

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL RECICLADO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Daniel Garraín

Rosario Vidal

Vicente Franco

Universitat Jaume I

Dpto. de Ingeniería Mecánica y

Construcción.

Grupo de Ingeniería del Diseño (GID).

Pilar Martínez

AIMPLAS, Instituto Tecnológico

del Plástico (Valencia)

Summary

Thermoplastics make up roughly 80% of the plastics produced today. There are hundreds of types and new variations are continually being developed. But not all thermoplastics are recyclable in the same proportion. The most commonly recycled thermoplastics are polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS) and polyvinyl chloride (PVC).

In this study, real data from the industry is used in the analysis of the environmental impact of plastic recycling by means of the application of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology to the products and processes involved in mechanical plastic recycling of black high density polyethylene (HDPE) for extrusion or blow moulding coming from industrial scrap.

The results obtained were compared with assessments made by other authors and with the impact associated with the manufacturing of virgin thermoplastic according to databases. The interpretation of these comparisons leads us to conclude that the recycling process has been optimised over the past years, thus reducing its environmental impact. Furthermore, the clear advantages from the eco-efficiency viewpoint of plastic recycling over direct manufacturing from petroleum are highlighted.

Resumen

Los termoplásticos constituyen aproximadamente el 80% de los plásticos producidos hoy en día. Actualmente existen muchos tipos de termoplásticos. No obstante, se siguen desarrollando nuevos tipos. Sin embargo, no todos los termoplásticos se reciclan en igual proporción. Los que más comúnmente se reciclan son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo (PVC).

En este estudio, se han utilizado datos reales de una industria dedicada al reciclaje de plásticos para realizar el análisis del impacto ambiental a través de la aplicación de la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los productos y procesos que intervienen en el reciclaje mecánico de polietileno de alta densidad (PEAD) negro, para la extrusión o soplado procedentes de residuos industriales.

Los resultados obtenidos se han comparado con otros análisis realizados por otros autores y con impacto medioambiental asociado a la fabricación de termoplástico virgen procedentes de bases de datos. Al interpretar estas comparaciones, se puede concluir que el proceso de reciclaje se ha optimizado en los últimos años, lo que reduce su impacto ambiental, además de destacar las claras ventajas desde el punto de vista de la eficiencia ecológica de reciclaje de plástico frente a la fabricación directa de petróleo.

INTRODUCCIÓN

Reciclado de plásticos

Los plásticos representan uno de los principales sectores de la industria química, que es la segunda más importante de Europa después del sector agroalimentario. El consumo mundial de plásticos se ha multiplicado considerablemente en los últimos años, alcanzando un valor estimado de 250 millones de toneladas en 2006. En 2010 se prevé que esta demanda supere la cantidad de 300 millones. Europa consume el 25% del total y España ocupa el cuarto lugar entre los países europeos por demanda de estos materiales. La producción de termoplásticos supone prácticamente el 80% del total de plásticos que se consumen hoy en día. Actualmente existen muchos tipos de termoplásticos. No obstante, se siguen desarrollando nuevos tipos.

Desafortunadamente, el gran desarrollo tecnológico de los termoplásticos no se ha acompañado de avances parecidos en cuanto al reciclado. El reciclaje de estos materiales es casi una obligación dada su escasa o nula biodegradabilidad, el agotamiento de recursos fósiles que suponen (representan el 4% del consumo total de petróleo en Europa) y del impacto visual que provoca su deposición en vertederos. Sin embargo, no todos los termoplásticos son fácilmente reciclables. El reciclaje de estos productos después de su uso puede hacerse eficazmente cuando la cantidad de residuos es abundante y homogénea. Así, los plásticos que mayoritariamente se reciclan son los más comunes, como el PE, PP, PS y PVC.

Entre los tipos de procesos de reciclado, el más extendido es el reciclaje mecánico, en el que el plástico se recupera a partir de un flujo de residuos y es convertido en copos, gránulos o polvo. Posteriormente se someten a clasificación, trituración y lavado para estar listos para su transformación en nuevos productos. Este tipo de reciclaje es la mejor opción desde la perspectiva ambiental si se compara con los otros tipos de reciclado, ya sean químicos, físico-químicos o de recuperación de energía. No obstante el reciclado mecánico no está optimizado desde el punto de vista económico [1].

Análisis del Ciclo de Vida

Una de las herramientas más ampliamente aceptada por la comunidad científica para evaluar el impacto medioambiental de un proceso o producto es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Según la Sociedad de Química y Toxicología Medioambiental (SETAC), el ACV “es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final” [2].

El ACV estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad, es decir, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo, teniendo en cuenta todas las fases intermedias como el transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte y distribución a mercados, uso, etc. Es un método analítico mediante el cual la composición y las cantidades de contaminantes generados y de recursos consumidos en la cadena de producto pueden valorarse en términos de sus impactos correspondientes, considerando las categorías generales que incluyen el

uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas, tales como el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono, la acidificación, la ecotoxicidad, los precursores de ozono troposférico, etc.

A través de los estudios de ACV, es posible llegar a conclusiones acerca de qué impacto es más significativo, o qué etapa del ciclo de vida es la más contaminante. Esta metodología puede utilizarse también para contrastar varios materiales o procesos alternativos que realizan la misma función y evaluar cuál de ellos es más ecoeficiente.

Dada la complejidad de este método, se hace necesario un protocolo al cual debe ajustarse todo estudio de ACV. Este protocolo queda establecido en las normas UNE-EN ISO 14040:2006 [3] y UNE-EN ISO 14044:2006 [4].

De acuerdo con la metodología descrita en las normas anteriores, un estudio de ACV puede dividirse en cuatro fases: objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación. Estas fases se describen a continuación, a medida que se detalla el estudio realizado.

OBJETIVOS, ALCANCE Y UNIDAD FUNCIONAL

En esta fase se tiene que definir el tema de estudio estableciendo la unidad funcional, que describirá la función principal del sistema analizado.

El objetivo de este estudio ha sido la realización de la evaluación del ciclo de vida de los productos y procesos que intervienen en el reciclado mecánico de PEAD negro procedente de desechos industriales. Los datos han sido recopilados de una industria dedicada al reciclaje de termoplásticos. Los resultados se han comparado con datos proporcionados por fabricantes de maquinaria de reciclaje y datos bibliográficos de otros autores. Finalmente, se ha realizado una comparación entre los impactos del reciclaje con aquellos asociados a la producción de PEAD virgen. Para las comparaciones se ha utilizado como unidad funcional un kilogramo de PEAD.

ANÁLISIS DE INVENTARIO

Esta fase comprende la obtención de datos para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. Para ello hay que elaborar una lista cuantificada de todos los flujos entrantes y salientes del sistema durante toda su vida útil, los cuales son extraídos del ambiente natural o bien emitidos en él, calculando los requerimientos energéticos y materiales del sistema y la eficiencia energética de sus componentes, así como las emisiones producidas en cada uno de los procesos y sistemas. En ocasiones puede llegar a ser la fase más dificultosa por la complejidad a la hora de obtener datos reales.

Industria de reciclaje

Se han recopilado datos reales procedentes de una industria dedicada al reciclado mecánico de plástico procedente de chatarra industrial para la extrusión o soplado de PEAD negro para realizar el análisis del impacto ambiental de los productos y procesos que intervienen.

Se ha realizado un balance de masa y energía para tener en

Figura 1 diagrama de flujo del reciclado de PEAD negro

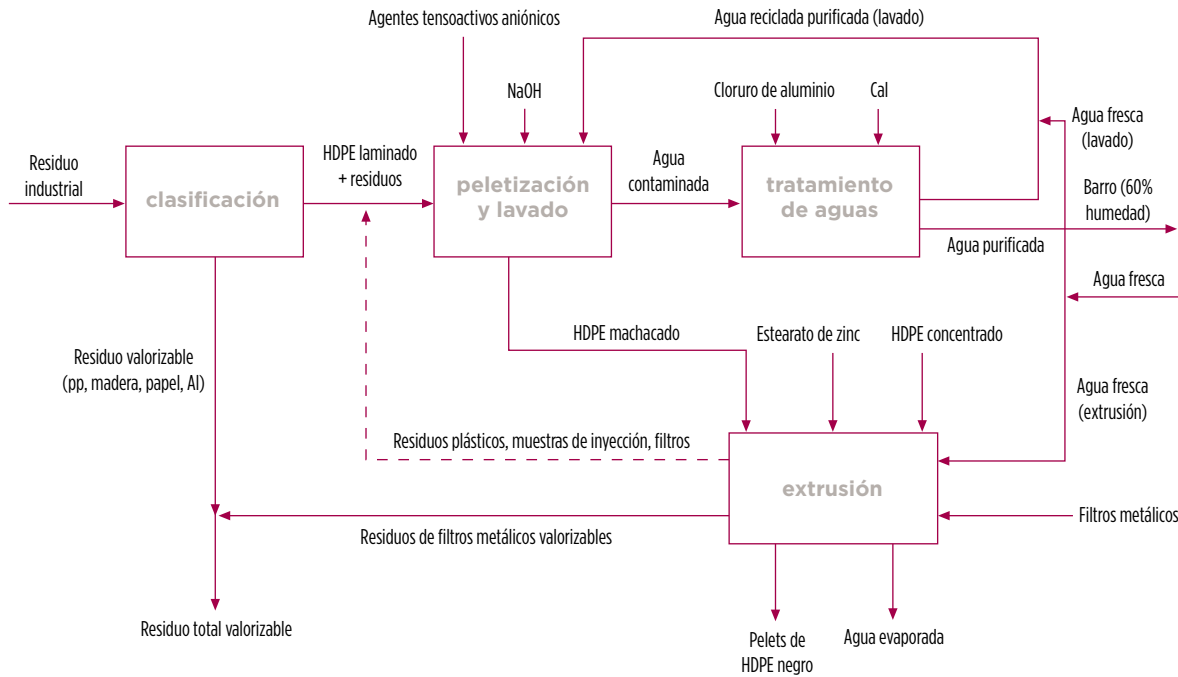


Tabla 1 Datos del inventario del reciclado de un kg de PEAD negro, a partir de una industria de reciclaje	
ENTRADAS DE MATERIALES	KG
Residuo industrial	1,42850
Agua fresca de lavado	0,08620
Agua fresca para extrusión	0,42180
Agua purificada recirculada de lavado	20,35400
NaOH (s)	0,00420
Agentes tensoactivos aniónicos	0,00130
Estearato de zinc	0,00003
PEAD concentrado	0,02000
CaCO ₃	0,00170
Floculante (AlCl ₃)	0,00160
Filtros metálicos	0,00010
SALIDAS DE MATERIALES	KG
Barro (65% humedad)	0,13510
Agua purificada recirculada de lavado	20,35400
Agua evaporada de extrusora	0,42180
Granzas de plástico	1,00000
Residuo valorizable	0,40850
Residuos de filtros metálicos valorizables	0,00010
CONSUMOS DE ENERGÍA	
Electricidad	0,06400 kWh
Gasoil	0,00026 kg
TRANSPORTE (CAMIÓN DE 40 T)	KM
Longitud media de ruta	100

cuenta los aportes de materiales y la energía utilizada para el sistema de entradas y salidas. Además se ha incluido el transporte de PEAD desde las plantas de transformación del termoplástico hasta la planta de reciclaje. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del PEAD negro y la tabla 1 muestra los datos inventariados.

Fabricantes de maquinaria industrial de reciclaje

Los datos de inventario recopilados en el caso de la maquinaria industrial han sido solamente los consumos de energía de las máquinas, extraídos de los datos técnicos proporcionados por fabricantes, sin considerar aditivos, lubricantes o transporte. Por tanto, se han considerado los datos energéticos medios de la maquinaria por el lavado y secado de plástico reciclado y de la extrusora, siendo de 0,517 y 0,327 kWh/kg respectivamente.

Datos bibliográficos

- Perugini et ál. [5] publicaron en 2005 una evaluación del ciclo de vida del reciclado mecánico de residuos plásticos como parte del seguimiento de un estudio anterior [6]. El análisis ambiental abarca un amplio conjunto de empresas italianas dedicadas a la mecánica de reciclaje de plástico que han comparado con otras alternativas de tratamiento de residuos como el vertido simple, la incineración, pirólisis a baja temperatura e hidrogenación a alta presión.

Los datos recopilados han correspondido a los materiales y los flujos de energía que se relacionan con la producción de PEAD reciclado a partir de residuos industriales (tabla 2).

- White et ál. [7] llevaron a cabo un inventario sobre la gestión integrada de residuos sólidos –incluyendo los plásticos– y el análisis de las entradas y salidas de los procesos de reciclado, a fin de evaluar su impacto medioambiental. Los datos disponibles provienen de un informe interno [8] de una planta de reciclaje realizado en la década de los 90, que proporciona

información detallada sobre los flujos de masa y energía en el proceso de reciclado de botellas de PEAD (tabla 3).

Producción de PEAD virgen

Los datos correspondientes a la fabricación por extrusión de PEAD virgen provienen de la Asociación de Productores de Plásticos en Europa –PlasticsEurope– [9]. Estos datos se obtuvieron de diez plantas europeas sitas en Austria, Bélgica, Francia, Holanda, Portugal, Suecia y Reino Unido, dedicadas a la fabricación de PEAD a baja presión para recipientes de comida, tanques de gasolina de vehículos, botellas y tuberías. Estos datos se encuentran recogidos en la base de datos deecoinvent [10].

EVALUACIÓN DEL IMPACTO

En esta fase se evalúa el impacto medioambiental de cada uno de los procesos analizados tras la recopilación y posterior introducción de los datos de inventario en el programa SimaPro versión 7.0 [11]. Este programa permite determinar el perfil ecológico de un proceso o producto, identificando los materiales y/o procesos que presentan un peor comportamiento ambiental mediante el uso de bases de datos, ya sean propias o bibliográficas.

La metodología de evaluación del impacto seguida fue la denominada CML 2 baseline 2000, elaborada por el Instituto de Ciencias Ambientales de Leiden (CML) de Holanda.

Tabla 2 Datos del inventario del reciclado de un kg de PEAD, a partir de datos de Perugini et ál. [5]

CONSUMOS DE ENERGÍA	MJ
Energía eléctrica (compactación)	0,090
Combustible diésel (clasificación)	0,084
Energía eléctrica (clasificación)	0,122
Energía eléctrica (extrusión)	2,000
Metano (extrusión)	0,600
ENTRADAS DE MATERIALES	KG
Agua (extrusión)	1,780
SALIDAS DE MATERIALES	KG
Residuos (extrusión)	0,140

El perfil medioambiental por categoría de impacto de los procesos de reciclaje del PEAD se muestra en la figura 2. Las categorías de impacto seleccionadas fueron las recomendadas por Guinée et ál. [12].

Las diferencias entre los datos de la empresa de reciclaje y de los procedentes de empresas de maquinaria se atribuyen al hecho de que estos últimos ofrecen un mecanismo capaz de reciclar plás-



hevacambientgroup
soluciones para el medioambiente
www.hevacambient.com
Tel: 936 910 874 Fax: 936 911 573



PROYECTOS PARA PLANTAS DE RECICLAJE
trituradores-incineradores-volquetes-cangilones
prensas-cribas vibratorias-transportadores-etc

VISÍTENOS EN TEM-TECMA 2008 (IFEMA, MADRID) PAB 4 - D05

Tabla 3 Datos del inventario del reciclado de una tonelada de PEAD, a partir de datos de White et ál. [7]

CONSUMOS DE ENERGÍA		MJ
Energía eléctrica		7.620
SALIDAS DE MATERIALES AL AIRE		G
Partículas		158,000
Monóxido de carbono		280,000
Dióxido de carbono		353.325,000
Óxidos de nitrógeno		989,000
Monóxido de nitrógeno		56,000
Óxidos de azufre		2.002,000
Ácido fluorhídrico		0,010
Hidrocarburos totales		1.690,000
SALIDAS DE MATERIALES AL AIRE		G
BOD		2.365,000
COD		4.620,000
AOX		24,200
Fenol		0,550
Arsénico		0,100
Cadmio		0,055
Cromo		0,330
Cobre		2,310
Plomo		0,110
Mercurio		0,006
Níquel		0,220
Cloruros		97,900
Sulfatos		0,550
SALIDAS DE MATERIALES AL AIRE		KG
Residuos		216,000

ticos con puntos de fusión más altos que los del PEAD. A estas diferencias contribuye que la empresa de reciclaje posee una línea dedicada exclusivamente al reciclado de PEAD con los procesos de trituración y lavado muy optimizados.

Se pueden observar las similitudes de los efectos medioambientales entre la empresa de reciclaje y Perugini et ál. [5], ya que los datos de estos últimos provienen de datos actuales de empresas de reciclado italianas.

Al comparar los resultados con White et ál. [7], hay que señalar que sus datos se remontan a la década de 1990, cuando el reciclaje de plástico no estaba tan optimizado ni era tan rentable como lo es hoy en día, y en consecuencia, el impacto ambiental es más elevado.

La **figura 3** muestra el perfil medioambiental del reciclado de PEAD frente a la producción del termoplástico virgen, mostrando claramente la ventaja medioambiental del proceso de reciclaje. ®

Figura 2 ecoperfil del reciclado del PEAD por fuente de datos (porcentaje con respecto al mayor valor)

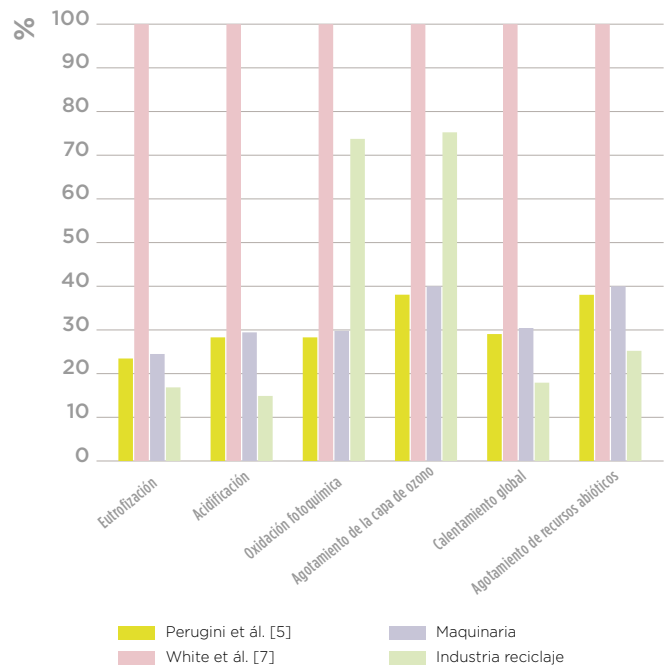
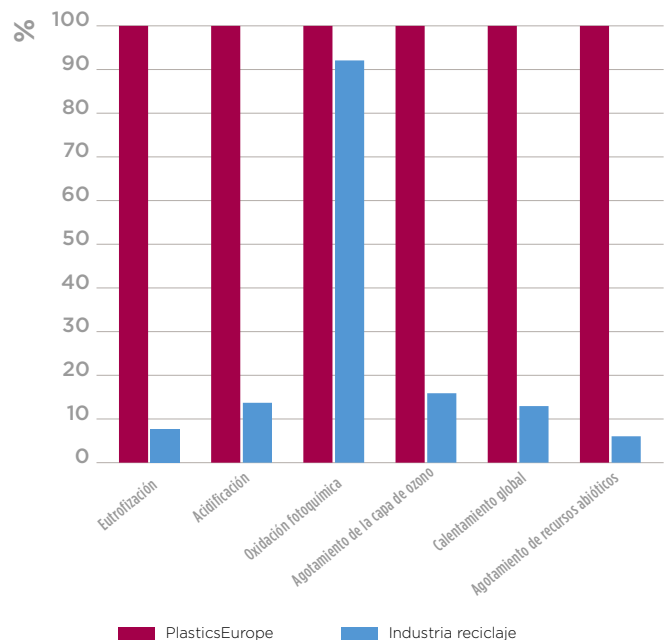


Figura 3 ecoperfil del reciclado frente al procesado del PEAD (porcentaje con respecto al mayor valor)



CONCLUSIONES

Los resultados de las figuras anteriores muestran que existen notables similitudes entre los ecoperfiles con datos de las empresas de reciclado de polietileno de alta densidad. Al comparar estos resultados con los de la década de los 90, se

**Usted pone el material,
nosotros lo recuperamos**

puede apreciar la optimización del reciclaje, especialmente en términos de consumo de electricidad.

La diferencia entre los perfiles medioambientales entre PEAD reciclado y virgen es también considerable. Estos resultados vienen a apoyar el desarrollo de nuevos productos reciclados para favorecer al desarrollo sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tukker, A. "Comparing feedstock recycling of plastics waste to mechanical recycling methods" TNO, Holland (2002).
2. SETAC. "Directrices para la evaluación del ciclo de vida: Código de prácticas" Society of Environmental Toxicology and Chemistry (1993).
3. UNE-EN ISO 14040:2006. "Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia".
4. UNE-EN ISO 14044:2006. "Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices".
5. Perugini, F.; Mastellone, M.L.; Arena, U. 'A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes' *Environmental Progress* (2005) Vol. 24, n.º 2, pp 137-154.
6. Arena, U.; Mastellone, M.L.; Perugini, F. 'Life Cycle Assessment of a Plastic Packaging Recycling System' *International Journal of Life Cycle Assessment* (2003) 8 (2), pp 92-98.
7. White, P.R.; Franke, M.; Hindle, P. "Integrated solid waste management. A life cycle inventory" Ed: Blackie Academic & Professional, ISBN 0-7514-0046-7 (1995).
8. Deurloo, T. 'Assessment of environmental impact of plastic recycling in P&G packaging' *Technical report of Procter&Gamble* (1990).
9. Boustead, I. 'Eco-profiles of the European Plastic Industry. HDPE Extrusion' *A report for PlasticsEurope* (APME) (2005).
10. The ecoinvent Database v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Suiza (2007).
11. SimaPro software version 7.0. PRé Consultants, Amersfoot, Holanda (2004).
12. Guinée, J.B.; Gorreé, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Weneger, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; de Bruijn, H.; van Duin, R.; Huijbregts, M. "Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO standards" Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, The Netherlands (2001).

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado como parte del proyecto subvencionado por el Ministerio de Medio Ambiente (Referencia 566/2006/1-2.4) denominado "Análisis del ciclo de vida de residuos de materiales biodegradables y biocompuestos, como alternativa a los polímeros convencionales".



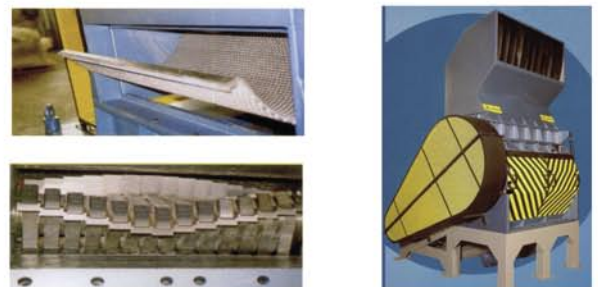
Triturador para valorización energética



Baja Velocidad - Doble rotor



Media Velocidad - Mono rotor



Alta Velocidad - Rotor Multidisco



Molino horizontal - Pulverizador