

## Gestión de desechos y reciclaje



8



[Dir. princip.](#)

## 8 – Material de base

### 8 Libro de texto

#### 8.1 Introducción

##### **Propósito del volumen "gestión de desechos y reciclaje"**

Este volumen permitir analizar el sistema de gestión de desechos específico de una compañía y mejorar su logística con respecto a los desechos peligrosos y no peligrosos, como el aceite desechado. Puede y debe usarse también para verificar si una compañía obedece las regulaciones sobre desechos que existe en un país.



**Usted paga dos veces por las pérdidas**

**Sin embargo, note: evitar los desechos es más barato y ecológico que recolectarlos y reciclarlos.**

**¡Los desechos no son más que materias primas que fueron pagadas, bien caras, y que no fueron convertidas en producto, y que deben pagarse una segunda vez cuando se deban eliminar!**

Si usted ha analizado y mejorado el sistema de gestión de desechos específico de su compañía, ya ha hecho mucho por el orden y limpieza. Una gestión apropiada de desechos es un primer paso importante que hace visible sus esfuerzos en PML.

**La legislación en la base de su logística de desechos**



##### **¿Por qué es necesario examinar la legislación de desechos si sólo estamos planeando mejorar la logística?**

La legislación sobre desechos constituye los cimientos del sistema logístico de desechos de la compañía. Si usted no se informa adecuadamente sobre estas regulaciones, se arriesga a construir incorrectamente su sistema, haciendo malas inversiones y teniendo que pagar multas por no observar las regulaciones.

**Beneficios**

##### **Beneficios provenientes de analizar su sistema de gestión de desechos y optimización de la logística**

- ***Cumplimiento con los aspectos legales***

Debe asegurarse que se observan todas las regulaciones relacionadas.

- ***Hacer evidentes las cantidades desechadas y los costos***

Usted es informado sobre los desarrollos en cuanto a la cantidad y costo de los desechos peligrosos y no peligrosos y aceite desechado, y puede tomar medidas para evitar o reciclar estos desechos.

- ***Seguridad de la eliminación, optimización de los costos***

Un buen sistema de logística de desecho asegura que tanto los residuos re-utilizables, como riesgosos peligrosos, sean adecuadamente separados y ya no terminen en la sección más cara de desechos. Hay una reducción de los desechos y de los costos de eliminación y reciclaje.





- **Imagen/motivación**

Podrá motivar a sus colegas porque, para muchas personas, un sistema de separación de desechos es a menudo el ejemplo más claro de una política medioambiental activa.

Usted contribuirá a proteger el ambiente y a economizar recursos.

- **Gestión medioambiental**

Un buen sistema de gestión de desechos es una parte integral de la gestión de desechos y de PML en su compañía; también es una condición previa para lograr la certificación bajo las regulaciones de las ECO-auditorías de la UE.

- **Desarrollo de rellenos sanitarios**

El precio del relleno sanitario subirá de nuevo en el futuro, reflejando la escasez de este servicio. Se planea que sólo los residuos tratados térmicamente pueden ser colocados en los rellenos (situación en Austria). Las compañías que ya han reducido su desecho industrial tienen una ventaja en el futuro.

**¡Analizar la gestión de desechos y optimizar la logística siempre paga - a corto o a largo plazo!**

Además, en este documento se brindan breves descripciones sobre las tecnologías del reciclaje de residuos en los tópicos de:

- **Biogás** **8.3**
- **Cerrando los ciclos del agua** **8.4**
- **Compostaje** **8.5**
- **Uso energético de los residuos** **8.6**
- **Reciclado de acero** **8.7**
- **Reciclado de aluminio** **8.8**
- **Reciclado de cobre** **8.9**
- **Reciclado de plástico** **8.10**

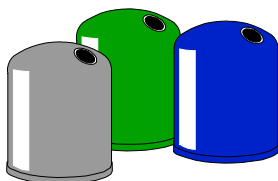
Como hemos dicho, todos estos capítulos dan una visión global breve de aspectos organizativos y técnicos de la tecnología del reciclado y no se profundiza en demasiados detalles ya que el material de base que se requiere es muy extenso. Sin embargo, se muestran enlaces y fuentes de información interesantes.

## 8.2 ¿Cómo analizar el sistema de gestión de desechos y optimizar la logística?

### El problema

**¿Cuál es la situación de los desechos en muchas compañías?**

Muchos empleados con responsabilidad en la compañía ni siquiera saben que puede haber problemas con los desechos, tienen poco o ningún conocimiento de la legislación sobre su manejo y no están conscientes de su composición. ¿Quién quiere mirar en los recipientes de desechos? ¿O incluso clasificar cosas en estos recipientes? .....ese es trabajo de otros – ¿Es así en su compañía?



En muchos casos, no se utiliza ningún sistema o recipiente conveniente para la separación de desechos y los empleados no tienen la información correcta o adecuada sobre cómo separarlos. Esto lleva a una cantidad excesiva de materiales re-utilizables o de riesgo en el residuo final.

### La solución

Comience un proyecto "¡Análisis del sistema de manejo de desechos y optimización de la logística específica de la compañía!"

Use la experiencia ganada en otras áreas para este proyecto y observe el procedimiento siguiente para analizar el sistema de manejo de desechos y perfeccionamiento de la logística de la compañía:

- 1.) **Discuta el proyecto con la dirección y el equipo medioambiental**
- 2.) **Familiarícese con las regulaciones legislativas acerca del manejo de desechos.**
- 3.) **Verifique que se observan las regulaciones e inicie las correcciones.**
- 4.) **Intente asignar los tipos de desechos producidos a las áreas apropiadas.**
- 5.) **Compile los datos de volúmenes de desecho y costos de eliminación.**
- 6.) **Inspeccione la compañía - junto con sus colegas, identifique las debilidades específicas y las posibles mejoras en la compañía.**
- 7.) **Discuta los resultados en el equipo medioambiental.**
- 8.) **Presente los resultados a la dirección.**
- 9.) **Ejecute las medidas específicas en la compañía**

**1.) Discuta el proyecto con la dirección y el equipo medioambiental**

El proyecto "análisis - optimización de logística" debe comenzarse y llevarse a cabo por usted y el equipo medioambiental (vea el vol. 1). Informe al equipo medioambiental y la dirección y asegurese de su apoyo. Si lleva a cabo los estudios sólo o en un equipo el estudio dependerá del tamaño y la estructura organizativa existente en el sistema de gestión de desechos de su compañía.

**2.) ¡Familiarícese con los conceptos y regulaciones legislativas acerca de la gestión de desechos!**

Si usted no está familiarizado con los conceptos y regulaciones legislativas de la gestión de desechos, debe estudiarlos antes de empezar el proyecto. Usted aprenderá a usar los términos adecuados y conseguir una correcta apreciación global de las regulaciones aplicables.

**3.) ¡Verifique las regulaciones del manejo de desechos – inicie correcciones!**

¿Qué regulaciones se cumplen por su compañía y dónde es necesario hacer las correcciones?

¡Intente asignar los distintos tipos de residuos a las áreas adecuadas!

Intente describir luego cómo su compañía cumple con los deberes pertinentes a los desechos.

Esto le dará una apreciación global inicial de las varias áreas de la compañía en cuanto a desechos se refiere.

Entre los detalles siguientes en su plan general "gestión de desechos" y la hoja de trabajo 8-1 "apreciación global del manejo de desechos."

Áreas de la compañía (Ej.: producción, almacenes, administración, talleres, sitio de vertimiento de residuos, etc.)

Identificación de las áreas (Ej.: producción = A, almacén = B, oficina = C, etc.)



**Tipos de desechos en varias áreas de la compañía**

**4.) Intente asignar los tipos de desechos generados a las áreas apropiadas.**

Antes de mirar la logística dedicada a los desechos intente hacer una apreciación global de los desechos que se generan en ciertas áreas de la compañía (vea la Hoja de trabajo 8-1, "Apreciación global del manejo de desechos")

Divida su compañía en áreas que representen los lugares dónde se generan los desechos. Marque estos lugares con una letra abreviada (P = producción, S = almacén, A = área administrativa, W= taller, CW = punto principal de desechos). Infórmese sobre los procedimientos y actividades de las áreas individuales. Así conseguirá una primera apreciación general de las áreas de desechos y sobre los tipos de desechos de su compañía.

**Estudio de volúmenes de desechos y costos de delimitación****5.) Recolecte los datos sobre las cantidades de desecho y los costos**

Con la ayuda de la hoja de trabajo 8-2 estudie la cantidad de desechos producidos realmente en su compañía, los precios de eliminación y de reciclaje así como, las ganancias [por venta] ciertos tipos de desechos.

El registro de los datos relacionados con los desechos también le ayudará a identificar los volúmenes. Es una ventaja poder revisar los datos de los últimos dos años. Si estos datos corresponden a la inspección anterior de la compañía, usted conocerá los costos del reciclaje, los costos de eliminación y las ganancias por venta de ciertos tipos de desechos cuando vaya a realizar la inspección.

**6.) Haga una visita al lugar - identifique debilidades y posibles mejoras**

Inspeccione su compañía e informe a todos los obreros, en los diferentes departamentos, sobre el proyecto. Discuta los datos disponibles con las personas a cargo y coopere para recolectar cualquier información necesaria. Incluya en su compilación de datos al personal de limpieza (también de compañías externas).

El objetivo de la inspección es identificar y documentar las debilidades específicas de la compañía y discutir las posibles mejoras, en el lugar, con las personas involucradas.

**Tome fotografías** de la logística del sistema actual de desechos y también de la composición general de éstos y úselas en su presentación a la dirección. Esto le ayudará a conseguir más fácilmente su apoyo para la aplicación de las medidas sugeridas.

Mire en los recipientes de desechos y estime el porcentaje de residuos reutilizables. Observe si contienen algún tipo de residuos peligroso. Si tiene un compresor de desechos en el que no puede mirar dentro, ciérrelo y verifique el residuo depositado durante el curso de un día o vaya al basurero e inspeccionar lo que allí se descarga.

Durante su inspección, informe a sus colegas sobre los tipos de residuos que tienen que ser separados por ley y hágalos participar preparando sugerencias específicas para la mejora. (Contenedores, colores clave para diferentes tipos de residuos, lugares, etiquetas y señales, puntos de recogida descentralizados, adaptación del punto central de recogida, etc.)

Como sugerencia, use los ejemplos de la guía adjunta para la separación de desechos y prepare una solución específica para su compañía.

Investigue cómo fueron informados sus colegas sobre la separación de desechos y considere incluso cómo debe prepararse esta información en la fase temprana. Intente nombrar gerentes de desechos para las áreas especiales de la compañía.

**“Inspección de trabajo”**



### Identificar opciones de optimización

Ellos deben estar interesados en los problemas medioambientales. Los gerentes de desechos son socios importantes que quieren asegurar en el futuro que los desechos sean adecuadamente separados y que informan a sus colegas sobre los aspectos relacionados con los desechos.

#### 7.) Discutir los resultados en el equipo medioambiental

Presente los resultados de su análisis de desechos en la próxima reunión del equipo medioambiental. Indique lo que todavía necesita hacer para cumplir con los requisitos legales y qué opciones están disponibles para mejorar la logística específica de su compañía para desechos peligrosos y no peligrosos. Decida luego en el equipo qué opciones deben llevarse a cabo en su compañía.

Intente conseguir ofertas para los sistemas de contenedores, prensas de desechos u otros equipos de tratamiento, la instalación de puntos de recolección, etc. e indique el impacto económico y ecológico de las medidas planeadas.

Negocie con la persona adecuada, en la compañía encargada de la eliminación de sus desechos, averigüe si van a estar a cargo o no de la eliminación general, qué condiciones aplicarán en el futuro y si pueden proporcionar gratis los sistemas de contenedores para la recogida.

#### 8.) Presente los resultados a la dirección

Se debe informar a la dirección sobre las debilidades específicas de la compañía y sugerir mejoras, incluso el impacto económico y ecológico. Se ha visto que resulta eficaz, en muchos proyectos, presentar diapositivas de la situación de la empresa y mostrar ejemplos positivos de otras.

Una vez obtenida la aprobación de la dirección para las medidas planeadas, asegure también el apoyo para su aplicación, es decir la dirección debe actuar de manera ejemplar. Infórmele además, quién ha sido designado como gerente de desechos en cada área de la compañía.

### Presentación de resultados



#### 9.) Llevar a cabo las medidas específicas de la compañía

Comience el trabajo necesario (ordenando, instalando y adaptando los puntos de recolección de desechos, diseñando el material de información, etc). Cuando se hayan completado las preparaciones y llegado los sistemas de recolección etiquetados, combine la instalación de los nuevos recipientes con un esquema de entrenamiento del personal.

En vista de que el sistema de manejo de desechos de la compañía debe ser apoyado por todos, es importante informar y motivar a sus colegas con respecto a su correcta separación. Un instrumento muy útil es una guía de desechos. **Usted encontrará ejemplos para una compañía específica, así como una guía neutral de separación de desechos en los ejemplos del volumen 8.**

**Guía para la  
separación  
de desechos**

Al preparar la guía, asegúrese de que contiene los tipos de residuos con los que usted trata todos los días. Hágala clara y atractiva. Por ejemplo, asigne el color clave a cada recipiente para los respectivos desechos. Esto hará más fácil la tarea de sus colegas y les permitirá asignar el desecho a la categoría correcta. Indique también en la guía una persona a la cual dirigirse en caso de incertidumbre con respecto a la segregación o separación de los desechos.

¡No se olvide de informar e instruir a los trabajadores de la limpieza propios así como los de otras empresas! ¡Las personas a cargo de la reparación, la construcción y el mantenimiento son particularmente importantes en cuanto a llevar a cabo el proyecto!



### 8.3 Una introducción al BIOGÁS

El biogas se genera cuando ciertas bacterias degradan el material biológico en la ausencia de oxígeno, en un proceso conocido como la digestión anaerobia (DA). La digestión anaerobia es básicamente un proceso simple llevado a cabo en varios pasos capaces de usar casi cualquier material orgánico como sustrato - ocurre en los sistemas digestivos, los pantanos, la basura depositada, los tanques sépticos y la Tundra del Ártico. El ser humano tiende a hacer el proceso tan complicado como le sea posible intentando mejorar a la naturaleza en equipos complejos, pero un acercamiento simple todavía es posible. Como se muestra en la figura, la DA ocurre a través de la acción simbiótica de una serie compleja de bacterias. El biogás se genera solamente a través de la actividad de bacterias, a diferencia del compostado en donde los hongos y otras especies también están involucradas en el proceso de degradación del material biológico.

Tiende a ocurrir dondequiera que existan altas concentraciones de materia orgánica húmeda, normalmente en la mayoría de los sedimentos del fondo de lagos y estanques, en los pantanos, la turba, en los intestinos de los animales y en los sitios anaerobios de los depósitos de basura.

El biogás es una mezcla de metano (también conocido como gas del pantano o el gas natural), anhídrido carbónico y numerosos elementos traza. La DA puede ocurrir en un amplio espectro de temperaturas, que varía entre 4 y 100°C, así como de humedades (60% y más de 99%). Los digestores anaerobios convencionales normalmente se diseñan para operar entre 35°C y 40°C o en la magnitud de 52°C y 57°C. Hay dos razones para estas altas temperaturas. Primero, las temperaturas más altas aumentan los rendimientos de salida de gas de un digestor de capacidad dada y segundo, aumenta la destrucción de patógenos presentes en el estiércol crudo.

#### 8.3.1. Formas de aplicación de la digestión anaerobia (DA):

Las instalaciones establecidas en granjas son quizás las más comunes. Entre 6 y 8 millones de reactores familiares y de baja tecnología se usan, con diferentes grados de éxito, para cocinar y como combustible para el encendido de lámparas.

En China e India hay una tendencia al uso de sistemas más grandes, más sofisticados con mejores controles del proceso y que generan electricidad.

En Europa las instalaciones de DA se usan, sobre todo, para el tratamiento de desechos en granjas, desechos industriales y municipales. Una apreciación global puede encontrarse en "Estiércol y digestión del bioresiduo en Alemania -la historia, tendencias y comprobación práctica", de la compañía Linde (incluido aquí).

El tratamiento de aguas residuales industriales es común en Europa y también de las vinazas, sub-producto de la producción de etanol a partir del azúcar en América del Sur. La DA puede usarse como pretratamiento que disminuye los costos de eliminación de los lodos, controla los olores y reduce los costos del tratamiento final en una PTR municipales.

**8.3.2. Los beneficios de la DA (digestión anaerobia):**

**Beneficios económicos:**

- Más rentable que otras opciones desde una perspectiva del ciclo de vida

**Beneficios energéticos:**

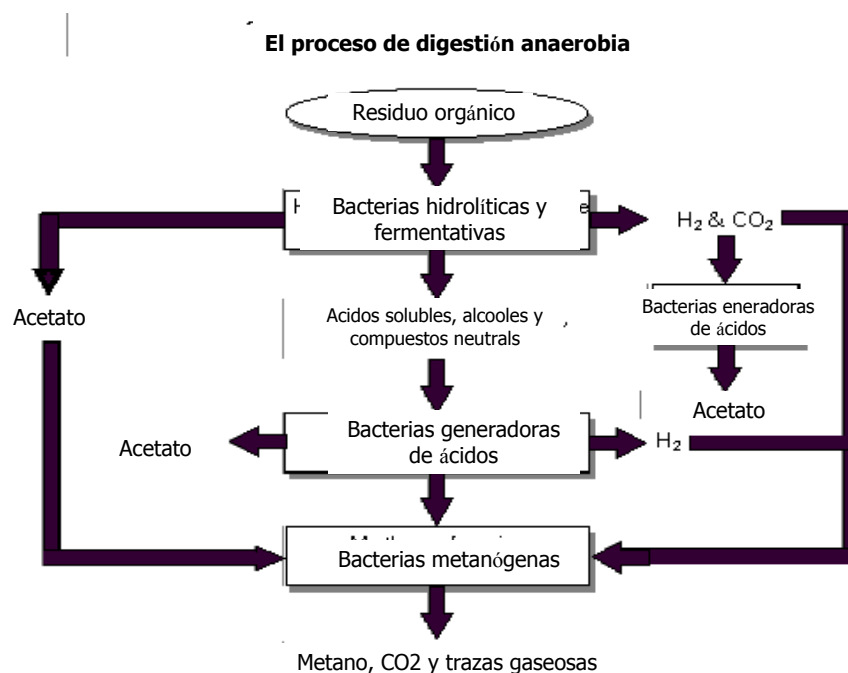
- Productor de energía neta (75-150 kWh de electricidad por tonelada de desecho municipal sólido) en comparación con el proceso de compostaje que es un alto consumidor de energía
- Produce combustible renovable de calidad superior

**Beneficios del tratamiento:**

- Requiere menos área que el compostaje aerobio o el relleno sanitario
- Reduce el volumen y el peso del desecho a eliminar en el basurero

**Beneficios ambientales:**

- Reduce significativamente las emisiones de anhídrido carbónico y metano
- Elimina olores
- Produce un abono sano y rico en nutrientes



### 8.3.3. Factores para el éxito:

- las regulaciones ambientales locales
- la simplicidad del diseño para los digestores en granjas
- valor "verde": permite a los productores de electricidad a partir de biogás vender su producto con un valor premio agregado
- la co-generación de agua caliente a sistemas calefactores especialmente construidos en el distrito

### 8.3.4 Ejemplos de proceso

A continuación se dan varias descripciones del proceso:

#### a) El proceso BTA (*Biotechnische Abfallverwertung*) (Germany, [www.bta-technologie.de/files/process-general.htm](http://www.bta-technologie.de/files/process-general.htm))

El proceso BTA fue desarrollado para transformar bioresiduos (FORMS fracción orgánica residuo municipal sólido) de las viviendas, la agricultura y el comercio en biogás y compost.

#### Por ejemplo los siguientes sustratos pueden usarse:

Componentes orgánicos de desechos sólidos municipales (mixtos)

Fuentes independientes de las casas (sobras de cocinas)

Residuos de comida de los restaurantes, comedores y mercados

Residuos de industrias procesadoras de alimentos

Residuos de mataderos (Ej. rumen)

Desechos de la agricultura (Ej. estiércol)

Lodo de alcantarillado así como los lodos de plantas de tratamiento

Residuos - la eliminación ambientalmente consciente de residuos requiere reducir la porción orgánica del residuo para que no ocurran reacciones químicas o bioquímicas posteriores en el vertedero. Esto se puede lograr mediante la aplicación del proceso BTA.

#### Resultados:

Reducción sustancial de los desechos

Tratamiento de desechos ambientalmente sano

Recuperación máxima de energía

Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

La producción de abono de alta calidad

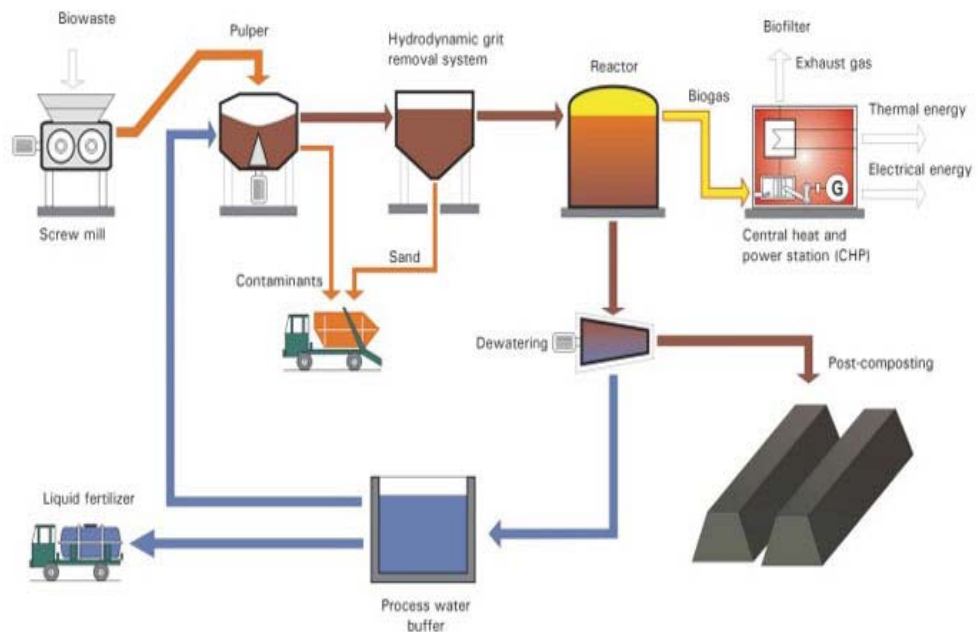
**El proceso consiste en dos pasos principales: un** pre-tratamiento mecánico húmedo y la conversión biológica.

En el reactor de residuos se mezcla el material de alimentación con agua de proceso reciclada. Los contaminantes plásticos, textiles, piedras y metales son separados de manera efectiva sin selección manual mediante un rastrillo y una trampa de fraccionamiento por peso. Con el contenido orgánico se produce una suspensión (pulpa) espesa, que se puede bombear, manejar fácilmente y digerirse. Un componente optativo adicional, pero esencial del proceso, es el sistema de eliminación de la arenisca, que separa la materia más fina que aún permanece, arena, piedras y fragmentos de vidrio, pasando la pulpa a través de un hidrociclón. Así la planta es protegida contra la abrasión.

**Conceptos:**

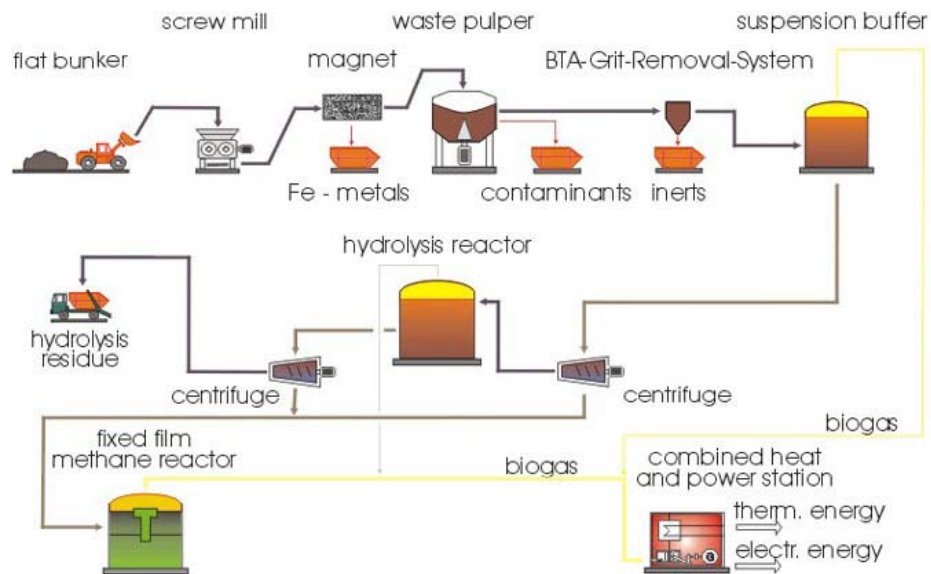
Según la capacidad de la planta, el tipo de energía utilizada y el abono que produce pueden ofrecerse varios conceptos sobre los pasos biológicos:

Primero la llamada **fase de digestión en una etapa**, donde se fermenta la pulpa producida en un reactor de fermentación de mezcla total. Este concepto permite usar la tecnología BTA incluso para las unidades de manejo de desechos descentralizadas y comparativamente pequeñas. Digestores existentes (es decir en una planta de albañales o planta agrícola de biogás) puede usarse con una reducción esencial de los costos de inversión y operación.



Traducción: Biowaste = Bioresiduos; Pulper = Reactor para pulpa; Hydrodynamic grit removal system = Hidrociclón (para eliminación de arenisca); Reactor = Reactor; Biofilter = Biofiltro; Exhaust gas = Gas de escape; Thermal energy = Termoenergía; Electrical energy = Energía eléctrica; Central heat and power station = Estación central de energía y calor; Contaminants = Contaminantes; Sand = Arenisca; Dewatering = Deshidratación; Post composting = Compostaje posterior; Liquid fertilizer = Fertilizante (abono) líquido; Process water buffer = Contenedor de agua residual.

Para plantas con una capacidad de más de 50.000 t/a se ha desarrollado la digestión multietapas, separando la pulpa en una masa sólida y una fase líquida por medio de un equipo de deshidratación. El líquido, conteniendo ya los componentes orgánicos disueltos, se bombea directamente en un reactor de metano donde permanece durante 2 días. El material sólido separado, conteniendo todavía componentes orgánicos no disueltos, es mezclado una vez con agua y alimentado en un reactor de hidrólisis. Después de 4 días la masa es de nuevo desaguada y entonces el líquido se lleva al reactor de metano.



Flat bunker = Búnker plano; Screw mill = Molino de tornillo; Magnet = magneto; Waste pulper = Reactor de pulpa de residuos; BTA-Grit-Removal-System = Sistema BTA de eliminación de arenisca; Suspensión buffer = Contenedor de suspensión; Fe-metals = Metales férricos; Contaminants = Contaminantes; Inerts = [Material] inerte; Centrifuge = Centrífuga; Hydrolisis reactor = Reactor de hidrólisis; Hydrolisis residue = Residuos; Fixed film methane reactor = Reactor de metano; Biogas = Biogás; Combined heat and power station = Generador combinado de calor y electricidad; Thermal energy = Energía calórica; Electrical energy = Energía eléctrica.

Distribuyendo los procesos de degradación en diferentes reactores (acidificación, hidrólisis y metanogénesis) se condiciona el crecimiento óptimo para todos los grupos de microorganismos involucrados. Esto permite una degradación rápida y profunda del contenido orgánico que produce un alto rendimiento de biogás. En sólo unos días 60-80% de la substancia orgánica se convierte en biogás.

Como una variante más para plantas de capacidad media está disponible la digestión en dos fases: basada en el concepto de multi etapas pero sin una separación de las fases sólido/líquido. La pulpa se alimenta en un reactor de hidrólisis que se conecta con un reactor de fermentación de agitación continua. Para permitir condiciones de hidrólisis óptimas, una parte del contenido del fermentador se retroalimenta al reactor de hidrólisis.

En caso de ampliación de la planta, la realización de una fase es posible sin problema. Para el tratamiento de residuos de comida se integra un paso de higienización adicional.

La demanda de agua de todas las variantes del proceso se obtiene recirculando el agua que contiene el residuo. El agua residual en exceso se lleva a una planta de tratamiento de aguas de albañales.

### **Ventajas del proceso:**

- amplio espectro de aplicación (se utilizan fácilmente residuos difíciles para el compostaje –por ejemplo, residuos con alto contenido de humedad)
- alta flexibilidad en lo que se refiere a la variación de la composición de los residuos
- selección efectiva y automática de objetos no deseados (sin eliminación manual)
- alta seguridad del trabajo (proceso totalmente cerrado y automático)
- construcción compacta y ahorradora de espacio
- sin molestias por olores desagradables (proceso cerrado)
- alta seguridad en la eliminación debido a los componentes redundantes
- eficiencia económica
- alto grado de adaptabilidad a las necesidades y deseos de clientes, el ambiente y las personas

### **Productos**

Los productos del proceso son biogás y abono. El biogás consiste en 60-65% metano. Debido a su alto valor calorífico el gas es una valiosa fuente de energía con gran posibilidad de aplicación. La producción del biogás puede sobrepasar la demanda de energía de la propia planta, pero convertido en calor y electricidad el sobrante puede alimentarse a una red pública. Después de un tratamiento aerobio corto (1-3 semanas) el abono anaerobio es compatible. La estructura fragmentaria y estable mejora el crecimiento de la raíz y la aeración es superior a la de la turba y el compostaje casero. Debido a su estructura, al alto porcentaje de substancia orgánica, bajo contenido de sal y de metales pesados así como su buen equilibrio de nutrientes, el abono BTA tiene una amplia gama de aplicaciones agrícolas y hortícolas.

**b) El proceso 2B**

(Switzerland, [www.swisshosting.com/2bio/indexen.html](http://www.swisshosting.com/2bio/indexen.html))

**Sustratos**

La biomasa de alimentación usada por 2B incluye materiales de bajo valor de plantas que son suaves, no leñosas y húmedas. Podemos citar, como ejemplos, el césped (en una amplia gama de calidades), césped de ensilaje, el bagazo de la caña de azúcar, los residuos de verduras y granos de cebada usados en la fabricación de cerveza. Tanto el césped y como los granos usados en la producción de cerveza fueron el enfoque principal para el desarrollo de la tecnología 2B.

La primera planta comercial de césped localizada en Schaffhausen, Suiza, fue puesta en servicio en septiembre de 2001. La primera planta comercial de granos agotados fue instalada y puesta en servicio en el año 2002. El proceso de grano agotado se presentó por Heineken a la Convención Europea de Cervecerías en Budapest en 2001.

El potencial específico de una biomasa como materia prima para la generación de productos con valor agregado puede ser evaluado contestando las preguntas siguientes:

1. ¿Cuál es el costo (o ingresos negativos costo/eliminación) de una biomasa como sustrato potencial?
2. ¿Cuál es su disponibilidad en toneladas/año?
3. ¿Se dispone del material de manera estacional, y si es así, cuáles son sus oportunidades de almacenaje?

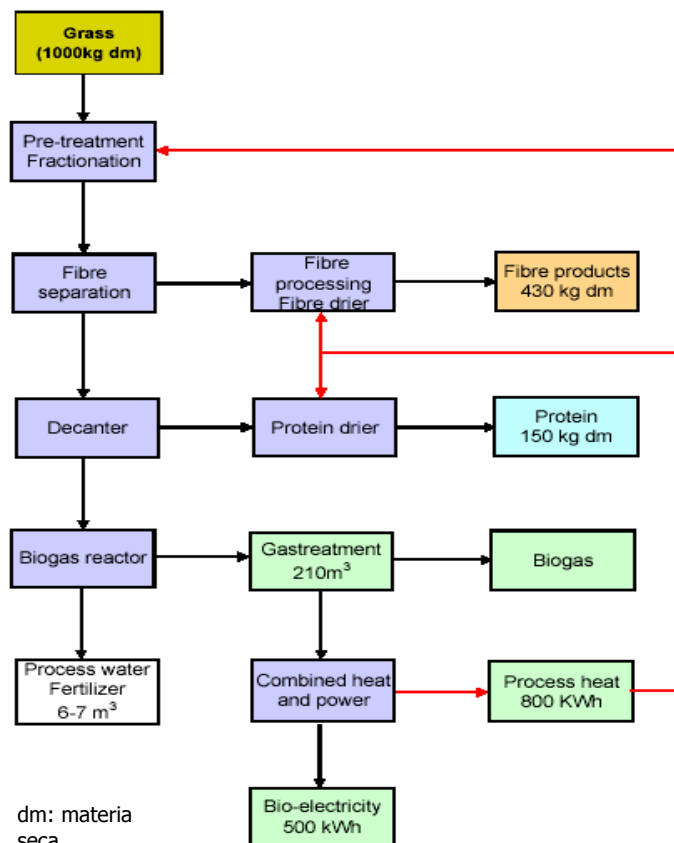
**Proceso**

La tecnología comprende, como pasos principales el pre-tratamiento de la biomasa húmeda, separación de fibras y proteínas y la producción de un portador energético. No se agrega químico alguno ni se producen desechos sólidos.

Para la producción de biogás el flujo de líquido se pasa a un reactor UASB (Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente) después de eliminar proteínas y fibras. Para la producción de etanol el proceso incluye hidrólisis enzimática de las fibras de celulosa no cristalinas a monómeros de azúcar. Estos azúcares se convierten simultáneamente a etanol con el uso de levadura convencional en un proceso SSF (Sacarificación Simultánea y Fermentación). Las enzimas celulolíticas requeridas para la sacarificación son producidas en el proceso 2B usando una cepa de *Trichoderma*, empleando la yerba (césped) como parte del medio de crecimiento. Implementar la producción de etanol en gran escala requiere ampliar también la tecnología de producción de enzimas. Ambas sendas de producción han sido probadas en la planta modelo 2B situada en Märwil, Suiza, con una alimentación de materia prima de 5 toneladas en base húmeda por hora. El equipo instalado allí incluye: sistemas alternativos de

alimentación; un equipo continuo de cocción a vapor, presurizado, con expansión y enfriamiento de la materia prima descargada; recipientes de fermentación; líneas para producir enzimas e inóculos de levadura; fraccionador; separación de fibras; pasteurizador; decantadores; separadores; tanques de regulación; columna de destilación continua; unidad de generación de vapor; los secadores y otros.

Los antecedentes de 2B en cuanto a la tecnología de procesamiento presentan gran flexibilidad con respecto a materias primas y productos.



dm: materia  
seca

The product yields depend on the quality of the grass input

Grass = Césped; Pre-treatment/Fractionation = Pre-tratamiento/ fraccionado; Fibre separation = Separación de fibra; Fibre processing. Fibre drier = Procesamiento de fibra. Secador de fibra; Fibre products = productos de fibra; Decanter = Decantador; Protein drier = Secador de proteína; Protein = Proteína; Biogas reactor = Reactor de biogás; Gas treatment = Tratamiento del gas; Biogas = Biogás; Process water fertilizer = Fertilizante [procedente] del agua del proceso; Combined heat and power = Calor y electricidad combinados; Process heat = Calor de proceso; Bio-electricity = Bio-electricidad; dm (dry material) = materia seca; The product yield depend on the quality of the grass input = El rendimiento de producto depende de la calidad del césped utilizado.



### 8.3.5. Referencias (seleccionadas entre otras)

#### Internet

[www.biogas.at](http://www.biogas.at)

[www.biogasworks.com](http://www.biogasworks.com)

<http://www.biogas.ch/firmen.htm>

<http://www.biogas-zentrum.de/>

<http://www.2bio.ch/>

<http://www.bta-technologie.de/>

#### Compañías

*AAT - BIOGAS TECHNOLOGY*

[www.aat-biogas.at](http://www.aat-biogas.at)

**Actividades:** ofrece adecuado almacenamiento de gas para amplias actividades

*ENTEC Environment Technology*

[www.biogas.at](http://www.biogas.at)

**Actividades:** Soluciones medioambientales completamente desarrolladas

*Jenbacher AG*

[http://www.jenbacher.com/www\\_english/jenbacher\\_ie.html](http://www.jenbacher.com/www_english/jenbacher_ie.html)

**Actividades:** Desarrollo y construcción de motores de gas altamente eficientes y respetuosas del medioambiente, con salidas desde 300 kW hasta 3,000 kW.

*2B AG, CH-8600 Dübendorf*

[www.2bio.ch](http://www.2bio.ch)

**Actividades:** Biorefinería: Biogás, proteínas y fibras a partir de yerba

*AABio GmbH, CH-4450 Sissach*

<http://www.alphaut.ch/aabio/index.html>

**Actividades:** Tratamiento de aguas residuales, codigestión

*ALPHA Umwelttechnik, CH-2560 Nidau*

<http://www.alphaut.ch/>

**Actividades:** Tratamiento de aguas residuales, digestión de sólidos

*Biotechnische Abfallverwertung GmbH (München, Germany)*

<http://www.bta-technologie.de/>

**Actividades:** Digestión de residuos sólidos, tratamiento de aguas residuales

*Energie und Umwelt, CH-8600 Frauenfeld*

<http://www.energieundumwelt.ch/>

**Actividades:** Plantas de biogás para la agricultura, cogeneración, energía solar

*KOMPOGAS AG, CH-8152 Glattbrugg*

<http://kompogas.ch/>

**Actividades:** Digestión de residuos sólidos

*R.O.M. AG, CH-8502 Frauenfeld*

<http://www.rom.ch/>

**Actividades:** Digestión de residuos sólidos

*Ecosolve GmbH, CH-4105 Biel-Benken*

[http://www.thoeni.com/dt/5/unterseiten/biotech/technobiogas\\_t.htm](http://www.thoeni.com/dt/5/unterseiten/biotech/technobiogas_t.htm)

**Actividades:** Digestión de residuos sólidos, codigestión, biogás agrícola

*VA TECH WABAG*

<http://www.wabag.com>

**Actividades:** Tratamiento de aguas residuales

## 8.4 Cerrando los ciclos del agua

En muchas regiones el agua se ha vuelto un recurso muy escaso. Por consiguiente, las medidas para reducir el consumo de agua son a menudo tomadas no sólo debido a razones económicas sino que resultan indispensables para la supervivencia de las compañías. El objetivo de investigación y desarrollo a largo plazo en ese campo es la aplicación de tecnologías con cero aguas de desecho.

Los ciclos de agua cerrados necesitan una tecnología que permita ese proceso agregando o extrayendo energía o sustancias especiales (metales, ácidos etc.) Para muchas compañías el cierre de ciclo implica a menudo la introducción a otras tecnologías para recuperar otros recursos.

### Los ciclos de agua son divididos principalmente en los módulos:

**Procedimiento discontinuo** – donde todos los módulos están conectados en paralelo. El concentrado se devuelve de nuevo al punto de partida y pasa por los mismos módulos.

**Procedimiento continuo** – donde los paquetes de módulos están conectados en serie. Los paquetes del módulo consisten en módulos conectados en paralelo. Los concentrados pasan por cada paquete que a su vez tienen un número decreciente de módulos.

### 8.4.1 Tecnologías de núcleo (o centro)

#### a) Membranas

Las membranas pueden considerarse como filtros, ya que ellas son capaces de separar diferentes componentes. Al menos un componente pasa a través de la membrana, mientras otro es retenido. En contraste con los filtros normales las membranas pueden alcanzar separaciones a nivel molecular.

**Para seleccionar una membrana usted necesita saber el valor del pH y la temperatura del agua residual:**

- acetato de celulosa para pH 2-7, 5 y aproximadamente 15°C
- membranas del poliamida para pH 4-11

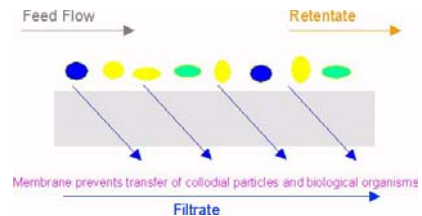
**La construcción de los módulos puede ser muy diferente:**

- Módulo de tubería (membrana interior, usada a menudo para concentrar)
- Módulo tubular (membrana exterior con una relación menos eficiente entre el volumen y la superficie de la membrana que el módulo de tubería, pero menos sensible a los coloides y de más fácil limpieza y reemplazo)
- Módulos en forma de láminas
- ...

**Microfiltración (MF)**

Principio fundamental: MF es la conexión entre la filtración (típico: flujo ortogonal a través del filtro, “filtración final”) y las membranas (flujo cruzado). MF puede usarse en ambas formas y requiere de un gradiente de presión entre 1 y 3 bar.

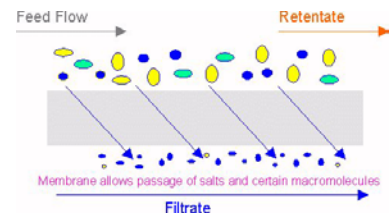
La microfiltración (MF) discrimina las partículas en base a su tamaño – el tamaño del poro es mayor que aquel usado en la UF (ultrafiltración) y permite el paso a partículas de mayor tamaño tales como microbios, bacterias, pigmentos y macromoléculas.



Feed flow = Flujo de alimentación; Retentate = [Material] retenido; Membrane prevents transfer of colloidal particles and biological organisms = Membrana evita la transferencia de partículas coloidales y de organismos biológicos; Filtrate = [Material] filtrado

**Ultrafiltración (UF)**

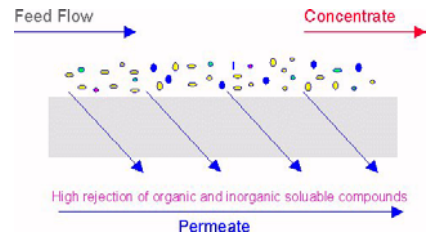
Principio fundamental: separar ingredientes de aguas residuales atendiendo a su diversa magnitud de partículas por medio de los microporos de las membranas. Tiene aplicación para el proceso de separación de grasas y aceites. Retiene las partículas menores de 0,001 micrómetros de diámetro, pero permite el paso de sal disuelta. Se requiere de una presión entre 2 y 10 bar para compensar las pérdidas de presión.



Feed flow = Flujo de alimentación; Retentate = [Material] retenido; Membrane allows pasaje of salts and certain macromolecules = Membrana permite el paso de sales y ciertas moléculas macroscópicas; Filtrate = [Material] filtrado

**Osmosis Inversa (OI)**

Principio fundamental: Este proceso de corte con membrana, permeable sólo para partículas de magnitudes específicas puede retener partículas de hasta 1 nanometro de diámetro. La OI es capaz de discriminar entre partículas sobre la base de su peso molecular y su carga iónica. Puede retener sales disueltas, pero existe una pérdida de rendimiento obligatoria de 1 a 10%. La potencia requerida para el movimiento de la partícula es el gradiente de presión de 80 bar o más



(fuente de los gráficos: [http://www.seprotech.com/membrane\\_technology.htm](http://www.seprotech.com/membrane_technology.htm))

Feed flow = Flujo de alimentación; Concentrate = [Material] concentrado; High rejection of organic and inorganic soluble compounds = Alto grado de rechazo de compuestos orgánico e inorgánicos solubles; Permeate = [Material] filtrado

Aplicación	MF	UF	OI	Sector Industrial
Tratamiento de aguas de proceso y circulación	X	X	X	Procesamiento de metales Industria eléctrica y electrónica Procesamiento de alimentos Industria farmacéutica Industria química Industria de pulpa y papel Industria de la cerámica Industria textil, lavanderías Suministrador de agua Hospitales Estaciones petroleras
Limpieza y concentración de sustancias		X		Procesamiento de metales Procesamiento de alimentos Industria farmacéutica
Tratamiento de emulsiones agua/aceite		X		Ingeniería ambiental Estaciones petroleras Construcción de maquinarias
Concentración de bases/ácidos			X	Industria química
Tratamiento de lavados		X		Procesamiento de metales

**b) Evaporadores**

Principio fundamental: concentrar los ingredientes de aguas residuales mediante evaporación. Los componentes no-volátiles se concentrarán. El calor necesario es aplicado casi siempre a vacío (0,2 bar). El proceso causa

alto consumo de potencia. Pudiera reducirse a través del uso repetido del calor.

**La construcción del evaporador depende de las características de los componentes no-volátiles:**

- Evaporador circular (circulación a través de tuberías calientes. Una alta velocidad de flujo puede evitar la incrustación en las tuberías)
- Evaporador de capa fina (el agua residual fluye por gravedad de arriba hacia abajo en forma de una fina película sobre una superficie caliente)
- Evaporador de inmersión (una tubería se sumerge 30-50 centímetros en el agua residual; se inyecta gas caliente al agua a través de las pequeñas hendiduras al final de la tubería. Hay una transferencia de calor directa pero la tensión para los materiales es bastante alta).
- ...

**Aplicación para:**

- Industria alimentaria (los residuos pueden usarse como alimento animal)
- Concentrar lavados galvánicos después de un módulo de ósmosis inversa
- Restauración de emulsiones
- ...

**c) Intercambio iónico**

Principio fundamental: proceso físico-químico donde se aprovecha la habilidad de sustancias especiales (principalmente resinas) para absorber iones específicos de un líquido y a cambio devolver la misma cantidad de iones. Se usa para concentrar elementos microscópicos (sólo para concentraciones menores de 2 g/l).

Debe haber un módulo de membrana antes del intercambio de iones para eliminar aceites, componentes de emulsiones e hidrocarburos halogenados. El intercambio de iones sólo puede usarse como parte de un tratamiento mayor de aguas residuales porque la mayoría de los concentrados requieren después de tratamiento especial.

**Aplicación para:**

- El agua residual de la galvanoplastia
- Suavizar/desmineralizar agua
- Regeneración de baños de proceso
- Reuso de aguas de limpieza/enjuague

### 8.4.2 Casos de estudio de algunos sectores industriales

Como mencionamos antes las nuevas combinaciones de membranas con el intercambio iónico, vaporizadores etc. se usa en diferentes fases para cerrar ciclos de agua.

#### a) Procesamiento de metales: Tratamientos de superficie

##### Eliminación del film de cera protector para el transporte de autos

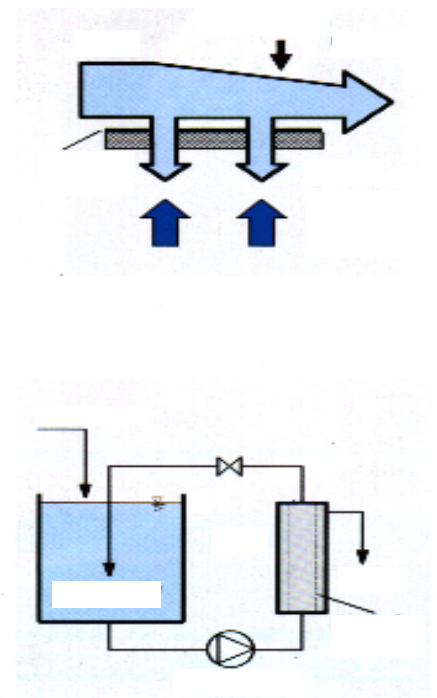
Todavía es común quitar la película de cera con vapor y detergente ya que los procesos emulsificantes hacen que estos componentes sean difíciles de separar. Los componentes de cera sólo pueden quitarse a través de una purificación preliminar y después se pueden tratar en la planta municipal. Esto causa mucho lodo y una alta volatilidad de agua (20%) y solventes (40%).

En los nuevos métodos, casi se inhiben las emulsiones a través de la separación anticipada de cera y los detergentes. Esto requiere de detergentes especiales sin hidrocarburos aromáticos. Los detergentes y el conglomerado agua/cera son separados por un separador de llovizna de aceite, debido a sus diferentes densidades. Los filtros especiales separan mecánicamente la cera del agua y causan una reducción del 90% del residuo peligroso. El tratamiento del agua con ozono nos puede llevar a un proceso de producción casi libre de residuales.

##### Pintura

El proceso de pintura tiene lugar en recintos cerrados donde el aire húmedo lava derrames incidentales de laca. La laca coagula y se separa del flujo de agua. La preparación del agua residual depende de la composición química de la laca. Algunas pueden concentrarse a través del suministro de corriente pero el proceso del ultrafiltration se ha hecho más importante. Para mejorar la calidad del agua se usa a menudo una planta multipropósito. Ej. la planta Daimler-Chrysler en Sindelfingen utiliza una combinación de ultrafiltración con ósmosis inversa para desalinizar agua.

El período de reembolso de la inversión en tecnologías con reciclo para la laca es de uno y tres años.



### **Ultrafiltración en un taller de reparación de autos**

Un taller de reparación de autos necesita limpiar regularmente partes aceitosas del motor. La limpieza se hace en una máquina de limpieza cerrada con una solución alcalina. Cada 2 a 3 semanas la solución de lavado (2000 litros) debe cambiarse y desecharse como el residuo aceitoso peligroso (vea Ejemplo del Volumen 1).

Una nueva unidad de ultrafiltración continua filtra la solución con una membrana de cerámica y quita el aceite. Con ella la solución de lavado puede usarse hasta siete veces más que antes. La reducción de agente de lavar, agua y costos para el tratamiento de residuos de riesgo es de aproximadamente 75% a 80%. La inversión es de aproximadamente € 11.000 que se recuperan en un período de aproximadamente dos años.

### **b) Procesamiento de alimentos**

Es típico que los residuales líquidos procedentes de la industria alimentaria contengan sustancias fácilmente biodegradables. El principal problema radica en los requerimientos de calidad de agua potable aún para las limpiezas.

#### **Procesamiento de carne**

Hoy día es bastante usual tener un pre-tratamiento físico-mecánico (Ej. el separador de la grasa) antes de que su agua residual se incorpore a una planta de tratamiento municipal. Esto puede mejorarse a través de una membrana biológica. Las sustancias no-biodegradables pueden ser eliminadas posteriormente usando una membrana normal.

Las membranas para la ósmosis inversa y las tecnologías de nanofiltración constituyen una barrera para las bacterias y virus. Para asegurar la esterilidad de los lavados debe hacerse un tratamiento con radiación ultravioleta u ozono.

#### **Cervecería: Proceso de esterilización en frío**

Para garantizar cierta durabilidad, la cerveza tiene que ser pasteurizada antes de llenar las botellas. Por consiguiente, la cerveza es calentada normalmente a 60°C lo que causa un cambio de sabor y un alto consumo de energía.

Esto puede evitarse a través de un proceso de microfiltración con 14 módulos, lo que se denomina una esterilización en frío. En una cervecería austríaca se ahorraron más de 5.200 MWh y 21.000 m<sup>3</sup> de agua. Una reducción anual de 42 t de DQO podría bajar significativamente el costo del tratamiento de las aguas residuales.

### 8.4.3 Referencias (seleccionadas, entre otras)

#### Compañías

*Neuhold Environmental Technology*

<http://www.neuhold-envirotec.at/>,

**Actividades:** Compañía austriaca lider en el tratamiento de agua, aguas residuales y residuos sólidos, Austria

*ONDEO Austria*

<http://www.ondeo-nalco.at/>,

**Actividades:** Se especializa en el tratamiento de agua y procesos químicos, servicios y programas, Austria

*Andritz AG*

<http://www.andritz.com/>,

**Actividades:** Tratamiento de aguas residuales, Austria

*Techform Engineering*

<http://www.techform.ch/>,

**Actividades:** Desarrollo y suministro de tecnologías de punta para el tratamiento y reciclo de residuos sólidos y líquidos, Suiza

*Ecoling and Partner AG*

<http://www.ecoling.ch/>,

**Actividades:** Ingeniería ambiental, tecnología energética, planificación y consultoría, Suiza

*ENVIRO-CHEMIE*

<http://www.enviro-chemie.com/>,

**Actividades:** Calificación en el área de la química del agua, tecnología de membranas y en el tratamiento de residuales líquidos radioactivos

*IONICS*

<http://www.ionics.com/>,

**Actividades:** Construcción y venta de membranas, equipos relacionados con la purificación, concentración, tratamiento y análisis de aguas y residuales

*GE Water Technologies*

<http://www.gewater.com/library/tp/index.jsp>,

**Actividades:** Ofrece productos y servicios relacionados al agua y a los procesos industriales de tratamiento



## 8.5 Compostaje

El compostaje es la descomposición aerobia de residuos orgánicos para producir  $\text{CO}_2$ , agua y un residuo estabilizado con menor actividad. La fracción orgánica es mayoritaria en la corriente de desechos. Los desechos caseros suman anualmente toneladas de materia orgánica y, en vista de la diversificación de metas para reducir los vertederos, el compostaje está atrayendo considerable interés como un medio de tratarlos. El proceso del compostaje se ve actualmente como un método de gestión de desechos para estabilizar residuos orgánicos como el estiércol, los recortes de patios, biosólidos municipales y las basuras urbanas orgánicas. El producto final estabilizado (el abono) se usa ampliamente como un remediador de la tierra para mejorar su estructura, proporcionar nutrientes a la planta y facilitar la re-forestación de tierras perturbadas o erosionadas.

En los últimos años investigaciones de laboratorio, invernaderos, y plantas piloto indican que el compostaje y el uso de abono estabilizado por este proceso brinda una solución barata y tecnológicamente directa para el manejo de residuos industriales de riesgo (sólidos, aire, o líquido) y para remediar tierras contaminadas con compuestos orgánicos tóxicos (solventes y pesticidas) y compuestos inorgánicos (metales pesados).

### 8.5.1. El proceso de compostaje (Scotland; <http://www.remade.org.uk>)

Hay dos tipos fundamentales de compostaje, aerobio y anaerobio. **El compostaje aerobio** es la descomposición de residuos orgánicos en presencia de oxígeno (aire); siendo productos de este proceso  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , agua y calor. Esto puede usarse para tratar cualquier tipo de residuos orgánicos pero el compostaje eficaz requiere la mezcla correcta de ingredientes y condiciones especiales. Ésto incluye una humedad de alrededor de 50% y proporciones carbono - nitrógeno (C/N) de 30/1. Cualquier variación significativa inhibe el proceso de degradación. Generalmente la madera y el papel proporcionan una fuente significativa de carbono, mientras que el lodo de PTR y los desechos de comida, proporcionan el nitrógeno. Para asegurar un suministro adecuado de oxígeno es esencial la ventilación forzada de los residuos durante el proceso. **El compostaje anaerobio** es la descomposición de residuos orgánicos en ausencia de  $\text{O}_2$ , siendo los productos el metano ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y cantidades traza de otros gases y ácidos orgánicos. El compostaje anaerobio se usó tradicionalmente para obtener abono del estiércol animal y del lodo de albañales, pero recientemente se ha puesto en uso para tratar desechos municipales sólidos (DMS) y otros desechos verdes (césped, hojas de árboles, etc.).

#### **Etapas del proceso de compostaje:**

Hay tres fases principales al compostar:

Fase 1 es la etapa de crecimiento mesófilo, que se caracteriza por el crecimiento bacteriano y temperaturas entre 25 °C y 40 °C.

Fase 2 es la etapa termófila, cuando las bacterias, hongos y actinomicetos (consumidores del primer nivel) presentes a temperaturas de 50-60 °C, rompen la celulosa, la lignina y otros materiales resistentes. El límite superior de la fase termófila puede ser tan alto como 70°C y es necesario mantener la temperatura a este nivel por lo menos un día para asegurar la destrucción de contaminantes y patógenos.

Fase 3 es la etapa de maduración, donde se estabiliza la temperatura y ocurre alguna fermentación, convirtiendo el material en humus a través de reacciones de nitrificado. Finalmente el objetivo es producir un material que sea estable y esto puede juzgarse por la relación (C/N); donde un material bien compostado tiene una baja proporción C/N. Por ejemplo la materia orgánica nueva, no tratada, tiene una proporción de C/N de 30, mientras que el material tratado tiene una proporción de 15.

Compostaje	
Ventajas:	Desventajas:
Los desechos se estabilizan de forma tal que limitan el potencial de contaminación por derrames	La calidad del producto es incierta
Los patógenos se destruyen y el material puede usarse en los suelos	Malos olores pueden producirse durante el proceso
Fuente de nutrientes	Baja percepción del mercado
Reducción significativa del volumen de los desechos	Puede necesitar de áreas extensas
Puede usarse como un biofiltro	

### 8.5.2. Tipos de residuos orgánicos usados para el compostaje:

**Residuos verdes** – residuos colectados por las autoridades con poca contaminación, cuando se procesan producen un composte de muy buena calidad, que puede ser suministrado a un diverso número de mercados, incluyendo la agricultura, horticultura, el relleno sanitario y la remediación de tierras

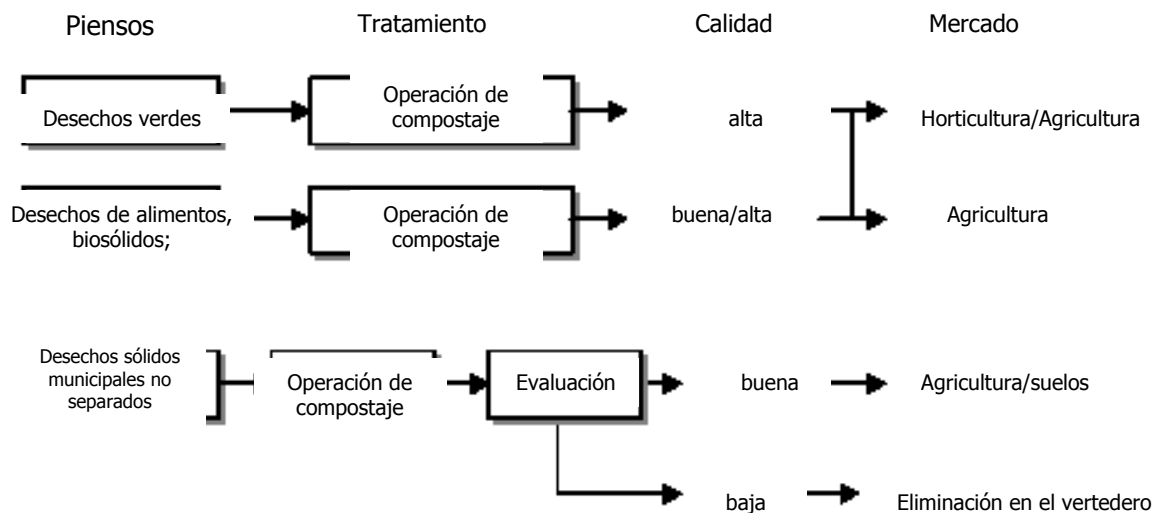
**Residuos de alimentos y sólidos biológicos** – Los residuos de la industria procesadora de alimentos y los lodos de plantas de tratamiento de albañales pueden producir un buen compost, cuando se mezclan con una buena fuente de carbono como la madera. Sin embargo, la fracción no putrescible de este residuo, no está sujeta a los objetivos de diversificación de los basureros, sólo es atractiva para compostaje cuando los costos alternativos de eliminación sean mayores.

**Residuos municipales sólidos** – Los residuos de basura no segregados, provenientes de las casas pueden ser compostados. Pueden hacerse tiras con los desechos o mezclarlos con el lodo de PTR junto al cribado del producto final.

**El compostaje es un método de tratamiento atractivo por las siguientes razones:**

Es una tecnología simple, de bajo costo, aunque pueden desarrollarse métodos para mejorar el proceso del compostaje. Como proceso conocido, es improbable que exista oposición pública significativa durante el proceso de planificación; casi 1/3 del tonelaje desechado es “perdido” como CO<sub>2</sub> y agua a través del proceso del compostaje. El material de abono resultante puede ser usado con buenos beneficios para la tierra.

Hay varios tipos muy diferentes de residuos orgánicos que proceden de los jardines, casas, establecimientos comerciales, tiendas de comestibles, granjas y plantas de tratamiento de aguas de albañales. Cada corriente orgánica puede procesarse de forma diferente y, en puntos apropiados del proceso, varios de ellos pueden ser combinados para producir una variedad de abonos con atributos muy diferentes.



**8.5.3 Tipos de compost**

**a) Compost casero**

Cualquier forma de compost casero, llevado a cabo por el dueño de casa resulta extremadamente beneficiosa para las autoridades locales. Esto evita, en primer lugar, la entrada de desechos en los caudales de residuos, eliminándolos sin costo alguno y a expensas del propietario. Algunos trabajos de inspección emprendidos por la Strathspey Waste Action Network (SWAN) mostró que ese compost casero pueden desviar hasta el 15% de los residuos y, a través del compostaje activo de residuos de comida combinado con los residuos verdes, se podría alcanzar un 30% de desvío. Sin embargo, mientras el compostaje casero puede parecer una opción atractiva, existen algunas dificultades.

Costo de los recipientes - Típicamente cuestan entre € 30 y € 50 cada uno, las cajas representan una inversión significativa y cualquier programa de compostaje casero ha exigido que las autoridades locales ofrezcan las cajas de forma subvencionada. Aunque este es un costo de una sólo ocasión y no un cargo anual.

Participación pública – Resulta incierto cómo continua la participación pública en un período de tiempo largo. El compostaje casero funciona bien donde el cabeza de familia utiliza activamente el material compostado en su jardín. El uso de los medios siempre será alto cuando la caja se está llenando.

Adecuado para toda vivienda – El compost casero resulta adecuado para jardines caseros, pudiendo combinar residuos verdes y restos de comidas. Sin embargo, no todos los residuos son adecuados.

No obstante, los compostajes caseros son un método importante para reducir los residuos que se entregan a las autoridades en algunas áreas.

**b) Compostaje aerobio centralizado**

Las autoridades locales necesitan examinar el funcionamiento del compostaje ya que permite desviar varios miles de toneladas de desechos cada año. Los diferentes tipos de procesos de compostaje varían significativamente entre sí. Hay dos sistemas fundamentales:

Abierto, como en los sistemas de hileras, donde el proceso de compostaje tiene lugar en el centro de la pila, donde se pueden mantener las temperaturas;

En recipientes, donde una “aceleración” de la fase termófila acorta el período de compostaje.

Procesos abiertos	
Pila agitada (al aire libre)	Pila estática

Proceso en reactor		
Flujo vertical	Flujo horizontal o inclinado	Sin flujo (por lote)

**c) Compostaje anaerobio**

Una alternativa al compostaje aerobio es un sistema combinado anaerobio/aerobio desarrollado por **Steinmüller Valorga** en Francia y Alemania. El sistema se diseñó específicamente para compostar DMS y lodo de albañales. La primera fase anaerobia trata residuos con un contenido de sólidos de 25-35% al que se añade una pequeña cantidad de agua. Primero se segrega el residuo para eliminar los componentes no compostables, se alimenta el reactor y se produce la conversión o hidrólisis

de los desechos. Se produce también biogás, lo que tiene lugar en el mismo reactor, permitiendo que proceda imperturbable la actividad biológica. Como el sistema está cerrado completamente, el gas es recolectado y conducido directamente al generador eléctrico. El biogás producido durante el proceso se bombea en el digestor a alta presión, proporcionando un buen mezclado sin el uso de partes mecánicas costosas. La digestión toma entre 2 y 4 semanas y se controla para asegurar el saneamiento completo. Una vez que este proceso está completo, el material se drena libremente por la base del digestor. Al no existir parte mecánica alguna, los digestores pueden usarse continuamente sin limpiar. Después de la digestión, el material se transporta a la prensa del tornillo y se filtra, el material seco se extrae y se compostea aerobicamente durante 2 semanas. El fango se envía entonces al tanque de desnitrificación y a un tanque de nitrificación aireado para su maduración aerobia, cualquier producto restante es sedimentado y secado, el agua residual se trata o se recicla. Todos los gases se tratan en una unidad del tratamiento de aire.

#### **8.5.4 Factores de influencia en el proceso de compostaje**

##### **a) Proporción de nutrientes**

Para el trabajo bacteriano la demanda de nutrientes principales y traza tiene que estar en equilibrio. Sobre todo los nutrientes principales C, P y N. Debido al hecho que un déficit de P es muy improbable, no es necesario prestar demasiada atención a él. La proporción C-N influye en la velocidad de la descomposición y por lo tanto en el grado cuantitativo y cualitativo del compostaje. Se considera que una proporción de 30-35 a 1 es óptima.

Si la proporción es demasiado pequeña (existe un sobrante relativo de N) puede generarse  $\text{NH}_3$  y así el valor del pH puede cambiar. Agregar fuentes de C (aserrín, paja...) puede ayudar a equilibrar nuevamente el sistema. Si la proporción es demasiado grande, un déficit de N puede causar una descomposición más lenta e incompleta. En este caso agregar materiales con bajas proporciones C-N (lodo de albañales: 10:1) puede mejorar la situación.

##### **b) Contenido de humedad**

Éste también es un parámetro muy importante porque las bacterias sólo pueden absorber el sustrato de las soluciones líquidas. El óptimo se considera que es aproximadamente 40-55%. Si la humedad está debajo de 30%, los nutrientes no pueden absorberse más y se detiene el proceso de putrefacción. Si tiene 70% el suministro de oxígeno se inhibe y pueden resultar condiciones anaerobias. Agregando lodo de albañales puede mejorar de nuevo, aunque la proporción C-N tiene que ser considerada.

##### **c) Suministro de oxígeno**

Debido al hecho de que el proceso del compostaje debe ocurrir de forma anaerobia, el suministro de  $\text{O}_2$  es también un parámetro importante. En la fase del pre-pudrición, la demanda del oxígeno es muy alta y por

consiguiente las medidas tienen que ser emprendidas para garantizar el suministro suficiente. Esto puede hacerse transformando la pila. Si la porción de césped en las plantas públicas es más alto que el usual por razones estacionales, el suministro de oxígeno puede ser más difícil. En este caso pueden añadirse productos químicos (ej. Peróxido de calcio) para instalar un nuevo depósito de oxígeno.

**d) Temperatura**

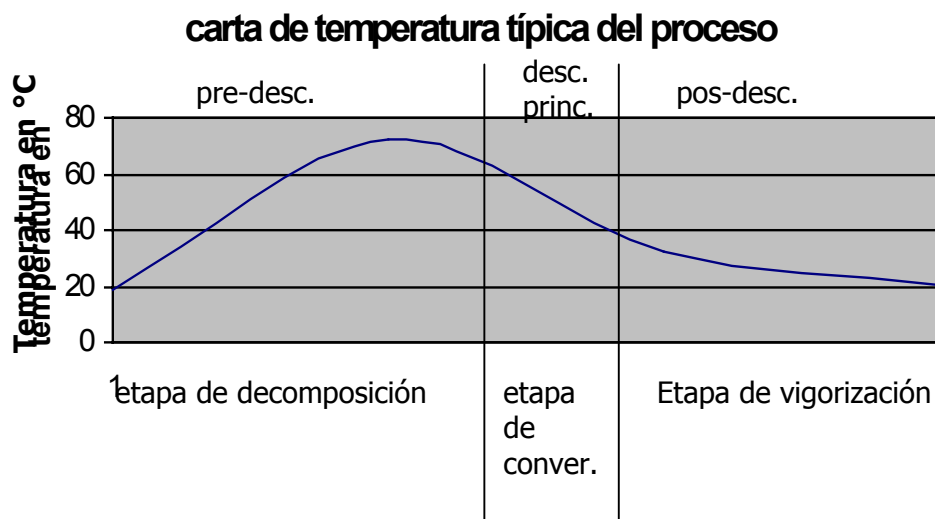
El proceso de compostaje aerobio es exotérmico, por lo que la generación de calor en la etapa de pre-putrefacción eleva la temperatura en las pilas. Las temperaturas llegan aproximadamente a 70-80°C. Si esta temperatura se mantiene durante un par de días el abono se higieniza.

La temperatura del aire exhausto varía significativamente en la primera fase y cae al final del proceso de pudrición u oxidación intensiva. Para medir la intensidad del proceso, es bueno usar el rendimiento de calor específico (W/m<sup>2</sup>) debido al hecho de que la temperatura del aire exhausto depende fuertemente de la temperatura y la distribución de humedad de la pila de compostaje.

La descomposición más rápida de compostaje se logra a las temperaturas de 40-45°C.

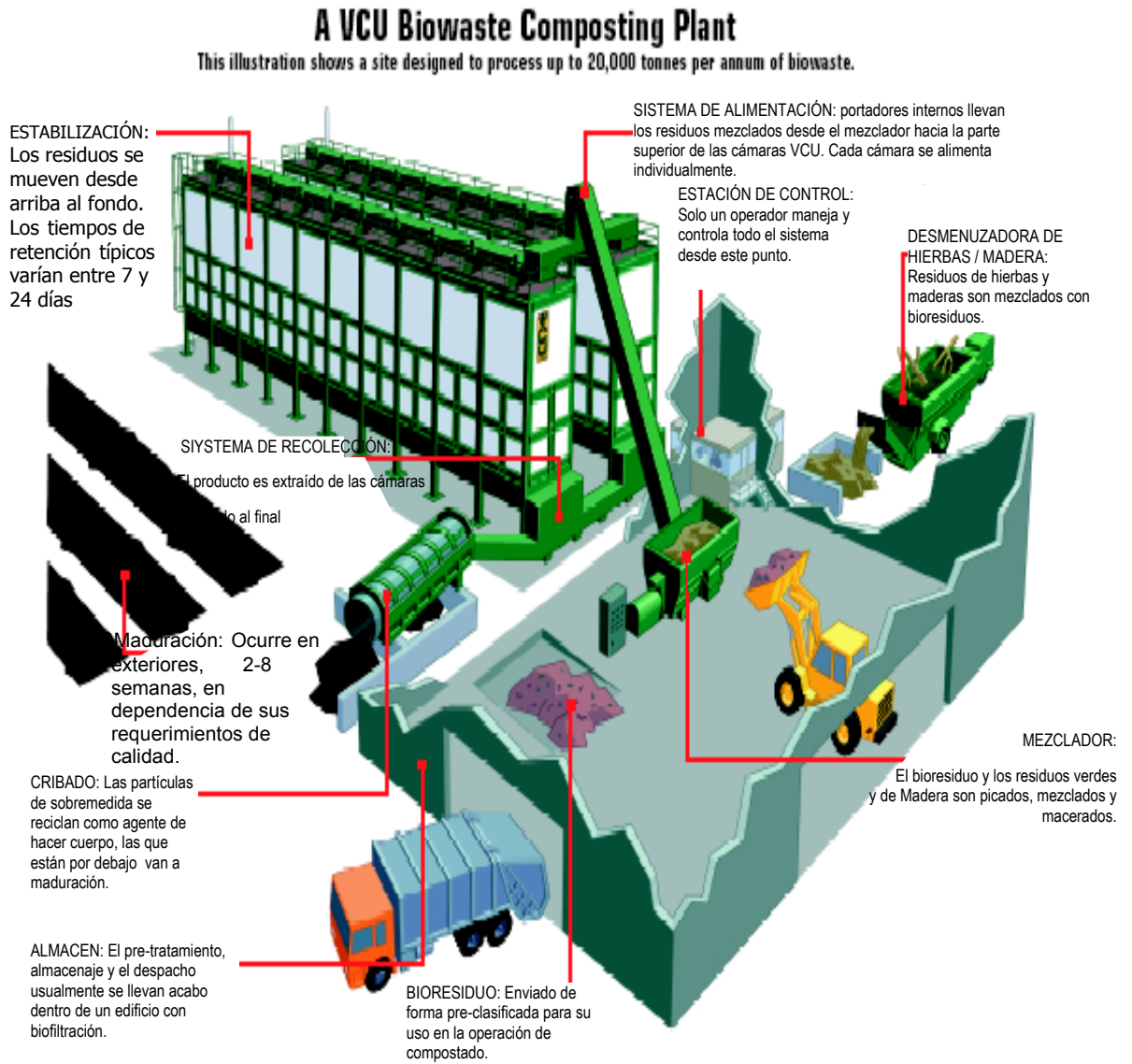
**e) Valor del pH**

El pH está normalmente en el área neutra, aunque puede cambiar influenciado por los productos del proceso de descomposición (ácidos orgánicos). (Las bacterias, aunque no son sensibles en estas condiciones no puede considerarse el pH como un factor limitante).



La figura muestra una planta de compostaje de residuos biológicos:

<http://www.vcutechonology.com>



UCV: Unidad de Compostaje Vertical

### **8.5.5 Referencias (seleccionadas, entre otras):**

#### **Internet:**

[www.p2pays.org/ref/02/01624\\_files/01624.ppt](http://www.p2pays.org/ref/02/01624_files/01624.ppt)

[http://www.remade.org.uk/Organics/organics\\_documents/20001001\\_HBruce\\_CompTechSystems.pdf](http://www.remade.org.uk/Organics/organics_documents/20001001_HBruce_CompTechSystems.pdf)

<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/compost/>

[www.kompost.ch](http://www.kompost.ch)

#### **Literatura:**

Basiswissen Umwelttechnik; Luft, Wasser, Abfall, Lärm, Umweltrecht; DI Matthias Bank; Vogel Verlag;

#### **Compañías y Organizaciones**

<http://www.neuhold-envirotec.at/index.htm> Neuhold Environmental

<http://www.komptech.com> Komptech Farwick – tecnología de triturado, cribado and limpieza, tecnología y procesamiento del composte, Austria



### 8.6 Uso energético de residuos

Para saber qué proceso de conversión aplicar, es muy importante conocer las características del residuo.

**Primero, los residuos pueden diversificarse en dos tipos:**

- Residuos industriales
- Residuos caseros y de pequeños comercios

**Clasificación del residuo:** es muy importante también saber exactamente las características físicas como el estado de agregación y la composición del residuo.

**Residuos sólidos:** desechos caseros, residuos de pequeñas industrias, residuos de la combustión, residuos de reacciones químicas o biomasa

**Residuos líquidos/solventes:** aguas residuales (municipales e industriales) combinadas con sólidos y solventes (ej. lodos metálicos de la producción de metales)

**Emisiones gaseosas:** aire de escape, humos que también pueden combinarse con sólidos o materiales solventes.

Las compañías conocen bien sus procesos de producción por lo que es posible clasificar los desechos industriales según su composición química y física. Esto también es muy importante para aplicar un proceso de conversión apropiado.

Sabemos que no puede haber un proceso con cero emisiones, por lo que tiene que ser una preocupación lograr eliminar el desecho dentro del mismo u otro proceso (producción más limpia).

Las metas de las industrias químicas en lo que se refiere a la producción más limpia y el reciclaje se definen como sigue:

**Las funciones importantes de Producción más Limpia son:**

- evitar y minimizar desechos en un proceso
- reciclar los residuos en una red de producción
- la eliminación de los residuos no reciclables
- ...

**Esto se logra por medio de:**

- la mejora de los procesos químicos
- el uso de mejores catalizadores
- la optimización de plantas y tecnologías de control
- reciclaje de materiales auxiliares
- ...

**La utilización de residuos va a ser lograda a través de:**

- reciclaje dentro del proceso
- reciclaje de los residuos dentro de la red de producción
- generación de energía a partir de los residuos

El último punto es el asunto principal enfocado en este capítulo.

Si resulta imposible el reciclaje o re-uso de residuos, entonces nos queda la opción de su **uso energético**, a fin de evitar su eliminación.

**8.6.1. Eliminación térmica de residuos sólidos:**

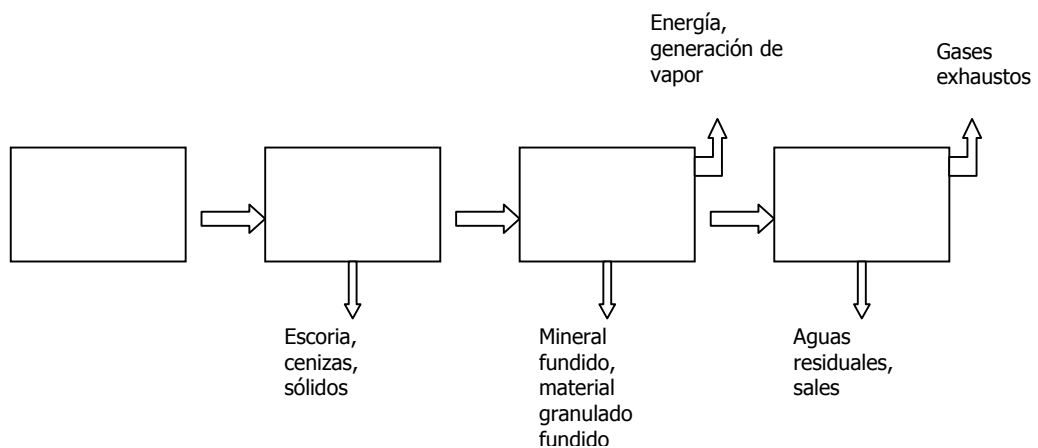
Pasos:

pre-tratamiento de residuos (corte, selección, homogenización y preparación para un proceso térmico óptimo)

proceso térmico principal (tratamiento por pirólisis, combustión y gasificación, con el fin de obtener materiales sólidos, solventes y gases, los cuales pueden ser reciclados o reusados energéticamente para producir vapor. Este vapor puede ser usado en un proceso o generar energía eléctrica)

pos-tratamiento de residuos (limpiezas posteriores de materiales, Ej. aglutinamiento de cenizas, vidriado de cenizas y escorias, eliminación de sales solubles y metales pesados)

lavado de gases (eliminación de sustancias dañinas remanentes tales como el óxido de nitrógeno, fluoruro de hidrógeno, ácido clorhídrico o dióxido de azufre)



*Tratamiento térmico de residuos*

**8.6.2. Procesos de utilización:**

En años recientes se han desarrollado varios procesos alternativos junto a la clásica combustión de desechos. La meta de este desarrollo es eliminar los residuos con métodos que permiten que una parte mayor del material sea recuperada o utilizada más adelante en el proceso de producción. Esto

sucede si los procesos químicos y físicos complejos son separados en pasos simples. Los procesos simples, separados así, son entonces más fáciles de regular y pueden ajustarse mejor a cada material requerido.

	<b>Pirólisis</b>	<b>Hidrogenación</b>	<b>Gasificación</b>	<b>Combustión</b>
Suministro de O <sub>2</sub>	$\lambda=0$	$\lambda=0, H_2$	$\lambda<0$	$\lambda>=0$
Temperatura ° C	400-900	300-500	1300-1500	850-1200
Presión de aire bar	No	<400	<150	1
Tiempo de vida	Segundos	Minutos - horas	Minutos - horas	Horas - días
Productos iniciales	Gas: metano, etano, etileno y eventualmente CO, C <sub>2</sub> Aceite: aromáticos Coque	Gas: metano, hidrocarburos -C <sub>2</sub> -C <sub>4</sub> Aceite: hidrocarburos alifáticos Restos sólidos	Gas: CO, H <sub>2</sub> Restos sólidos	Humos de escape, CO <sub>2</sub> cenizas

Parámetros más importantes de los procesos de tratamiento térmico

**La pirólisis** se define formalmente como la descomposición química, de los materiales orgánicos, inducida por el calor, en ausencia de oxígeno. En la práctica, no es posible lograr una atmósfera completamente libre de oxígeno; los sistemas reales de pirólisis se operan con menos de las cantidades estequiométricas de oxígeno, debido a que algo de oxígeno estará siempre presente en cualquier sistema del pirólisis, ocurrirá oxidación nominal. Si materiales volátiles o semivolátiles están presentes en los desechos, la desorción térmica también ocurrirá.

La pirólisis transforma los materiales orgánicos peligrosos en componentes gaseosos, cantidades pequeñas de líquido, y un residuo sólido (coque) conteniendo carbono fijo y cenizas. La pirólisis de materiales orgánicos produce gases combustibles, incluyendo monóxido de carbono, hidrógeno, metano y otros hidrocarburos. Si los gases de salida se enfrían, los líquidos condensan produciendo un residuo aceite/alquitrán y agua contaminada. La pirólisis ocurre típicamente bajo presión y opera a temperaturas sobre 430°C (800 °F). Los gases de la pirólisis requieren tratamiento posterior como tratarse en una cámara de la combustión secundaria, quemarse y condensarse parcialmente. Se requiere también de equipos de eliminación de partículas, tales como filtros de tela o lavadores de gases con agua.

**Hidrogenación (degradación reductiva):** Se realiza la conversión de residuos al combinarlos con hidrógeno a temperaturas de 450-480° C y una presión máxima de 400 bar. El material descompuesto reacciona con el hidrógeno y se convierte en hidrocarburos alifáticos. La proporción de productos gaseosos y líquidos va desde 1:3 a 1:10. El producto de la hidrogenación tiene una composición semejante al petróleo crudo.

**Las tecnologías de gasificación** difieren en muchos aspectos pero comparten ciertas características generales de la producción. Las materias primas típicas usadas para la gasificación son carbones, materiales derivados del petróleo (aceite crudo, petróleo con alto contenido de azufre, coque de petróleo, y otros residuos de la refinería), gases, u otros

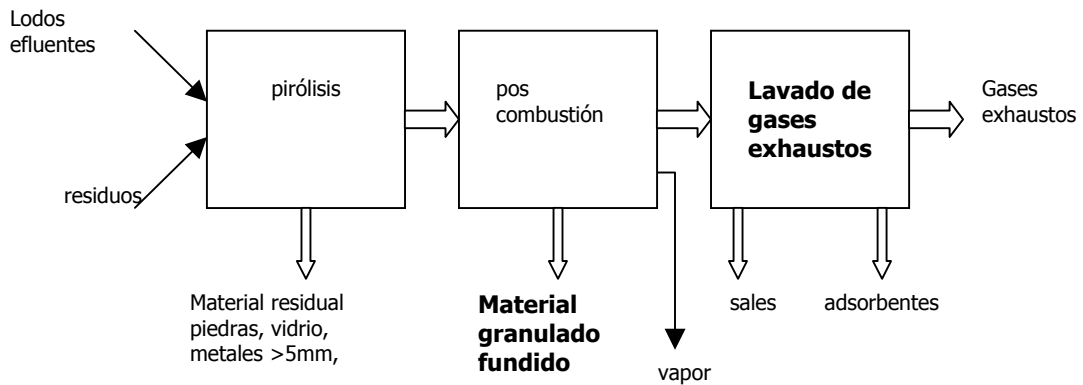
materiales que, de otra forma, se eliminarían como desechos. La carga es preparada y alimentada al gasificador en forma seca o como un lodo. La carga reacciona en el gasificador con el vapor y oxígeno a alta temperatura y presión en una atmósfera reductora (escaso oxígeno). Esto produce el gas de la síntesis, o syngas, formado principalmente de monóxido de carbono e hidrógeno (más de 85% por el volumen) y cantidades más pequeñas de dióxido de carbono y metano.

Las altas temperaturas en el gasificador convierten los materiales inorgánicos de la carga (cenizas y metales), en un material vitrificado que parece arena gruesa. Con algunos materiales, se concentran valiosos metales y se recuperan para reutilizarlos. El material vitrificado, generalmente llamado escoria, es inerte y tiene una variedad de usos en las industrias de la construcción y edificaciones.

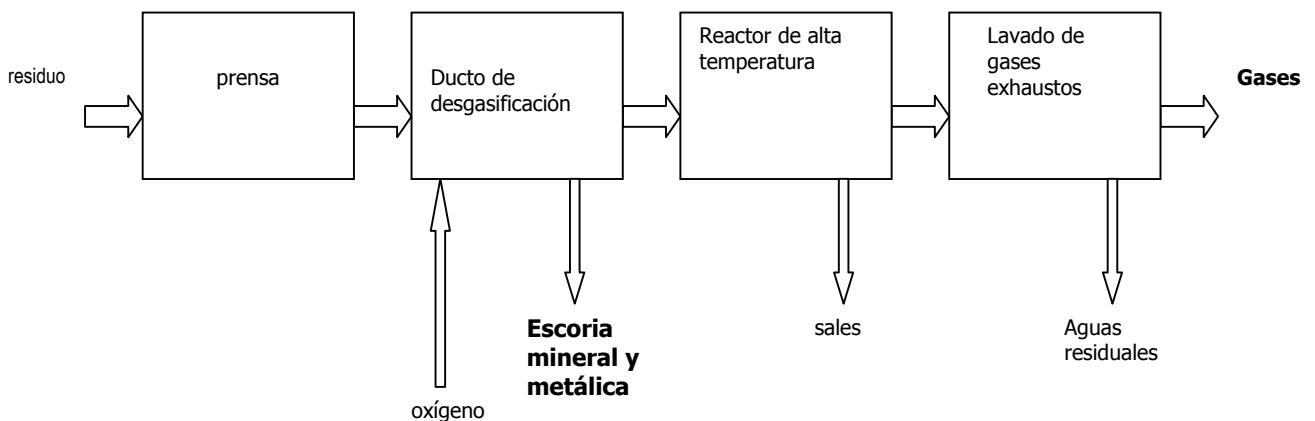
Los procesos desarrollados recientemente a menudo usan una combinación de los cuatro procesos mencionados antes. Básicamente hay dos que ya se han probado y se usan con éxito:

Proceso Schwel-Brenn (pirólisis y combustión)

Proceso de termoselección (pirólisis y gasificación)



Proceso Schwel-Brenn



Proceso de termoselección

### 8.6.3. Utilización térmica del lodo:

Además de la combustión usual de desechos peligrosos que se perfecciona a través del secado de lodos y el recobrado interno de energía, analizaremos brevemente la combinación de procesos, en particular la pirólisis con su gasificación final.

Por ejemplo, para la pirólisis de la biomasa puede usarse un proceso de lecho fluidizado calentado de forma indirecta.

Ventajas:

- corto tiempo del proceso
- buena transferencia del calor
- posibilidad de apagar rápidamente en caso de fallo

Además de la proporción constante de coque y agua, se produce aceite y gas. La proporción de aceite y gas varía con la variación de la temperatura. (620°C-750°C -- 2:1 a 1:2).

Una desventaja de este proceso es que aproximadamente el 50% de los componentes orgánicos del lodo permanece como carbono. Debido al precio actual de petróleo crudo, el proceso de la pirólisis no es competitivo y tiene que ser visto principalmente como un proceso de eliminación.

La alta proporción de carbono en los residuos puede convertirse energéticamente y ser evitado así en la combinación con la gasificación.

### 8.6.4. Tratamiento biológico de residuos:

Para el tratamiento de desechos orgánicos de carga débil, se usa a menudo la fermentación. Existen diferentes pasos para describir el tratamiento biológico como un todo.

- preparación en seco
- preparación húmeda
- fermentación anaerobia
- producción de energía
- deshidratación de residuos
- compostaje aerobio de residuos

El biogás será entonces quemado para generar electricidad.

### 8.6.5 Transformación de calor para la conversión de energía de desechos y suministro de energía en las áreas rurales

- uso local del aire, el agua y la luz solar

- residuos, lodo de albañales, gas de albañales, residuos agrícolas, madera, plantas,
- el calor perdido en la cría de animales, el secado del alimento animal, almacenamiento de verduras y frutas, procesamiento de la carne, panadería, gastronomía, centros comerciales y hospitales,

Un uso eficaz sólo es posible si se usa la co-generación (calor-potencia), lo que puede lograrse con varias estrategias de conversión:

**combustión**

- productor de vapor y turbina de vapor
- limpieza de gas combustible y turbina de gas
- uso de combustibles gaseosos con motores de combustión interna

**gasificación**

- turbina de gas o motor de combustión
- celdas de conversión y combustible
- combustión y turbina de gas o vapor

**liquefacción parcial (combustión – gasificación del resto)**

- turbina de gas o motor de combustión

**gasificación parcial (combustión del resto o reciclado de material)**

- biogás y motor o turbina de gas

**8.6.6 Ejemplos****a) Energía de la madera (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN)**  
**[www.fao.org](http://www.fao.org)):**

A diferencia de la mayoría de las industrias, las industrias forestales son afortunadas al poder usar sus desechos para ayudar a satisfacer sus necesidades de energía. En el procesamiento mecánico de la madera, la mayor parte de los requerimientos de energía térmica pueden obtenerse de los residuos disponibles. Los aserraderos tienen el potencial para producir un sobrante de calor y electricidad y por consiguiente podrían apoyar otros procesos de conversión deficientes de energía, en un complejo integrado que produzca, por ejemplo, madera, contrachapado y tableros, o abastecer de energía para las necesidades de la comunidad circundante en áreas rurales.

A través de los años muchos aserraderos han considerado los residuos de madera como un derivado molesto del funcionamiento de las sierras, por lo que se han eliminado como relleno sanitario o se han incinerado en quemadores Wigwam o similares. Sin embargo, ambos procedimientos se han vuelto recientemente problemas de litigio ambiental y, combinado con los costos crecientes de energía, han obligado a los dueños a considerar en serio los méritos de usar los residuos como una fuente alternativa de combustible. Esto también ha coincidido con el aumento en la demanda de residuos como materiales para la fabricación de pulpa y papel y los tableros, debido al costo creciente y la fuerte competencia por la madera sólida.

Hoy día, al construirse más plantas procesadoras de madera en países industrializados, se incorpora el uso de quemadores para desechos de madera, con el fin de salvaguardarse del costoso suministro de combustible fósil. En casos donde la cantidad de residuos producida es insuficiente para cubrir las necesidades térmicas de la planta, se puede comprar combustible de desecho de madera y/o petróleo para lograr el equilibrio. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, se hace poco uso de la energía potencial de los residuos de los aserraderos, debido en parte a la utilización mínima de hornos de secado y a los altos costos de inversión para la instalación de la planta generadora de calor.

#### ***Producción de pellets, briquetas y astillas de madera:***

Logrando un tamaño de partícula uniforme, se mejora la eficiencia de la combustión debido al control uniforme de la proporción del combustible alimentado y la habilidad de regular el suministro de aire. Adicionalmente, en el caso de combustibles con un alto contenido de humedad, el proceso de reducción expone un área mayor de la superficie de la partícula a los gases calientes, soltando así más rápidamente la humedad y reforzando su valor calórico.

#### **Secado del combustible**

Como previamente se dijo, la eficiencia de la combustión, el control de la caldera y la habilidad del operador de proporcionar una respuesta rápida a los cambios en la demanda de vapor, se ven seriamente afectados por la combinación de contenidos de humedad alta y fluctuante en el combustible de entrada. Esto se mejora secando el combustible, aumentando la capacidad de la caldera y permitiendo un mejor control de las emisiones.

La humedad en los residuos puede ser reducida por prensado, secado al aire o usando secadores de aire caliente, o combinando los tres procesos.

Es una práctica común usar prensas mecánicas en cortezas y serrín, con niveles de humedad de más de 70%, para reducirlos a 55 ó 60%, lo que permite entonces mezclarlos con materiales más secos y producir un combustible adecuado. Sin embargo, en caso de disponer de suficiente suministro de desechos para garantizar la energía de la planta, y que la eliminación de cortezas no sea un problema serio al aserradero, entonces no se considera económicamente justificado el prensado ni el secado, en vista del mantenimiento, la demanda de potencia y el costo capital involucrado.

El secado al aire de trozos de leños, asumiendo que prevalecen las condiciones climáticas correctas, puede provocar una pérdida de humedad de 10 a 15%, y el nivel incluso puede caer más bajo del 25% siempre que los residuos se dejen en espacios claros y expuestos a la acción del sol y el aire. El secado al aire, siempre que lo permita el espacio y el tiempo, es preferible en áreas cubiertas bien ventiladas, en especial para los residuos pequeños como el aserrín, que absorben el agua de lluvia con mayor facilidad y tardan más en secarse al aire que otras mezclas de residuos de madera.

Los trozos de madera verde y residuos mixtos pueden perder 10 - 25% de su humedad cuando se almacenan en promontorios durante varios meses, debido al efecto secante de viento, el sol y del aumento espontáneo de la temperatura por la acción bacteriológica en el interior del promontorio.

El uso de secadores para secar el combustible a aproximadamente 30%, usando equipos como el tambor rotatorio, secadores flash o de cascada que emplean los gases generados en la pila, la combustión directa de residuos, el vapor o el agua caliente como fuentes calóricas, lleva indudablemente a una mejor eficiencia de la combustión y utilización de la caldera. No obstante, el uso de secadores de combustible en las instalaciones medianas es discutible ya que la energía generada pudiera ser similar a la necesaria para secar el combustible, a lo que deben agregarse los costos de capital y de operación incluidos.

### **Densificación**

Una elevada y creciente conciencia se ha desarrollado en años recientes sobre el uso de desechos de madera prensados, en forma de briquetas, pellets o 'leños', como combustible doméstico o industrial.

Generalmente se hacen briquetas o leños forzando a pasar aserrín seco o virutas a través de un troquel mediante una prensa hidráulica.

La producción de pellets involucra la reducción de los residuos de madera al tamaño del aserrín, que se seca entonces a aproximadamente 12% antes de extruirlo en una peletizadora agrícola especialmente adaptada para formar pellets de unos 6 a 18 mm de diámetro y 15 a 30 mm de largo, con una densidad que oscila entre 950 a 1300 kg/m<sup>3</sup>. El secado de este suministro antes de la extrusión normalmente se realiza en secadores de tambor, quemando aproximadamente 15 a 20% de la producción de pellets de la planta.

### **b) Cervecería:**

La cervecería que vamos a analizar produce 550.000 hl de cerveza/año y requiere de sistemas sofisticados de calentamiento y enfriamiento.

El suministro de calor actualmente se realiza a través de un generador de vapor calentado por queroseno. El vapor generado se usa principalmente para calentar la mezcla de granos y el mosto, cocinar el mosto, en el lavado de botellas y preparar el agua caliente. El enfriamiento del mosto después de la cocción, la descarga del calor de fermentación y el enfriamiento del producto final se realiza con agua helada proporcionada



por la planta de enfriamiento. El calor que resulta al cocinar el mosto no se reusa. Se han observado e investigado alternativas diferentes, analizando y comparándolas económica y ecológicamente, tales como:

- preparación de agua caliente usando los vapores de escape
- compresión del vapor para calentar el tachó
- uso del vapor como fuente de calor para un enfriamiento por absorción
- mejora del calor del vapor usando un transformador de absorción de calor

Observaciones realizadas indican que la cocción discontinua del mosto, comparada con la continua requiere del suministro de calor y frío para el proceso de lavado de botellas. La cervecería opera 5.500 h/a, mientras que el proceso de cocción sólo promedia 1.550 h/a. Para una mejor comprensión de la ocurrencia discontinua del vapor exhausto de 0,899 kg/s, esto puede traducirse en un flujo de masa casi estacionario de 0,25 kg/s, lo que significa un calor de condensación de 2000 o 564 kW respectivamente.

Refiriéndose a 1)

Debido al uso del vapor exhausto es posible proporcionar un flujo de vapor de agua caliente de 6,8 kg/s (discontinuo) y 1,91 kg/s (casi estacionario) a una temperatura de 85°C.

Acumulador de agua caliente requerido:  $\sim 50 \text{ m}^3$

Superficie de intercambio estimada:  $55 \text{ m}^2$

Costos de inversión de acuerdo con el fabricante:  $\sim 150 \text{ Euros/m}^2$ , total  $\sim 8.250 \text{ Euros}$

Ahorros por año: 147.500 Euros

Período de retorno: 0,06 años, asumiendo costos de operación del 7% del costo total de la inversión

El uso regenerativo del vapor exhausto es técnicamente más fácil de llevar a cabo y también es la alternativa económica más eficaz.

Refiriéndose a 2)

En el proceso de cocción el vapor generado se comprime en un compresor eléctrico. Este vapor comprimido puede usarse de nuevo en el proceso de cocción.

Compresión requerida: según la red de vapor interior, en este caso 4 bars

Vapor ahorrado: 1,02 kg/s

Grado de eficiencia del compresor: 0,7

Potencia: 387 kW

Costos de la inversión según el fabricante: ~10.000 Euros/(m<sup>3</sup>/s) en total ~89.500 Euros

Ahorros por año: 160.500 Euros

Costo adicional por año (electricidad, mantenimiento...): 57.000 euros

Período de recuperación: 0,44 años

Podemos ver que esta alternativa, debido a sus bajos costos de inversión, es económicamente eficiente, aunque estamos consumiendo energía eléctrica de alta calidad.

### **c) Compañía procesadora de carne combinada con una granja (300 há de tierra cultivable)**

Esta compañía deseaba ser autosuficiente en lo que se refiere a la energía eléctrica (motores  $P=60$  kW, maquinarias, iluminación) el calor y la refrigeración (congeladores, cuarto de cura de carne). Se comprobó que era posible usar energéticamente restos de madera (productos de la reforestación etc.) en un bloque generador de potencia (BGP) con un motor de gas. El sobrante de energía podía alimentarse a la red pública.

Consumo de energía sin BGP:

Consumo global en 1996: ~140.000 kWh (se usan 132.000 kWh para la maquinaria..., el consumo anual de calor de ~11.000 kWh es suministrado por una caldera que opera con gas licuado.

Costo global de energía: ~22.000 Euros para electricidad y ~1.500 Euros para el gas licuado

Con planta de gasificación BGP:

La potencia eléctrica del generador se determinó según la carga máxima de la compañía  $P_{el}=60$ . Esto requiere un flujo de madera de 42 a 75 kg/h, dependiendo de la humedad y del método de gasificación empleado. Para establecer un balance de energía asumimos un valor calórico para la madera secada al aire de 15 a 17,1 MJ/kg.

Costos globales de combustible: 21 Euros/m<sup>3</sup> para el contrachapado y 30 Euros/m<sup>3</sup> para las virutas, 40 y 60 Euros/t respectivamente.

Costo del combustible por kWh (dependiendo del flujo de madera requerido, 42-75 kg/h y el tipo de madera): 2 a 10 Cent/kWh

Costos de inversión para la planta de gasificación: desde ~ 700 Euros/kW hasta ~1350 Euros/kW

Costo global de inversión para la planta de gasificación: desde ~42.000 Euros hasta ~80.000 Euros

Costo de eliminación de la ceniza: ~6 Euros/t

Costo de inversión para el BGP: 800 a 2.150 Euros/kW, total (pico de carga de 60 kW) de 48.000 Euros a 129.000 Euros.

Costos de operación (costo capital, de personal y mantenimiento) entre el 7 y el 12% del costo total de inversión

Ahorro anual: 6.300 a 25.200 Euros.

Transformación de calor para la generación combinada de energía calórica y de refrigeración

Los gases exhaustos de los motores de combustión pueden re-usarse para operar bombas de absorción de calor. Podemos asumir una corriente de calor a partir de los gases exhaustos de 106 kW, de ellos 50 kW están en la gama de 450 a 150°C. Los restantes 56 kW contienen aprox. 29 kW como calor latente, que puede usarse térmicamente a través de una bomba abierta de absorción de calor (BAACP). Para inducir la desorción en una proporción de  $\varepsilon \sim 3$ , necesitamos  $P=15$  kW. Esta potencia no puede usarse como impulsora, pero puede usarse en el sistema de calentamiento. Con el poder impulsor restante de 35 kW podemos operar una bomba cerrada de absorción de calor ( $\varepsilon=0,8$ ) que suministra una energía de refrigeración de 28 kW (nivel de temperatura -5°C). El calor descargado puede usarse para propósitos de calentamiento. ( $T=90^\circ\text{C}$ )

Costo de inversión para la BAAC y la cerrada: 500 €/kW potencia, para un total de 25.000 Euros ( $15 \text{ kW} * 500 \text{ €/kW} + 35 \text{ kW} * 500 \text{ €/kW}$ )

Costos de inversión para el total de la planta (gasificación, BGP y transformación de calor): entre 165.000 y 235.000 Euros

Costos de operación: entre 9.000 y 32.500 Euros

Entrada debido al extra de electricidad: 7 Cent (precio requerido)

Período de retorno: 1,9 a 4,3 años si sólo se genera electricidad y 1,8 a 3,6 años si se genera electricidad, calor y energía para la refrigeración.

### **8.6.7 Referencias (seleccionadas, entre otras):**

#### **Internet:**

<http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-25.html>

<http://www.gasification.org/>

<http://www.fao.org/docrep/T0269e/t0269e08.htm>

<http://www.vhe.ch/de/frame/frameset.html>

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

<http://www.fao.org/docrep/T0269e/t0269e08.htm#6.4>

<http://www.woodpellets.org/fuel/fuel3.htm#>

<http://www.britishbiogen.co.uk/>

### **Literatura:**

Strategien zur Abfallenergieverwertung, Ein Beitrag zur Entropiewirtschaft, Wolfgang Fratzscher, Karl Stephan(Hrsg.) Vieweg Handbuch Umweltwissenschaften; 2002

Basiswissen Umwelttechnik; Luft, Wasser, Abfall, Lärm, Umweltrecht; Matthias Bank; 1. Auflage Vogel 1993

AEE – Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie  
A-8200 Gleisdorf/Styria/Austria  
Tel: (..43)/(0)3112/5886 (Fax : -18)  
[office@aee.at](mailto:office@aee.at)

### **Compañías:**

Energieverwertungsagentur, the Austrian Energy Agency (E.V.A.)  
A-1060 Wien — Otto-Bauer-Gasse 6  
Tel +43 - 1 - 586 15 24 — Fax DW 40 — E-mail [eva@eva.ac.at](mailto:eva@eva.ac.at)

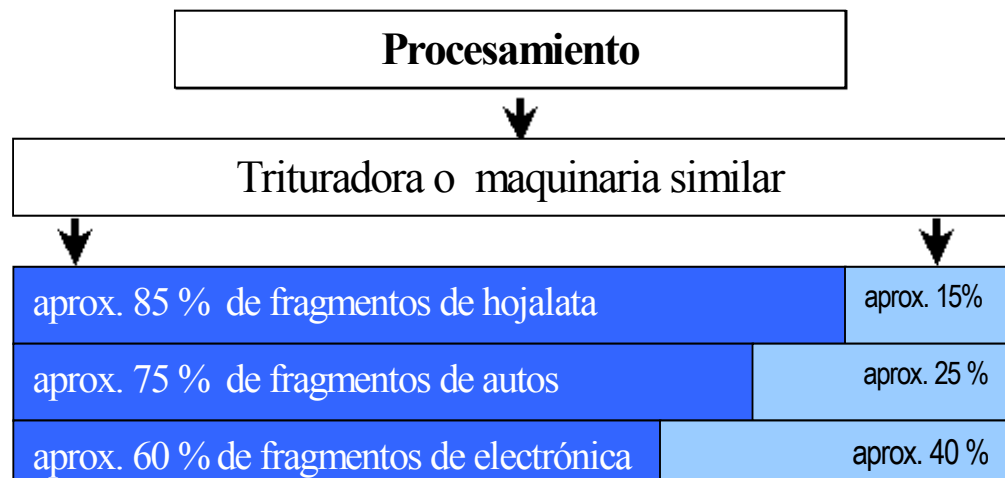
Jenbacher AG  
Achenseestraße 1 - 3, A-6200 Jenbach,  
Tel.: +43 5244 600-0, Telefax: +43 5244 600 548  
e-mail: [info@jenbacher.com](mailto:info@jenbacher.com)

Von Roll Umwelttechnik AG  
Hardturmstrasse 133, Postfach 760, CH-8037 Zürich  
Telefon +41 1 277 11 11, Fax +41 1 277 13 13  
e-mail [info.inova@vonroll.ch](mailto:info.inova@vonroll.ch), Homepage [www.vonrollinova.ch](http://www.vonrollinova.ch)

### 8.7 Reciclado de acero

Los desechos metálicos consisten principalmente en trozos de maquinado, limallas o pedazos de rieles (70-75%). El 25-30% restante son los denominados fragmentos problemáticos (automóviles, electrónica, doméstico y los desechos de hojalata).

Considerando que es bastante fácil manipular los fragmentos no problemáticos (tratamiento físico), es más complicado para los problemáticos. Si preparamos los desechos problemáticos por fragmentación, aun permanecerán los residuos.



También es importante mencionar que los residuos son principalmente no metálicos y a menudo son materiales delicados difíciles y caros de eliminar. Estos materiales son el problema principal si hablamos de reciclar. Los residuos son principalmente depositados y por consiguiente aumentan el problema de la eliminación en Europa. Además es importante comprender que los fragmentos metálicos no ferrosos (cobre, estaño, cromo) reducen su uso económico y por consiguiente su limpieza química y física es crucial.

Para la preparación de fragmentos problemáticos se utiliza la trituradora o agregados similares, para los no problemáticos se usan tijeras o prensas.

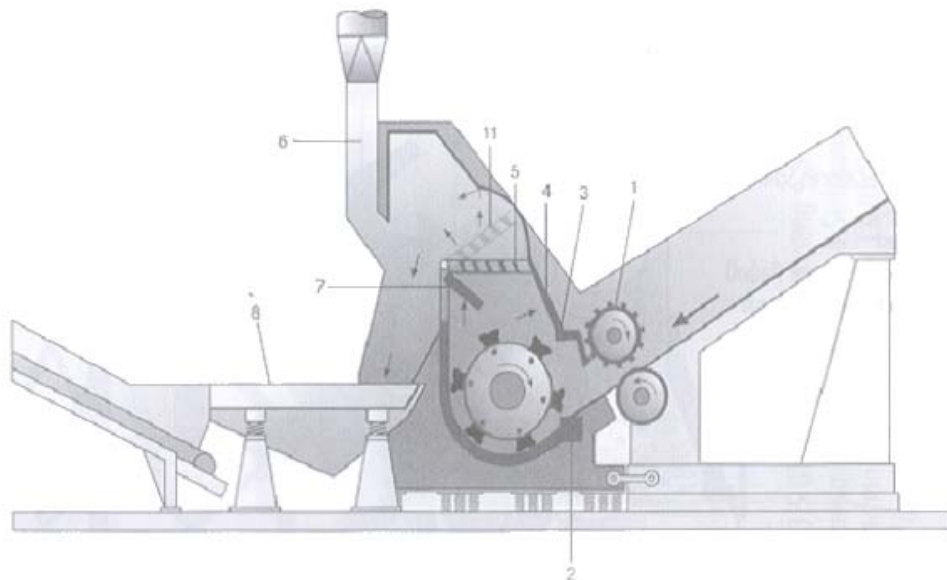
Planta	Material	Meta
Trituradora	Todos los fragmentos problemáticos	-aumento del peso suelto -aumento del estandar de pureza física -reducción de metales no terrosos
Tijeras	Fragmentos largos y voluminosos Fragmentos con espesor de >6mm	-aumento del peso suelto -aumento del componente terroso -reducción de metales no ferrosos
Prensa	Fragmento no usado, delgado, voluminoso	-aumento de peso suelto -mejoramiento de la calidad del fragmento no es posible

**8.7.1 Procesos de preparación para el acero puro**

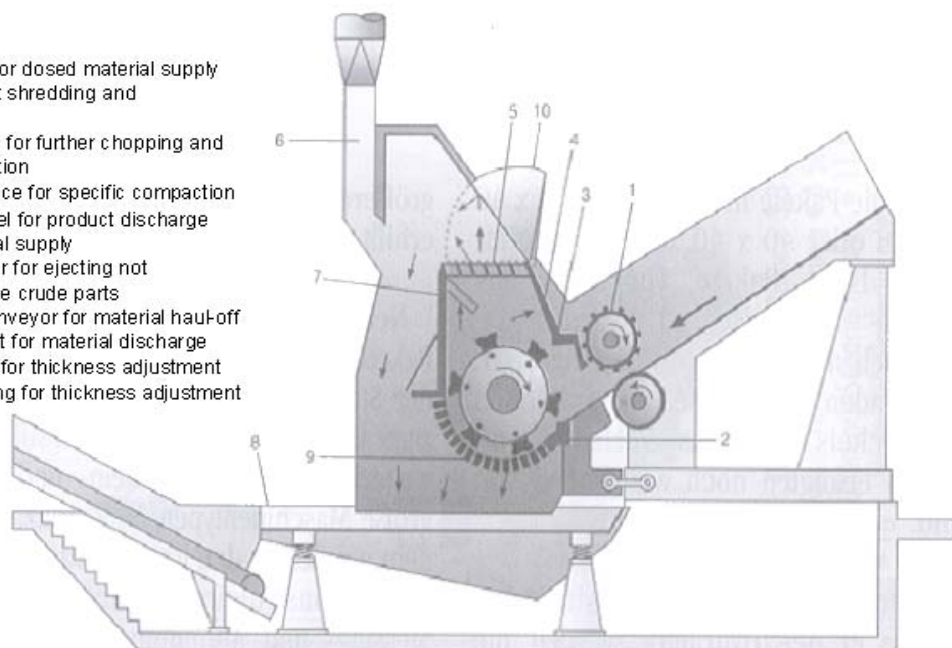
**a) Trituradora**

Mundialmente se usan diferentes tipos de trituradoras. Las firmas más establecidas son: Newell Industries Inc., Texas Shredder Inc. (EE.UU), Lindemann, Thyssen Henschel, ORT Oberländer (Alemania), y Kawasaki, Fuji Car (Japón).

Como puede verse en el cuadro inferior, las desfibradoras usuales operan con una reja superior, mientras que la denominada Zerdinator (desarrollada por Lindemann) usa una arriba y una adyacente. Debido a esta nueva tecnología Zerdinator puede procesar diferentes materiales con densidades variables con menos cambios de la reja.

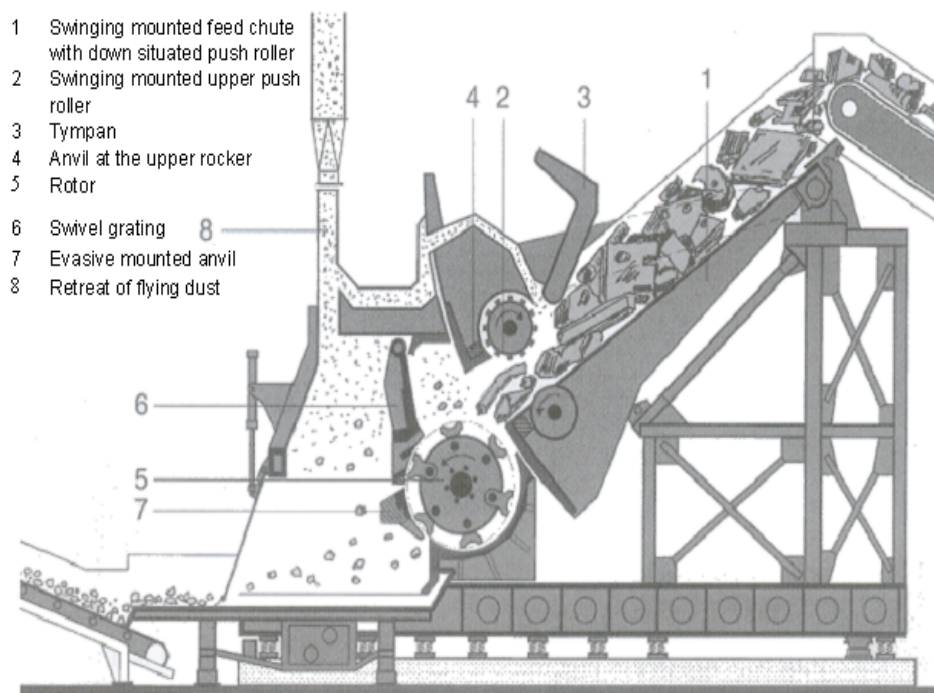


- 1 Push roller for dosed material supply
- 2 Anvil for first shredding and chopping
- 3 Impact edge for further chopping and pre-compaction
- 4 Impact surface for specific compaction
- 5 Grating panel for product discharge
- 6 Dust removal supply
- 7 Ejection door for ejecting not reductionable crude parts
- 8 Vibrating conveyor for material haul-off
- 9 Grate basket for material discharge
- 10 Grate cover for thickness adjustment
- 11 Swivel grating for thickness adjustment



Otro tipo es el Kondirator, desarrollado también por Lindemann que tira los fragmentos hacia arriba, contrario de cómo lo hacen los otros dos modelos. Por consiguiente el material más pesado puede procesarse porque los pedazos grandes y pesados dejan el rotor a través de una salida aislada antes de que puedan ocurrir daños al Kondirator.

Aparte del área del rotor estos equipos no difieren significativamente entre sí, sólo el arreglo de las partes de la planta puede ser diferente.



Normalmente en las plantas desmenuzadoras se procesan automóviles y partes de ellos. El automóvil que tiene que ser procesado puede alimentarse a la desmenuzadora sin pre-tratamiento, lo que incluye el motor, ejes, la caja de velocidades, los neumáticos etc.

El producto final resulta de mejor calidad, con alta densidad, limpieza y tamaño constante de los fragmentos. Las especificaciones más importantes de las condiciones físicas y químicas pueden verse en la tabla que sigue. Estos fragmentos pueden usarse inmediatamente en la producción de acero.

**Shredder processing**  
physical

- Metal content, purity standard > 95 % possible
- Loose weight 1,0 – 2,5 t/m<sup>3</sup>

Chemical

- Quantitative separation of copper
- Isolated nickel and chrome alloyed shares of scrap can only be separated from plain material through a subsequent processing step with non-iron cutter and neodyn barrel.
- Separation of casting shares (grey cast-iron, aluminium, magnesium) through sifting of fine fraction possible
- Through abrasion not the entire metal surface coating like tin and zinc can be removed but a reduction is possible



**b) Desmenuzado con congelación profunda**

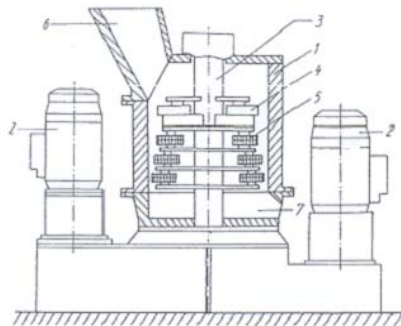
El proceso usa la propiedad del acero de volverse quebradizo a bajas temperaturas.

**c) Molinos de fragmentación**

Estas plantas consisten en una estructura de base con una caja de molino y paredes verticales. Los trozos difíciles de procesar son cortados por una sierra oscilante o cortadora antes de que vayan al molino. En lo que se refiere a la calidad, el rendimiento es similar a los fragmentos de la desmenuzadora.

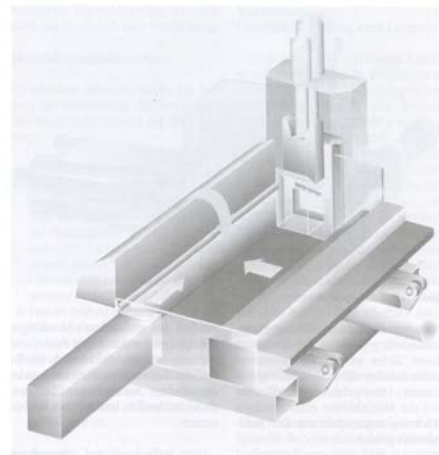
**d) Tijeras de trozar**

Hoy en día se usan normalmente tijeras hidráulicas donde los fragmentos son conducidos mediante un lecho de alimentación que está provisto con un pre-prensado. En esta prensa el material se prensa de ta modo que también el material deforme puede llevarse bajo las cuchillas de la tijera.



1 cabinet • 2 drive motor • 3 rotor •  
4 prism-shaped puncher • 5 ring-shaped  
puncher • 6 scrap feed • 7 discharge of  
shredded scrap

Molino de fragmentos



Tijeras de fragmentación

**e) Prensas de fragmentos**

Hoy en día las chapas de acero nuevas, a granel, así como las chapas limpias y las viejas son prensadas. Debido a razones económicas y ecológicas, no se procesan las chapas sucias y que contienen material contaminante peligroso.



### 8.7.2. Reciclado industrial y de géneros de consumo- Ejemplo: reciclaje de autos

Anualmente el número de automóviles despiezados crece más y más. Mientras que los pedazos de acero y los metales no ferrosos de los autos pueden ser entregados a las fundiciones y a las compañías procesadoras de cobre y aluminio, las partes no metálicas causan problemas significativos. Estos materiales se denominan residuos de la fragmentación y consisten en plástico, textiles, vidrios, cerámica, madera y suciedad, a veces mezclados con hierro o metales no ferrosos que no pueden separarse de ellos económicamente.

Los automóviles viejos se entregan a un taller de desmantelamiento, dónde las partes reusables se recuperan antes de reciclar el casco desmantelado. Los artículos seleccionados como motores, transmisiones y otras partes del automóvil se revenden al público o los garajes de reparación de autos y talleres de carrocerías. Después de quitar los componentes reusables y otros artículos como baterías, neumáticos y fluidos, los cascos son normalmente prensados y enviados por camión a procesadores de fragmentos ferrosos dónde se pesan, se descargan y se pagan.

En un patio de chatarra, una grúa alza los automóviles aplastados y los carga en la desmenuzadora de autos. El proceso genera tres corrientes: hierro y acero; metales no ferrosos; y pelusa (tejido, caucho, vidrio, etc.). El hierro y acero se separan magnéticamente de los otros materiales.

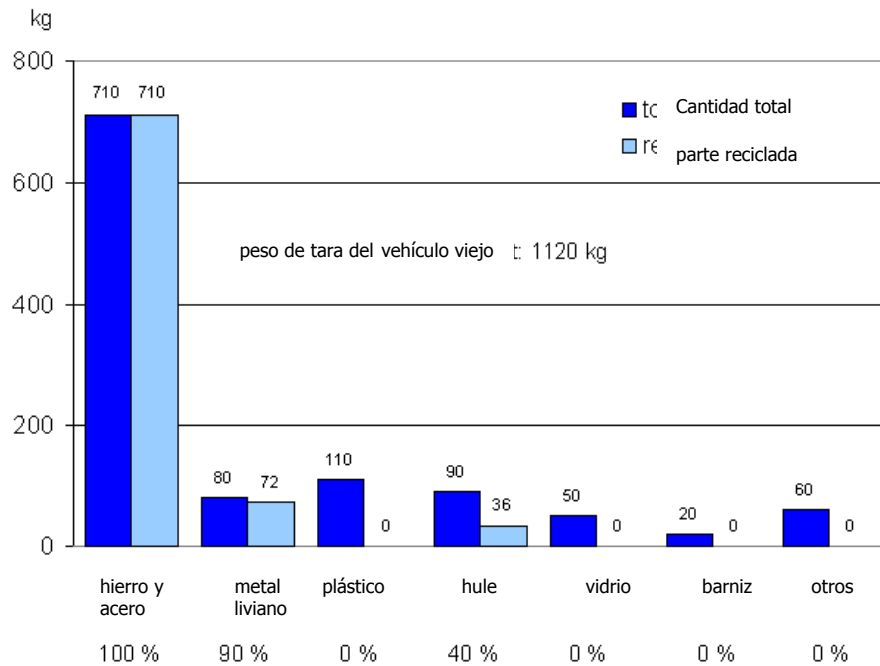
Los trozos de acero son cargados magnéticamente en un automotor o camión o acumulados para el embarque futuro para otros mercados o fundiciones de acero dónde se recicla para producir acero nuevo.

A pesar de su construcción compleja, los automóviles son, hoy en día, uno de los artículos que más se recicla. Los automóviles enteros simplemente no son usados como relleno. La razón es que el acero y los componentes férricos que lo constituyen en casi su 65% son demasiado valiosos. Virtualmente todo el acero y el hierro se recuperan para el re-uso y reciclado, junto con la mayoría de los otros metales, como aluminio, cobre y plomo. Como resultado, la proporción reciclada cada año promedia aproximadamente el 100%.

Puede resultar sorprendente, pero el reciclaje de autos disfruta calladamente de más éxito que el compartido por otros desechos reciclables. Es importante destacar entonces que la infraestructura de reciclar autos se ha establecido muy bien por décadas.

Las raíces de la industria del reciclado de autos radican en la necesidad de chatarra terrosa en la industria siderúrgica. Una vez que todo los fluidos se han drenado y todas las partes reusables se han recuperado, los procesadores de fragmentos hacen tiras del automóvil y venden el material ferroso a las fundiciones de acero.

El cuadro siguiente muestra la proporción reciclada de materiales metálicos y no metálicos de autos.



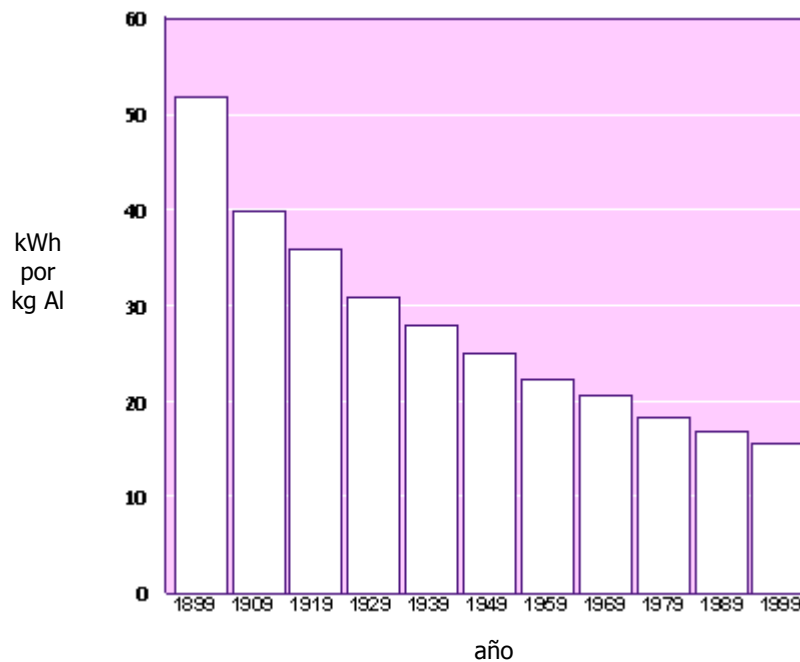
### 8.8 Reciclaje de aluminio (Germany; [www.aluminium-recycling.com](http://www.aluminium-recycling.com))

#### 8.8.1. Fuente de materias primas – chatarra

Las materias primas secundarias se obtienen durante la recuperación y reciclado de los productos que contienen aluminio, por ejemplo los automóviles, o durante la producción del metal o su procesamiento. Ellos son reunidos y recuperados por el comercio de metal, o por los mismos refinadores o fundidores.

El aluminio es un "banco de energía"- la entrada original puede recuperarse siempre cada vez que el producto se recicla. El aluminio puede reciclarse infinitamente. El uso de metal reciclado en cualquier producto de aluminio produce un ahorro de energía que representa el 95% del uso de metal primario. Muchos productos, por ejemplo los moldes automotores, productos de construcción y latas de la bebida son principalmente hechos del metal reciclado.

Estos materiales pueden separarse según los diferentes tipos de chatarra, dependiendo de su calidad, propiedades y su composición química. La lista siguiente, que se basa en el proyecto de la Norma Europea para la chatarra de aluminio, contiene los tipos de chatarra de aluminio que son comunes ahora.



El gráfico muestra una reducción continua en el consumo de potencia empleada en la producción primaria de Aluminio desde 1899 a 1999

### Chatarra privada

- de aluminio puro
- de alambres y cables
- de una sola aleación forjada
- de dos o más aleaciones forjadas de la misma serie
- de dos o más aleaciones forjadas
- de fundiciones
- de materiales no ferrosos en trozos
- de procesos destinados a la separación de aluminio
- de la separación de aluminio en el procesado de materiales no ferrosos en tiras
- de latas de bebida de aluminio usadas
- de radiadores del aluminio/cobre
  
- de retornos que consisten en una sola aleación
- de retornos mixtos que consiste en dos o más aleaciones
- de desechos de empaques de aluminio post consumo
- de pedazos de aluminio decapado de empaques pos consumo
- de trozos de desnatado, escoria, derramamientos y limallas

### 8.8.2. El Aluminio en el lazo de reciclaje

**Recolección y recuperación:** los trozos nuevos y viejos son recuperados por los comerciantes o los mismos refinadores.

**Preparación y tratamiento:** El material recobrado se trata de acuerdo a su calidad y características. Los procesos de tratamiento comunes son la selección, cortado, embalado o cortes en tiras. Los retornos son secados y prensados. El hierro libre se separa con separadores magnéticos. Las escorias de aluminio, una mezcla de metal y óxido, son aplastadas o molidas y separadas con aire.

**Cargado:** Selección y mezclado computarizado (por regla general) de fragmentos cuya composición esté lo más cercano posible a la composición de la aleación requerida.

**Fundición:** Existen varios tipos de hornos para la fundición de trozos de aluminio. En Alemania, los desechos para la producción de aleaciones fundidas normalmente se hacen en hornos rotatorios bajo una capa líquida de sal de fusión (flujo). Los productores de aleaciones forjadas prefieren las cámaras de fusión abiertas en variados diseños.

**Refinación:** La producción de aleaciones en hornos rotatorios es seguida de un proceso de refinación. La aleación fundida se alimenta a un horno de retención (el convertidor) y es purificada adicionando agentes de refinación.

**Control de calidad:** Cada carga del horno se prueba en los laboratorios de planta, con equipos analíticos controlados por modernas computadoras y si los resultados analíticos son positivos, se emite un certificado.

**Fundición:** El aluminio fundido se deposita en lingotes o se transporta en forma líquida a una fundición. Los lingotes pesan entre 4 y 25 kg, dependiendo del molde utilizado. El aluminio líquido puede ser transportado en contenedores térmicos, calentados previamente y se llevan hacia fundiciones donde inmediatamente se deposita en hornos de retención y se procesa el metal.

**Homogenización:** Tratamiento de calor de lingotes extruídos en hornos especiales con el fin de obtener una estructura del metal que sea apropiada para otros procesos y eliminar tensiones residuales de la fundición.

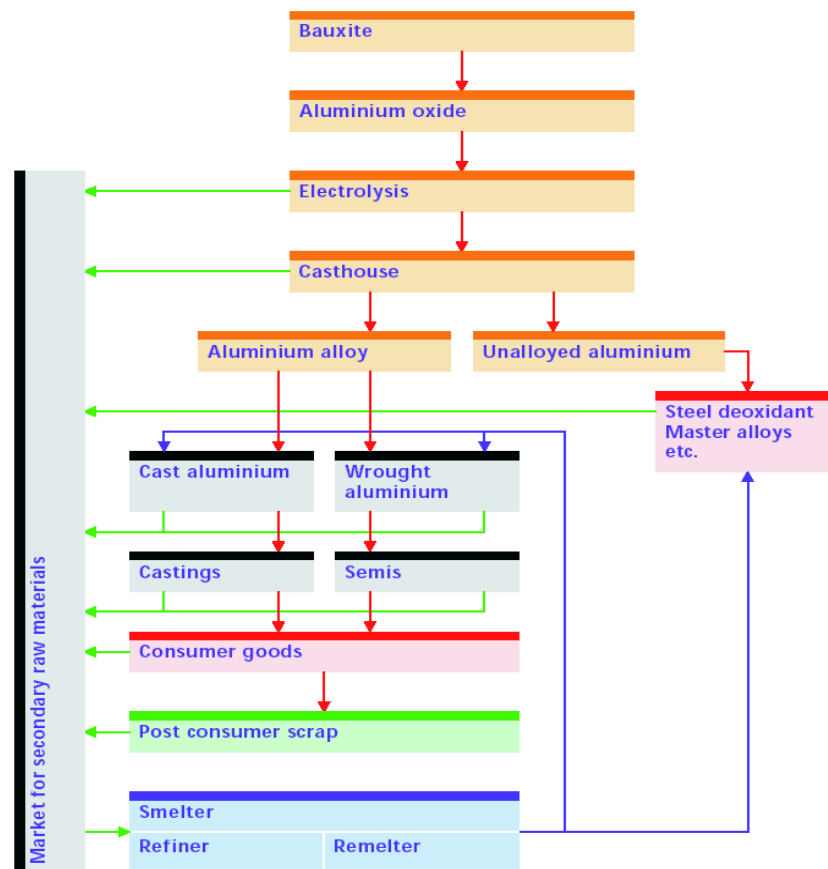
### 8.8.3. Productos hechos con materias primas secundarias

**Aleaciones fundidas:** la aleación fundida, estandarizada o producida según los requisitos específicos del cliente, se suministra en lingotes o forma líquida a fundiciones que los convierten en componentes de alta calidad. Aplicaciones típicas son: cabezales de cilindros, bloques de motores o cajas de velocidad, componentes y partes en las industrias de ingeniería mecánica y eléctrica, cubiertas de equipos caseros etc.

**Aleaciones forjadas:** Son fundidas directamente en lingotes de extrusión o láminas enrolladas. Los productos típicos de aleación forjada son los artículos semielaborados en forma de láminas o perfiles que se procesan en partes del cuerpo de autos, construcciones comerciales de vehículos, vehículos ferroviarios, puertas y ventanas, empaques, etc.

**Aluminio desoxidante:** El aluminio desoxidante consiste en aleaciones con una alta proporción de aluminio (normalmente más del 95%) en forma de barquillos que consisten en una o más partes, gránulos o pellets que se usan para eliminar oxígeno libre en el acero líquido.

The Aluminium Lifecycle



The Aluminium Lifecycle = El ciclo de vida del aluminio

Bauxite = Bauxita; Aluminium oxide = Oxido de aluminio; Electrolysis = Electrólisis; Casthouse = Moldeado; Aluminium alloy = Aleación de aluminio; Unalloyed aluminium = Aluminio puro; Cast aluminium = Aluminio moldeado; Wrought aluminium = Aluminio forjado; Steel deoxidant – Master alloys, etc. = Desoxidante de acero – aleaciones principales, etc.; Cast aluminium = lingotes; Castings = Moldes; Consumer goods = Artículos de consumo; Post-consumer scrap = Desechos posteriores al uso; Market for secondary raw materials = Mercado para materias primas secundarias; Smelter = Fundición; Refiner = Refinador; Remelter = Re-fundidor

### 8.9 Reciclaje del cobre (U.S.A.;[www.epa.gov](http://www.epa.gov))

Los fragmentos de cobre pueden entrar a las operaciones de refinamiento y procesado de varias maneras, dependiendo de factores tales como la calidad y su aleación. Por ejemplo, algunos fragmentos pueden refinarse en las fundiciones primarias de cobre y otros en las fundiciones secundarias. Los fragmentos de aleaciones de cobre pueden refundirse en fundiciones de bronce, fábricas de lingotes u otras. Esta sección describe la manera en que se reciclan el cobre y los fragmentos de aleaciones.

#### 8.9.1. Tipos de cobre

Las mayores categorías de los fragmentos puros son los llamados Cobre No. 1, que contiene más de 99%; y Cobre No. 2, con un mínimo de 94%. Los fragmentos se categorizan también en "viejos" o "nuevos". Los fragmentos nuevos se generan durante la fabricación de productos de cobre. Por ejemplo, productos finales que contienen cobre y son elaborados a partir de productos intermedios como láminas, tiras, conductos, o varillas y pueden tener un rendimiento tan bajo como de un 40%. Estos materiales nuevos, generados de proceso tales como el barrenado, torneado, estampado, cortado y los "fuera de especificación", normalmente se venden de nuevo a las fundiciones que producen los intermedios originales. Ya que los fragmentos nuevos y elaborados se reciclan dentro de la industria del cobre, se considera que ninguno es una nueva fuente de cobre.

Los fragmentos viejos que se generan de los productos de cobre dañados, estropeados, descartados u obsoletos constituyen una nueva fuente de metal (de fuera), para la industria secundaria del cobre.

Los fragmentos de cobre también pueden categorizarse en cuatro tipos principales, basados en el contenido de cobre y la manera en que se realiza su recuperación:

#### **Fragmentos de bajo grado con composición variable (10-95% Cu).**

Este material se funde en cámaras de fusión o altos hornos, donde posteriormente es quemado y electrolíticamente refinado. También puede tratarse en convertidores Peirce-Smith de fundición primaria.

**Fragmentos de aleación.** Los componentes mayoritarios del sistema de recuperación consisten principalmente en bronce, latón y mezclas de cobre-níquel de los fragmentos viejos y nuevos. No existe ventaja alguna en reprocesar estas aleaciones hasta cobre puro, por lo que se refunden en hornos rotatorios, de fusión o de inducción y se reformulan como una remesa de aleación. Alguna refinación se hace por oxidación con aire para quitar aluminio, silicio y hierro como escoria, pero la oxidación debe controlarse estrechamente ya que algunos componentes deseables (Zn en latones y Sn en bronce) también tienden a oxidarse.

**Fragmentos, nuevos o viejos.** Son aquellos fragmentos de cobre puro, pero que están contaminados por otros metales (Ej. metales usados en revestimientos, soldadura o empalmes). Estos fragmentos se funden en los convertidores Peirce-Smith de fundiciones primarias o los hornos de

ánodo de refineries primarias o secundarias, donde las porciones grandes de impurezas (por ejemplo Al, Fe, Zn, Si, Sn) son eliminadas por oxidación con aire. El metal es fundido entonces en ánodos de cobre y electro-refinado. También puede venderse como cobre refinado al fuego para la fabricación de aleaciones.

**Fragmentos con calidad catódica, requieren licuarse y fundirse.**

Estos fragmentos se originan principalmente como residuos de la elaboración (Ej. varillas rechazadas, alambres desnudos, moldes). Son derretidos y fundidos como cobre en lingotes o fundido como aleaciones de latón o bronce.

### 8.9.2. Manejo y preparación de los fragmentos

Los fragmentos de cobre son recolectados por una red de procesadores y corredores, los cuales se inspeccionan visualmente, gradúan y se realizan análisis químicos cuando es necesario. Además, se segregan e identifican por la aleación y la impureza de cada lote. Los fragmentos sueltos se empaquetan y guardan hasta que se necesiten. Los fragmentos de composición desconocida pueden fundirse y analizarse para determinar su composición química. Los procesos principales en la recuperación secundaria de cobre son el pre-tratamiento del metal, el cual prepara el fragmento para el proceso de fundición, y la fundición misma. Fundir es un proceso pirometalúrgico para separar, reducir o refinar el cobre.

El pre-tratamiento incluye la limpieza y concentración de los materiales del fragmento para prepararlos para el proceso de fundición. El Pre-tratamiento puede lograrse por: (1) concentración, (2) métodos pirometalúrgicos o (3) métodos hidrometalúrgicos. Estos métodos pueden usarse separadamente o combinados. Después del pre-tratamiento el fragmento de metal está listo para fundir.

### 8.9.3. Operaciones de refinar el cobre

Los fragmentos de cobre se utilizan tanto por los productores primarios como por los secundarios.

Las fundiciones secundarias usan varios procesos que son equivalentes a los empleados en el procesamiento pirometalúrgico primario de minerales de cobre extraído en las minas. La primera fase de fundición normalmente es realizada en un alto horno, un horno de reverbero o un horno eléctrico, continúa con un tratamiento en un horno convertidor y finalmente en un horno de ánodo. El cobre puede purificarse aún más mediante el refinamiento electrolítico. Dependiendo de su calidad, los fragmentos pueden entrar al proceso en diferentes etapas. Alguna escoria del proceso se vende o se entierra; la escoria restante se recicla debido a su contenido de cobre. El dióxido de azufre, un gas derivado de la primera fundición puede colectarse, purificarse y hacerse ácido sulfúrico para la venta o para el uso en operaciones de lixiviado metalúrgico. Los procesos más usados en el reciclado de fragmentos de cobre se describen a continuación.

### a) Prácticas de fundición de cobre

Altos hornos

Horno de reverbero

Horno de arco eléctrico

### b) Conversión de cobre

El producto fundido en el horno puede contener cantidades significativas de Fe, Sn, Pb, Zn, Ni y S. Estos elementos son eliminados por reducción, evaporación u oxidación. A las temperaturas de fundición los óxidos de la mayoría de los metales son más estables que  $\text{CuO}$  o  $\text{Cu}_2\text{O}$ , así que según el equilibrio termodinámico, estos metales se transfieren a la escoria, bajo las condiciones de oxidación prevalecientes. Impurezas de metales con altas presiones de vapor (Ej. Pb, Cd, Zn) o con óxidos de altas presiones de vapor (Ej.  $\text{SnO}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_3$ ) pueden volatilizarse y se recolectan en un polvo rico en zinc. El estaño se recoge de la bolsa de recuperación de polvos y es usado como aleación estaño/plomo para soldadura y el zinc se recupera y convierte a  $\text{ZnO}$  para la industria de los pigmentos.

### c) Refinación al fuego

El cobre ampollado del convertidor se procesa en un horno de ánodo que generalmente es un tipo de horno reverbero. La producción en el ánodo es el último paso antes del proceso de refinación electrolítica y se llama "refinación al fuego." El azufre y otros elementos fácilmente oxidables son eliminados por la oxidación con aire y el oxígeno disuelto es eliminado entonces por una reacción de fusión con los gases de hidrocarburos antes de la fusión en el ánodo. Durante la refinación al fuego, la fusión se satura primero con  $\text{O}_2$  (aproximadamente 0.8 a 0.9%) y el oxígeno se disminuye a aproximadamente 0.2%. Las impurezas oxidadas son recolectadas en la escoria que se recicla in-situ o se envía a otra refinería.

### d) Refinación electrolítica

La fase final de purificación del cobre emplea un proceso electrolítico donde se obtiene un cobre con menos de 40 ppm de impurezas metálicas.

En la electrefinación se suspenden ánodos de láminas y cátodos de cobre puro como iniciador en un electrolito de  $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ , a través del cual se hace pasar un potencial de 0.25 V cd. El proceso de refinación electrolítica exige de 10 a 14 días para producir un cátodo que pesa aproximadamente 150 kg. Durante la electrólisis el cobre se disuelve del ánodo y se deposita en el cátodo.



**e) Licuado, fundido y utilización de los cátodos**

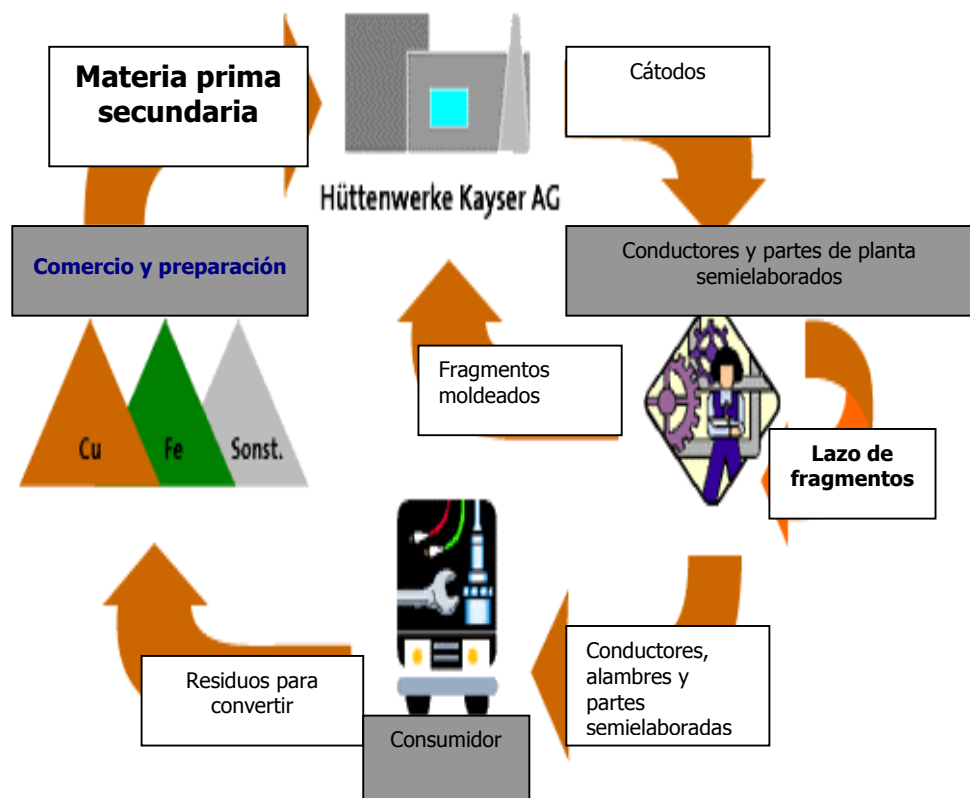
Los cátodos se lavan, se funden, y se colocan en los moldes de fabricación y uso. La fusión normalmente se hace en un horno vertical en el que se colocan pilas de cátodos cerca de la parte superior y cuando se funden descienden, calentados por los gases de la combustión. El funcionamiento es continuo y el cobre fundido puede colocarse en moldes o enrollarse para formar varillas para elaborar alambres, láminas y planchas para otros productos forjados.

**f) Manejo de escoria**

La escoria de los convertidores y los hornos de ánodo es rica en cobre y se vuelve al horno para recuperaciones adicionales. La escoria del horno de fundición se guarda o se desecha in situ. Parte de la escoria se vende como guijarros de ferrocarril y como arena de relleno para la colocación de explosivos (EPA 1995). La mayoría de los contaminantes radiactivos acaban en la escoria porque son más fácilmente oxidados.

**g) Manejo de gases exhaustos**

Los gases exhaustos de los convertidores son recogidos por un sistema de capucha y procesados con un sistema de control de emisiones que consiste en un precipitador electrostático (PES) y un despojador húmedo. El gas despojado se procesa a través de una planta ácida y es convertido en ácido sulfúrico. Como los productores secundarios no utilizan material con alto contenido de azufre, ellos no tienen plantas ácidas en sus sistemas.



### 8.9.4 Referencias 8.7-8.9 (seleccionadas, entre otras):

#### Internet

[http://www.epa.gov/radiation/cleanmetals/docs/tsd/scrap\\_tsd\\_041802\\_apb1.pdf](http://www.epa.gov/radiation/cleanmetals/docs/tsd/scrap_tsd_041802_apb1.pdf)

<http://www.aluinfo.de/>

<http://office@oea-alurecycling.org/d/kreislauf.pdf>

[http://www.aluminium-recycling.com/vds\\_en/index.htm](http://www.aluminium-recycling.com/vds_en/index.htm)

<http://www.alu.ch> Aluminium Verband Schweiz

<http://www.aluinfo.de/> Gesamtverband der Aluminiumindustrie Deutschland

<http://www.aluminium.org> European Aluminium Association (engl.)

<http://www.eurometaux.org/> Eurometaux

<http://www.world-aluminium.org/> International Aluminium Institute

<http://www.alufoil.org/> European Alu Foil Association

#### Literatura

Reciclando; Fachbuch Stahlrecycling – Vom Rohstoff Schrott zum Stahl

#### Compañías y Organizaciones

Lindner Metall-Recycling GmbH

<http://euro.recycle.net/>

Scrap Aluminium Dealer/Trader

*Aluminium Rheinfelden GmbH*

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

Aluminium D-Rheinfelden – Reciclador de material de empaque/envase

OEA Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters

<http://www.oea-alurecycling.org/gb/index.html>

La Organización Europea de Refinadores y Refundidores de Aluminio (OEA) es la asociación internacional de compañías que operan en el recobrado y reciclaje del aluminio

<http://www.recyclexchange.com/> RecycleXchange - Waste & Material Exchange Marketplace

<http://www.recycle-steel.org/index2.html> Steel Recycling Institute

<http://www.steel.org/mt/roadmap/roadmap.htm> American Iron and Steel Institute

### 8.10 Reciclado de plásticos

El sesenta por ciento de todos los productos y empaques plásticos producidos en EE.UU. se consume en los sectores agrícola, comercial, industrial e institucional de los negocios americanos. Así, el "sector comercial" que incluye, entre otras cosas, menudeo y establecimientos mayoristas; los hoteles; edificios de oficina; aeropuertos y estaciones ferroviarias; así como otras salidas que distribuyen y/o venden productos o servicios a los consumidores, representan una fuente potencial significativa de plástico para reciclar. Artículos que se han recuperado de fuentes comerciales durante muchos años incluyen: bandejas y búcaros de flores, canastas de leche y refrescos, recipientes de comida, tambores industriales y películas retráctiles.

Recientemente, grandes cantidades de empaques de plástico flexible como la envoltura de paletas, las bolsas de lavado y otras películas se han recuperado para el re-uso. Adicionalmente, las industrias de la electrónica y de la tecnología informática han llevado a cabo programas para recuperar plásticos de artículos duraderos, como las computadoras y otras máquinas de oficinas comerciales.

Dependiendo de su estructura y polimerización podemos diferenciar entre **Termoplásticos y Termoconformados** (U.K.; [www.itdg.org](http://www.itdg.org))

**Los termoplásticos** son cerca del 80% de los plásticos producidos hoy en día. Ejemplos de termoplásticos incluyen:

- **Polietileno de alta densidad (HDPE)** usado en tuberías, tanques de combustible, automotores, botellas, juguetes
- **Polietileno de baja densidad (LDPE)** usado en bolsas plásticas, películas preservantes, contenedores flexibles
- **Polietileno tereftalato (PET)** botellas, carpetas y envase de alimentos
- **Polipropileno (PP)** usado en contenedores de alimentos, cajas de baterías, cajas de botellas, partes de autos y fibras
- **Poliestireno (PS)** usado en contenedores de productos lácteos, cintas de grabación, vasos y platos
- **Cloruro de polivinilo (PVC)** usado en estructuras de ventanas, pisos, botellas, películas de envase, aislamiento de cables, tarjetas de crédito y productos médicos

Hay centenares de tipos de polímeros termoplásticos y se desarrollan nuevas transformaciones regularmente. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo el número de plásticos en uso común tiende a ser más reducido.

**Los termoconformados** resultan el 20% restante de los plásticos producidos. Son endurecidos por “curado” y no pueden ser refundidos o remodelados, por lo que resultan difícil de reciclar. Algunas veces son enterrados y utilizados como material de relleno. Incluyen:

- **Poliuretano** (PU) – cubiertas, terminaciones, engranajes, diafragmas, amortiguadores, defensas y asientos de autos
- **Epóxicos**– adhesivos, equipos deportivos, equipos eléctricos y automovilísticos
- **Fenólicos** – hornos, mangos de instrumentos de cuchillería, partes de autos y pizarras de circuitos (Fundación para la Investigación Mundial).

### 8.10.1. Plásticos para reciclar

No todos los plásticos son reciclables. Hay cuatro tipos de plástico que normalmente se reciclan:

- Polietileno (PE) – ambos, alta y baja densidad.
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Cloruro de polivinilo (PVC)

### 8.10.2. Fuentes de plásticos

A menudo puede obtenerse de los residuos (o desechos primarios) de grandes fábricas procesadoras de plásticos, fábricas e industrias de envases. El material rechazado normalmente tiene buenas características para reciclar y está limpio. Aunque la cantidad de material disponible es pequeña a veces, crece cuando el consumo y por consiguiente la producción, aumentan. Los desechos comerciales se obtienen, a menudo en los talleres, artesanías, almacenes, supermercados y comercios mayoristas. Gran parte de los plásticos disponibles de estas fuentes es PE, a menudo contaminado. Los residuos agrícolas pueden obtenerse de las granjas y huertos de cultivo o jardines fuera de las áreas urbanas.

Generalmente están en forma de envases (láminas o contenedores) o materiales de construcción (mangueras).

Los desechos municipales pueden colectarse de las áreas residenciales (residuos domésticos), calles, parques, depósitos de recolección y vertederos. En las ciudades asiáticas este tipo de desechos es común y puede recolectarse de las calles o de las casas mediante arreglo directo con los dueños. (Lardinois 1995)

**8.10.3. Identificación de diferentes tipos de plásticos**

Existen varias pruebas que permiten distinguir y separar los tipos más comunes de polímeros a fin de que puedan procesarse por separado.

*La prueba del agua.* Después de agregar algunas gotas de detergente líquido a una cierta cantidad de agua coloque el plástico.

*Prueba de ignición.* Sostenga un pedazo del plástico en unas pinzas o en la parte de atrás de un cuchillo y aplica una llama. ¿Se quema el plástico? Si lo hace, ¿con qué color?

*Prueba de la uña.* ¿Puede arañarse una muestra del plástico con una uña?

Test	PE	PP	PS	PVC*
Water	Flota	Flota	Se sumerge	Se sumerge
Llama	Llama azul con orilla amarilla, se derrite y gotea	Llama amarilla con base azul	Llama amarilla, hollinosa – gotea	Humo amarillo hollinoso. Deja de quemarse si se retira la llama
Olor después de quemarse	Como cera de velas	Como cera de velas – menos fuerte que el PE	Dulce	Acido hidroclorídrico
Raspado de uña	Si	No	No	No

*\* Para confirmar si es PVC, toque la muestra con un alambre de cobre calentado al rojo e inserte el alambre en la llama. Una llama verde, debido a la presencia de cloruro confirma que es PVC. Fuente: Vogler. 1984*

**8.10.4. Recolección**

Es más fácil recaudar en el sector industrial porque existen cantidades apreciables de material y está menos contaminado. Además son mayormente del mismo tipo. Dependiendo de la calidad del plástico éste puede usarse dentro del mismo proceso de producción (reciclo interno) o puede venderse si hay demanda para él.

Las dos formas comunes de recolección de desechos municipales son:

(1) *recolección en el borde de la acera* – donde los consumidores colocan los plásticos en un recipiente especial, junto al borde de la acera, fuera de sus casas, para ser recogidos por un transportista público o privado;

(2) *depósitos centralizados* - donde los consumidores traen sus plásticos a puntos de recolección localizados centralmente. Como los programas de recolección se diseñan para satisfacer las necesidades locales, hay grandes variaciones en los métodos de recolección. Por ejemplo, a nivel casero, las comunidades pueden recolectar los plásticos mezclados con otros recipientes reciclables o separarlos en la propia fuente. Los programas de recolección también pueden promover tipos diferentes de contenedores, equipos y tamaño de los grupos de trabajo, así como variar la frecuencia de la recolección desde una vez de por semana mensualmente. Todo esto hace que los costos varíen, pero no obstante, está dictado por el nivel de preferencia del servicio social.

### 8.10.5. Almacenaje

Tiene que ser almacenada una cantidad suficiente

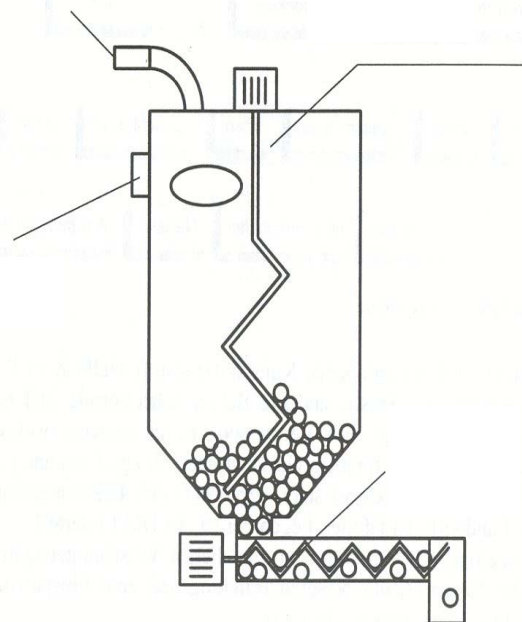
el flujo de masa requerido tiene que ser garantizado aun cuando haya una entrada discontinua (compensador)

el material debe homogenizarse (evitando la segregación)

debe considerarse el tiempo de retención adecuado

Para reducir el volumen, a menudo el plástico se prensa, pero la manera usual de almacenamiento es ponerlo en silos. Los problemas ocurren debido a las malas características de vertido, ya que con densidades de alrededor de  $50 \text{ kg/m}^3$  el material no sale sin ayuda. El material capilar también conduce a la formación de cargas estáticas, lo que resulta un gravamen para los trabajadores a causa del polvo.

Estos problemas pueden resolverse con un tornillo en el silo o una succión tangencial para evitar la dispersión del polvo como se ve en el gráfico.



El acopio húmedo también evita estos problemas y proporciona una etapa previa al proceso de lavado al mojarse el material contaminado. Una de las desventajas de este proceso es que puede perderse el mezclado debido a la diferencia de densidades, pero esto puede evitarse si el plástico se mezcla continuamente.

### 8.10.6. Técnicas de reducción de tamaño (U.K.; [www.itdg.org](http://www.itdg.org))

#### La reducción de tamaño es necesaria por varias razones:

reducir residuos grandes a tamaño manejable por máquinas pequeñas  
hacer más denso el material para su transporte y almacenamiento  
producir un producto conveniente para otros procesos posteriores

#### Normalmente hay varias técnicas usadas para la reducción de tamaño de los plásticos:

**El Corte** se lleva a cabo para la reducción del tamaño inicial de objetos grandes. Puede ejecutarse con tijeras, cizallas, sierras, etc.,

**Desmenuzar o hacer tiras** es conveniente para los pedazos más pequeños. Una desmenuzadora típica tiene una serie de cuchillas giratorias manejadas por un motor eléctrico, algún tipo de reja para graduar el tamaño y una caja de recolección. Los materiales se alimentan a la desfibradora a través de un depósito de alimentación que está situado sobre el rotor de la hoja y se obtiene un montón de hojuelas plásticas irregularmente formadas, toscas, listas para un posterior procesamiento.

**La aglomeración** es el proceso de pre-plastificación de plástico "suave", calentando, enfriando rápidamente para solidificar el material y cortándolo finalmente en pedazos pequeños. Normalmente esto se realiza en una sola maquinaria. El producto es un grano tosco, irregular, a menudo llamado migaja.

### 8.10.7. Limpieza

La contaminación puede llevar a cambios en la densidad del material, lo que puede causar problemas en los procesos de separación y clasificación. Podemos distinguir entre tres tipos de contaminación:

Mineral

Partículas flotantes

Materiales disueltos

#### El proceso de lavado puede separarse en tres pasos

##### Remojo

Debido a su lento desplazamiento, los transportadores de tornillo aseguran un movimiento continuo y consistente del plástico, y por consiguiente tiempos de retención constantes.

##### Escamado

La separación de las partículas plásticas contaminadas se logra por la circulación intensa en las lavadoras, donde se genera una velocidad relativamente alta entre el líquido de lavado y las partículas.

### **Precipitación de contaminantes**

Las plantas de lavado que se usan principalmente para minerales contaminados, donde se precipitan después por sedimentación. Con los métodos anteriormente expuestos es posible solubilizar la contaminación mineral o por grasas. Para un reciclaje de alta calidad, como para los nuevos productos con altos requisitos es necesario, sin embargo, quitar sustancias difusas (gasolina o aceite).

Estos tipos de contaminación no pueden limpiarse con los métodos usuales de remojo, escamado y precipitación. Por consiguiente un nuevo proceso de extracción fue desarrollado como la extracción y limpieza multietapa que se ejecuta con un medio de extracción orgánico como etanol o el acetato de etilo. Primero se disuelven los colores de impresión y se elimina la contaminación y otras partículas que migran desde las etiquetas, posteriormente se limpia el resto de los colores de impresión y se extrae cera, polímeros y sustancias de bajo peso molecular y finalmente las hojuelas se lavan y se elimina el solvente.

#### **8.10.8. Otras técnicas de proceso (U.K.; [www.itdg.org](http://www.itdg.org))**

**Extrusión y peletizado:** El proceso de extrusión se emplea para homogenizar el polímero recuperado y producir un material fácil de trabajar. Los pedazos de polímero recuperado se alimentan en el extrusor, se calientan para inducir el comportamiento plástico y pasan a través de un cabezal (vea la sección siguiente en las técnicas industriales) para formar un fideo plástico que puede enfriarse entonces en un baño de agua antes de ser peletizado. El proceso de peletización se usa para reducir el fideo a pellets que pueden usarse para la fabricación de nuevos productos.

#### **Técnicas de elaboración:**

**Extrusión.** El proceso de extrusión usado para fabricar nuevos productos es similar a lo perfilado antes para el proceso de peletización, sólo que el producto normalmente está en forma de un tubo 'continuo' de plástico como una tubería o manguera. Los componentes principales de la máquina de extrusión se muestran en las figuras siguientes. El plástico recuperado pasa a lo largo de un tubo calentado, mediante un tornillo sin fin, y el polímero plástico se conforma con el cabezal. El cabezal se diseña para dar las dimensiones requeridas al producto y puede ser intercambiado.

**Moldeo por inyección.** La primera fase de este proceso industrial es idéntica a la de extrusión, pero entonces el polímero plástico pasa a través de una boquilla hacia un molde. La cantidad de polímero que se alimenta se controla cuidadosamente, moviendo normalmente hacia adelante el tornillo en el tubo caliente. Se emplean una serie de moldes para permitir la producción continua, mientras toma lugar el enfriamiento. Vea las



figuras. Este tipo de técnica de producción se usa para producir los productos moldeados como los platos, los cuencos, los cubos, etc.

**Moldeo por soplado.** De nuevo el tornillo espiral fuerza el polímero plastificado a través de un dado. Un pedazo corto de tubo o preforma es colocado en un molde hendido - que es la forma final del producto - y se usa aire comprimido para extender la preforma hasta que llene el molde y lograr su forma definitiva. Esta técnica industrial se usa para fabricar recipientes cerrados como las botellas y otros.

**Soplado de película.** El soplado de película es un proceso para fabricar artículos tales como las bolsas de basura. Es un proceso técnicamente más complejo que los otros descritos y requiere la entrada de materia prima de alta calidad. El proceso involucra el soplado de aire comprimido por un tubo delgado a fin de extender el polímero al punto dónde se vuelve una película delgada. Se sella entonces un extremo y se forma la bolsa o saco. Láminas finas de plástico puede fabricarse también usando una variación del proceso descrito.

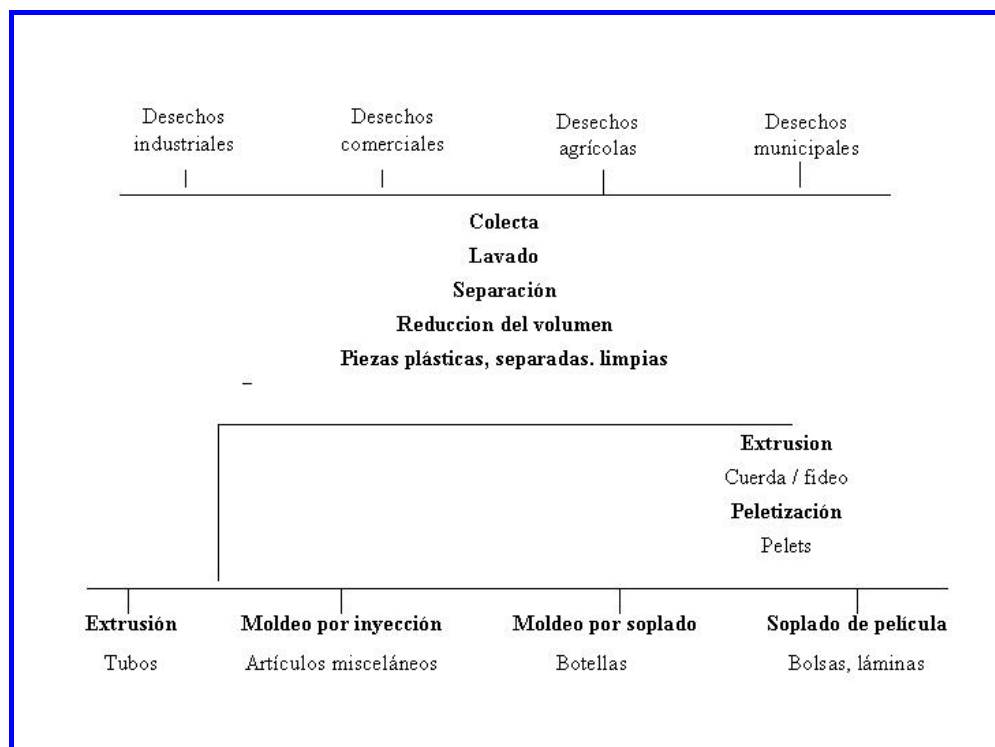
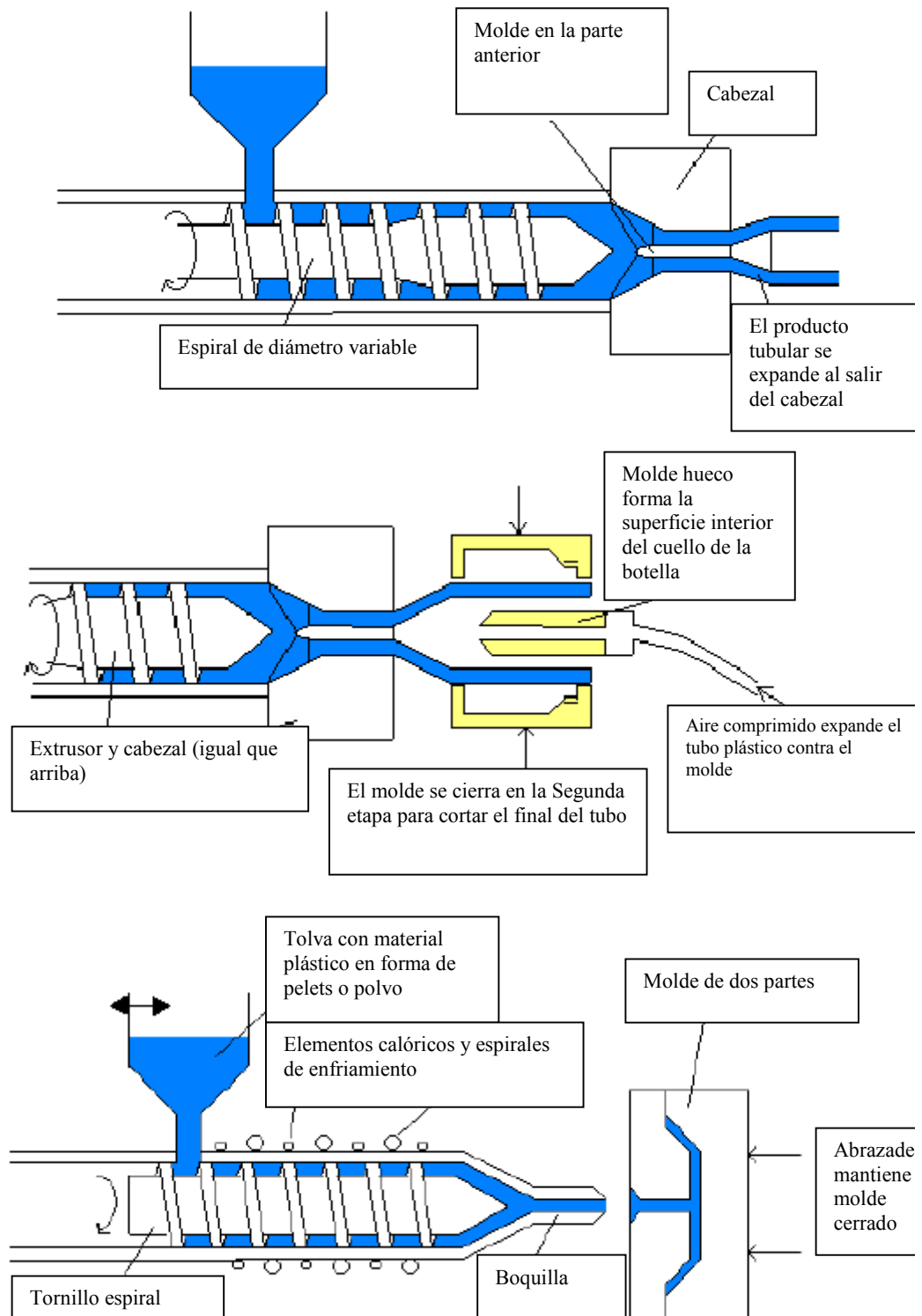


Diagrama de flujo típico del reprocesado de residuos plásticos en un país de bajos ingresos



Extrusión (arriba);  
 Moldeo por inyección (medio);  
 Moldeo por soplado (abajo);

### 8.10.9. Proceso mecánico de reciclado

El tipo más común de reciclaje de plásticos que se realiza en los Estados Unidos es el reciclado mecánico. El proceso se refiere al reciclado directo y conversión de los plásticos, desde los materiales desechados hasta pelets. Estos pelets reciclados son reincorporados en los procesos de producción de plástico para formar nuevos productos.

#### Pasos después de la recolección y antes de la recuperación

Las botellas de refresco y detergente y otros artículos caseros van al flujo de reciclaje cuando los consumidores ponen estos artículos en sus cajas de reciclado. Los plásticos, junto con otros reciclables van primero a una Planta de Recuperación de Materiales (PRM) donde se separan y clasifican manual o mecánicamente (vidrio & metales). Los plásticos mixtos se ordenan entonces por tipo, se embalan genéricamente y se envían a un recuperador. Esto puede ocurrir en la PRM o en una instalación intermediaria en la que sólo se clasifican plásticos.

El recuperador recibe las pacas del plástico específico que se procesa en sus instalaciones. La mayoría de los recicladores procesa PET claro y pigmentado o HDPE natural y pigmentado. Al entrar en el proceso de reciclaje, la máquina rompe las pacas comprimidas dejando un flujo de materiales reciclables sueltos.

El material plástico se mueve entonces por una criba vibratoria especializada que separa los pedazos pequeños de basura y suciedad y los conduce hacia el depósito de basura--constituyendo el primer paso de eliminación de contaminantes.

Los materiales plásticos reciclables pasan entonces a través de un proceso de lavado y molienda. Primero son cortados en pedazos pequeños donde libera etiquetas y otros adjuntos del recipiente y facilita el lavado. Se adiciona agua para ablandar y quitar contaminantes de las hojuelas plásticas recientemente formadas.

Las hojuelas se llevan a un sistema del lavado. Algunos sistemas utilizan agua caliente y un agente de limpieza. Otros sistemas usan agua a temperatura ambiente que se calienta por la acción mecánica del proceso del lavado. Aquí se eliminan residuos, suciedad y etiquetas.

Los plásticos mezclados y los contaminantes son separados empleando un tanque de flotación debido a las diferencias de densidades. Cuando se procesa HDPE, como es menos denso que el agua, flota. La suciedad y los plásticos más densos se hunden y de esta manera se eliminan. Para el PET ocurre lo contrario. El PET es más denso que el agua y se hunde, mientras los contaminantes menos densos flotan.

En la mayoría de las instalaciones de reciclaje de plásticos el agua de proceso se filtra para quitar los contaminantes y se reusa.

Las hojuelas separadas y limpias se secan entonces con un flujo de aire caliente. Para esto se usa un clasificador de aire para separar películas y etiquetas de las hojuelas plásticas. En este paso del proceso las hojuelas

caen en un flujo de aire donde las partículas mas ligeras son separadas de las mas pesadas.

La hojuela plástica se funde, se filtra, se transforma en pelets por medio del proceso de extrusión y se mezcla en grandes depósitos de alimentación para minimizar la variación de calidad del producto. Las hojuelas uniformes se alimentan en un extruder - un transportador del tornillo girando dentro de una tobera caliente, se funden y al final pasa a través de una criba de mallas muy fina, dónde son eliminadas las partículas contaminantes. La masa clara pasa a través de un plato taladrado con numerosos agujeros formando cuerdas como fideos. Cuando el plástico se enfría se corta rápidamente en pequeños pelets.

Los pelets se embalan y se envian a las plantas industriales. Los pellets reciclados son mezclados con resina vírgen o utilizados directamente en el proceso de elaboración. Los productos resultantes, conteniendo el plástico reciclado encuentran muchas aplicaciones satisfactorias.

#### **8.10.10 Referencias (seleccionadas, entre otras):**

##### **Internet:**

<http://www.plasticsresource.com/> Information on plastics and environment

<http://www.resource-recycling.com> Americas Recycling and Composting Journal

[www.itdg.org](http://www.itdg.org)

##### **Literature:**

Kunststoffrecycling; Grundlagen, Verfahren, Praxisbeispiele; L. Wolters, J.v. Marwick, K. Regel, V. Lackner, B. Schäfer; Carl Hanser Verlag München Wien, 1997

##### **Organisations and Companies**

<http://www.actarecycling.dk/> ACTA Recycling Denmark

<http://www.albis.com> ALBIS Germany

<http://www.hoffmann-voss.de/> Hoffmann-Voss Germany

<http://www.oekutec.de> ÖKUTEC the Engineering Cooperation for Ecological Plastics Technology

<http://www.zerma.com/> ZERMA Recycling & Granulator Technology

<http://www.be-ca.com>