiente.gob.ar/?idseccion=191>

<http://www.conama.org/documentos/271.pdf>

http://www.dipujaen.es/export/sites/default/galerias/galeriaDescargas/diputacion/dipujaen/servicios-municipales/gestion-residuos/Plan_Director_de_Residuos_Solidos_Urbanos.pdf

Biogas processes for sustainable Development, Uri Marchaim. MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona, Israel.

http://www.wcasfmra.org/biogas_docs/www.fao.org_docrep.pdf

Biogas from waste and renewable resources. An introduction. Dieter Deublein and Angelika Steinhauser. Willey-UCH Verlag GmbH &Co, 2008.

<http://www.canadacomposting.com/>

Estudio de Calidad de los Residuos Sólidos Urbanos, FIUBA-CEAMSE: Verano 2006, Invierno 2005, Otoño 2007, Primavera 2008.