



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

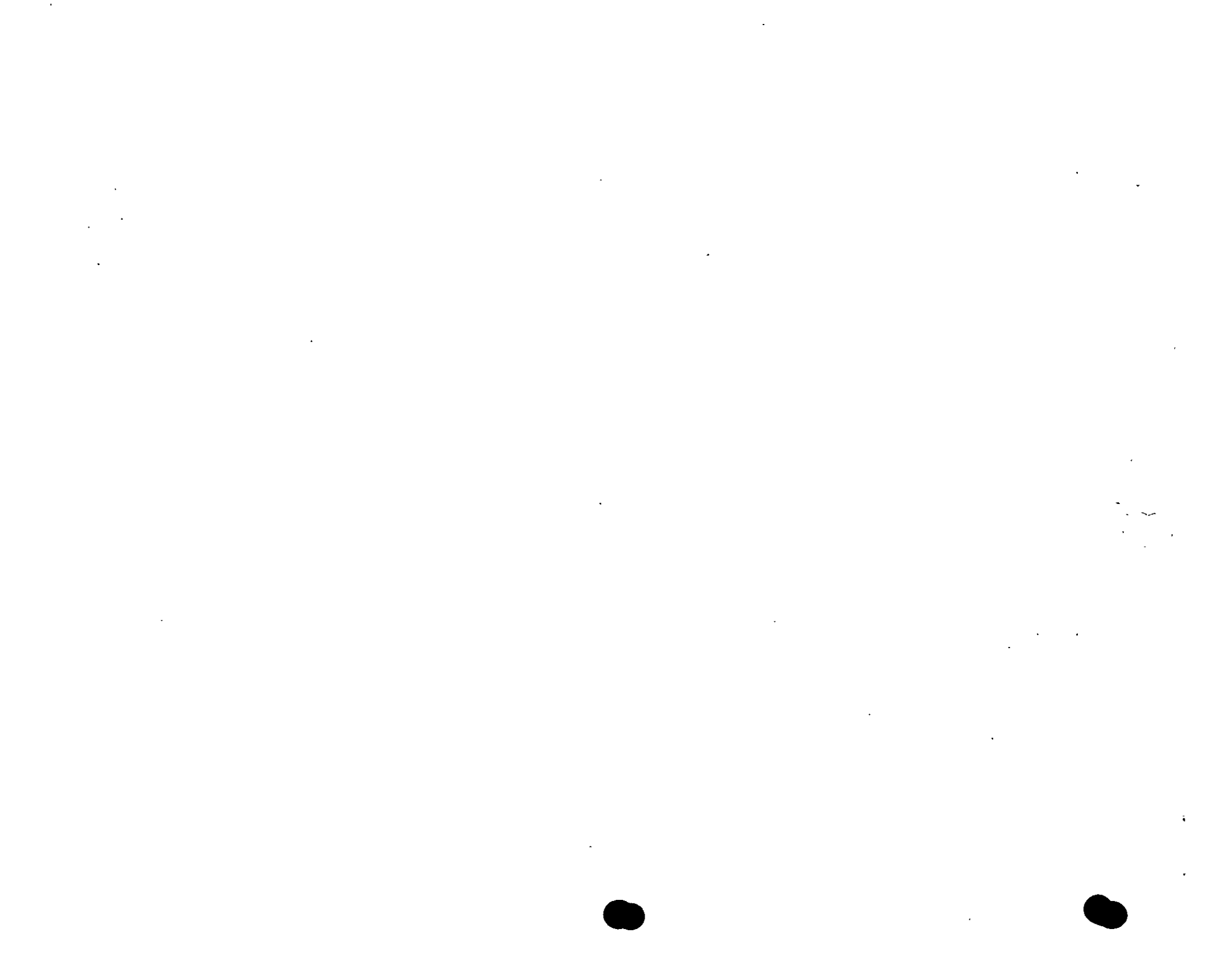
Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

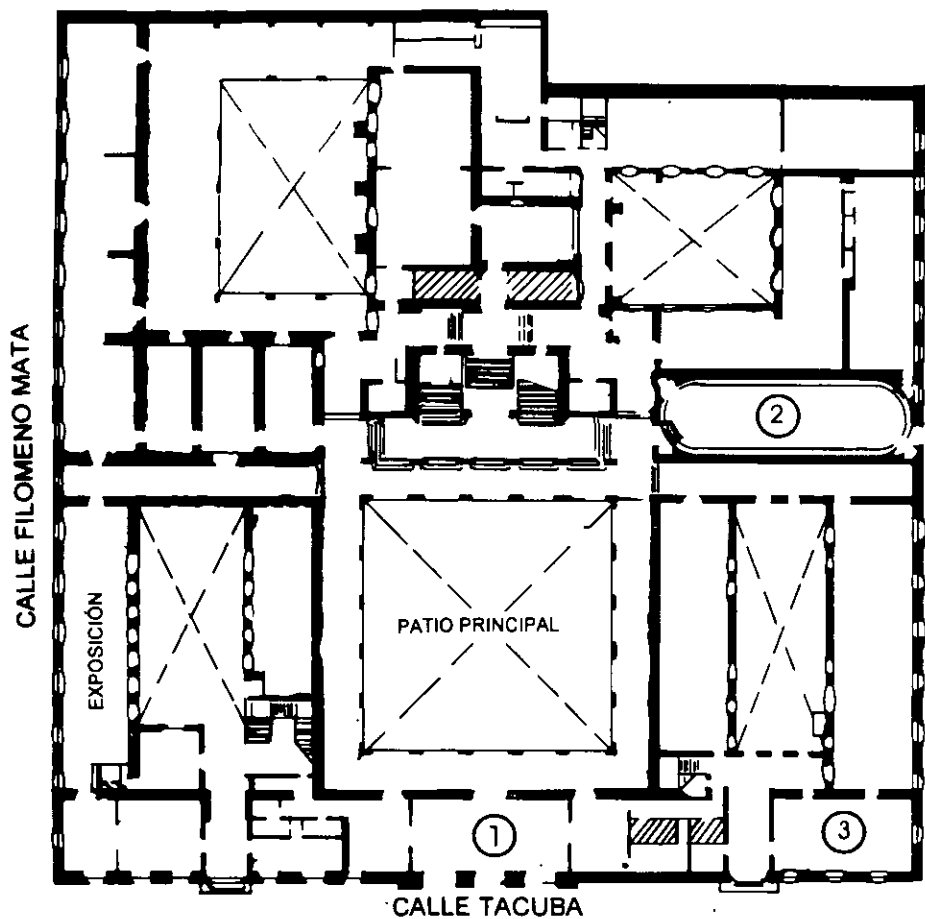
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

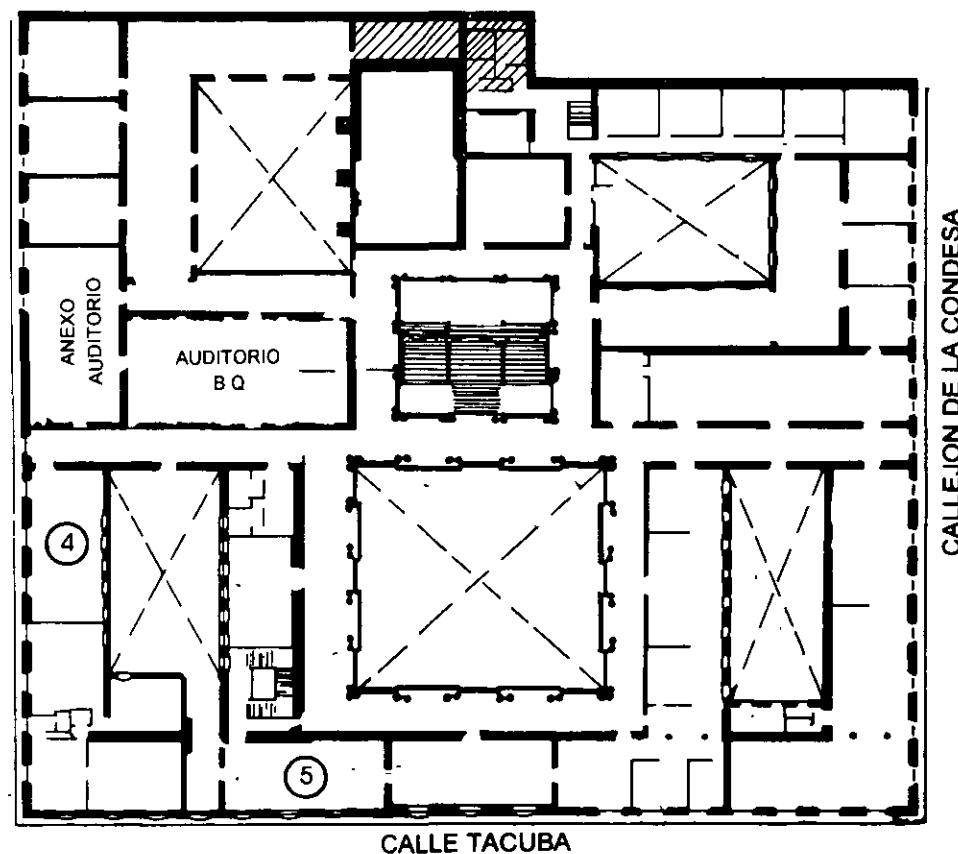
**Atentamente
División de Educación Continua.**



PALACIO DE MINERIA

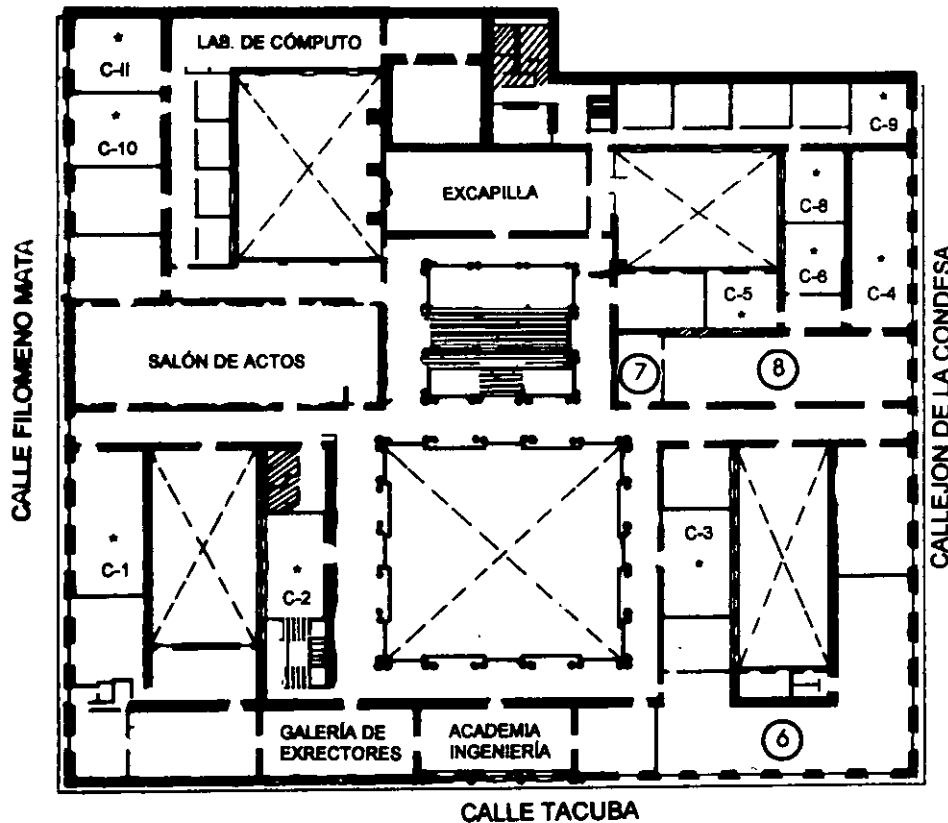


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

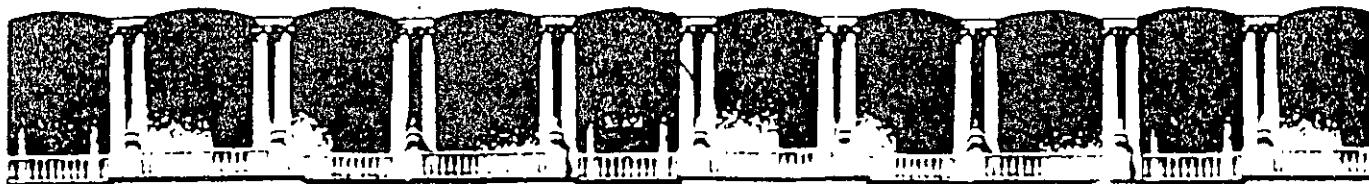
1er. PISO



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS URBANOS
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**

**APROVECHAMIENTO Y RECICLAJE DE
RESIDUOS SÓLIDOS.**

Del 17 al 21 de Julio del 2000.

APUNTES GENERALES

**Ing. Martiniano Aguilar Rodríguez
Gobierno del Distrito Federal
Julio/2000**

APROVECHAMIENTO Y RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

DEL 17 AL 21 JULIO

1.0 POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES

- 1.1 INTRODUCCIÓN
- 1.2 MATERIALES RECUPERADOS EN CENTROS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA Y EN CENTROS DE RECOMPRA
- 1.3 ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES
- 1.4 INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS UNITARIOS UTILIZADOS PARA LA SEPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MATERIALES RESIDUALES
- 1.5 INSTALACIONES PARA MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES RESIDUALES
- 1.6 DESARROLLO E IMPLANTACIÓN DE IRM

2.0 RECICLAJE DE MATERIALES ENCONTRADOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

- 2.1 CUESTIONES CLAVE PARA EL RECICLAJE DE MATERIALES
- 2.2 LATAS DE ALUMINIO
- 2.3 PAPEL Y CARTÓN
- 2.4 PLÁSTICOS
- 2.5 VIDRIO
- 2.6 METALES FÉRREOS (HIERRO Y ACERO)
- 2.7 METALES NO FÉRREOS
- 2.8 RESIDUOS DE JARDÍN RECOGIDOS SEPARADAMENTE
- 2.9 FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RSU
- 2.10 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN
- 2.11 MADERA
- 2.12 ACEITE RESIDUAL
- 2.13 NEUMÁTICOS USADOS
- 2.14 BATERÍAS ÁCIDAS DE PLOMO
- 2.15 PILAS DOMESTICAS
- 2.16 POSIBILIDADES FUTURAS DE RECICLAJE

ING. MARTINIANO AGUILAR RODRÍGUEZ

APROVECHAMIENTO Y RECICLAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

1.0 POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales separados de los RSU (Residuos Sólidos Urbanos), puede usarse directamente, como materia prima para la fabricación y reprocesamiento, como alimentación para la producción de compost y otros productos de conversión química y biológica, como fuente de combustible para la producción de energía, y para la recuperación de terreno. Las posibilidades de reutilización para materiales separados de los RSU se presentan en la Tabla 1.

Para valorar las posibilidades de reciclaje son críticas las opciones disponibles para la separación y procesamiento de materiales residuales, el costo de recuperación de materiales y las especificaciones de los materiales. Por ejemplo, aunque puede ser posible separar varios componentes, quizás sea difícil encontrar compradores para los materiales si no responden a las especificaciones de los compradores. En la Tabla 2 se presentan algunas especificaciones de materiales que pueden afectar a los componentes separados de los RSU.

TABLA 1. USOS PARA LOS MATERIALES QUE SON RECUPERADOS DE LOS RSU

USO / APLICACIÓN	OBSERVACIONES
Reutilización directa	<p>Muchos de los materiales separados de los RSU pueden reutilizarse directamente. Algunos ejemplos son: madera, palets de madera, barriles de 200 l, muebles, etc. Cuando sea posible, se debe propiciar la reutilización directa.</p>
Materias primas para fabricación de reprocesamiento.	<p>En la Tabla 2 se presentan algunas especificaciones típicas para ocho materiales diferentes derivados de los RSU. Los detalles específicos, como la pureza, la densidad del producto y las condiciones de transporte deben negociarse con cada comprador potencial. Cuando sea posible sería beneficioso desarrollar una gama de especificaciones y precios de productos. De esta forma, se pueden evaluar los costos de procesamiento para lograr un producto de mayor calidad y precio más alto en el mercado.</p>
Materia prima para la elaboración de productos por conversión biológica y química	<p>Muchas comunidades han elegido para cumplir los objetivos de desviación la producción de compost, que se puede vender directamente, regalar a los residentes, utilizar en propiedades municipales (cinturones verdes, medianas de carreteras, etc.), o utilizar como material de cubrición intermedia en los vertederos. Cada uno de estos usos requiere una calidad distinta de compost, especialmente respecto al tipo y cantidad de materiales contaminantes que pueden estar presentes (por ejemplo, plástico, trozos de metal, etc.). La producción de metano en reactores controlados, etanol y otros compuestos orgánicos requiere que los materiales que forman la fracción orgánica de los RSU sean separados de los RSU no seleccionados.</p>
Fuente de combustible	<p>Se puede obtener energía de los residuos urbanos de dos formas: 1) mediante la incineración de la fracción orgánica de los RSU y/o residuos de jardín y la recuperación de calor producido y 2) mediante la conversión de los residuos en algún tipo de combustible (aceite, gas, pelets, etc.) que se puede almacenar y utilizar localmente o transportándolo a mercados de energía lejanos. Las especificaciones para la producción de vapor normalmente no son tan restrictivas como lo son para la producción de combustible. Sin embargo, a medida que se mejoren las tecnologías de incineración y almacenamiento, las especificaciones para la utilización directa pueden llegar a ser más restrictivas. Hay que resaltar que en muchos estados el uso de materiales residuales como fuente de combustible no se considera una forma apropiada de desviación de residuos o de reciclaje.</p>
Restauración de terreno	<p>La aplicación de los residuos al terreno es una de las técnicas más antiguas y más utilizadas en la gestión de residuos sólidos. La tecnología de la evacuación en terreno se ha desarrollado hasta el punto de que las comunidades actualmente pueden plantear proyectos de restauración de terreno sin el temor de problemas sanitarios. Normalmente, la restauración de terreno se llevará a cabo con residuos de demolición limpios o procesados. La restauración de terreno con residuos no debería comenzarse antes de definir el uso final para el terreno.</p>

TABLA 2. ESPECIFICACIONES TÍPICAS DE MATERIALES QUE AFECTAN A LA SELECCIÓN Y AL DISEÑO DE LAS OPERACIONES DE PROCESAMIENTO DE LOS RSU

Categoría de reutilización y componentes de materiales	Contenidos típicos de las especificaciones
Reutilización directa	Tiene que ser utilizable para su función original o para una relacionada Grado de limpieza (por ejemplo, bicicletas, residuos de construcción y demolición).
Materias primas para la fabricación y reprocesamiento:	
Aluminio	Tamaño de partícula; grado de limpieza; contenido en humedad; densidad; cantidad, distancia de transporte y punto de entrega.
Papel y cartón	Fuente; calidad; sin revistas; sin adhesivos; contenido en humedad; cantidad, almacenamiento; punto de entrega.
Plásticos	Tipo (por ejemplo, PET/1, PE-HD/2, PVC/3, PE-LD/4, PP/5, PS/6, y multilaminado/7); grado de limpieza, contenido en humedad.
Vidrio	Cantidad de desperdicios de vidrios rotos; color, sin etiquetas o metal; grado de limpieza; libre de contaminación metálica; sin vidrios que no sean de recipientes; sin cerámica rota; cantidad, almacenamiento y punto de entrega.
Metales féreos	Fuente (doméstica, industrial, etc.); peso específico; grado de limpieza; libre de contaminación con estaño, aluminio y plomo; cantidad; medio de transporte y punto de entrega.
Metales no féreos	Varían según las necesidades y los mercados locales.
Goma (por ejemplo, neumáticos usados)	Normativos de recauchamiento, especificaciones para otros usos no bien definidos.
Textiles	Tipo de material; grado de limpieza.
Materia prima para productos de bioconversión	
Residuos de jardín	Composición del material, tamaños de partículas, distribución del tamaño de partícula, grado de contaminación.
Fracción orgánica de RSU	Composición del material, grado de contaminación.
Fuente de combustible	
Residuos de jardín	Composición, tamaño de partícula, contenido en humedad.
Fracción orgánica de RSU	Composición, contenido Kcal; contenido en humedad; límites de almacenamiento; cantidades firmes; venta y distribución de energía y/o productos secundarios.
Plásticos	Depende de la aplicación y del diseño del equipo de incineración
Papel residual	Su uso como combustible varía según las necesidades y los mercados locales.
Madera	Composición, grado de contaminación.
Neumáticos	Aprovechamiento energético; fábricas de pulpa y papel e instalaciones de fabricación de cemento que utilizan combustible de neumáticos.
Aceite residual	Depende de la aplicación y del diseño del equipo de incineración.
Restauración de terreno	
Residuos de construcción y demolición	Composición; grado de contaminación. Normativas locales y estatales; designación final del uso del terreno.

1.2 MATERIALES RECUPERADOS EN CENTROS DE RECOLECCIÓN SELECTIVA Y EN CENTROS DE RECOMPRA

Los materiales residuales que han sido separados en origen tienen que ser recolectados juntos, antes de poder ser reciclados. Los métodos principales utilizados actualmente para la recolección de estos materiales incluyen la recolección en acera utilizando vehículos de recolección especialmente diseñados y la entrega por residentes a centros de recolección selectiva y de recompra.

Centros de recolección selectiva

Un programa de recolección selectiva requiere que los residentes o negocios separen los materiales reciclables en origen y los lleven a un centro específico de recolección. Los centros de recolección selectiva varían desde puntos de recolección unimateriales (por ejemplo, contenedores <<iglu>> de fácil acceso, hasta centros de recolección multimateriales, con plantilla. Como los residentes y los comercios son los responsables no solamente de separar sus materiales reciclables sino también de llevarlos a un centro de recolección selectiva, la baja participación puede ser un problema para lograr los objetivos de desviación deseados con estos programas. Los centros de recolección selectiva también requieren que los residentes y comercios almacenen los materiales hasta que se hayan acumulado suficientes materiales como para justificar un viaje al centro de recolección selectiva. El almacenamiento de muchos tipos de materiales es un problema en áreas densamente pobladas, donde los residentes normalmente no tienen mucho espacio disponible para el almacenamiento.

Para motivar a la participación, los programas con más éxito han conseguido que los centros de recolección selectiva sean lo más convenientes posible. Por ejemplo, son comunes los puntos de recolección selectiva en centros comerciales y supermercados.

Centros de recompra

La recompra se refiere a un programa de recolección selectiva que proporciona un incentivo monetario para la participación. En este tipo de programa se paga a los residentes por sus reciclables, directamente (por ejemplo, precio por kg). Otros sistemas de incentivación incluyen concursos o loterías.

1.3 ALTERNATIVAS PARA LA SEPARACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES

La separación es una operación necesaria en la recuperación de materiales reutilizables y reciclables de los RSU. Se puede conseguir la separación en el punto de generación o en las IRM (Instalaciones de Recuperación de Materiales). Según los objetivos de separación se pueden desarrollar diversas IRM o IR/TM (Instalaciones de Recuperación/Transferencia de Materiales). Las posibilidades de reutilización y reciclaje y las alternativas disponibles para la separación de materiales afectarán al tipo de programa de gestión de residuos implantado por una comunidad.

Separación de residuos en el punto de generación

La separación de residuos en origen normalmente se consigue por medios manuales. El número y los tipos de componentes separados dependerán de los objetivos de desviación establecidos por el programa. Aunque los materiales residuales hayan sido separados en origen, probablemente se necesitará un procesamiento o separación adicional antes de poder reutilizar o reciclar estos materiales.

Separación de residuos en IRM e IR/TM

Las IRM y las IR/TM se utilizan para:

- El procesamiento adicional de residuos separados en origen obtenidos a partir de programas de recolección en acera y centros de recolección selectiva y de recompra sin instalaciones de procesamiento.

- La separación y recuperación de materiales reutilizables y reciclables de RSU no seleccionados.
- Mejoras en la calidad (especificaciones) de los materiales residuales recuperados.

En su planteamiento más sencillo, una IRM puede funcionar como una instalación centralizada para la separación, limpieza, embalaje y transporte de grandes volúmenes de materiales recuperados de los RSU.

Separación mecánica frente a manual. La separación de materiales residuales de los RSU puede conseguirse manualmente o mecánicamente. La separación manual se utiliza casi exclusivamente para la separación de residuos en el punto de generación. Muchas de las primeras IRM construidas en los años setenta fueron diseñadas para separar mecánicamente los componentes de los residuos. Desafortunadamente, ninguna de estas primeras instalaciones está funcionando en la actualidad, fundamentalmente por problemas mecánicos. La tendencia actual es diseñar las IRM basándose en la integración de ambas funciones de separación, manual y mecánica.

IRM para residuos separados en origen. Los tipos de materiales separados en origen que son separados adicionalmente en IRM pueden incluir papel y cartón, a partir de papel y cartón mezclados; aluminio, a partir de latas de hojalata y aluminio mezcladas; plásticos por calidades, a partir de plásticos mezclados; latas de aluminio, latas de hojalata, plásticos y vidrio, a partir de una mezcla de estos materiales; vidrio por color (blanco, ámbar y verde).

IRM para RSU no seleccionados. Se pueden separar todo tipo de componentes a partir de RSU no seleccionados. Normalmente se separan los residuos manualmente y mecánicamente. La sofisticación de la IRM dependerá de:

- El número y tipo de componentes que hay que separar

- Los objetivos de desviación establecidos por el programa de recuperación de residuos
- Las especificaciones a las que tienen que adecuarse los productos separados.

1.4 INTRODUCCIÓN A LOS PROCESOS UNITARIOS UTILIZADOS PARA LA SEPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MATERIALES RESIDUALES

En este apartado se presentan los procesos unitarios y las instalaciones utilizadas para la separación y procesamiento de materiales residuales en las IRM. Los procesos unitarios utilizados para la separación y procesamiento de residuos separados y no seleccionados son diseñados para:

- Modificar las características físicas de los residuos para que se puedan separar los componentes de residuos más fácilmente
- Separar del flujo de residuos componentes y contaminantes específicos
- Procesar y preparar los materiales separados para usos posteriores.

Los procesos unitarios más frecuentemente utilizados para el procesamiento de RSU se resumen en la Tabla 3.

Reducción en tamaño

Reducción en tamaño es el proceso unitario por el que se reduce mecánicamente el tamaño de los materiales residuales recolectados. Se utiliza el término trituración para describir las operaciones mecánicas de reducción en tamaño. El objetivo de la reducción en tamaño es obtener un producto final que sea razonablemente uniforme y considerablemente reducido en tamaño comparándolo con su forma original. Hay que resaltar que la reducción en tamaño no implica necesariamente una reducción en volumen. En algunas situaciones, el volumen total del material puede ser mayor que el volumen original después de la reducción en tamaño. El equipamiento de reducción en tamaño utilizado para el procesamiento de residuos incluye trituradoras, trituradoras para vidrio y trituradoras para madera.

TABLA 3. PROCESOS E INSTALACIONES UNITARIOS UTILIZADOS COMÚNMENTE PARA LA SEPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE RSU SEPARADOS Y NO SELECCIONADOS

Artículo	Función/material procesado	Reprocesamiento
Procesos Unitarios		
Trituración		
Molinos de martillos	Reducción en tamaño/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Molinos batidores	Reducción en tamaño, también utilizados como rompedores de bolsas/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Trituradora	Reducción en tamaño, también utilizada como rompedora de bosas/todos los tipos de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes
Trituradoras de vidrio	Reducción en tamaño, todo tipo de residuos	Separación de otros materiales
Trituradoras de madera	Reducción en tamaño/podas de jardín/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, separación de contaminantes.
Criba	Separación del material grueso y fino; trómel utilizado también como rompedor de bolsas/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes, grandes trozos de cartón
Ciclón separador	Separación del material combustible ligero del flujo de aire/residuos preparados	El material se separa del flujo de aire que contiene materiales combustibles ligeros
Separación por densidad (clasificación neumática)	Separación de materiales combustibles ligeros	Separación de artículos voluminosos grandes, grandes trozos de cartón, trituración de residuos
Separación magnética	Separación del metal férreo de residuos no seleccionados	Separación de artículos voluminosos grandes, grandes trozos de cartón, trituración de residuos
Compactación		
Embaladoras	Compactación en fardos/papel, cartón, plásticos, textiles, aluminio	Se utilizan embaladoras para los componentes separados
Prensas para latas	Compactación y aplanamiento/latas de aluminio y hojalata	Separación de artículos voluminosos grandes
Separación húmeda	Separación de vidrio y aluminio	Separación de artículos voluminosos grandes
Instalación de pesaje		
Básculas plataforma	Archivos de operación	
Básculas pequeñas	Archivos de operación	
Instalaciones de manipulación, traslado y almacenamiento		
Cintas transportadoras	Transporte de materiales/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes
Cintas transportadoras de selección	Separación manual de materiales residuales/RSU separados en origen y no seleccionados	Separación de artículos voluminosos grandes
Conductor de gusano (uso no bien establecido)	Transporte de materiales; también utilizado como rompedor de bolsas/todo tipo de residuos	Separación de artículos voluminosos grandes
Equipamiento móvil	Manipulación y traslado de materiales/todo tipo de residuos	
Instalaciones de almacenamiento	Almacenamiento de materiales/todo tipo de materiales recuperados	Densificación, trituración de vidrio, etc.

Trituradoras. Los tres tipos más comunes de las trituradoras utilizadas para reducir el tamaño de los RSU son: el molino de martillo, el molino batiente o trituradora y la trituradora cortante.

Trituradoras para vidrio. Las trituradoras para vidrio se utilizan para aplastar los envases y otros productos de vidrio que se encuentran en los RSU. A menudo se tritura el vidrio después de separarlo para reducir los costos de almacenamiento y transporte.

Trituradoras para madera. Normalmente la mayoría de las trituradoras para madera son astilladoras de madera, utilizadas para triturar grandes trozos de madera (por ejemplo, ramas grandes, palets rotos) en astillas, que se pueden usar como combustible, y en materia más fina que puede ser fermentada.

Cribación

Cribación es un proceso unitario utilizado para separar mezclas de materiales de tamaños distintos en dos o más fracciones de tamaño mediante una o más superficies de cribado. Se puede llevar a cabo un cribado seco o húmedo, el primero es el más común en los sistemas de procesamiento de residuos sólidos. Las aplicaciones principales de los aparatos de cribado en el procesamiento de RSU incluyen:

- Separación de materiales grandes
- Separación de materiales pequeños
- Separación de residuos en combustibles ligeros y combustibles pesado
- Recuperación de papel, plásticos y otros materiales ligeros a partir de vidrio y metal
- Separación de vidrio, arenisca y arena a partir de materiales combustibles
- Separación de rocas y otros escombros grandes a partir de tierra excavada en lugares de construcción, y
- Separación de materiales gruesos a partir de ceniza de incineración.

Los tipos de cribas más frecuentemente utilizados para la separación de materiales de residuos sólidos se ilustran en la figura 1.

Cribas vibratorias. Las cribas vibratorias (ver Fig. 1) se usan para separar materiales pequeños a partir de RSU separados en origen y no seleccionados, y para procesar residuos de construcción y demolición. Se pueden diseñar cribas vibratorias para que vibren de un lado a otro, verticalmente o longitudinalmente. Las cribas vibratorias utilizadas para la separación de RSU son inclinadas y utilizan un movimiento vertical. El movimiento vertical permite que el material que hay que separar esté en contacto con la criba cada vez en puntos distintos.

Cribas giratorias. El tipo más común de criba giratoria utilizada en el procesamiento de residuos es el trómel. Los trómeles (ver Fig. 1), también conocidos como cribas de tambor giratorio, se desarrollaron primero en Inglaterra en los años 20. Los trómeles se utilizan para separar materiales residuales en varias fracciones de tamaño.

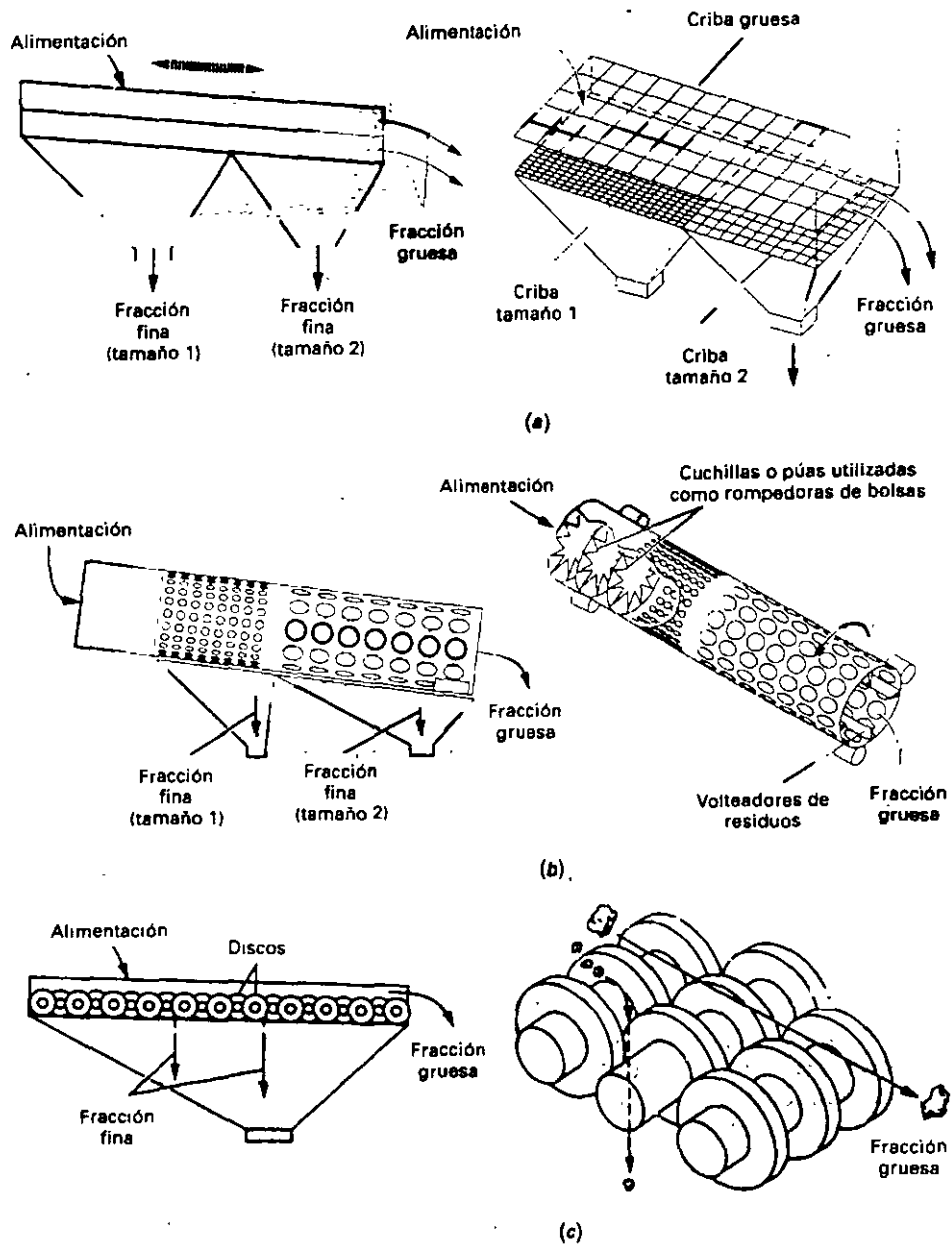


FIG. 1. CRIBAS TÍPICAS UTILIZADAS PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS:
 (a) criba vibratoria, (b) criba de tambor giratorio (trómel) y (c) criba de discos.

Cribas de disco. Las cribas de disco consisten en series de ejes horizontales paralelos equipados con discos entrelazados dentados (o en forma de estrella) (ver Fig. 1). La fracción ligera que hay que separar cae entre los espacios de los discos, y los materiales de la fracción gruesa corren por encima de los discos como en una cinta transportadora.

Separación por densidad (clasificación neumática)

Clasificación neumática es el proceso unitario utilizado para separar materiales ligeros, como papel y plástico, de materiales más pesados, como metal férreo, basándose en la diferencia de peso del material en una corriente de aire. Si se introducen materiales de pesos distintos en una corriente de aire que se mueve con suficiente velocidad, se llevará los materiales ligeros, mientras los materiales pesados caerán en sentido contracorriente. Se ha utilizado la clasificación neumática durante algunos años en operaciones industriales para la separación de diversos componentes a partir de mezclas secas.

En las IRM, se utiliza la clasificación neumática para separar el material orgánico –o como más frecuentemente se conoce fracción ligera- a partir de material inorgánico más pesado, llamado fracción pesada. La clasificación neumática también se ha utilizado para la separación de vidrios y plásticos no seleccionados. Un sistema completo de clasificación neumática está formado por un clasificador neumático y un ciclón separador, que se utiliza para separar los materiales sólidos de la corriente de aire. (ver Fig. 2) Como hay una corriente en contra de la trituración de los RSU no seleccionados, los sistemas de clasificación neumática del tipo mostrado en la figura 2 no se usan mucho actualmente. En instalaciones donde se utilizan uno o más trómeles, se usa un dispositivo conocido como stoner, que también implica el uso de aire para fluidizar los residuos que hay que separar, para separar la arenisca pesada del material orgánico en la fracción fina del trómel.

Separación magnética

Separación magnética es un proceso unitario mediante el cual se separan los metales férricos de otros materiales residuales utilizando sus propiedades magnéticas. Se utiliza la separación magnética para recuperar materiales férricos a partir de RSU separados en origen, no seleccionados, y triturados (ver figura 3). Frecuentemente se utiliza la separación magnética para separar latas de aluminio de latas de hojalata en residuos separados en origen donde los dos tipos de metales están mezclados. Usualmente se recuperan los metales férricos después de la trituración y antes de la clasificación neumática, o después de la trituración y la clasificación neumática. En algunas instalaciones grandes, se han utilizado sistemas magnéticos superiores para recuperar materiales férricos antes de la trituración.

Cuando se queman RSU no seleccionados en incineradoras, se utiliza la separación magnética para separar materiales férricos de los rechazos de incineración. Los sistemas de recuperación magnética también han sido utilizados en zonas de evacuación en vertedero. Los lugares específicos donde se recuperan los materiales férricos dependerán de los objetivos que haya que lograr, tales como reducción del desgaste sobre el equipamiento de procesamiento y separación, grado de pureza del producto que hay que conseguir, y eficacia de recuperación requerida.

Densificación

Densificación (también conocido como compactación) es un proceso unitario que incrementa la densidad de los materiales residuales para que se puedan almacenar y transportar más eficazmente y como un medio para preparar combustible derivado de residuos densificados (CDRd). Hay varias tecnologías disponibles para la densificación de residuos sólidos y materiales recuperados, incluyendo el embalaje, formación de balas y pelets.

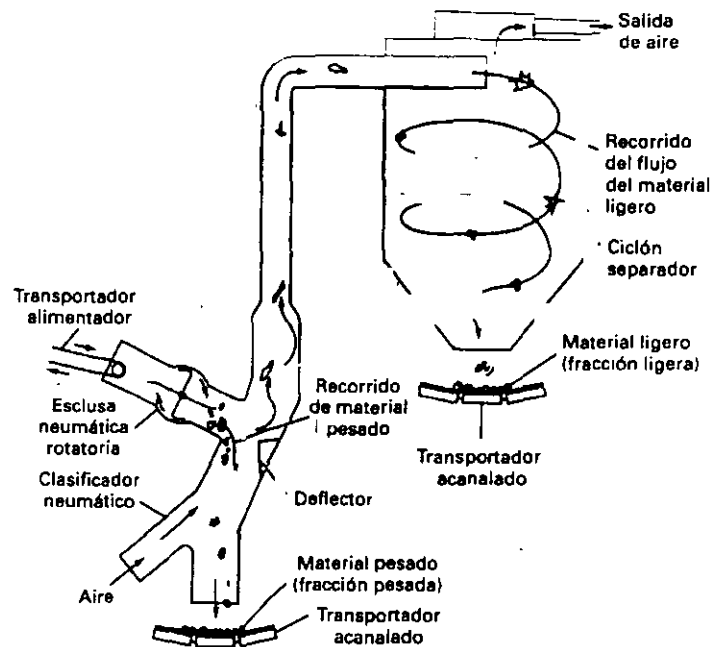
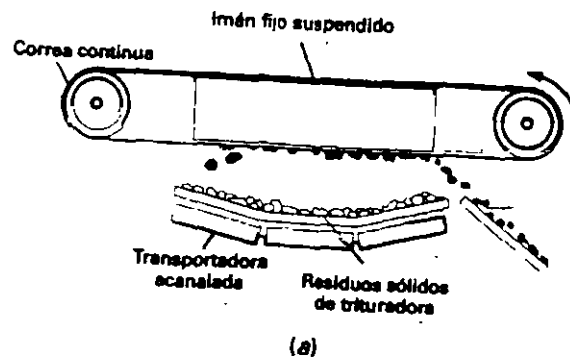


FIG. 2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN NEUMÁTICA TÍPICO UTILIZADO PARA SEPARAR RESIDUOS SÓLIDOS EN FRACCIONES LIGERAS Y PESADAS

Embaladoras. Las embaladoras reducen el volumen de los residuos para su almacenamiento, preparan los residuos para el mercado e incrementan la densidad de los residuos, reduciendo así los costos de transporte. Los materiales más frecuentemente embalados incluyen papel, cartón, plásticos, latas de hojalata y aluminio y componentes grandes de metal

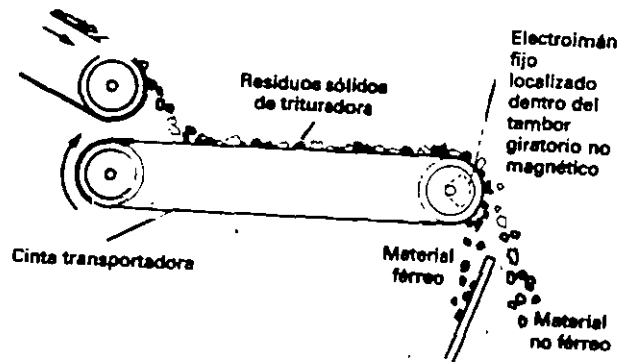
Prensas de latas. Se utilizan para aplastar latas de aluminio y hojalata, incrementando así su densidad y reduciendo los costos de manipulación y transporte. Normalmente las latas de aluminio son aplastadas y expulsadas mediante aire a grandes remolques para su transporte.



(a)



(b)



(c)

FIG. 3. SEPARADORES MAGNÉTICOS TÍPICOS: (a) ESQUEMA DE IMÁN SUPERIOR Y (b) VISTA DE IMÁN SUPERIOR COMERCIAL. LA UNIDAD MOSTRADA ESTÁ EQUIPADA CON UN CINTURÓN DE ACERO INOXIDABLE REFORZADO Y AUTOLIMPIABLE PARA APLICACIONES DURAS DE TRABAJO, COMO SON LOS RESIDUOS SÓLIDOS

1.5 INSTALACIONES PARA MANIPULACIÓN, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES RESIDUALES

Para manejar, mover y almacenar los materiales residuales en las IRMs, se utiliza lo siguiente: cintas transportadoras, instalaciones transportadoras conjuntamente con separación manual de residuos, transportadoras neumáticas, equipamiento móvil y fijo para la manipulación de residuos, básculas e instalaciones de almacenamiento.

Transportadoras

Las transportadoras trasladan los residuos de un lugar a otro. Los tipos principales de transportadoras utilizadas en la gestión de residuos sólidos se pueden clasificar como bisagra, articuladas, delantal, bandas, tornillos, vibradoras y neumáticas. Las que se utilizan más frecuentemente para la manipulación de residuos sólidos son las transportadoras de bandas, equipos con listones transversales para arrastrar el material (ver figura 4 a, b, c).

El transporte de residuos sólidos no seleccionados y sin procesamiento con cintas transportadoras no está ausente de problemas. Las cintas se dañan por la caída de residuos sólidos sobre ellas, especialmente los que contienen componentes pesados que a menudo se encuentran en los residuos urbanos. También hay problemas en los puntos de transferencia (por ejemplo, cuando se descargan los residuos desde una transportadora a otra o a otra instalación de procesamiento). Se enganchan en el equipamiento cuerdas y cables de los residuos, y la caída y desbordamientos de residuos son comunes. El retorcimiento y atascamiento de los sistemas transportadores también ha sido un problema.

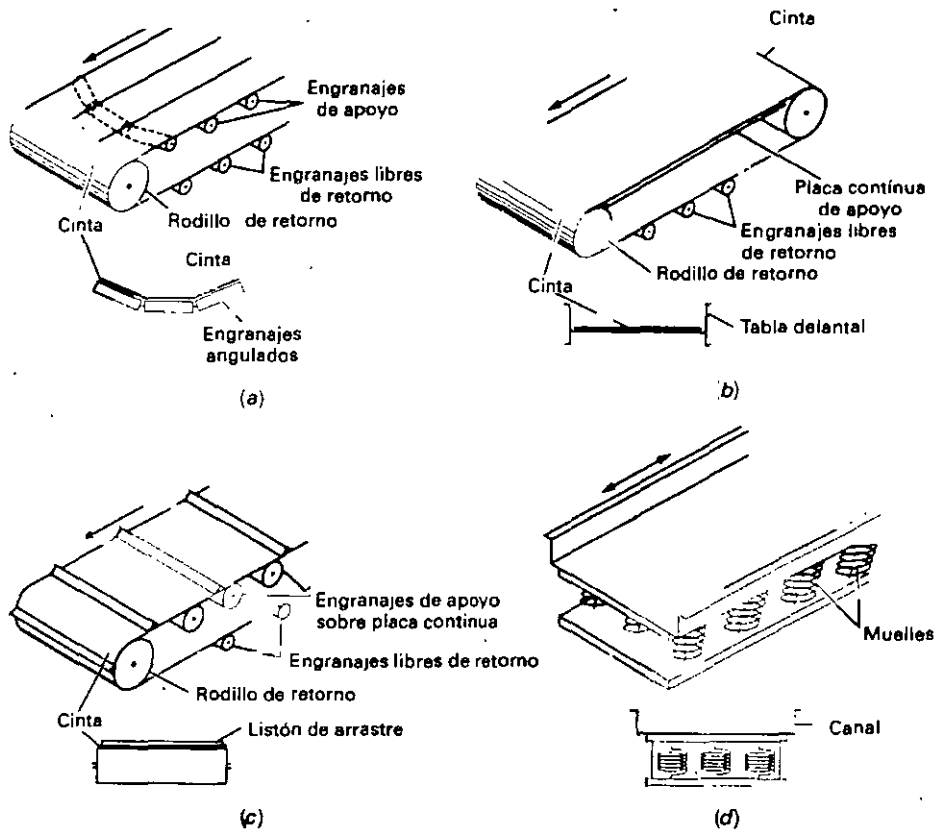


FIG. 4 CINTAS TRANSPORTADORAS UTILIZADAS PARA TRANSPORTAR RESIDUOS SÓLIDOS: (a) CINTA CÓNCAVA SOBRE ENGRANAJES ANGULADOS; (b) CINTA PLANA SOBRE PLACA CONTINUA, (c) CINTA TRANSPORTADORA DE ARRASTRE SOBRE ENGRANAJES, Y (d) CINTA TRANSPORTADORA VIBRATORIA.

Instalaciones transportadoras utilizadas conjuntamente con selección manual de residuos

La separación manual de residuos en una IRM normalmente se lleva a cabo seleccionando los componentes individuales de residuos mientras pasa el flujo de residuos sobre una cinta transportadora sin fin. La mayoría de las instalaciones utilizadas para la separación de componentes de residuos están elevadas para que se puedan dejar caer los componentes separados a través de conductos que llevarán el material a contenedores localizados debajo de los mismos. Para mejorar la separación de componentes de residuos a partir de RSU no seleccionados, hay que romper las bolsas de plástico utilizadas para el almacenamiento in situ de residuos, y sus contenidos han de ser esparcidos sobre la cinta.

El diseño de instalaciones para seleccionar componentes de residuos en gran parte depende de las características de los residuos, del número de artículos reciclables no seleccionados que hay que separar, y de la capacidad de rendimiento de la instalación. Los factores críticos en el diseño de una instalación de selección son: la anchura de la cinta; la velocidad de la cinta y el espesor medio de los materiales residuales sobre la cinta (a menudo llamado profundidad media de carga). La anchura máxima de la cinta donde se va a llevar a cabo la separación desde ambos lados de la cinta es aproximadamente de 1,25 m. Las velocidades de cinta varían de 5 a 30 m/min, según el material que hay que seleccionar y el grado de preselección llevado a cabo. Es interesante resaltar que a principios de siglo se utilizaba una velocidad de cinta de 20 m/min en las instalaciones de selección. Para una selección eficaz el espesor medio de los materiales residuales sobre la cinta es aproximadamente de 15 cm. En la Tabla 4 se presentan datos sobre la cantidad de residuos que pueden ser seleccionados por trabajador.

TABLA 4. TASAS DE SELECCIÓN DE MATERIALES NO SELECCIONADOS A PARTIR DE CINTAS MÓVILES

Residuos seleccionados, t/persona * hora			
Tipo de material	Rango	Típico	Observaciones
RSU no seleccionados			
Domésticos y comerciales	0,3-4	2,5	Relativamente baja eficacia de recuperación por tonelada de alimentación en las tasas de selección más altas
Comerciales	0,4-6	3,0	
Materiales no seleccionados separados en origen			
Papel mezclado	0,5-4	2,5	
Papel y cartón	0,5-3	1,5	Dos productos
Plásticos mezclados	0,1-0,4	0,2	PET y PE-HD
Vidrio y plástico mezclado	0,2-0,6	0,5	Dos productos: vidrio mezclado y plástico mezclado
Vidrio	0,2-0,8	0,4	Blanco, verde, ámbar
Plásticos, vidrios, latas de hojalata y aluminio	0,1-0,5	0,3	Cuatro productos

Transportadoras neumáticas

El transporte neumático se puede definir como el transporte de materiales utilizando el aire como medio de transporte. Dos tipos de sistemas de transporte neumático (presión positiva y vacío) se ilustran en la figura 5. Las transportadoras neumáticas ofrecen una considerable flexibilidad de diseño porque se puede trazar la tubería como sea preciso. Como se ha resaltado en la exposición acerca de la clasificación neumática, si se introducen materiales ligeros en una corriente de aire que se mueve con suficiente velocidad, se irán con el aire. Se han transportado neumáticamente materiales triturados tales como papel de periódico, plástico o combustibles derivado de residuos, así como otros materiales ligeros, por ejemplo latas de aluminio prensadas. Las velocidades de aire necesarias para el transporte neumático de residuos sólidos no procesados varían entre 24 y 30 m/s.

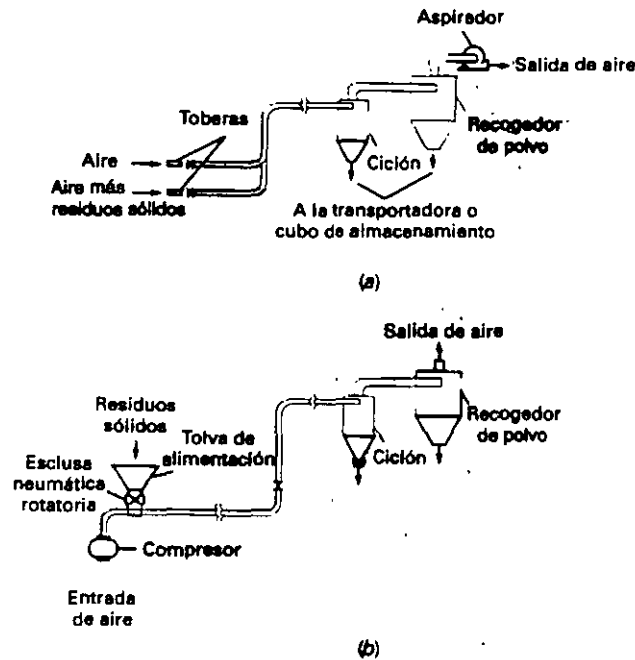


FIG. 5 SISTEMAS DE TRANSPORTE NEUMÁTICO: (a) AL VACÍO Y (b) DE PRESIÓN POSITIVA.

Equipamiento móvil para la manipulación de residuos

El uso de palas frontales y elevadoras para mover materiales es general en la operación de las IRMs. Por ejemplo, en una aplicación típica, los RSU no seleccionados descargados por los vehículos de recolección sobre el suelo de recepción de una IRM son, entonces, cargados o empujados con una pala frontal a una cinta transportadora para su procesamiento adicional.

Instalaciones de pesaje

Las instalaciones de pesaje son una parte importante de cualquier IRM. Se utilizan básculas de varios tipos para pesar las cantidades de residuos entregados, recuperados, vendidos y evacuados. Los tipos de instalaciones de pesaje utilizadas en las IRMs varían desde básculas pequeñas utilizadas para pesar las cantidades de residuos llevados por particulares hasta básculas de plataforma utilizadas para pesar vehículos de recolección.

Instalaciones de almacenamiento

Los materiales que han sido separados y procesados tienen que ser almacenados hasta que un comprador los recoja. En algunas instalaciones, se proporciona espacio para mostrar los materiales a los compradores, normalmente semanal o mensualmente. La cantidad de espacio para el almacenamiento proporcionado en la IRM es establecido por el operador del sistema IRM en coordinación con los compradores de materiales. Las consideraciones clave son éstas:

- ¿Proporcionará el comprador contenedores de almacenamiento para materiales recuperados?
- ¿Con qué frecuencia recogerá y llevará el comprador los materiales preparados de la IRM?
- ¿Se pueden alquilar instalaciones temporales de almacenamiento para materiales procesados lejos de la IRM?

- ¿Qué instalaciones de apoyo existen en la comunidad que se puedan utilizar para almacenar materiales residuales cuando no hay espacio disponible en la IRM?

Aunque el tamaño de cada IRM tiene que ser considerado para el almacenamiento de residuos de acuerdo con un criterio individual para un lugar específico, es prudente proporcionar suficiente capacidad de almacenamiento como para guardar materiales procesados durante uno o tres meses.

1.6 DESARROLLO E IMPLANTACIÓN DE IRM

La separación y procesamiento adicional de residuos que ya han sido separados en origen, así como la separación de residuos no seleccionados normalmente se produce en instalaciones para la recuperación de materiales (IRM), o en grandes instalaciones integradas de transferencia/recuperación de materiales (IT/RM). El desarrollo e implantación de una IRM o IT/RM requiere que se preste una correcta atención a criterios ingenieriles y a cuestiones de implantación no ingenieriles. Una introducción a las consideraciones ingenieriles implicadas en la implantación de IRM, algunos ejemplos típicos de IRM, criterios de planeación y diseño, y cuestiones no ingenieriles de implantación se argumenta en esta sección.

Criterios de ingeniería

Los criterios de ingeniería que hay que tener en cuenta en la implantación de IRM incluyen:

- Definición de las funciones de la IRM
- Selección de los materiales que serán separados (ahora y en el futuro)
- Identificación de las especificaciones materiales que hay que cumplir actualmente y en el futuro
- Desarrollo de diagramas de flujo del proceso de separación
- Determinación de capacidad del proceso

- Trazado y diseño de instalaciones físicas
- Elección del equipamiento e instalaciones que serán utilizados
- Controles ambientales, y
- Consideraciones de estética
- La adaptabilidad de la instalación a cambios potenciales en las características o cantidades de residuos tiene que ser valorada cuidadosamente.

Funciones de una IRM y materiales que serán separados. Las funciones de una IRM dependen directamente de:

- El papel que la IRM va a jugar en el sistema de gestión de residuos
- Los tipos de materiales que serán recuperados.
- La forma en que los materiales que hay que recuperar serán entregados a la IRM, y
- La puesta en contenedor y almacenamiento de materiales procesados para el comprador. Por ejemplo, el proceso e instalaciones para separar latas de aluminio de latas de hojalata serán significativamente diferentes a los de separar latas de aluminio y hojalata de RSU no seleccionados.

IRM para materiales separados en origen. Los tipos de materiales que normalmente son procesados en IRM para residuos separados en origen se resumen en la columna de la Tabla 5. Las funciones que se deben llevar a cabo en las IRM para procesar materiales separados en origen se identifican en la columna 2 de la Tabla 5. La combinación individual de los materiales que serán separados dependerá de la naturaleza del programa de separación en origen que se adopte por la comunidad. Por ejemplo, un programa típico de separación en origen puede implicar el uso de tres contenedores individuales para materiales reciclables conjuntamente con uno o más contenedores adicionales para otros residuos, siendo los residuos de jardín recogidos separadamente. Los materiales separados serían los siguientes:

Contenedor para reciclaje 1	Papel mezclado (el cartón a menudo se coloca al lado)
Contenedor para reciclaje 2	Plásticos mezclados y vidrio
Contenedor para reciclaje 3	Latas mezcladas de hojalata y aluminio
Residuos de jardín	Recogidos separadamente

Con esta mezcla de materiales separados en origen, se necesitarán cuatro líneas individuales de procesamiento para separar y/o procesar los componentes individuales. Se podría hacer el procesamiento de los residuos de jardín en otra instalación o en una gran IRM integrada.

IRM para RSU no seleccionados. Para RSU no seleccionados, los materiales que serán separados o las necesidades funcionales y de equipamiento dependerán directamente del papel que va a desarrollar en el sistema de gestión de residuos (ver Tabla 6). Se puede utilizar una IRM para recuperar materiales de RSU no seleccionados con el fin de cumplir con los objetivos de desviación. Se puede utilizar una IRM para separar y procesar materiales separados en origen, y al mismo tiempo para la separación de materiales a partir de RSU no seleccionados con el fin de cumplir con los objetivos de desviación obligatorios. Otro uso común de una IRM para RSU no seleccionados es separar los contaminantes de los residuos y preparar los residuos para usos siguientes, como, por ejemplo, combustible para incineradoras o alimentación para compostaje. La separación de contaminantes de los materiales residuales también se conoce como selección negativa. Otra IRM se puede utilizar para recuperar solamente los artículos de alto valor, procesando los residuos restantes para producir compost utilizable como cobertura intermedia de vertederos. Claramente son posibles unas variaciones infinitas de IRM. Los tipos de materiales y/o contaminantes separados y las actividades asociadas que se llevan a cabo en los diferentes tipos de IRMs anteriormente identificadas también se resumen en la Tabla 6.

Desarrollo de diagramas de flujo del proceso de separación. Una vez tomada una decisión sobre cómo se van a recuperar los materiales reciclables de los RSU (por ejemplo, separación en origen o separación a partir de RSU no seleccionados),

hay que desarrollar diagramas de flujo para la separación de los materiales deseados y para procesar materiales sujetos a especificaciones predeterminadas. Un diagrama de flujo de proceso para una IRM se define como el ensamblaje de procesos unitarios, instalaciones y operaciones manuales para lograr una meta o metas específicas de separación de residuos. Los siguientes factores deben ser considerados en el desarrollo de diagramas de flujo de proceso:

- Identificación de las características de los materiales residuales que serán procesados
- Consideración de las especificaciones para los materiales recuperados actualmente y en el futuro
- Tipos de equipamiento e instalaciones disponibles.

Balance de masas y capacidad. Una vez desarrollado el diagrama de flujo de proceso, el siguiente paso en el diseño de la IRM es estimar las cantidades de materiales que han sido recuperados y las capacidades apropiadas para el diseño. Las capacidades esperadas del proceso deben conocerse para seleccionar y determinar correctamente el tamaño del equipamiento. Las capacidades para un proceso dado se basan en un balance de masas para el proceso anterior.

Las capacidades para la mayoría de los procesos se expresan en toneladas por hora. Para determinar las capacidades en el diseño, se debería hacer un análisis cuidadoso para determinar el número real de horas por día y año en que será utilizado el equipamiento. Basándose en 1.820 horas de operación por año, la capacidad horaria se da a través de la siguiente expresión:

$$t/h = \frac{\text{Número t/año (o t/d)}}{1.820 \text{ h/año (u h/d) de proceso}} \quad (9.1)$$

Normalmente se supone que el proceso de separación en la IRM será operacional durante siete horas diarias, cuando se utiliza una jornada nominal de ocho horas.

TABLA 5. EJEMPLOS TÍPICOS DE LOS REQUISITOS EN MATERIALES, FUNCIONES Y EQUIPAMIENTOS E INSTALACIONES DE IRM UTILIZADAS

Materiales	Función / operación	Necesidades de equipamiento e instalaciones
Papel mezclado y cartón/1	Separación manual de papel y cartón de alto valor o de contaminantes a partir de tipos de papel no seleccionados. Embalaje de plásticos para transporte. Almacenamiento de los materiales separados	Pala frontal, transportadoras, embaladoras, elevadora
Papel y cartón mezclado/2	Separación manual de papel y cartón mezclado. Embalaje de materiales para el transporte	Pala frontal, transportadoras, estación de selección abierta, embaladora, elevadora
Papel y cartón mezclado/3	Separación manual de periódicos viejos, cartón ondulado viejo y de papel mezclado a partir de una mezcla no seleccionada. Embalaje de materiales separados para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados.	Pala frontal, transportadoras, estación cerrada de selección, embaladora, elevadora.
Plásticos PET y PE-HD	Separación manual de PET y PE-HD a partir de plásticos no seleccionados. Embalaje de los materiales separados para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados	Tolva de recepción, transportadora de selección, cajas de almacenamiento, embaladora, elevadora
Plásticos mezclados	Separación manual de PET, PE-HD y de otros plásticos a partir de plásticos mezclados no seleccionados. Embalaje de plásticos para el transporte. Almacenamiento de materiales separados.	Tolva de recepción, transportadora de selección, cajas de almacenamiento, embaladora, elevadora
Plásticos y vidrios mezclados	Separación manual de PET, PE-HD y vidrio por color a partir de una mezcla no seleccionada. Embalaje de plásticos para el transporte. Almacenamiento de los materiales separados.	Tolva de recepción, transportadora de selección, cajas de almacenamiento, embaladora, elevadora, trituradora de vidrio.
Vidrio mezclado	Separación manual de vidrio blanco, verde y ámbar. Almacenamiento de materiales separados	Tolva de recepción, transportadora de selección, trituradora de vidrio, cajas de almacenamiento, embaladora, elevadora
Lastas de aluminio y hojalata	Separación magnética de latas de hojalata a partir de una mezcla no seleccionada de latas de aluminio y hojalata. Embalaje de materiales para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados.	Tolva de recepción, transportadora, imán superior suspendido, imán de polea, contenedores de almacenamiento, embaladora o prensa de latas y sistema neumático transportador elevadora.
Plástico, vidrio, latas y hojalata	Separación manual o neumática de PET, PE-HD y otros plásticos. Separación manual de vidrio por color. Separación magnética de latas de hojalata a partir una mezcla no seleccionada de latas de aluminio y hojalata. Embalaje de plástico, latas de aluminio y de hojalata, trituración de vidrio, transporte. Almacenamiento de materiales embalados y triturados.	Tolva de recepción, transportadora de aluminio seleccionado, imán superior suspendido, polea de imán, trituradora de vidrio, contenedores de almacenamiento, embaladora o trituradora de vidrio, sistema transportador neumático, elevadora.

(Continuación)

Materiales	Función / operación	Necesidades de equipamiento e instalaciones
Residuos de jardín/1	Separación manual de bolsas de plástico y de otros contaminantes a partir de residuos de jardín no seleccionados, trituración de residuos de jardín limpios, separación por tamaño de residuos que han sido triturados, almacenamiento de residuos grandes para el transporte a una instalación de biomasa, compostaje del material fino.	Pala frontal, cuba trituradora, transportadoras de materiales, trómel o criba de discos, contenedores de almacenamiento, máquina para voltear compost
Residuos de jardín/2	Separación manual de bolsas de plástico y de otros contaminantes a partir de residuos de jardín no seleccionados, seguida de trituración y separación por tamaño para producir paja de paisajismo. Almacenamiento de mulch y compostaje de materiales finos	Pala frontal, cuba trituradora, transportadoras, trómel o criba de discos, contenedores de almacenamiento, máquina para voltear compost.
Residuos de jardín/3	Trituración de residuos de jardín para producir un combustible de biomasa. Almacenamiento del material de suelo.	Pala frontal, cuba trituradora, transportadoras, contenedores de almacenamiento o remolques de transporte

TABLA 6. EJEMPLOS DE LAS FUNCIONES, MATERIALES RECUPERADOS O CONTAMINANTES SEPARADOS, Y DE LAS ACTIVIDADES ASOCIADAS CON IRM UTILIZADAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RSU NO SELECCIONADOS

Función de IRM	Materiales recuperados o contaminantes separados	Actividades
Recuperación de materiales reciclables para cumplir los objetivos de desviación obligatorios de primera etapa (25 por 100)	Artículos voluminosos, cartón, papel, plásticos (PET, PE-HD, otros plásticos mezclados), vidrio (blanco y mezclado), latas de aluminio y de hojalata, otros materiales féreos	Separación manual de artículos voluminosos, cartón, plásticos, vidrio por color, latas de aluminio, artículos féreos grandes. Separación magnética de latas de hojalata y de otros materiales féreos no separados manualmente. Embalaje de materiales separados para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados.
Recuperación de materiales reciclables y procesamiento adicional de materiales separados en origen para cumplir los objetivos de desviación de segunda etapa (50 por 100)	Artículos voluminosos, cartón, papel, plásticos (PET, PE-HD, otros plásticos mezclados), vidrio (blanco y mezclado), latas de aluminio y de hojalata, otros materiales féreos. Separación adicional de materiales separados en origen incluyendo papel, cartón, plástico (PET, PE-HD, otros), vidrio (blanco y mezclado), latas de aluminio y de hojalata.	Separación manual de artículos voluminosos, cartón, plásticos, vidrio por color, latas de aluminio, artículos féreos grandes. Separación magnética de latas de hojalata y de otros materiales féreos no separados manualmente. Embalaje de materiales separados para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados.
Preparación de RSU para utilizarlos como combustible.	Artículos voluminosos, cartón (según el valor del mercado), vidrio (blanco y mezclado), latas de aluminio y de hojalata, otros materiales féreos.	Separación manual de artículos voluminosos, cartón y artículos féreos grandes. Separación mecánica de vidrio, latas de aluminio. Separación magnética de latas de hojalata y de otros materiales féreos no separados manualmente. Preparación de combustible. Almacenamiento de combustible. Embalaje de cartón para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados.
Preparación de RSU para utilizarlos como alimentación para el compostaje.	Artículos voluminosos, cartón (según su valor en el mercado), plásticos (PET, PE-HD, otros plásticos mezclados), vidrio (blanco y mezclado), latas de aluminio y de hojalata, otros materiales féreos	Separación manual de artículos voluminosos, cartón, plásticos, vidrio por color, latas de aluminio, artículos féreos grandes. Separación magnética de latas de hojalata y de otros materiales féreos no separados manualmente. Embalaje de materiales separados para el transporte. Almacenamiento de materiales embalados. Almacenamiento de alimentación de compost.
Recuperación selectiva de materiales reciclables.	Artículos voluminosos, papel de oficina, guías telefónicas viejas, latas de aluminio, PET y materiales féreos. Otros materiales según los mercados locales.	Separación manual de artículos voluminosos, cartón. Separación manual de materiales seleccionados según las demandas del mercado. Instalaciones de embalaje, prensas de latas, y otros equipamientos según los materiales que se van a separar

2.0 RECICLAJE DE MATERIALES ENCONTRADOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

El reciclaje de los materiales encontrados en los RSU implica:

- La recuperación de materiales del flujo de residuos
- El procesamiento intermedio, como puede ser la selección y la compactación
- El transporte
- El procesamiento final, para proporcionar materia prima para los fabricantes o bien un producto final.

Las principales ventajas del reciclaje son la conservación de los recursos naturales y del espacio del vertedero; sin embargo, la recolección y el transporte de materiales requiere unas cantidades sustanciales de energía y de mano de obra, e históricamente, la mayoría de los programas de reciclaje han tenido y tiene subvenciones económicas. Los requisitos para el éxito de un programa son:

- La existencia de una fuerte demanda para los materiales recuperados y
- Un valor de mercado para los materiales que sea suficiente como para cubrir los costos de energía y transporte.

El propósito de este capítulo es introducir a las cuestiones clave implicadas en la recuperación y el procesamiento de materiales residuales, y hacer una exposición sobre los materiales individuales que actualmente se recuperan de los RSU para su reciclaje, así como sobre los restantes materiales que deberían recuperarse. El énfasis se pone sobre las posibilidades de reutilización y reciclaje de los materiales recuperados de los RSU, así como sobre las especificaciones aplicables a estos materiales.

2.1 CUESTIONES CLAVE PARA EL RECICLAJE DE MATERIALES

Las cuestiones fundamentales en el reciclaje de materiales incluyen la identificación de:

- Los materiales que se van a desviar del flujo de residuos
- Las posibilidades de reutilización y reciclaje
- Las especificaciones de los compradores de materiales recuperados

Identificación de los materiales que se van a desviar

Los gestores de residuos sólidos procuran maximizar la vida de un vertedero y minimizar los costos de operación, a menudo dentro de un marco legislativo que requiere que se desvíen fuera de los vertederos un cierto porcentaje de los residuos sólidos recogidos, o que obliga a una prohibición total en la evacuación de ciertos materiales, por ejemplo, los residuos de jardín. Los gestores deben decidir qué materiales deben separarse del flujo de residuos para cumplir los objetivos de desviación. Esta decisión se complica por el hecho de que muchos materiales (por ejemplo, vidrio) tienen mercados débiles o no se pueden transportar de una forma rentable. Otro problema es que los materiales con un alto valor en el mercado (por ejemplo, aluminio) a menudo son recuperados por los consumidores y conforman solamente una pequeña parte del material que entra en el sistema de gestión de residuos, reduciendo así el potencial de ingresos.

Identificación de las posibilidades de reutilización y reciclaje

Los gestores encargados del desarrollo de un programa de reciclaje deben tener en cuenta los mercados para los materiales recuperados, la infraestructura de recolección y el costo global. Los mercados para los materiales recuperados existen solamente cuando los fabricantes o procesadores necesitan estos materiales o pueden usarlos como sustitutos rentables de materias primas; por tanto, el mercado depende de la calidad de los materiales, de la capacidad global de la industria y del costo de las materias primas en competencia. En la mayoría

de los casos, los materiales recuperados son inferiores en calidad a los materiales vírgenes, por lo que el precio en el mercado tiene que ser atractivo para los compradores. También se crean mercados con una legislación que desarrolle una demanda a largo plazo y con los avances tecnológicos.

Mercado para plásticos: un ejemplo. La siguiente exposición sobre mercados para plásticos ilustra algunos de los problemas que se plantean en la comercialización de los materiales recuperados y explica por qué los materiales recuperados son tan poco competitivos como los materiales vírgenes.

Bajo valor de los plásticos recuperados. El plástico usado tiene un valor bajo porque los materiales vírgenes son relativamente baratos. Existe un escaso incentivo financiero para su recolección y, por lo tanto, hay que legislar su reciclaje.

Falta de infraestructura. La infraestructura para la recolección y el procesamiento de plásticos no es nacional (como lo es la del aluminio), sino que, por lo general, está limitada a zonas locales. En consecuencia, muchos consumidores que desean reciclar se encuentran con que esto no es posible. Otra consecuencia es que no existe una fuente fiable y continua de suministro de material recuperado para los fabricantes y procesadores.

Bajo peso específico. La relación volumen-peso de los plásticos no es muy alta, especialmente para productos como espuma de poliestireno (PS). Las comunidades más aisladas no pueden costear la recolección y transporte de plásticos, y nadie está dispuesto a ir y recogerlos. Las pruebas de compactación en vehículos, hasta la fecha, no han tenido éxito y la granulación no es un procedimiento aceptable hasta que no se separen todos los plásticos. El peso relativamente bajo obliga, también, a las comunidades con programas de desviación a centrarse en otros materiales.

Contaminación potencial. Las botellas de plástico llevadas a los procesadores están frecuentemente contaminadas por elementos extraños o por plásticos no deseados. Los materiales extraños, como comida y rechazos de productos, causan un desgaste prematuro sobre los granuladores y sobre otros equipamientos; los plásticos no compatibles degradan la calidad del <<reciclado>> producido y es preciso separarlos.

Infraestructura de recolección. La recuperación de recipientes de aluminio para bebidas es la única que ha establecido una red nacional de centros regionales para el transporte y el procesamiento. Idealmente, el desarrollo de una infraestructura de recolección debería seguir la demanda del mercado, es decir, el valor del material recuperado debería ser el suficiente como para soportar el costo de su recolección, procesamiento y transporte. Los procesadores de materiales recuperados, normalmente, establecen plantas de procesamiento en zonas altamente pobladas, con grandes cantidades de materiales recuperables. Los recicladores deben soportar el costo del transporte a estas instalaciones centralizadas. El costo de la recolección y del transporte hasta los compradores, comparado con el precio pagado por los materiales recuperados, es normalmente la razón de que las comunidades más pequeñas no hayan sido capaces de mantener programas de reciclaje sin subvenciones.

Subvenciones para programas de reciclaje. Los gestores de residuos sólidos, a menudo, tienen un control limitado sobre la economía de los programas. Aunque la legislación sobre desviación fuera de vertederos ha sido aprobada y los programas de reciclaje están llegando a ser muy comunes, pocos programas municipales son autosuficientes; generalmente son subvencionados por los contribuyentes o por los abonados al servicio local de recolección y transporte de residuos. El tipo de sistema de recolección (por ejemplo, en acera, centro de recompra), la longitud de los itinerarios de recolección, el terreno, el grado de selección requerido y el sistema de transporte, todos influyen en los costos del programa. En zonas rurales, la distancia a los mercados hace que los costos de

transporte sean prohibitivos para muchos materiales. Los programas con éxito normalmente existen solamente para aquellos materiales que tienen una demanda muy alta, tales como latas de aluminio o botellas de plástico de dos litros para bebidas. Como regla general, el mercado para materiales recuperados es un mercado a favor de los compradores, y mientras se incrementa el número de programas de recolección y se incrementa el suministro del material recuperado, desciende el precio ofrecido para algunos materiales.

Cumpliendo las especificaciones para materiales recuperados

Los procesadores y los usuarios finales de los materiales recuperados requieren que los materiales sean homogéneos y estén libres de contaminantes que producirían defectos en los productos o daños en la maquinaria; muchos compradores también requieren que el material empacado esté compactado en tamaños y pesos específicos. Algunas industrias se adhieren a normativas estrictas y no pueden tolerar, incluso, niveles muy bajos de contaminación (por ejemplo, fabricantes de recipientes de vidrio); otros procesan los materiales suficientemente como para separar casi todos los materiales extraños (por ejemplo, compradores de latas de hojalata y aluminio). Por lo general, hay menos contaminación en los materiales separados en origen, pero la recolección requiere más mano de obra, y muchas comunidades eligen seleccionar todos los materiales en una instalación centralizada de recuperación de materiales (IRM). En muchas regiones, los mercados para los materiales no están manteniendo el ritmo del volumen recolección y se prevé que los compradores van a ser más exigentes con las especificaciones; en consecuencia, los vendedores ya no tendrán mercados asegurados y estarán en competencia para vender los materiales. Como las especificaciones para los materiales recuperados se hacen cada vez más restringidas, los gestores de programas de recuperación deberían tener en cuenta las especificaciones de los compradores en el momento de elegir los sistemas de recolección y selección, especialmente cuando quedan implicadas grandes inversiones.

2.2 LATAS DE ALUMINIO

En 1990, se produjeron aproximadamente 85 billones de recipientes de aluminio para bebidas en Estados Unidos y se devolvieron más de 53,8 billones, con una tasa de reciclaje del 63,6 por 100. A lo largo del país, las latas de aluminio constituyen menos del 1 por 100 de los residuos sólidos urbanos, en las comunidades que han establecido programas de reciclaje o leyes de depósito de recipientes, el porcentaje en el flujo de residuos local ha llegado a ser despreciable.

¿Por qué ha llegado a tener tanto éxito el reciclaje del aluminio comparándolo con otros materiales, tales como papel de periódico, vidrio y plásticos? La única mercancía con una tasa de reciclaje cercana a la del aluminio son los contenedores ondulados (45 por 100), debido principalmente a los programas activos industriales y comerciales. El motivo de esta situación es que el papel de periódico, el vidrio y el plástico usado deberían competir con las materias primas utilizadas para su fabricación, y estas materias vírgenes son abundantes y baratas. Sin embargo, el mineral de aluminio debe ser importado. Otra razón radica en que la industria del aluminio reconoció las ventajas de un mercado doméstico de aluminio y estableció las ventajas de un mercado doméstico de aluminio y estableció la infraestructura necesaria para su transporte y procesamiento. Una infraestructura comparable no existe todavía para el resto de los materiales reciclables.

Los productores y fabricantes de aluminio, tales como Reynolds y Alcoa, han promocionado activamente el reciclaje desde mediados de los años sesenta. Aunque otros fabricantes de envases se han resistido a los programas de reciclaje y a la legislación obligatoria sobre depósitos de recipientes, la industria del aluminio ha desarrollado centros de recolección y procesamiento, una red de transporte y plantas de recuperación. El reciclaje tiene sentido para los productos desde un punto de vista económico, por varias razones:

- a) El reciclaje proporciona una fuente nacional de aluminio (aproximadamente un tercio de las necesidades de la industria). En contraste, la mayor parte de la bauxita necesaria para producir aluminio nuevo tiene que ser importada (los productores importantes son Jamaica, Australia, Surinam, Guyana y Guinea) y hacen falta 4 kg de bauxita para producir 1 kg de metal nuevo.
- b) La energía necesaria para producir una lata a partir de aluminio reciclado es menor que el 5 por 100 de la energía necesaria para producir una lata a partir de materias primas.
- c) Las latas recicladas son de una composición uniforme y conocida, y las impurezas son separadas fácilmente.
- d) El reciclaje permite que los fabricantes de latas de aluminio puedan competir favorablemente con los fabricantes de vidrio y de bimetales.

Casi todos los recipientes metálicos de cerveza y el 93 por 100 de las latas de refrescos son de aluminio.

Las condiciones económicas favorables también han cambiado las actitudes del público. Al mismo tiempo que se aprueban leyes sobre botellas y el reciclaje llega a ser institucionalizado, la gente está empezando a ver el aluminio como un material intrínsecamente valioso, en vez de solamente un material residual que se puede reutilizar.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las latas de aluminio se aceptan en programas de recolección en acera, en centro de recompra, en centros de recolección para el reciclaje y también las aceptan los chatarreros. Algunos estados tienen depósitos obligatorios para recipientes de bebidas y han establecido centros de devolución en los supermercados. Los chatarreros también compran artículos de aluminio fundidos y forjados, tales como muebles de jardín, tuberías, contrapuestas, umbrales, marcos de ventanas, recubrimientos, canalones, herramientas eléctricas y piezas de baterías de cocina. Los fabricantes de aluminio completan el ciclo a través de contratos con

recicladores independientes, chatarreros, otros fabricantes de aluminio y desmontadores de automóviles. Las aleaciones y la chatarra de aluminio que no proceden de recipientes no se aceptan junto con las latas porque las latas de aluminio son de una aleación especial.

Las latas que se entregan en los centros de recolección se aplasta, se empacan y se transportan hasta las fábricas o las plantas de recuperación regionales, donde las latas se trituran para reducir su volumen. En la planta de recuperación, primero, se calientan las latas trituradas en un proceso de deslucamiento para separar los revestimientos y la humedad, cargándose después en un horno de refundición. El metal fundido se forma en lingotes de 15.000 kg o más, que se transfiere a otra fábrica y se lamina. Las láminas se envían a plantas que fabrican recipientes, donde se cortan en discos a partir de los cuales se forman las latas. Se imprime el logotipo del fabricante de bebidas en la lata y se transportan (con las tapas separadas) hasta la planta de relleno.

Especificaciones para latas de aluminio recuperado

Los centros de recolección y otros compradores aceptan todas las latas que están libres de una contaminación excesiva, como suciedad y residuos de comida. Después, los compradores compactan y empacan el material según las especificaciones de la fábrica acerca de las dimensiones, peso y número de bandas; las fábricas manda <<informes de notas>> a sus suministradores, informándoles de sus deficiencias. La mayoría de los centros comunitarios de reciclaje no aceptan papel de aluminio usado porque normalmente está contaminado, pero algunos grandes compradores (por ejemplo, Reynolds) aceptan papel de aluminio si está razonablemente limpio. Los productos de aluminio comprados por los comerciantes de chatarra solamente deben estar secos y libres de contaminación; los comerciantes consolidan y empacan el material para ser transportado hasta los usuarios finales. En la Tabla 2-1 se presentan algunas especificaciones para las latas de aluminio de bebidas y para los productos de papel de aluminio.

TABLA 2-1 ESPECIFICACIONES PARA PRODUCTOS DE PAPEL DE ALUMINIO Y LATAS DE ALUMINIO COMPRADAS

Fuente	Especificaciones
Latas para bebidas	Embaladas en 1 m 1,3 m 1,2 m. con un peso específico de 192 a 320 kg/m ³ para recipientes prensados, las balas tienen que sujetarse mediante cintas de aluminio o acero de 1,5 cm por 0,5 mm, o alambre de aluminio o acero con calibres de 6 a 15 # 13. Las balas no deben contener agua o contaminación, latas de hojalata o papel de aluminio en exceso.
Papel de aluminio y productos del mismo	Algunos grandes productores de aluminio aceptarán productos de papel limpios, pero se procesan por separado de los recipientes de bebidas.

2.3 PAPEL Y CARTÓN

En base al peso, el papel constituye el componente mayor de los residuos sólidos urbanos. Incluyendo a los contenedores ondulados y al cartón de las cajas, el papel representa del 25 al 40 por 100 del total. Como este porcentaje es tan grande, se puede pensar que un incremento en el reciclaje del papel representaría una ocasión relativamente fácil para desviar materiales de los vertederos, reutilizar fibras, reducir el impacto sobre los bosques y reducir el consumo de energía. Desafortunadamente, sólo se puede reutilizar una parte del papel desechado, debido principalmente a consideraciones económicas y de logística:

- La fibra virgen es abundante y relativamente barata, donde hay extensos bosques
- Muchos centros urbanos en el interior de Estados Unidos están localizados a largas distancias de las fábricas de papel
- La capacidad de las fábricas para destintar y reutilizar el papel usado es limitada.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

En las fábricas de papel siempre se han reciclado productos dañados y rechazos de transformadores (plantas de fabricación de productos de papel) porque el material es de una composición conocida, normalmente sin impresión, y a menudo

puede utilizarse como sustituto directo de la pulpa. Los fabricantes de papel compran el papel residual usado basándose en la fuerza y el rendimiento de la fibra, y en el brillo, según el tipo de producto fabricado. En 1989, aproximadamente el 25 por 100 del suministro de pulpa de Estados Unidos procedía de fuentes recicladas, incluyendo la pulpa residual, el papel de los transformadores y los residuos usados. En un futuro cercano, se piensa que la capacidad para los materiales reciclados y los subproductos crecerá de una forma dos veces más rápida que la de la fibra vegetal.

Tipos de papel actualmente reciclados. Los principales tipos de papel actualmente reciclados son: papel de periódico, cartón ondulado, papel de alta calidad y papel mezclado. En la siguiente argumentación se trata cada uno de estos tipos de papel.

Papel de periódico. El Paper Stock Institute (Instituto para las Existencias de Papel) divide el papel de periódico en cuatro calidades:

- La clase destintador se utiliza para el papel de periódico
- El papel higiénico
- Pañuelos de papel
- Papel de más alta calidad, mientras que las otras clases se utilizan principalmente para producir cartón y productos para la construcción.

En 1988, aproximadamente el 33 por 100 de los periódicos publicados eran reciclados, de esa cantidad aproximadamente el 77 por 100 se utilizaba para papel de periódico reciclado o en calidad baja para la conversión en cartón y contenedores ondulados. El 23 por 100 restante se utilizaba para otras calidades de papel, aislante de celulosa y camas de animales.

Cartón ondulado. El cartón ondulado es la fuente individual más grande de papel residual para el reciclaje; en 1988, se recogieron aproximadamente 9,7 millones



de toneladas de cajas de cartón ondulado usadas (CCOU), lo que representaba una tasa de reciclaje del 45 por 100. Los mercados para el cartón empacado de buena calidad han sido históricamente estables y muchos generadores comerciales, como supermercados y otras tiendas, manejan suficientes cajas como para justificar empacadoras propias. Las cajas de cartón ondulado recicladas se utilizan principalmente para fabricar material (lámina o medio) para las nuevas cajas de cartón (lámina se refiere a las capas exteriores; medio es la capa interna ondulada).

Papel de alta calidad. Los papeles de alta calidad usados incluyen:

- Papel de informática
- Papel de cuentas blanco y coloreado (papeles de hilo para máquinas de escribir y otros papeles)
- Libros guillotizados (es decir, con los dorsales y tapas separados)
- Papel de reproducción.

El mercado para este material ha sido históricamente estable, porque el papel de buena calidad (es decir, sin tratamiento, no satinado y que contiene un alto porcentaje en fibras largas) puede sustituir directamente a la pulpa de madera o puede ser destinado para producir papel higiénico o papeles de hilo de alta calidad.

Papel mezclado. Según las normativas del Paper Stock Institute, el papel mezclado no se limita por los cubrimientos o los contenidos de fibras, sino que se limita por los papeles no aptos (tales como papel carbono) al 10 por 100. En la práctica la graduación refleja la demanda del mercado y como actualmente hay una sobreoferta de papel mezclado y de papel de periódico, el papel mezclado puede estar formado principalmente por periódicos, revistas y diversos papeles con fibras largas. Normalmente el papel mezclado se utiliza para producir cartón para cajas de cartón y productos prensados misceláneos. Un grado más alto, el

supermezclado se limita a menos del 10 por 100 de pulpa de madera y a menudo se utiliza como una calidad de destintamiento.

Usos importantes del papel reciclado. Las cuatro calidades principales de papel argumentados anteriormente se combinan frecuentemente en tres categorías, según su forma de procesamiento o el tipo de producto final.

Sustitutos de pulpa. Estos son los papeles reciclados que pueden añadirse directamente a una pulperadora de papel sin tratamiento. Por lo general, las fábricas de papel prefieren residuos industriales limpios de los transformadores; el residuo más frecuentemente utilizado es el papel de impresión sin pasta de madera.

Calidad de destintamiento. Estos son papeles reciclados que se convierten en pulpa, se destintan químicamente y se blanquean con lejía antes de introducirlos en la masa principal de la pulpa. Las calidades típicas son papel de periódico destintado y papeles de mejor calidad no aptos para ser usados como sustitutos directos de la pulpa, como papel de cuentas coloreado y papel de cuentas blanco impreso. La mayor parte del papel destintado se utiliza para producir papel de periódico, papel higiénico, servilletas, rollos de cocina y cartón de cajas de alta calidad.

Calidades brutas. Estos son los papeles reciclados que se utilizan sin destintarse para producir cartón de cajas, lámina y medio para cajas de cartón ondulado, hueveras, cartón comprimido, y productos de construcción, como papel de fieltro y tabla de fibra prensada. Las calidades brutas incluyen: papel de periódico, CCOV y papel mezclado. Estos papeles forman la mayor parte del flujo de residuos y teóricamente se pueden desviar de los vertederos, pero la demanda actual en el mercado y la potencial para el reciclaje están limitadas por la capacidad de las fábricas.

Otros usos del papel reciclado. Además de los usos citados anteriormente, el papel recogido para el reciclaje también puede usarse para elaborar productos de construcción o combustible derivado de residuos, o para la exportación.

Productos de construcción. El papel de periódico y el papel mezclado se utilizan para fabricar cartón de yeso, material suelto de aislamiento y aislamiento espolvoreado, y papel saturado de fieltro para tejados. La fabricación de aislamientos de celulosa proporciona otra utilización posible para los periódicos usados; los mercados extras son importantes porque se cree que el suministro de papel de periódico se va a incrementar como consecuencia de los programas obligatorios de desvío.

Combustible de residuos (CDR). Durante años, el CDR se ha producido a partir de residuos sólidos urbanos, y son varias las empresas que actualmente producen cantidades limitadas de CDR en forma de pelets hechos con papel mezclado. Los mercados potenciales son las plantas existentes alimentadas con combustible biomasa y otros usuarios industriales, según la proximidad de las plantas de pelets y los costos de transporte.

Exportaciones. Estados Unidos es el mayor exportador mundial de papel residual; en 1989, se exportaban 6,3 millones de toneladas al extranjero, una cantidad igual al 23 por 100 del total del papel residual, residuos de transformador y pulpa residual recuperados. La mayor parte del papel exportado va a México, Japón, Corea del Sur y Taiwan, aunque Indonesia, Tailandia, Hong Kong y China se están convirtiendo en grandes consumidores. El papel residual de Estados Unidos es deseable porque una alta proporción se fabrica con pulpa de fibra larga.

Mercados para el papel reciclado. Los fabricantes de papel adquieren papel residual usado mediante la compra directa o mediante intermediarios independientes; ambos consiguen suministros de oficinas gubernamentales, negocios y corporaciones, centros de recolección de materiales y comerciantes de

materiales usados. Los compradores de papel requieren normalmente la entrega en sus locales, aunque algunos realizarán recolecciones si las cantidades lo merecen. Los grandes compradores pueden proporcionar contenedores a los clientes de altos volúmenes y hacer recolecciones en horarios regulares. Para asegurar un suministro estable de papel de alto grado, los compradores animan a contratos a largo plazo (normalmente tres años), frecuentemente con términos flexibles que tienen en cuenta las condiciones cambiantes del mercado.

La economía global afecta fuertemente al mercado de papel residual, porque gran parte del papel de baja calidad se utiliza para fabricar productos de construcción y envases de bienes de consumo. Como hay actualmente más papel residual que capacidad de fabricación, la clausura de incluso una sola fábrica debido a una economía desfavorable, restricciones ambientales o dispuestas laborales, pueden afectar a los precios de mercado en una región grande. Por ejemplo, la clausura de una fábrica normalmente originará una disminución en los precios del papel residual porque se incrementará la oferta para las otras fábricas. Las compañías de papel siguen invirtiendo en plantas y en equipamientos nuevos para utilizar los papeles usados como fuente de fibra, pero el consenso general es que pasarán años antes de equilibrar la capacidad y el suministro. El mercado de exportación a países del Pacífico ha moderado de alguna forma el exceso de oferta. Aunque las fuerzas del mercado que afectan a la oferta y a la demanda, se están interrumpiendo por requisitos legislados sobre contenidos mínimos en productos reciclados y por las leyes de desvío, estos cambios pueden promover una oferta más estable a largo plazo.

Especificaciones para el papel y el cartón recuperados

El Paper Stock Institute, que representa a los compradores y a los procesadores de papel residual, ha establecido especificaciones para aproximadamente 50 calidades de papel y ha listado 33 calidades especiales más en las que las especificaciones son establecidas mutuamente por comprador y vendedor. La mayoría de los centros de recolección o de los compradores utilizan de seis a

ocho grados que engloban a casi todo el papel residual recogido: periódico, periódico destintado, cajas de cartón ondulado, papel de cuentas seleccionado (incluye papel de oficina y papel de hilo no satinado utilizado para escribir a máquina y para reproducción), papel de cuentas coloreado seleccionado, papel de informativa, papel kraft marrón usado (bolsas de tiendas de comestibles) y papel mezclado (o supermezclado). Los mayores compradores incluyen grados adicionales: revistas, libros satinados y cajas de cartón de fibra macizas (cartón para cajones, para empresas transportistas, para envases).

El papel transportado a la fábrica tiene que cumplir las especificaciones según los porcentajes de papeles no aceptables y contaminantes. Los papeles no aceptables son clases de una calidad inferior a la especificada. En ocasiones, las fábricas aceptarán porcentajes de papeles no aptos más altos que lo estipulado en las normativas de la industria si hay poca oferta de la calidad deseada. Los contaminantes son materiales que son perjudiciales para el proceso de producción del papel o que pueden causar daños a la maquinaria. Los ejemplos de contaminantes del papel incluyen. Papel quemado por el sol, envases de comida, compuestos que contienen plásticos o papel metálico, papeles encerados o tratados, papel higiénico o toallas de papel, catálogos o guías telefónicas encuadernadas, copias azules, cartas Post-it™, papel de fax o papel de carbono sin carbono. (La parte adhesiva de las cartas Post-it™ y aquella utilizada para los catálogos encuadernados puede pasar desde la pulpa a los rodillos utilizados en el proceso de fabricación del papel, donde forma depósitos que dañan a la hoja continua del papel que está formándose. El papel de fax y el papel de carbono sin carbono se consideran contaminantes porque están tratados y químicamente no son compatibles con la mayoría de las pulpas.)

Otros contaminantes son extraños, como suciedad, metal, vidrio, residuos de comida, clips para papeles y cuerda. La mayoría de los compradores prefieren que no se entregue el papel de periódico en bolsas de papel y algunas fábricas insisten en que se separe el papel de informática impreso con láser del otro papel

de informática, porque no es posible separar completamente las tintas de las fibras durante el destintamiento. La mayoría de los intermediarios mantienen un control de calidad del producto final mediante la inspección y la selección manual de todo el papel antes de empacarlo, pero algunos compradores requieren que el papel o las cajas de cartón ondulado estén empacadas para facilitar su manipulación y reducir el volumen.

Las especificaciones para la mayoría de los tipos más comunes de papel residual usado se presentan en la Tabla 2-2. El lector debería saber que se puede modificar el porcentaje permitido de calidades no aptas, según la oferta existente y los requisitos de la fábrica.

2.4 PLÁSTICOS

Aunque los consumidores han utilizado los plásticos durante casi 50 años, su uso para envases se ha incrementado drásticamente durante los últimos 20 años y para el año 2000 se espera un incremento del 10 por 100. Como la mayoría de los envases son desechables, la cantidad de plásticos en los residuos sólidos urbanos ha crecido desde el 3 por 100 a principios de los años setenta hasta el 7 por 100 (en peso) en 1990. El crecimiento en el uso de los plásticos se ha producido sobre todo en los productos de consumo, ya que los plásticos han sustituido, en gran parte, a los metales y al vidrio como materiales para recipientes y al papel como material de embalaje. Los plásticos tienen diversas ventajas: son ligeros, y por lo tanto se reducen los costos de transporte; son duraderos y a menudo proporcionan un recipiente más seguro (por ejemplo, botellas de champú); pueden presentarse en diversas formas y pueden ser fabricados para que sean flexibles o rígidos; son buenos aislantes y son aptos para ser usados con comidas húmedas y con microondas. En la Tabla 2-3 se presentan las clasificaciones, los códigos de identificación y los usos de los plásticos más frecuentemente utilizados.

Aunque los materiales plásticos conforman solamente el 7 por 100 del peso de los RSU, conforman un porcentaje algo mayor en base al volumen. Al mismo tiempo que se cierran vertederos, y se encuentran nuevos lugares se hace cada vez más difícil, se critican las industrias de plásticos y de envases porque contribuyen considerablemente al problema de los residuos sólidos sin un intento responsable para solucionarlo. A menudo se sugiere que se deberían sustituir los plásticos por productos de papel u otros biodegradables, a pesar de la evidencia que muestra que ni plásticos ni papeles se degradarán rápidamente en un vertedero bien gestionado. La mayoría de los consumidores disfrutan de los beneficios de los plásticos y reconocen que el reciclaje adicional es una solución razonable; sin embargo, en Estados Unidos se recicla solamente el 2 por 100 de la producción virgen, comparándolo con el 10 por 100 en Holanda y el 6 por 100 Alemania.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

La mayoría de los fabricantes de envases de plástico codifican ahora sus productos con un número del 1 al 7, que representa las resinas más comúnmente producidas y facilita la separación y el reciclaje (ver Tabla 2-3). Las alternativas de reutilización para cada uno de estos tipos de resinas se exponen a continuación. Además, se revisa el procesamiento utilizado para los dos tipos de plásticos más reciclados actualmente.

Tipos de plásticos actualmente reciclados. Los principales tipos de plásticos reciclados actualmente son: politereftalato de etileno (PET/1) y polietileno de alta densidad (PE-HD/2). En la siguiente exposición se tratan éstos y otros tipos de plásticos.

1) Politereftalato de etileno (PET). Se recicla principalmente en fibras de poliéster utilizadas para fabricar sacos de dormir, almohadas, edredones y ropa de invierno (las botellas verdes se reciclan separadamente porque las fibras verdes sólo pueden utilizarse en ropa con capa exterior de color oscuro). El PET usado se utiliza también para bases y fibras de moqueta, productos moldeados, tablas

aislantes de polisocianato, películas, correas, envases de comida y otros envases, y plásticos manejables, desde el punto de vista de la ingeniería, para la industria del automóvil.

Como una salida frente a la tecnología convencional de reciclaje, dos grandes productores de plásticos están, actualmente, despolimerizando botellas usadas a etilenglicol y ácido tereftálico, que se repolimerizan en resinas de calidad virgen para nuevas botellas de refrescos. El uso de material usado en botellas de Coca-Cola™ fue aprobado por la Administración de Alimentación y Salud en enero de 1991.

2) Polietileno de alta densidad (PE-HD). Las propiedades del PE-HD varían mucho según el producto fabricado. Los bidones de leche se hacen a partir de una resina con un índice de fundición bajo (más o menos una medida de viscosidad, que determina la idoneidad para diferentes procesos de fabricación), que permite que la resina se estire mientras se expande durante el moldeado por soplado. El PE-HD rígido se hace con una resina que tiene un índice de fusión alto, lo que permite a la resina fluir fácilmente sobre un molde de precisión. Después, las propiedades del regranulado de PE-HD dependerán del material de alimentación (regranulado es el término utilizado para describir el plástico que se ha limpiado y granulado).

Para controlar la calidad cuando se produce un regranulado, los procesadores no mezclan diferentes tipos de resinas ni elaboran mezclas de la misma resina con distintos índices de fusión. En cambio, se producen copos o pelets a partir de resinas homogéneas y el procesador o fabricante del uso final los mezcla para conseguir el índice de fusión requerido.

Los artículos de consumo más frecuentemente producidos a partir de PE-HD usado, son botellas de detergentes y recipientes para aceite de motor. Las botellas normalmente se hacen en tres capas, la capa intermedia contiene el material

reciclado (ver figura 2-1). La capa interior de resina virgen proporciona una barrera confiable y la capa exterior proporciona el color y un aspecto uniforme. El PE-HD se utiliza también para envolturas protectoras, bolsas de plástico, tuberías y productos moldeados, como juguetes y cubos.

TABLA 2-2. ESPECIFICACIONES PARA PAPEL Y CARTÓN RECICLADO^a

Número de calidad	Clase	Descripción	Materiales prohibitivos ^b , porcentaje	Total calidades inferiores ^c porcentaje
1	Papel mezclado	Consiste en una mezcla de diversas calidades de papel no limitado al tipo de embalaje o contenido de fibra.	2	10
6	Papel periódico	Consiste en periódicos embalados que contienen menos del 5 por 100 de otros países.	0,5	2,0
7	Papel especial periódico	Consiste en periódicos embalados, seleccionados, frescos y secos, no quemados por el sol, libres de papeles que no sean de periódico, no contiene más que el porcentaje normal de secciones fotogradas y coloreadas.	Ninguno permitido	2,0
11	Ondulado	Consiste en recipientes embalados ondulados. Los recipientes tiene recubrimientos de test liner, yute o kraft	1,0	5,0
38	Papel de cuentas seleccionado y coloreado	Consiste en hojas impresas o no impresas de pasta mecánica al bisulfito o sulfato, de escribir y otros papeles que tienen un contenido similar de fibra y relleno. Esta calidad debe estar libre de papel tratado, satinado, acolchado o muy impreso	Ninguno permitido	2,0
40	Papel de cuentas blanco seleccionado	Consiste en hojas impresas o no impresas, libros guillotados, recortes de pasta mecánica al bisulfito o sulfato de escribir y otros papeles que tienen un contenido similar de fibra y relleno. Esta calidad debe estar libre de papel tratado, satinado, acolchado o muy impreso.	Ninguno permitido	2,0
42	Papel de informática	Consiste en papeles blancos de pasta al sulfito o sulfato en formas fabricadas para usar en máquinas procesadoras de datos. Esta calidad puede contener franjas coloreadas y/o impresiones de ordenador de impacto o de no impacto (por ejemplo, láser), y no puede contener más del 5 por 100 de pulpa de madera en el embalaje. Todo el papel debe estar libre de tratamiento y satinado.	Ninguno permitido	2,0

^a Adaptado de las especificaciones del Paper Stock Institute.

^b Materiales que podrían dañar el equipamiento de procesamiento.

^c Papeles no aptos para su consumo en la calidad especificada.

TABLA 2-3. CLASIFICACIONES, CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN Y USOS PARA PLÁSTICOS COMUNES

Material	Código SPI ^a	Usos originales	Porcentaje del total utilizado para el embalaje ^b
Poliétileno tereftalato	1-PET	Botellas de refrescos carbónicos, recipientes para comida	7
Poliétileno de alta densidad	2-PE-HD	Botellas de leche, botellas de detergentes, productos en forma de lámina, tales como bolsas, etc.	31
Policloruro de vinilo	3-PVC	Recipientes domésticos y de comida; tuberías	5
Poliétileno de baja densidad	4-PE-LD	Envase de película fina y envoltorios; otros materiales de lámina	33
Polipropileno	5-PP	Cajas para botellas, maletas, tapas y etiquetas	10
Poliestireno	6-PS	Vasos y platos de espuma, artículos moldeados por inyección	10
Todas las demás resinas y materiales multilaminados	7-Otros	Plásticos no seleccionados	4

a Society of the Plastics Industry (Sociedad de la Industria del Plástico)

b Adaptado de referencia 30

3) Policloruro de vinilo (PPVC). El PVC se utiliza ampliamente para el empaquetamiento de comida, aislamiento de cables y alambres eléctricos y para tuberías de plástico. Aunque el PVC usado es una resina de alta calidad que necesita poco o ningún tratamiento, actualmente se recicla muy poco PVC, ya que los costos de recolección y selección son prohibitivos. Los productos típicamente reciclados incluyen: recipientes que no son para comidas, cortinas de duchas, recubrimientos para lechos de camiones, alfombras de plástico para laboratorios, azulejos de suelo, tuberías de riego, tiestos para plantas y juguetes. Hay un enorme potencial de mercado para fabricar tuberías de drenaje, accesorios, molduras, láminas y piezas moldeadas por inyección a partir de PVC reciclado.

El mayor problema con el reciclaje de PVC se presenta con la recolección y la selección. Hasta la fecha, la mayor parte de la selección se ha hecho a mano, basándose bien en los códigos de identificación o bien en la línea <<sonrisa>> característica del fondo de las botellas de PVC moldeadas mediante soplado. EPA (Estados Unidos) y los productores de resina han proporcionado fondos para investigar acerca de la selección; el National Recovery Technologies ha empleado

procesos electromagnéticos para detectar cloro en los plásticos, y el Centro para la Investigación del reciclaje de Plásticos ha utilizado técnicas de radiación, pero ningún proceso, de momento, es rentable para su explotación a escala real.

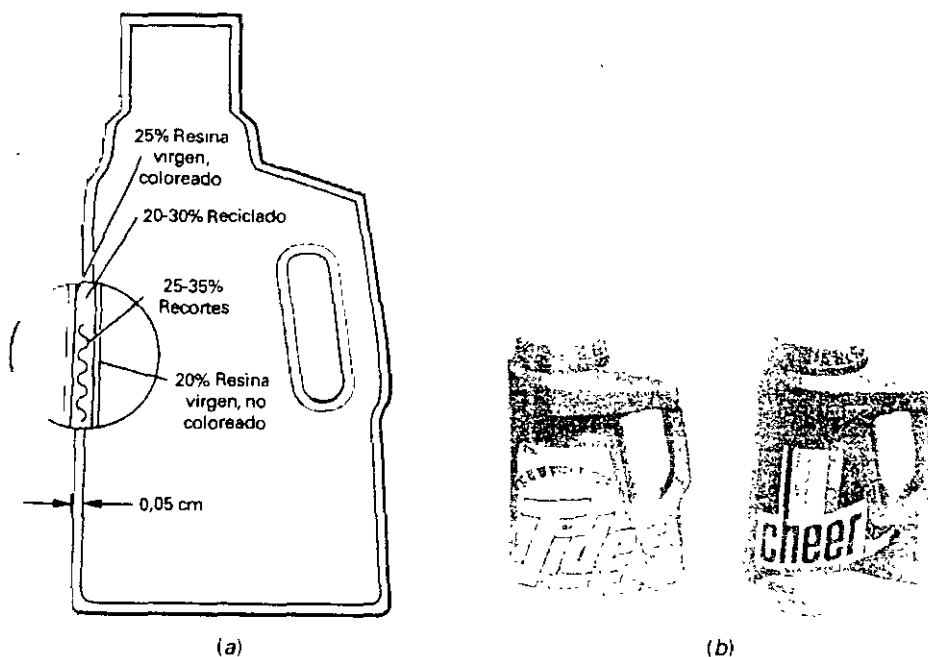


FIG. 2-1. CONSTRUCCIÓN MULTILAMINADA DE UN RECIPIENTE DE PLÁSTICO UTILIZANDO PLÁSTICO RECICLADO: (a) ESQUEMA DE BOTELLA DE TRES CAPAS (CORTESÍA DE PROTECTOR Y GAMBLE Co.) Y (b) RECIPIENTES HECHOS CON TRES CAPAS. CUANDO HAYA MÁS MATERIAL DE PLÁSTICO RECICLADO DISPONIBLE, SE INCREMENTARÁ EL PORCENTAJE DE PLÁSTICO RECICLADO UTILIZADO, ESPECIALMENTE EN RECIPIENTES DE COLOR OSCURO.

4) Polietileno de baja densidad (PE-LD). En 1988, la producción de polietileno se utiliza para empaquetamiento de comida, bolsas de basura, pañuelos desechables, agricultura y construcción. La mayor parte de la película termina en el flujo de residuos, y aunque no contribuye mucho al volumen del vertedero, la película constituye aproximadamente el 16 por 100 en peso de los plásticos desechados. La industria está bajo presión para recoger y reciclar los productos de película de PE-LD y PE-HD. Además, otros procesadores de polietileno, que normalmente utilizan alimentación rígida, están incrementando su esfuerzo para reciclar película. Proctor y Gamble intentaron incluso un sistema para reciclar pañales desechables en Seattle; se pulpearon los pañales, se recuperó el plástico,

que fue fabricado en lámina de plástico. El programa de demostración nunca fue rentable y ha finalizado.

Según el Consejo para Plásticos y Envases en el Ambiente (CPEA), actualmente hay más de 10.000 supermercados en Estados Unidos que aceptan productos de láminas usadas. Las bolsas se seleccionan manualmente para separar contaminantes, se procesan mediante granulación, lavado y peletización. El mayor problema es que las tintas de impresión en las bolsas originales producen un regranulado de color oscuro; la solución ha sido la utilización de colorantes oscuros (como en las bolsas para recortes de césped y de basura) o la impresión sobre el color mezclado. Otros usos de PE-LD son los protectores de plástico utilizados por los camiones, donde las cuerdas y cables tocan el cargamento, y productos de plásticos mezclados (PE-HD, PE-LD y PP).

5) Polipropileno (PP). Se utiliza el polipropileno para cajas de baterías de automóviles, tapas de recipientes, etiquetas de botellas y bidones, y en menor parte para envases de comida. Las etiquetas y las tapas hechas de polipropileno normalmente están granuladas con productos de polietileno y del 10 al 13 por 100 puede dejarse en regranulado PE-HD de calidad para botella. La mayor parte del polipropileno se deja en copos mezclados, utilizados solamente para productos de bajas especificaciones como tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes y vallas. Los procesadores de baterías ácidas de plomo también recuperan polipropileno para usarlo en las nuevas baterías.

6) Poliestireno (PS). Los productos más comunes de espuma de PS son los envases de comida rápida en forma de concha de almeja, platos, bandejas para carne, tazas y material rígido de embalaje. Otros artículos comunes son cubiertos para comida, vasos transparentes para beber y recipientes coloreados para yogur y queso blando, que se producen mediante moldeo de extrusión e inyección.

Según la industria de plásticos, el PS constituye solamente el 0,26 por 100 del peso de los RSU y solamente un 1 por 100 del volumen, y por lo tanto no merece la mala reputación que ha adquirido. Los críticos no están de acuerdo, señalando que gran parte del empaquetamiento no es necesario y han solicitado una legislación que reduzca o elimine los productos de espuma; algunas prohibiciones están ya en vigor. A consecuencia de la presión del público, ocho productores de resina formaron la Compañía Nacional del Reciclaje de Poliestireno a finales de los años ochenta. El objetivo de la CNRP es reciclar el 25 por 100 de todo el PS producido. La CNRP ha puesto en marcha cinco plantas regionales de procesamiento en Estados Unidos para lograr este objetivo y ha proporcionado fondos a los recicladores de PS no afiliados, que ya tienen plantas funcionando.

Los diferentes tipos de envases o contenedores de servicio de comida de PS pueden recuperarse separadamente o juntos. Un proceso típico incluye: selección semiautomática, granulación, lavado, secado y peletización. La tabla maciza de espuma se procesa de forma distinta; se rompe la espuma sin calor, para formar una mezcla, después se riega con agua y se corta en peles. El poliestireno reciclado se utiliza para fabricar tabla de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, recipientes de basura, aislamiento, juguetes y productos de moldeo por inyección. Los fabricantes, están satisfechos con la resina recuperada, pero quizás los procesadores requieran subvenciones para cubrir los costos de recolección, selección y transporte.

7) Plásticos mezclados y multilaminados (otros). Los fabricantes también utilizan resinas y recipientes multilaminados menos comunes para envasar productos y comidas que tienen requisitos especiales (por ejemplo, ketchup y mayonesa). Estos recipientes no tienen valor como producto de regranulado porque no hay mercado. Sin embargo, los procesadores están utilizando flujos mezclados de plásticos usados (especialmente polietileno y polipropileno) para producir resinas para los fabricantes de productos grandes que no requieren

especificaciones estrictas de resina, tales como bancos de jardín, mesas, defensas para coches, postes para vallas, vigas, palets y estacas. Como los plásticos no están seleccionados, los procesadores normalmente pueden obtener su alimentación a un costo muy bajo. El PET se mantiene fuera del regranulado porque se funde a temperaturas más altas que las otras resinas y forma inclusiones en el producto final.

Procesamiento de plásticos para el reciclaje. Los procesadores reciben material usado de los centros de recolección o suministradores en balas que varían en peso desde 136 hasta 771 kilos. En una planta típica de recuperación, las botellas PET o los bidones PE-HD se transforman en copos limpios mediante los siguientes pasos de procesamiento (ver figura 2-2).

Rotura de balas de selección. Las balas preseleccionadas se rompen y se depositan en una cinta transportadora para su selección final; se seleccionan las botellas de PET manualmente según su color y se separan los plásticos no deseados. Actualmente están desarrollándose y ensayándose sistemas sofisticados para la selección por color y para separar etiquetas mecánicamente.

Granulación y lavado. Las botellas se transforman en pequeños copos con una granuladora diseñada para cortar copos limpios sin causar excesivo valor, puesto que los fundiría. Los copos se lavan con agua caliente, detergentes y por agitación, para separar etiquetas, adhesivos y suciedad; y se utiliza un separador centrífugo para separar los copos del agua sucia, papel y restos.

Separación. Después de lavar los copos, éstos se dirigen al depósito de asentamiento, donde el PET se hunde en el fondo y flotan los plásticos más ligeros, como el PE-HD. Si la alimentación es casi homogénea, puede ser suficiente un solo depósito; si la mezcla no se separa fácilmente, quizás se necesiten una serie de hidrociclones (separadores ciclón o centrífugos) para los flujos pesados y ligeros con el proceso ajustado según la mezcla de botellas.

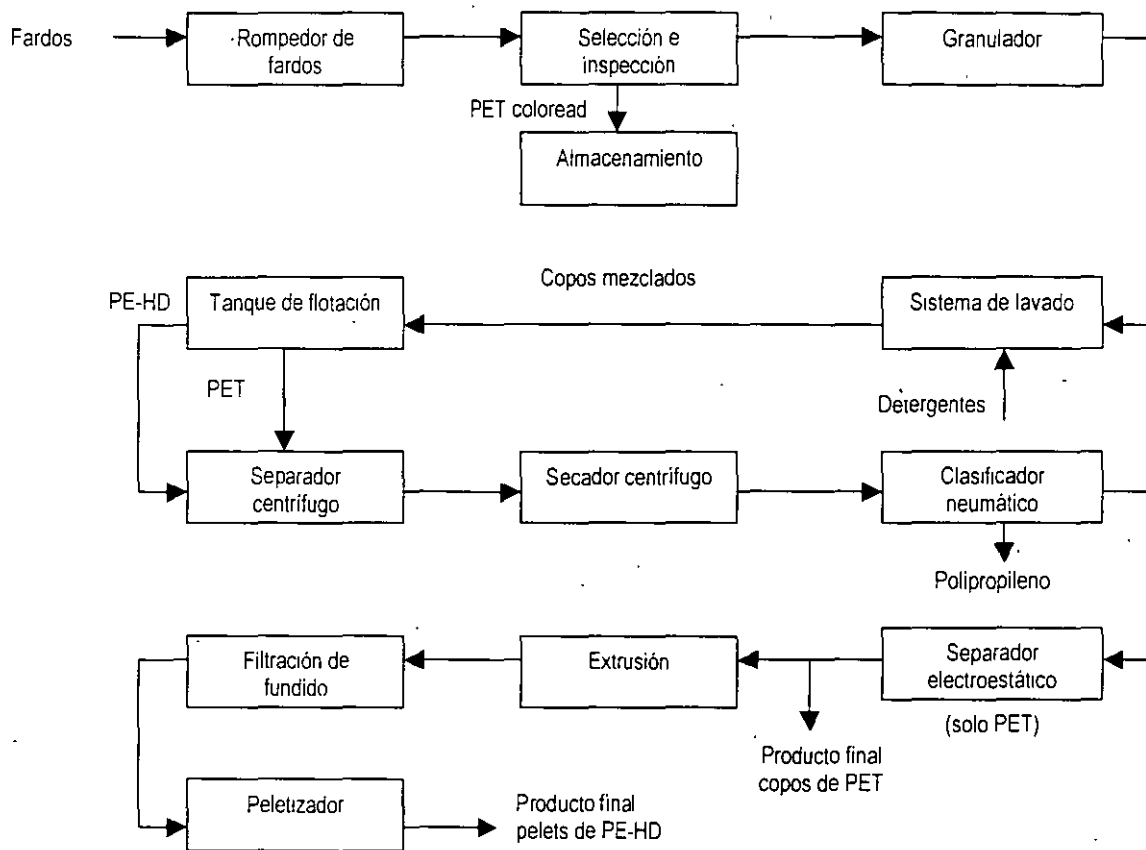


FIG. 2-2. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESAMIENTO DE PE-HD Y PET EMPACADO PARA SU TRANSPORTE

Secado. Después de la separación, el flujo original de botellas se ha convertido en un flujo de PET y/o un flujo de PE-HD. Se utiliza un secador centrífugo para separar el agua y se procede a secar los copos con aire caliente para reducir el contenido en humedad hasta aproximadamente el 0,5 por 100.

Clasificación por aire. Las fábricas que granulan bidones de leche (u otros productos de PE-HD con tapas o etiquetas de polipropileno) utilizan un paso de clasificación por aire entre el secado centrífugo y el secado por aire forzado para separar las piezas ligeras de polipropileno.

Separación electrostática. Las botellas de PET a menudo contienen tapas de aluminio cuando se empacan, y el aluminio granulado aparece en copos de PET.

Después del secado, se utiliza la separación electrostática para separar el aluminio.

El PET limpio se vende en forma de copos, pero la mayoría del PE-HD se peletiza. La resina peletizada está libre de polvo y fluye fácilmente, y el proceso de fundición y cribación mejora la homogeneidad y la pureza. Durante el proceso de extrusión pueden usarse aditivos para cambiar el índice de fusión o el color. Los procesadores y fabricantes intentan minimizar la <<historia calorífica>> (una medida del número de veces que se ha fundido la resina o se ha llegado a la temperatura máxima) porque cada calentamiento degrada la resina.

Extrusión de recuperación. Se fluidiza una resina utilizando un tornillo de extrusión; que en términos simplificados es un tornillo sin fin dentro de un cilindro largo. Los copos se colocan en la extrusora en el extremo del tornillo con el diámetro más grande y se comprimen mientras se llevan hacia la boquilla de extrusión. El calor combinado de la fricción producida por el flujo y de las bandas de calefacción suplementarias provoca la fundición de la resina, extrayéndose de la mezcla los contaminantes volátiles. Inmediatamente antes de la boquilla, la mezcla fundida pasa a través de una criba fina que separa las impurezas sólidas restantes; este paso se conoce como filtración del fundido.

Peletización. El líquido extraído a través de la boquilla tiene las características de un fideo largo. Mientras pasa a través del orificio, una cuchilla giratoria corta el fideo en segmentos cortos, que caen en un baño de agua, donde se enfrían. Los pelets se secan en un secador centrífugo hasta alcanzar un contenido en humedad del 0,5 por 100 y se envasan para su transporte hasta el cliente.

Especificaciones para plásticos recuperados

Los grupos de empresarios que representan a fabricantes y procesadores han establecido especificaciones para los plásticos reciclados. Estas especificaciones son extensas y están fuera del alcance de este trabajo. Por lo general, los

compradores requieren que el plástico usado esté bien seleccionado, razonablemente libre de extraños, libre de un exceso en humedad y empacado dentro de un rango especificado de tamaño y peso. Una mala separación por tipos de resina es un problema importante, porque los regranuladores no pueden contratar gente extra para separar materiales no deseados. Es inevitable algo de contaminación, pero los compradores reducen los precios de oferta si el cargamento está muy contaminado o mal separado. Si el suministrador sigue entregando cargamentos mal seleccionados, los procesadores pueden incluso rechazar la entrega; como norma general, los procesadores necesitan materiales y generalmente dan una oportunidad razonable a los suministradores para que resuelvan los problemas.

2.5 VIDRIO

El vidrio constituye aproximadamente el 8 por 100 del peso de los RSU. El 90 por 100 es vidrio de botella o recipiente blanco, verde o ámbar; el 10 por 100 restante son principalmente vajillas de cristal y vidrios en planchas. Las ventajas de reciclar vidrio incluyen: la reutilización del material, ahorros de energía, un uso reducido del espacio de los vertederos y, en algunos casos, un compost más limpio o un mejor combustible derivado de residuos (CDR).

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Casi todo el vidrio reciclado se utiliza para producir nuevos recipientes y botellas de vidrio. A lo largo del país, los nuevos recipientes incluyen aproximadamente el 30 por 100 del vidrio usado y del vidrio triturado reciclado de operaciones de fabricación. Se emplea una menor cantidad de vidrio para hacer lana de vidrio o aislamiento de fibra de vidrio, material de pavimentación (<<glasphalt>>, mezcla vidrio-betún) y productos de construcción, como ladrillos, azulejos de madera y terrazo, y hormigón ligero espumado.

Botellas y recipientes de vidrio. Los fabricantes de recipientes de vidrio prefieren incluir vidrio triturado junto con materias primas (arena, ceniza de soda y cal) porque se pueden reducir las temperaturas de los hornos significativamente. Los fabricantes están dispuestos a pagar precios un poco más altos por el vidrio triturado que por las materias primas, debido a los ahorros en energía y a la vida más larga del horno. La desventaja de usar vidrio usado triturado reside en que casi siempre contiene contaminantes que pueden alterar el color o la calidad del producto, siempre es mejor usar vidrio triturado propio procedente de productos rotos o defectuosos, porque es de una composición conocida y libre de contaminantes.

Aunque la demanda de vidrio triturado blanco es alta, la rentabilidad del reciclaje a menudo varía según la región del país, por los costos de recolección, procesamiento y transporte del vidrio usado hasta las fábricas. El mercado del vidrio colorado también varía con la capacidad de las plantas que fabrican recipientes de vidrio coloreado.

Fibra de vidrio. La industria de fibra de vidrio utiliza vidrio triturado como parte integral del proceso de fabricación, pero como las especificaciones son muy estrictas, casi todo el vidrio triturado procede de operaciones propias o de otros fabricantes de vidrio. Para acomodar el incremento al reciclaje, los mayores fabricantes han expresado su disposición a utilizar cantidades mayores de vidrio triturado usado, si se mantienen unas especificaciones estrictas.

Otros usos. El vidrio no seleccionado por el color es aceptable para la fabricación de glassphalt y materiales de construcción, aunque primero se deben separar contaminantes como metales féreos, aluminio y papel, mediante procesos magnéticos y en vacío. El interés en usar el vidrio como material de pavimentación ha fluctuado a consecuencia de los altos costos del procesamiento y del transporte del vidrio hasta las plantas de asfalto y por la necesidad de cal hidratada para aumentar la adhesión. Es más el producto final no es superior al material de

pavimentación hecho con materiales convencionales. Probablemente habrá más interés en el glasphalt como consecuencia de la legislación que obliga a la desviación de residuos fuera de los vertederos.

Especificaciones para el vidrio recuperado

Normalmente se debe seleccionar, por color, el vidrio que se va a utilizar para hacer nuevas botellas y recipientes y no debe contener contaminantes como suciedad, piedras, cerámicas y baterías de cocina para altas temperaturas (como Pyrex™ u otras vajillas de cristal). Estos materiales, conocidos como materiales refractarios, tienen temperaturas de fundición más altas que el vidrio de recipientes y forman inclusiones sólidas en el producto final. El vidrio de automóvil laminado se prohíbe porque contiene una capa de plástico. El vidrio en planchas, aunque no es un material refractario, afecta a la temperatura de fundición de la mezcla y, normalmente, no se acepta en el vidrio triturado si no se conoce la cantidad de una forma confiable. Se permiten las tapas de aluminio y las etiquetas de papel si van a separarse con un procesamiento adicional antes de añadir el vidrio triturado al horno. Cuando se entrega en una planta de fabricación el vidrio triturado que se va a utilizar para nuevos recipientes, el vidrio se somete a pruebas para determinar los contaminantes y los materiales refractarios; la presencia de materiales prohibidos puede ser razón suficiente para rechazar la totalidad del cargamento. En las Tablas 2-4 y 2-5 se presentan algunas especificaciones de materiales para vidrio recuperado.

Las especificaciones para el vidrio triturado utilizado en la fabricación de fibra de vidrio requieren vidrio blanco con pocos orgánicos, metales o materiales refractarios. Solamente se puede usar una pequeña cantidad de vidrio de recipiente; se prefiere el vidrio en planchas porque la composición química es más cercana a la de las materias primas y a la del propio vidrio triturado. Los fabricantes imponen sus propias especificaciones, aunque algún día pueden adoptarse especificaciones nacionales para promocionar el uso del vidrio usado.

TABLA 2-4. ESPECIFICACIONES PARA EL VIDRIO SELECCIONADO POR COLOR

Color	NIVELES PERMITIDOS DE MEZCLA DE COLOR, PORCENTAJE			
	Blanco	Ambar	Verde	Otros
Blanco	97 a 100	0 a 3	0 a 1	0 a 3
Ambar	0 a 5	95 a 100	0 a 5	0 a 5
Verde	0 a 10	0 a 15	85 a 100	0 a 10

TABLA 2-5. ESPECIFICACIONES PARA CONTAMINANTES EN VIDRIO SELECCIONADO POR COLOR

Contaminante	Causas para el rechazo de cargamentos
Férreo (metal magnético)	<p>Cualquier trozo más grande de 15 cm – 15 cm – 30 cm</p> <p>Más del 1 por 100 del cargamento más pequeño que trozos de 15 cm – 15 cm – 30 cm y más grande que 1,25 cm.</p> <p>Más del 0,05 por 100 del cargamento es más pequeño que trozos de 1,25 cm</p>
Metal no férreo (aluminio, plomo, etc.)	<p>Objetos de tamaño mayor a 2 mm en materiales de envase de vidrio (tapas, papel aluminio) por encima de las cantidades normales inherentes a los envases de vidrio.</p> <p>Objetos de tamaño mayor a 2 mm y que no son de envases de vidrio (plomo, cobre, latón) por encima del 0,5 por 100.</p>
Material orgánico (etiquetas, etc.)	<p>Materiales en envases de vidrio (etiquetas, PlastiShield™) por encima de las cantidades normales inherentes a los envases de vidrio.</p>
Material refractario (cerámica, vajillas, azulejos, etc.)	<p>Materiales no en envases de vidrio (papel, madera, goma) por encima del 5 por 100.</p> <p>Cualquier partícula en una muestra de 23 kg mayor el tamiz 8 USA:</p> <p>Más de 40 partículas en una muestra de 23 kg más pequeña que el tamiz 8 USA, pero más grande que el tamiz 20 USA</p> <p>Más de 40 partículas en una muestra de 23 kg más pequeña que el tamiz 20 USA, pero más grandes que el tamiz 40 USA:</p>
Selección de tamaño de vidrios rotos.	<p>Más del 25 por 100 de los vidrios rotos es más pequeño que 1,8 cm</p>
Otro tipo de contaminación	<p>Cantidades excesivas de suciedad, grava, asfalto, hormigón, cal, basura, etc.</p> <p>Cantidades excesivas de humedad.</p> <p>Contaminación provocada por quemar recipientes de vidrio.</p> <p>Pyrex, material a prueba de horno, vidrio plano, vidrio de automóviles, bombillas, tubos fluorescentes, cerámicas, etc</p>

2.6 METALES FÉRREOS (HIERRO Y ACERO)

Los RSU normalmente contienen aproximadamente el 6 por 100 de latas de hojalata y de otros productos de acero. El porcentaje ha disminuido algo durante la última década porque los recipientes de acero para bebidas han sido sustituidos por recipientes de aluminio y plástico. Los bienes de consumo que normalmente no se desechan en los RSU pero que sí están disponibles para su recuperación incluyen: aparatos domésticos e industriales (bienes de línea blanca), electrodomésticos rotos o viejos y automóviles. Otras fuentes de acero son: tubería cortada o vieja, materiales desechados de la construcción, chatarra industrial y virutas de talleres de mecánica, rechazos de la construcción, puertas de acero, despachos, estanterías, bicicletas, etc.

La demanda de chatarra de acero está relacionada con la economía global y con la demanda de coches nuevos, de máquinas-herramienta y de equipamiento pesado de construcción. Históricamente, la demanda ha sido cíclica; pero ahora parece estable debido a la mejora en la competitividad de la industria del acero en Estados Unidos y al crecimiento del número de pequeñas fábricas, que utilizan casi el 100 por 100 de la chatarra. La demanda en el extranjero también proporciona un fuerte mercado; en 1990, las exportaciones de chatarra de acero eran aproximadamente de 12,6 millones de toneladas.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las principales categorías de metales férreos actualmente recuperados de los RSU son botes de hojalata y chatarra metálica. A continuación se revisan las posibilidades para la reutilización de estos materiales.

Latas de acero. Las latas de acero (también conocidas como latas de hojalata por el recubrimiento de estaño utilizado para controlar la corrosión) se recuperan del flujo de residuos a través de programas de recolección en acera y en centros de recolección o IRM. A menudo, las latas se mezclan con materiales no férreos

cuando se entregan a centros de recolección y deben ser separadas magnéticamente, compactadas y transportadas a una instalación de desestañamiento. La mayoría de las plantas de desestañamiento, primero, trituran las latas, esta actividad también sirve para despegar rechazos de comida y etiquetas de papel. Se utiliza un sistema de vacío para separar estos materiales extraños. Después se selecciona magnéticamente el material triturado para separar el aluminio (en latas bimetálicas) y otros materiales no férricos. Después se separa el estaño del acero limpio, bien mediante el calentamiento en un horno, para volatilizar el estaño, o bien mediante un proceso químico, utilizando hidróxido de sodio y un agente de oxidación. El estaño se recupera de la disolución mediante electrólisis y se forma en lingotes (normalmente, se recuperan aproximadamente de 2,5 a 3 kilos de estaño por tonelada de latas).

El acero sin el estaño separado químicamente se utiliza principalmente en la producción de acero nuevo. La chatarra que tiene estaño separado con calor no es apta para la producción de acero, porque el calor produce la difusión de parte del estaño en el acero y aparece como una impureza en el acero nuevo. En cambio, se utiliza para producir cobre (ver a continuación) y se vende una pequeña cantidad a la industria de pintura, para emplearse como fuente de óxidos de hierro. En EUA, aproximadamente el 96 por 100 de las latas de acero recuperadas se utilizan para producir acero nuevo y solamente el 4 por 100 se utilizan para producir cobre.

En el proceso de extracción del cobre, se tratan los minerales de cobre con ácido sulfúrico para producir sulfato de cobre y la disolución se lixivia a través de la chatarra de acero para producir sulfato férrico, precipitándose el cobre metálico. Aproximadamente se necesitan 1.65 toneladas de chatarra de acero para producir una tonelada de cobre; es deseable una chatarra de acero con una alta relación área superficial/peso, lo que hace de las latas de acero un material excelente. La mayoría de las latas de acero recogidas en California y en el Suroeste de Estados Unidos son utilizadas en la producción de cobre en las minas de Utah y Arizona.

El mayor impedimento para el reciclaje de latas de acero es el alto costo de su transporte. El precio de mercado para las latas de acero está limitado por el precio del acero nuevo; no se esperan, entonces, importantes subidas en el valor de las latas. Normalmente, los centros de reciclaje recuperan sus costos de recolección, procesamiento y entrega de latas solamente si el comprador está cerca geográficamente, porque el costo del transporte hasta la instalación que separa el estaño es usualmente el mayor gasto. A pesar de la rentabilidad marginal, se espera un incremento en los programas de reciclaje de latas de acero como consecuencia de la legislación sobre desvío de residuos fuera del vertedero.

Electrodomésticos, automóviles y chatarra de acero miscelánea. Los bienes de línea blanca, los automóviles y los productos de acero usado misceláneos normalmente son procesados por comerciantes de chatarra y deshuesaderos de coches, quienes consolidan y empaacan el material para los distribuidores y usuarios finales. El primer paso en el proceso de reciclaje es la separación de materiales útiles o peligrosos. Los comerciantes de chatarra que procesan electrodomésticos deben separar motores (que pueden contener PCB, utilizados anteriormente en los capacitadores de arranque) y compresores (que contienen refrigerantes clorofluorocarburos). Los deshuesaderos de coches separan depósitos de combustible, baterías, neumáticos y artículos comercializables, como lunas y radiadores. Si se dejan intactos los motores y los ejes de transmisión, entonces hay que drenar completamente los aceites y los líquidos de transmisión.

Los electrodomésticos, automóviles y artículos voluminosos se compactan y se manda a una trituradora. La trituración y la separación magnética se utilizan porque no es rentable recuperar acero pieza por pieza; la trituración también incrementa la densidad en bruto para un transporte más rentable. Las trituradoras industriales reducen automóviles (incluyendo el bloque de motor y el eje de transmisión) a trozos pequeños que son aptos para la fundición en un horno eléctrico. Hay aproximadamente 220 trituradoras en Estados Unidos y se procesaron aproximadamente 9 millones de vehículos en 1990, así como

electrodomésticos y otros productos de acero voluminosos. No se tritura toda la chatarra; los procesadores industriales también preparan balas de chatarra de acero pesado y láminas metálicas aplanadas.

Especificaciones para materiales férreos recuperados

Las especificaciones para latas de acero y metal de chatarra están bien definidas. Sin embargo, hasta que no exista más material en el futuro, probablemente no se impondrán especificaciones más rigurosas.

Latas de acero. Generalmente se acepta que la mayoría de los consumidores reciclarán las latas de acero solamente si es muy conveniente, porque el precio en el mercado es demasiado bajo como para proporcionar un incentivo económico. Incluso con los programas en acera, se requiere algo de esfuerzo por parte del consumidor para preparar las latas para su recuperación. Los requisitos varían, el Instituto para el Reciclaje de latas de Acero ofrece las siguientes líneas directrices generales, se anima a los consumidores a separar las etiquetas de papel, lavar las latas (con detergente si es posible) y aplastarlas. Los extremos que han sido separados pueden reinsertarse antes de aplastarlas. Las tapas de botellas y botes pueden reciclarse con latas de acero. Las latas de aerosoles son aceptables para el reciclaje si están vacías. Se deben separar las tapas de plástico, pero los pitones atomizadores pueden dejarse intactos. Las latas de pintura son reciclables solamente si queda una capa fina y seca de pintura. Las tapas deben estar sueltas.

Los operadores de centros de recolección y los comerciantes de chatarra consolidan y empacan las latas tal como lo requieren los usuarios finales. En la Tabla 2-6 se muestran las especificaciones generales publicadas por el Instituto de Reciclaje de Latas de Acero.

TABLA 2-6. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CHATARRA DE ACERO CON Y SIN RECUBRIMIENTO DE ESTAÑO

Material	Requisitos
Chatarra de latas embalada para compañías de acero	Las balas deberían tener un tamaño de 60 cm – 60 cm – 60 cm (o 1 m) con un peso específico de 1.200-1.282 kg/m ³ . Las latas pueden embalsarse sin separación de las etiquetas de papel, pero deben estar libres de agua, plástico, madera y otros materiales residuales.
Chatarra en bloques compactados para compañías de acero	La chatarra debería estar apilada y atada en balas, con una densidad de 1.200-1282 kg/m ³ . El peso de las balas está sujeto a negociación
Chatarra de latas embalada para el desestañamiento	Puede ser de diversas dimensiones. El peso específico debería ser nominalmente de 480 kg/m ³ , sujeto a negociación. Es aceptable cinta de acero o alambre.
Latas sueltas	Son aceptables las latas sueltas (enteras o prensadas), sujeto a negociación
Latas trituradas	Son aceptables las latas trituradas (seltas o embaladas). sujeto a negociación

Otra chatarra triturada y compactada. Los comerciantes y los procesadores de chatarra consolidan y empaquetan materiales compactados y triturados según las especificaciones del comprador y las normativas del ISRI (Instituto de Industrias del Reciclaje de Chatarra, Washington, DC), que son aceptadas por toda la industria. Los distribuidores o los usuarios finales siempre deben verificar estas especificaciones.

2.7 METALES NO FÉRREOS

Los metales no férreos constituyen aproximadamente el 3,5 por 100 de los RSU, incluyendo residuos comerciales e industriales. Los materiales reciclables son recuperados de artículos domésticos corrientes (muebles de jardín, baterías y electrodomésticos de cocina, escaleras, herramientas, ferretería), de proyectos de construcción y demolición (alambre de cobre, tubería y suministros de fontanería, artículos de instalaciones de luz, chapa de aluminio, canalones y bajadas, puertas y ventanas) y de productos grandes comerciales, industriales y de consumo (electrodomésticos, automóviles, barcos, camiones, aviones, maquinaria). Se pueden reciclar casi todos los metales no férreos si están seleccionados y libres de extraños como plásticos, telas y goma.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Los comerciantes de chatarra compran materiales al público, compañías de construcción y demolición, garajes, deshuesaderos de coches, comerciantes de electrodomésticos, fabricantes de metal y otros suministradores, y venden a distribuidores o compradores industriales. Los metales se seleccionan según el tipo de aleación, si se conoce, y según el proceso de fabricación (por ejemplo, fundido o forjado). Los artículos bien seleccionados pueden ser consolidados y empacados directamente. La chatarra compleja, como automóviles y electrodomésticos, requiere una combinación de procesos, que incluyen deshuese y selección, compactación, trituración, separación magnética, separación por corriente foucault y empacamiento. En la Tabla 2-7 se muestran fuentes comunes de metales no férreos y algunos de los nuevos productos y usos.

Aunque hay una fuerte demanda para la chatarra, los comerciales normalmente no entran en contratos a largo plazo porque los precios del mercado están fuera de su control. El mercado de chatarra es mundial, las industrias estadounidenses compiten con compradores extranjeros, especialmente de Japón, Taiwan, Corea del Sur, Canadá y México.

Especificaciones para metales no férreos recuperados

Los comerciantes de chatarra consolidan y empacan el material para cumplir las especificaciones requeridas por fábricas y distribuidores; por su parte, los comerciantes tienen especificaciones para el material que compran. Por ejemplo, los deshuesaderos de coches tiene que separar radiadores y otras piezas no férreas de los vehículos, y los vendedores deben separar los compresores y motores de los electrodomésticos. La mayoría de los comerciantes compran chatarra del público tal <<como está>>; si se requiere un gran procesamiento, normalmente se acepta el material, pero se reduce el precio de oferta. Por ejemplo, se podrían aceptar los electrodomésticos que requieran separación de sus motores y de los materiales no metálicos a un precio que sea la mitad que para aquellos en condiciones limpias.

TABLA 2-7 METALES NO FÉRREOS: FUENTES COMUNES Y USOS FINALES

Metal	Porcentaje suministrado para el reciclaje	Fuentes típicas	Productos y usos
Aluminio	34	Recipientes, tubería, muebles para exterior, canalones, chapa, puertas, ventanas, baterías de cocina, serpentines y aletas refrigerantes, automóviles, barcos, camiones, aviones	Recipientes, tuberías, muebles para exterior, canalones, chapa, puertas, ventanas, baterías de cocina, serpentines y aletas refrigerantes, automóviles, barcos, camiones, aviones.
Cobre (incluye latón y bronce)	50	Alambre, tubería, instalaciones de fontanería, válvulas, serpentines y aletas refrigerantes, radiadores, cojinetes.	Los mismos que las fuentes más aleaciones, electrónica, productos químicos, electrochapado.
Plomo	61	Pesos de neumáticos, baterías, cables, soldaduras, selladores de botellas de vino, cojinetes.	Baterías, soldadura, cojinetes, perdigones, aleaciones.
Níquel	27	Aleaciones de alta resistencia y resistentes a la corrosión, motores a chorro, maquinaria industrial	Aleaciones de alta resistencia y resistentes a la corrosión, aceros inoxidables.
Acero inoxidable	NA	Instalaciones de cocina comerciales, mostradores, chatarra industrial.	Aleaciones resistentes a la corrosión y al calor para diversos productos.
Estaño	18	Soldaduras, bronce, materiales de cojinetes, hojalata.	Soldaduras, aleaciones, recubrimientos, planchado.
Cinc	27	Chatarra de aleaciones, automóviles y electrodomésticos, residuos de galvanizado.	Productos galvanizados, latones, aleaciones.

2.8 RESIDUOS DE JARDÍN RECOGIDOS SEPARADAMENTE

Para reducir la cantidad del material que va al vertedero, muchas comunidades recogen y procesan los residuos de jardín separadamente. Normalmente los residuos de jardín se colocan en contenedores o en la calle para su recolección. La forma en que se colocan los residuos en la calle varía de ciudad en ciudad. Algunas comunidades requieren que los recortes de césped estén colocados en bolsas de plástico para su recolección. Se colocan las bolsas de plástico en la misma pila con recortes de arbustos y árboles. En otras comunidades no se requiere el embolsamiento de los recortes de césped y se recogen todos los residuos de jardín de forma no seleccionada.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las principales posibilidades para el reciclaje de residuos de jardín son:

- La producción de compost
- La producción de mulch
- Su utilización como combustible biomasa
- Su utilización como material de intermedio en vertederos.

Producción de compost. Por lo general se acepta que los residuos de jardín son el mejor material de arranque para un compost de alta calidad. Se piensa que las hojas son el material más fácil de procesar, los recortes de césped, aunque sean altos en nitrógeno, producen olores cuando se fermentan solos y normalmente se mezclan con otros residuos. Usualmente los matorrales y los materiales leñosos se manejan por separado porque requieren astillamiento o trituración. La mayoría de las operaciones de compostaje de residuos de jardín se localiza en o cerca de vertederos existentes, donde los residuos desviados sirven como la mayor fuente de materiales primarios. Además, existen carreteras para los camiones y los transportistas están familiarizados con el lugar.

Los operadores de compost lo venden a residentes y jardineros, y algunos tiene contratos con los municipios para que acepten una proporción del compost para obras públicas. Algunos municipios regalan compost a los residentes si lo recogen ellos mismos. Aunque hay un mercado relativamente bueno para el compost de jardín limpio, un obstáculo para la aceptación por parte del cliente es la presencia de plásticos, que se produce por la separación incompleta de las bolsas de plástico antes de triturar los residuos de jardín para producir un material fermentable. El consenso de los que trabajan en la industria es que la calidad debe ser el objetivo prioritario, especialmente porque el suministro de compost se incrementará durante los próximos años.

Producción de mulch. La producción de mulch es una alternativa, de bajo costo, al compostaje de los residuos de jardín. Los matorrales y los residuos leñosos, como recortes de árboles, pueden utilizarse para producir mulch, que puede emplearse en proyectos de paisajismo domésticos y comerciales, así como in situ en el vertedero. Para un vertedero a punto de cerrarse y de ser revegetado, el mulch proporciona beneficios que ayudan al crecimiento y desarrollo de las plantas. En climas secos, el mulch retarda la evaporación y conserva el agua. También controla la propagación de plantas no deseadas en las zonas no plantadas. Puede producirse un mulch grueso idóneo para la conservación del agua y para fines de paisajismo, mediante el astillamiento y la trituración de los residuos en una cubeta trituradora. Un producto más refina, apto par la venta en centros de jardinería, requiere un paso adicional de cribación para producir un tamaño de partícula más uniforme. También, pueden producir mulch las compañías comerciales que recortan árboles, las plantillas municipales de mantenimiento de jardines y las plantillas de mantenimiento de las compañías telefónicas y eléctricas. Por ejemplo, en California, la Pacific Gas and Electric Company recoge y astilla los recortes de árboles durante el mantenimiento anual de la vegetación cerca de las líneas eléctricas. El mulch que producen se regala al público.

Combustible de biomasa. Los residuos de jardín también pueden usarse como combustible de biomasa. Normalmente se utilizan dos etapas para la producción de combustible biomasa. En la primera, los residuos de jardín se Trituran en una cuba trituradora. El material de la cubeta trituradora se pasa a través de un trómel para separar piezas de madera más grandes que 1,25 cm. La viruta de madera más grande que 1,25 cm se vende como combustible de biomasa. Los residuos verdes y la viruta más pequeña que 1,25 cm se fermentan. En la segunda aproximación, todos los residuos de jardín triturados se venden como combustible de biomasa. Aunque el precio que se paga por el combustible de biomasa no seleccionado (residuos verdes y viruta de madera) es menor que el precio pagado por la viruta de madera separada, la mayoría de los gestores prefieren vender los

residuos no seleccionados y evitar así los costos adicionales de procesamiento asociados con la separación de la viruta de madera y la producción de compost.

Cubrición intermedia de vertedero. También pueden utilizarse los residuos de jardín como cubrición intermedia de vertedero. Normalmente, los residuos de jardín se trituran y se fermentan antes de ser colocados. Hay que resaltar que los residuos de jardín fermentados no se curan completamente antes de colocarlos en el vertedero. En algunas operaciones, los residuos de jardín se trituran para reducir su volumen y se colocan directamente como cubrición intermedia.

Especificaciones para residuos de jardín

Las especificaciones para los residuos de jardín que van a fermentarse dependen del uso final del compost. La Agencia de Protección Ambiental ha desarrollado diversas directrices para los productos de compost y algunos estados utilizan estas líneas directrices como estandarizaciones provisionales. Otros estados han elaborado sus propias especificaciones para satisfacer la legislación y para proporcionar consejos a las agencias que obtienen productos de compost para usos públicos, tales como paisajismo y parques. La mayoría de las normativas y de las líneas directrices clasifican los productos de compost según su utilización; por ejemplo, un compost Clase 1 o Clase AA puede ser apto para su uso por el público, sin restricciones, mientras que un compost restringido solamente se permitiría para cubrición de vertedero o recuperación de terrenos de minería abierta. Las especificaciones se elaboran para cumplir las características químicas y biológicas, tales como contenido en nutrientes, contenido orgánico, pH, textura, tamaño de partículas, contenido en humedad, capacidad para retener la humedad, cantidad de extraños, concentración de sales, olores residuales, grado de estabilización o maduración, presencia de patógenos y concentración de metales pesados. Se piensa que los límites permitidos van a estar mejor definidos cuando la industria crezca y las preferencias de los clientes determinen el mercado. En la Tabla 2-8 se muestran las especificaciones para compost de uso general elaborado a partir de residuos de jardín.

Las especificaciones para el uso de los residuos de jardín como combustible de biomasa varían con cada instalación individual. Algunas de las propiedades consideradas para valorar la idoneidad de los residuos de jardín como fuente de combustible incluyen: composición de los residuos, distribución de tamaño, contenido en humedad y grado de contaminación. Al mismo tiempo que continúa incrementándose el suministro de los residuos de jardín, probablemente aumentarán las restricciones en las especificaciones para el combustible de biomasa.

2.9 FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RSU

Los componentes que constituyen la fracción orgánica de los RSU son: residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, residuos de jardín y madera. Pueden reciclarse todos estos materiales, bien separadamente o bien de forma no seleccionada. Se pueden seleccionar los componentes separadamente mediante la separación en origen o en una IRM; también pueden recuperarse de los RSU en forma no seleccionada mediante la separación de inorgánicos. La elección del método de recuperación estará controlada por el uso del material o producto final. Los materiales separados en origen, normalmente, contienen menos contaminantes y exhiben propiedades físicas y químicas diferentes de los componentes no seleccionados. La reutilización y las posibilidades de reciclaje y las especificaciones para los materiales no seleccionados que conforman la fracción orgánica de los RSU son considerados en la siguiente presentación.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las primeras posibilidades de reutilización y reciclaje para los materiales de la fracción orgánica de los RSU son la producción de:

- Compost
- Metano

- Compuestos orgánicos
- Combustible derivado de residuos.

Producción de compost. Los RSU contienen normalmente del 70 al 80 por 100 de material orgánico y el compostaje se está haciendo cada vez más popular como una alternativa de gestión de residuos. Casi todos los sistemas de compostaje de RSU empiezan con la separación de reciclables, metales y materiales peligrosos, seguido por la reducción en tamaño y la separación adicional. Los usos finales para el compost de RSU normalmente se limitan a usos agrícolas o de recuperación de terreno. Pocos operadores venden el producto acabado, aunque algunos lo venden a agencias públicas, granjeros y centros de jardinería. Debido a la mala separación de los materiales entrantes, han sido frecuentes las quejas acerca de la presencia de plásticos y vidrios. En algunos casos, el compost producido de RSU ha sido utilizado como cobertura intermedia de vertederos.

Producción de metano. La producción de metano a partir de los materiales orgánicos contenidos en los RSU no seleccionados se lleva a cabo biológicamente y bajo condiciones anaerobias. Normalmente, el metano se produce a partir de la fracción orgánica de los RSU, bajo condiciones controladas en un biorreactor anaerobio de sólidos en baja concentración (6-10 por 100 de sólidos), o de sólidos en alta concentración (20-35 por 100 de sólidos). El metano se puede utilizar en la producción de energía y calor, o en la conversión a metanol y/u otros productos. La producción de metanol es interesante porque es un combustible de quema limpia y es almacenable. Los sólidos digeridos de los procesos de sólidos en baja y alta concentración pueden fermentarse para elaborar un producto útil o se pueden colocar en un vertedero.

Producción de compuestos orgánicos. Los materiales orgánicos contenidos en los RSU no seleccionados también pueden utilizarse para la producción de diversos compuestos orgánicos, incluyendo azúcares, alcoholes, disolventes,

ácidos orgánicos, gases hidrocarburos y compuestos aromáticos. Por ejemplo, el papel separado en origen se conforma de aproximadamente el 61 por 100 de celulosa, 16 por 100 de hemicelulosa, 21 por 100 de lignina y 2 por 100 de proteínas, cenizas, etc. Con esta composición, el papel residual es idóneo como alimentación en la producción de etanol. Similarmente, pueden utilizarse otros de los materiales orgánicos de los RSU para la producción de otros compuestos orgánicos.

Producción de combustible derivado de residuos. Combustible derivado de residuos se refiere a los residuos procesados para servir como combustible utilizado en las calderas para producir vapor o energía eléctrica. El CDR, frecuentemente, se quema en calderas de servicio público y en sistemas de combustión especialmente junto con carbón. Aunque a veces se consideran los residuos según se desechan como un combustible derivado de residuos, el término usualmente se refiere a los residuos que han sido seleccionados, reducidos en tamaño y refinados mediante la separación de no combustibles, como metales y vidrio.

Especificaciones para la fracción orgánica de RSU

Las especificaciones para los componentes que conforman la fracción orgánica de los RSU depende de las aplicaciones individuales. Las agencias reglamentarias estatales han descrito especificaciones para el compost, con la finalidad de proporcionar unas líneas directrices para los productores de compost y de asegurar una calidad mínima del producto. En la Tabla 2-9 se ha presentado un resumen de las especificaciones más representativas para el compost producido a partir de RSU. Otras especificaciones se desarrollaron a partir de las normativas para el compostaje de fangos y probablemente cambiarán mientras se desarrolla el mercado y crece la industria. Las especificaciones para los materiales orgánicos utilizados como alimentación en la producción de metano variarán según el uso final del material digerido.

TABLA 2-8. ESPECIFICACIONES TÍPICAS PARA COMPOST DE USO GENERAL PRODUCIDO A PARTIR DE RESIDUOS DE JARDÍN

Parámetro	Unidades	Valor		observaciones
		Rango	Típico	
Conductividad	mho/cm	No límites, hasta ≤ 15	Sin especificaciones	El parámetro indica sales solubles.
Materia extraña	Porcentaje	0 a 2	Sin material afilado y peligroso	Minnesota prohíbe todo el material y extraño.
Metales				
Cadmio	ppm ^b	4-10	10	Iowa tiene límites acumulativos para todos los metales en lb/ac-año, según la capacidad de intercambio de cationes del suelo, California y Ohio requieren ensayos, pero no tienen límites
Cromo	o	1.000	1.000	
Cobre	kg/kg ^b	100-1.000	No típico	
Plomo		250-500	No típico	
Mercurio		5-10	No típico	
Níquel		100-200	No típico	
Cinc		200-2.500	No típico	
Humedad	Porcentaje por peso seco	20-40	≤ 40	
Nutrientes	Diversas	Nitrógeno ≥ 1 por 100 NH ₃ :TKN ^c ≤ 10	No típico	Solamente tres estados requieren análisis.
Olor	Ninguna	Sin especificaciones o no molesto	No molesto	
Materia orgánica	Porcentaje	Sin especificaciones	Sin especificaciones	Ohio y Minnesota requieren ensayos; sin límites.
Patógenos	Ninguna	Sin patógenos, a PFRP ^d	No típico	PFRP: Mantener 55°C durante un mínimo de 3 días
PCB	ppm	Sin límites, hasta 1	Sin especificaciones	El límite es 1 para MN, NY
pH	Sin unidades	5,5-7,0	No típico	California requiere $\geq 6,5$
Peso específico	Kg/m ³	Sin especificaciones	Sin especificaciones	
Estabilidad				
Recalentamiento	°C	Sin ganancia de calor, hasta 38°C temperatura máxima	Sin ganancia de calor	Minnesota requiere relación C/N entre 12 y 25 para asegurar que se completa la actividad biológica
Reducción de volumen	de Porcentaje	Sin especificaciones	Sin especificaciones	
Textura	mm	10-13	10-13	Solamente dos estados tienen especificaciones

^b Basado en el peso seco del compost.

^c TKN = Total Kjeldahl nitrogen (nitrógeno total o Kjeldahl)

^d PFRP. Process to further reduce pathogens (Proceso para reducir patógenos adicionalmente), requerido en caso de compostaje junto con fangos.

TABLA 2-9. ESPECIFICACIONES TÍPICAS PARA COMPOST DE USO GENERAL PRODUCIDO A PARTIR DE RSU

Parámetro	Unidades	Valor		observaciones
		Rango	Típico	
Conductividad	mho/cm	<2 a <10	Sin especificaciones	El parámetro indica sales solubles.
Materia extraña	Porcentaje	<2 a ≤6	Sin material afilado y peligroso	La mayoría de los estados no permiten materiales afilados. NC prohíbe residuos peligrosos.
Metales				
Cadmio	ppm ^b	10-15	10	Iowa tiene límites acumulativos para todos los metales en lb/ac-año, según la capacidad de intercambio de cationes del suelo, California requiere ensayos, pero no tienen límites
Cromo	O	No hasta 1.000	1.000	
Cobre	kg/kg ^b	450-1.000	1.000	
Plomo		250-700	500	
Mercurio		5-10	10	
Níquel		50-200	200	
Cinc		900-2.500	No típico	
Humedad	Porcentaje por peso seco	≤40 a 60	Sin especificaciones	Solamente CA y ME tienen límites.
Nutrientes	Diversas	Sin especificaciones hasta nitrógeno >1 por 100	Sin especificaciones	Solamente CA, ME y NH requieren ensayos.
Olor	Ninguna	Sin especificaciones o no molesto	No molesto	Las especificaciones no están estrictamente definidas.
Materia orgánica	Porcentaje	Sin especificaciones hasta >3	Sin especificaciones	Solamente Maine tiene especificaciones
Patógenos	Ninguna	PFRP ^c	PFRP ^c	PFRP: Iowa requiere 55°C durante dos semanas.
PCB	ppm	Sin especificaciones hasta 10	Sin especificaciones	Solamente ME y NC tienen especificaciones.
pH	Sin unidades	6,1-7,8	No típico	California requiere pH ≥6,5.
Peso específico	Kg/m ³	593-770	Sin especificaciones	Solamente Maine tiene especificaciones.
Estabilidad				
Recalentamiento	°C	Sin ganancia de calor, ≤20°C Incremento	No típico	California no permite ninguna ganancia de calor, New Hampshire requiere que el compost <<no sea una molestia>>.
Reducción de volumen	de Porcentaje	Sin especificaciones hasta >60	No típico	
Textura	mm	10-≤25	10	Cinco estados tienen especificaciones.

No hay especificaciones globales de la industria para el CDR, pero ASTM y EPA han clasificado el CDR, y en la Tabla 2-10 se resumen diversas formas de CDR. Las diferentes propiedades del CDR que deberían considerarse e incorporarse en los controles de suministro incluyen: análisis inmediato (contenido en humedad, contenido de ceniza, volátiles y carbono fijo), análisis último (C, H, N, O, S y porcentajes de cenizas), valor calorífico alto (VCA) y el contenido de cloro, flúor, plomo, cadmio y mercurio.

2.10 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los residuos de construcción y demolición (C/D) proceden de la construcción, remodelación y demolición de edificios, de proyectos de repavimentación de carreteras, de arreglos de puentes y de limpieza asociada con desastres naturales. Normalmente, los residuos C/D están constituidos por un 40-50 por 100 de escombros (hormigón, asfalto, ladrillos, bloques y suciedad), un 20-30 por 100 de madera y productos relacionados (palets, tocones, ramas, madera de encofrado y estructuras y ripias) y un 20-30 por 100 de residuos misceláneas (madera pintada o contaminada, metales, productos basados en alquitrán, yeso, vidrio, bienes de línea blanca, amianto y otros residuos de aislamiento, y piezas de fontanería, calefacción e instalaciones eléctricas).

Aunque actualmente se recupera un porcentaje relativamente bajo de residuos C/D, en el futuro probablemente se reciclarán cantidades significativamente grandes, como consecuencia de tarifas de vertido más altas, de legislación obligatoria sobre desvío de residuos fuera de los vertederos y del éxito de empresarios emprendedores para procesar residuos, bien separados en origen o bien mezclados. Muchos vertederos ya utilizan escombros para la construcción de carreteras y para la cubierta diaria, lo que puede ser considerado como desvío por los reguladores. En los municipios donde los residuos C/D se combinan actualmente con residuos domésticos, los programas de reciclaje ofrecen una

excelente posibilidad para cumplir los objetivos de desvío y alargar la vida del vertedero.

TABLA 2-10. FORMAS DE COMBUSTIBLE DERIVADO DE RESIDUOS (CDR)

Designación	Descripción / usos
CDR-1	Residuos utilizados como combustible tal como son desechados.
CDR-2	Residuos procesados a un tamaño de partícula grueso con o sin separación de metales féreos.
CDR-3	Combustible, triturado derivado de RSU que se ha procesado para separar metal, vidrio y otros materiales inorgánicos (este material tiene un tamaño de partículas tal que el 95 por 100 en peso pasa una criba con tamiz cuadrado de 50 mm).
CDR-4	Residuos combustibles procesados en forma de polvo, el 95 por 100 en peso pasa una criba de 2 mm.
CDR-5	Residuos combustibles densificados (comprimidos) en pelets y otras formas.
CDR-6	Residuos combustibles transformados en combustible líquido.
CDR-7	Residuos combustibles transformados en gas combustible.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las posibilidades de reutilización y reciclaje para los residuos C/D dependen de los mercados de materiales individuales en los residuos y de la habilidad para procesar los residuos no seleccionados o para separar cada material. Los principales materiales recuperados actualmente de los residuos C/D son: asfalto, hormigón, madera, cartón yeso, grava impregnada de asfalto y metales.

Asfalto. La mayor parte de los residuos de asfalto proceden de proyectos de repavimentación (el pavimento asfáltico se conforma de una mezcla de aproximadamente el 5 por 100 de betún y el 95 por 100 de áridos). La mayor parte del pavimento viejo reutilizado se procesa para formar una capa de base de carretera, pero hasta el 40 por 100 puede incluirse en nuevos pavimentos (una cifra normal es del 10 al 15 por 100, porque el material viejo ya ha sido degradado por los efectos climatológicos y el sol). El pavimento de asfalto viejo se procesa solo o con hormigón y otros escombros; se rompe la mezcla, se separan magnéticamente los metales féreos y se criba el material roto al tamaño deseado. Al material tamizado se le añaden otros escombros rotos y cribados, y se utiliza

como capa de base de carreteras, o se mezcla con aglomerante asfáltico fresco para fabricar material nuevo de pavimentación.

Hormigón. La mayor parte del hormigón recuperado procede de carreteras, puentes y cimentaciones; se procesa para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y como sustituto de grava en el árido de hormigón nuevo. Se rompen los trozos de hormigón, se separan los materiales féreos, como tornillos y barras de reforjado, y se criba el árido resultante en tamaños aptos para la construcción de carreteras u hormigón nuevo (los áridos utilizados en el hormigón nuevo deben cumplir especificaciones estandarizadas, tales como las de la ASTM). Los áridos recuperados deben ser competitivos respecto a los materiales nuevos y los procesadores pueden mantener precios bajos, mediante el cobro de tarifas de vertido para materiales de hormigón.

Madera. Los residuos de madera procedentes de la construcción o demolición son maderas de estructuras y encofrados, madera laminada y de conglomerado, y madera contaminada con pintura, asbesto o material de aislamiento. Como la mayoría de los residuos de madera son procesados para producir combustible o cubierta en paisajismo, los procesadores normalmente aceptan solamente madera limpia. Los residuos de madera se trituran en una cuba trituradora u otras trituradoras comerciales para madera y se pasan a través de una clasificadora o trómel, donde se separan las piezas grandes. Los metales féreos se separan magnéticamente y los finos (materiales pequeños a menudo vendidos para mulch o enmiendas de suelo) se separan mediante cribación.

Cartón de yeso. En la mayoría de los lugares, el cartón de yeso se vierte con los residuos domésticos, pero la experiencia ha demostrado que no es un material completamente inerte o benigno. La descomposición anaerobia del cartón de yeso puede producir gas de sulfuro de hidrógeno. Por esta razón, se requiere que todo el cartón de yeso viejo se introduzca en bolsas o cajas antes de aceptarlo en las estaciones de transferencia. Solamente hay tres plantas en Estados Unidos y

Canadá que procesan cartón de yeso, aunque se está proyectando una cuarta instalación. En el proceso de reciclaje, se pulveriza el interior de yeso y se devuelve a los fabricantes de cartón de yeso; actualmente, la campaña de recuperación está intentando procesar los residuos de papel para que puedan incorporarse al revestimiento de cartón de yeso nuevo.

Mezcla asfáltica reciclada. Las mezclas asfálticas recicladas contienen hasta el 30 por 100 de asfalto y varios fabricantes de pavimento asfáltico utilizan la mezcla asfáltica reciclada triturada como una porción de su mezcla de capa de base y pavimento de carretera. Las mezclas usadas se reducen mediante un molino de martillo y se separan magnéticamente los metales féreos. El material se criba hasta el tamaño final y se añade a las mezclas de áridos triturados.

Metales. Normalmente, el acero de forjado utilizado en cimentaciones, losas y pavimentos se recupera y se vende a los comerciantes de chatarra. Los procesadores también recuperan la chatarra no férrea, como marcos de ventanas de aluminio, puertas, canalones, chapa, tubería de cobre e instalaciones de fontanería.

Especificaciones para residuos de C/D recuperados

No hay especificaciones globales en la industria para los residuos de C/D. Se negocian individualmente las especificaciones con los compradores de materiales separados.

2.11. MADERA

Los residuos de madera son un componente importante de los residuos de jardín y conforman más del 25 por 100 de los residuos de construcción y demolición, C/D- Los residuos de madera se categorizan según la fuente de generación; residuos de madera cosechada (generados por la limpieza del terreno y las actividades de gestión forestal); rechazos de fábrica (residuos de productores primarios, como

fábricas de pulpa y tabla, y productores secundarios, tales como fabricantes de muebles y ebanistas); palets y residuos de contenedores; residuos de construcción y demolición y otros residuos de madera (residuos de jardín, huertos, centros de jardinería y agrícolas).

La reutilización de la madera se ha incrementado durante la última década como consecuencia de las altas tarifas de vertido, programas de desvío de residuos y mercados en desarrollo. Los usos finales principales son: combustible para calderas y paisajismo, con menores cantidades utilizadas para cubierto de vertederos, alimentación de fábricas de pulpa y papel, cubierta intermedia de vertederos y compostaje de los fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales. La fracción fina se utiliza para el compostaje y enmiendas de suelo. La viruta en polvo y las astillas pequeñas y limpias son muy deseadas como lechos para animales.

Para tener éxito, el procesamiento de la madera requiere un mercado estable y un suministro confiable de materias primas. Muchos procesadores de madera están asociados con las IRM o firman acuerdos para procesar residuos de madera en vertederos, con grandes suministros de material y amplio espacio para camiones y transportistas. El operador del vertedero puede renunciar a la tarifa normal para verter los residuos de madera, que se desvían a la zona de procesamiento de madera, y los procesadores cobran una tarifa reducida para recuperar parte de sus costos operacionales. Las tarifas de vertido varían según la deseabilidad de los residuos; por ejemplo, algunos procesadores pueden cobrar altas cantidades por trozos grandes, pero nada por residuos limpios astillados llevados por compañías de mantenimiento de árboles.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Los residuos de madera llevados a una instalación son inspeccionados para localizar la madera contaminada (madera tratada a presión, madera pintada a presión, etc.) y los materiales no deseados, suciedad, rocas o basuras. Las plantas que procesan madera residual para combustible de calderas y de materiales de paisajismo pueden separar residuos de construcción, residuos de demolición, matorral y ramas y residuos verdes. Como el volumen y el tipo de material varían con la temporada de año, los procesadores a menudo trabajan con un horario intermitente; por ejemplo, un procesador puede permanecer abierto durante las horas de negocio normales, pero almacenar el material durante varias semanas hasta que haya suficiente material como para mantener ocupada a una plantilla. El corazón del equipo de procesamiento es una cuba trituradora o una trituradora comercial grande que se utiliza para triturar los residuos.

Después de triturar los residuos, normalmente, se utiliza un trómel para separar las astillas útiles de las finas, pero el material grande se lleva con las astillas y hay que rastrillarlo manualmente. Un método alternativo es pasar todo el material de la cuba triturado a través de una clasificadora, que es una transportadora que utiliza discos giratorios para llevar el material grande a la parte superior y dejar caer al fondo las astillas y las virutas útiles. Después se criba el flujo combinado de astillas y virutas, y los materiales grandes de la clasificadora se devuelven a la cubeta trituradora. Como las clasificadoras son caras, los operadores pueden usar dos trómeles en serie, uno de los cuales separa el material grande, algunos procesadores incluso venden el material de la cuba trituradora directamente y utilizan sistemas manuales para separar el material grande y las basuras.

El grado de contaminación permitido depende del mercado final. El metal férreo contenido en los palets y en los residuos C/D se separa magnéticamente después de la cuba trituradora o clasificadora. (Las plantas, grandes que utilizan transportadoras para alimentar la cuba trituradora, también pueden usar la separación magnética en el sistema de alimentación.) En algunos sistemas se

separa una porción de los materiales ligeros (por ejemplo, papel y plásticos), después de la clasificación mediante el uso de aire comprimido. Los cribados finos vendidos como enmiendas de suelo deben estar casi libres de plásticos, papeles y otros extraños; y deben separarse los materiales no deseados antes de la trituración porque después será casi imposible separarlos.

Especificaciones para madera recuperada

Las especificaciones para la madera recuperada varían según los mercados disponibles para los procesadores de madera. Los procesadores aceptan diversos residuos de madera, según el suministro posible y el mercado final. Las plantas que producen combustible de caldera prefieren residuos limpios de construcción y demolición, palets y contenedores, y matorral y recortes de árboles limpios; algunos aceptarán tocones pequeños y limpios. Los procesadores no quieren madera tratada a presión, postes de teléfono o traviesas de ferrocarril (tratados con alquitrán o creosota), madera laminada, hojas, recortes de césped, troncos grandes de árbol o trozos sucios, porque estos materiales afectan al rendimiento de las calderas y pueden violar las normativas de contaminación atmosférica.

Las plantas de recuperación energética firman contratos con los procesadores o distribuidores de madera. Los cargamentos se compran en una base seca, porque el contenido de humedad varía según la temporada y el tipo de madera. Se comprueba el contenido de humedad de cada cargamento y se resta el porcentaje del peso bruto de las astillas entregadas. Los cargamentos entrantes también se comprueban regularmente para verificar el valor calorífico del combustible y asegurarse de que el suministrador está cumpliendo las especificaciones contractuales. Los cargamentos se controlan visualmente para localizar contaminantes en exceso, como metales, rocas, barro o materiales no deseados. Los cargamentos que contienen excesivas cantidades de contaminantes, agua o barro se rechazan y se notifica a los suministradores.

2.12 ACEITE RESIDUAL

Los aceites de vehículos incluyen: aceites de carter, aceites de motores diesel y fluidos de transmisión, frenos y dirección asistida. Las fuentes de aceite de vehículos son los propios usuarios, talleres mecánicos, estaciones de servicio y flotas de camiones y taxis, instalaciones militares e instalaciones industriales y de fabricación. El aceite industrial residual incluye: aceite de mecanización, aceites hidráulicos, aceites de elaboración, aceites lubricantes y aceites de carter.

Aproximadamente el 56 por 100 del aceite residual procedente de generadores pasa por el sistema regulado de gestión: recogedores, recuperadores y comerciantes (principalmente comerciantes de aceite combustible). En la Tabla 2-11 se muestra el destino del aceite residual de automóviles e industrial. Aproximadamente se evacua el 34 por 100 de todo el aceite residual, bien mediante el vertido controlado, incineración o vertido incontrolado (del 34 por 100, se vierte de forma incontrolada aproximadamente el 59 por 100).

TABLA 2-11. DISPOSICIÓN DEL ACEITE RESIDUAL EN ESTADOS UNIDOS

Uso final	Aceite controlado		Aceite no controlado	
	l(-10 ⁶)/año	Porcentaje	l(-10 ⁶)/año	Porcentaje
Incineración	1.853,9	73,2	379,6	18,7
Aceite de lubricación refinado	237,3	9,4		
Petroleado de carreteras	150,0	5,9	109,4	5,4
Evacuación	159,3	6,3	1.377,0	67,7
Industrial no como combustible	132,1	5,2		
Reciclable in situ			166,5	8,2
Total	2.532,6	100,0	2.032,5	100,0

Aproximadamente se quema el 49 por 100 de todo el aceite residual, principalmente en la fabricación de cemento, en calefacción central y en calderas comerciales e industriales y marítimas.

Los aceites residuales a menudo contienen metales, disolventes clorados y diversos compuestos orgánicos, incluyendo aquellos listados como contaminantes de prioridad por EPA. La presencia de metales como arsénico, bario, cadmio, cromo y cinc es consecuencia, normalmente, del desgaste de los motores o cojinetes, o de la inclusión de estos metales en aditivos del aceite. Un contaminante común es el plomo en la gasolina con plomo, aunque está disminuyendo significativamente la concentración al mismo tiempo que se incrementa el consumo de combustible sin plomo. Disolventes clorados, como PCB, se encuentran en el aceite residual como consecuencia de mezclas ilegales y fortuitas. La presencia de diversos compuestos orgánicos, como benceno y naftaleno, normalmente está asociada al mismo aceite base.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Desde el punto de vista de la conservación de la energía, el reciclaje del aceite residual es un uso eficaz de los recursos. Los procesadores o refinadores tratan la mayor parte del aceite residual que pasa por el sistema regulado o gestionado, y la mayor parte de los rechazos pesados del procesamiento pueden utilizarse junto con productos para carreteras.

Regeneración. En 1989, había de 200 a 300 reprocesadores en Estados Unidos. Los reprocesadores utilizan el calentamiento y la limpieza suaves para separar sedimentos de fondo, agua, material en suspensión y ceniza; sin embargo, no se reducen significativamente las cantidades de metales orgánicos y volátiles y el producto final sólo es apto como combustible. Los sistemas de reprocesamiento normalmente implican asentamiento, calentamiento, filtración en vacío y centrifugación (ver figura 2-3). El aceite no tratado entra al tanque decantador, donde se separan las partículas más grandes mediante sedimentación. Se procede a calentar el aceite y se filtra al vacío para separar el agua, los hidrocarburos volátiles y los materiales en suspensión. Después de la neutralización y de la demulsificación, el aceite se calienta hasta 149°C y se centrifuga para separar las partículas que pasan a través del proceso de filtración.

Aproximadamente el 90 por 100 de la alimentación sale como producto y el resto se devuelve al calentador. Se produce un fango de metales y sedimentos, que normalmente se quema como combustible en planta o se incorpora en productos asfálticos.

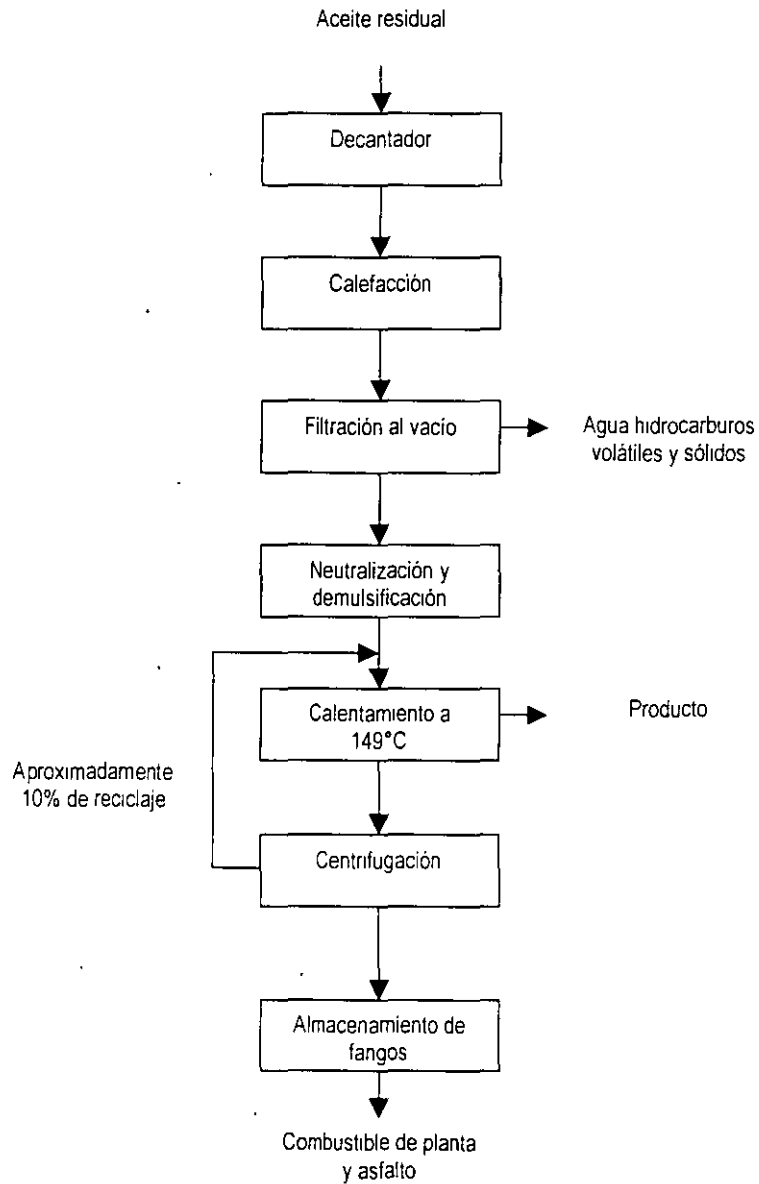


FIG. 2-3. TRATAMIENTO CENTRÍFUGO DEL ACEITE RESIDUAL

Refinado. En 1989, había solamente 16 refinerías en Estados Unidos. Los refinadores utilizan tecnologías similares a las de los reprocesadores para separar sedimentos y agua, así como un tratamiento avanzado para separar contaminantes volátiles y metales, lo que permite la reutilización del aceite como aceite lubricante. Un proceso típico incluye: calentamiento, filtración, destilación y extracción de disolventes, tratamiento con arcilla o tratamiento en un reactor catalítico. Un tratamiento que se está haciendo cada vez más popular es el proceso KTI, desarrollado por Phillips Petroleum y mostrado en la Fig. 2-4. Una destilación primaria separa el agua y los hidrocarburos ligeros; la destilación al vacío produce una fracción importante del rango de los aceites lubricantes. El paso de hidrogenación consiste en la adición de gas hidrógeno y la reacción con catalizador. La hidrogenación separa los contaminantes que hierven en el mismo rango que el aceite lubricante, incluyendo compuestos que contienen cloro, oxígeno y nitrógeno. El aceite tratado se expande a baja presión para separar productos gaseosos y después se fracciona en los tipos deseados de aceite lubricante. El proceso KTI es atractivo porque proporciona una buena producción y calidad del producto, equivalente al aceite lubricante virgen. El proceso es capaz de tratar aceites contaminados con PCB y otros residuos peligrosos.

En los últimos años, los refinadores han sufrido dificultades financieras debido en parte a las normativas cada vez más restrictivas, pero fundamentalmente debido a los bajos precios del petróleo crudo. Entre 1980 y 1990 se construyeron varias refinerías, pero ninguna se puso en marcha. Los bajos precios del petróleo crudo han obligado a bajar los precios del aceite refinado, marginando así la rentabilidad de la recolección, transporte y refinado. Los bajos precios del petróleo crudo también han sido un desincentivo para el reciclaje; en muchos lugares, los generadores de aceite residual deben pagar a los centros de recolección para que acepten el aceite usado y, en consecuencia, los centros de recolección deben pagar a los transportistas.

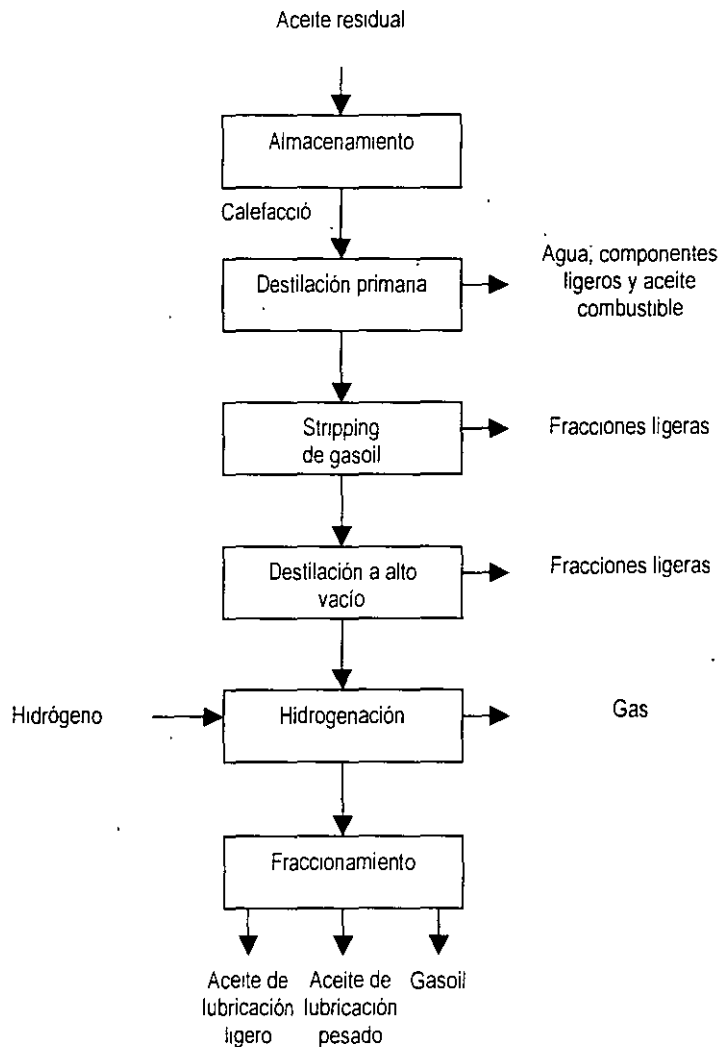


FIG. 2-4. EL PROCESO KINETICS TECHNOLOGY INTERNACIONAL (KTI) PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITE LUBRICANTE.

Normativas para el aceite residual

Hasta finales de 1991, EPA no clasificó el aceite residual como un residuo peligroso si no había sido contaminado con materiales peligrosos, tales como PCB (policlorobifenilos), TCE (tricloroetileno) u otros disolventes clorados. Sin embargo, la agencia propuso tres posibles planes de gestión y planteó promulgar normativas finales para mediados de 1992. Por lo menos 10 estados regulan el aceite usado como un residuo peligroso; existen exenciones para los aceites que cumplen con

las estandarizaciones de reciclaje. El reciclaje del aceite está regulado por EPA y por los estados individualmente, la incineración también está controlada por normativas estatales individualmente, la incineración también está controlada por normativas estatales y federales.

Los aceites combustibles producidos mediante el reprocesamiento deben cumplir con ciertas especificaciones acerca de metales tóxicos (arsenio, cadmio, cromo y plomo), halógenos y punto de inflamación. El aceite usado que contiene menos de 1.000 ppm totales de halógenos puede quemarse sin restricciones federales. Los aceites que exceden los niveles permisibles son designados aceite usado fuera de especificación y pueden quemarse solamente en calderas y hornos industriales y de servicio público.

2.13 NEUMÁTICOS USADOS

Cada año en Estados Unidos se cambian aproximadamente 281 millones de neumáticos. Se estima que 237 son desechados, 10 millones se reutilizan y 33 millones se recauchutan. Entre dos y tres mil millones de neumáticos se han acumulado en pilas de almacenamiento y algunos millones más han sido vertidos ilegalmente. Aproximadamente el 14 por 100 de los neumáticos desechados se utilizan como combustible; se estima que se utilizan un 5 por 100 para aglomerantes, polvo de caucho y usos misceláneos, y se exporta el 4 por 100.

Los comerciantes de neumáticos deshuesaderos de automóviles e incluso los operadores de vertederos pagan a contratistas independientes para recoger los neumáticos usados. En la mayoría de los vertederos ya no se entierran neumáticos enteros, porque ocupan un gran volumen y tienden a subir a la superficie. Los vertederos normalmente aceptan neumáticos como un servicio público, pero cobran una tarifa para cubrir los costos de recolección. Los recogedores de neumáticos separan las cubiertas útiles para su recauchutamiento y entregan los restos a un almacén o trituradora; después de triturarlos, las piezas

se vierten. Los propietarios de plantas de aprovechamiento energético que queman neumáticos también operan sus propios servicios de recolección y recuperan los neumáticos reutilizables.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Las principales posibilidades de reutilización para los neumáticos de goma son el recauchutamiento y reparación, el combustible derivado de neumáticos y los aglomerados. En la exposición siguiente se tratan éstos y otros usos.

Recauchutamiento y reparación. EPA ha sugerido que se podría reducir el número de neumáticos usados si los consumidores compraran neumáticos de mejor calidad y neumáticos usados o recauchutados. Unas 800 compañías en Estados Unidos recauchutan o reparan neumáticos (los recauchutadores solamente cambian la llanta, mientras que los reparadores reponen la llanta y la goma de la pared lateral). Los neumáticos recauchutados forman solamente el 7,5 por 100 de las ventas de neumáticos para automóviles, en parte porque los recauchutados todavía tienen una imagen negativa, pero también porque hay neumáticos de importación más baratos. La popularidad de los neumáticos radiales también ha reducido el recauchutamiento, porque la mayoría de los recauchutadores no pueden pagar los precios de los moldes de precisión y el equipamiento necesario. Los neumáticos de camiones se hacen para recauchutadores y conforman el 39 por 100 de los recambios de camiones. Los recambios de neumáticos para vehículos muy grandes (camiones basculantes, equipamiento para mover tierra, etc.) son tan caros que se recauchutan muchos neumáticos hasta tres veces y los recauchutados constituyen el 60 por 100 de todas las ventas.

Combustible derivado de neumáticos. Actualmente, el mayor uso de neumáticos desechados es el combustible para caleras. Aproximadamente se queman 33 millones de neumáticos anualmente en plantas de aprovechamiento energético y en fábricas. La planta del Oxford Energy Company en Westley, CA,

utiliza 4,5 millones de neumáticos cada año; su planta en Sterling, CT, quema 10 millones y una nueva construcción cerca de Las Vegas, NV, tendrá una capacidad de 18 millones de neumáticos anuales (casi 50.000 por día). Los productores de cemento queman aproximadamente 6 millones de neumáticos anuales y las fábricas de pulpa y papel en Oregón, Washington y Wisconsin utilizan aproximadamente 12 millones.

Aglomerantes betún-caucho

Desde principios de los años sesenta se han utilizado los ligantes betún-caucho. Aproximadamente se utilizan 2 millones de neumáticos cada año, lo que supone menos del 1 por 100 de los desechos nacionales. Hay dos métodos generales para preparar ligantes betún-caucho. En el proceso húmedo se mezcla el polvo de caucho (triturado muy fino) con asfalto a 400°F para formar una unión química; en el proceso seco se utiliza el caucho de los neumáticos sencillamente como sustituto de áridos.

Los contratistas de pavimentos, por lo general, no están contentos con el producto y los departamentos municipales y estatales para mantenimiento de carreteras y calles, inquietos por los altos costos, están preocupados por una posible obligatoriedad en el uso de este material como solución ante el creciente suministro de neumáticos usados.

Otros usos. Cada año se utilizan unos 10 millones de neumáticos para fines misceláneos. Se han utilizado neumáticos enteros para crear arrecifes en Nueva Jersey y Florida, como estructuras para controlar la erosión en California y Carolina del Norte y como barreras contra choques en las carreteras. Los neumáticos rotos y pinchados se utilizan para fabricar diversos productos como percheros, cinturones, arandelas y felpudos. Una pequeña cantidad del polvo de caucho recuperado se mezcla con goma virgen para fabricar llantas nuevas de neumáticos. De estos 10 millones de neumáticos de 3 a 4 millones se procesan especialmente para formar productos de plástico y goma. En Minnesota, una

planta nueva, Tirecycle, de financiación pública, produce polvo de goma tratado con polímeros que se utiliza en la base de moquetas, tejados, correas y artículos moldeados. Los neumáticos también se han tratado experimentalmente mediante pirólisis para producir negro de humo, un componente esencial de neumáticos. Debido al costo relativamente bajo del gas natural, materia prima tradicional para el negro de humo, el proceso no se ha comercializado.

Especificaciones/normativas para neumáticos usados

Por lo general, no hay especificaciones para el reciclaje de neumáticos usados, porque muchas de las aplicaciones son nuevas y no están desarrolladas completamente. Las especificaciones para neumáticos reutilizables varían según los recauchutadores y refabricantes de neumáticos. La Administración Federal de Carreteras está promocionando el uso de asfalto con ligantes de betún-caucho y está preparando líneas directrices y especificaciones para el uso de neumáticos residuales en esta aplicación.

2.14 BATERÍAS ÁCIDAS DE PLOMO

Cada año en Estados Unidos se consumen y cambian aproximadamente de 78 a 80 millones de baterías de automóviles, sin incluir aquellas utilizadas para grandes camiones o usos no automotores, como máquinas de césped y jardín y de energía de emergencia. Existe una estructura bien organizada para reciclar las baterías ácidas de plomo (BAP), y la tasa de reciclaje es del 90 por 100. Por los peligros ambientales que tiene el plomo, el objetivo de EPA y de los gobiernos estatales es mantener una tasa de reciclaje a pesar de las fluctuaciones en el precio del plomo, o de la pérdida de capacidad industrial. En un esfuerzo por crear una infraestructura de reciclaje estable cuando los precios están bajos, EPA ha propuesto tarifas sobre el uso del plomo virgen, programas obligatorios de retorno y un contenido mínimo de plomo reciclado en las baterías nuevas.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

Los fabricantes de baterías y los recuperadores secundarios de plomo llevan a cabo el reciclaje de baterías ácidas de plomo con un esfuerzo conjunto. Cada año en Estados Unidos los productores primarios y las fundiciones secundarias producen aproximadamente 1,4 millones de toneladas de plomo y el 80 por 100 se utiliza para fabricar las BAP (el resto se utiliza para gasolina con plomo –todavía en venta en algunas partes-, pintura, soldadura, material de cojinetes y diversos productos, como pesos para neumáticos y perdigones de plomo). La metalurgia secundaria depende de la recuperación de las baterías usadas para más del 70 por 100 de su suministro (la batería media contiene aproximadamente 8 kg de plomo recuperable). La industria primaria del plomo está en declive y la metalurgia secundaria cubre más que las necesidades utilizando materiales reciclados.

Procesamiento de baterías. En Estados Unidos hay 22 procesadores secundarios activos, algunos están asociados a los fabricantes de baterías, pero la mayoría son independientes. En una planta típica, se aplastan los cargamentos de las baterías y después se separan el plomo, el plástico y el ácido sulfúrico. Se cargan todos los componentes en un horno de reverbero (un horno reverbero es aquel en el que la llama se dirige hacia abajo desde el techo), donde se reducen los óxidos y los sulfatos a plomo metálico. Se sangra el plomo líquido del horno y los rechazos que todavía contienen aproximadamente el 29 por 100 del plomo original van al alto horno, donde se añaden sílice, hierro y cal como fluidizantes y agentes de barrido. Aunque se recupera casi todo el plomo restante en el alto horno, la escoria todavía contiene plomo no recuperado y hay que examinar cada partida para determinar si existe peligro de lixiviación. Si el nivel de toxicidad del test de extracción excede las cinco partes por millón, la escoria debe evacuarse en un vertedero de residuos peligrosos.

Existen nuevas tecnologías que cumplirán los requisitos ambientales y producirán menos escoria. Una es la utilización de un horno de hogar rotatorio en lugar de los hornos de reverbero y altos. La escoria resultante difiere químicamente de la

escoria de los altos hornos y no se lixivia tan fácilmente. En el proceso Engitec Impianti, desarrollado en Italia a finales de los años ochenta, se aplastan las baterías en un molino de martillos y se separan los componentes en una criba vibratoria. Se neutraliza la pasta ácido/plomo, se separan los óxidos de plomo y se recuperan de la disolución el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico, mediante electrodiálisis. Se separan las rejillas, los polos, los separadores del policloruro de vinilo y los fragmentos de caja de polipropileno por medios densos o flotación. Se reducen los óxidos de plomo mediante electrólisis y se combinan con componentes metálicos, después se funde a 400-500°C y se moldean en lingotes. Además del plomo se recuperan el polipropileno y el ácido sulfúrico de batería para su reutilización y se asegura que el método Engitec Impianti no produce residuos peligrosos.

Reciclaje de baterías por el consumidor. En cuanto al consumidor, no hay requisitos especiales para el reciclaje de baterías; sencillamente se entregan a un comerciante o representante cuando se compra una nueva. (Si se ponen en marcha las normativas propuestas por EPA, se exigirá a los comerciantes que acepten toda las baterías usadas independientemente de la realización de una compra). También se aceptarán baterías en las IRM, deshuesaderos, desmontadores de autos y en algunas cadenas de tiendas.

Normativas para baterías ácidas de plomo

Como aproximadamente dos tercios de todo el plomo presente en los RSU proviene de las baterías de automóviles, EPA declaró en 1985 que se considerarán las BAP como residuos peligrosos, aunque se redactaron normativas de almacenamiento y transporte para permitir que los consumidores devuelvan las baterías a una red de recuperación regulada.

2.15 PILAS DOMÉSTICAS

Cada año en Estados Unidos se compran más de 2,5 mil millones de pilas domésticas, unas 10 por persona. Los consumidores no separan la mayoría de las pilas y las desechan con el resto de los residuos domésticos. Las pilas contienen mercurio, cadmio, plomo y otros metales, que se convierten en contaminantes tóxicos en el lixiviado de los vertederos o en las emisiones de las incineradoras. EPA ha descubierto que las pilas domésticas son la fuente de más del 50 por 100 del mercurio y del cadmio encontrados en los RSU.

Posibilidades de reutilización y reciclaje

La mayoría de los consumidores no saben que las pilas domésticas son una fuente potencial de metales tóxicos y pocos estados y municipios intentan recuperarlas. En los pocos programas que existen, se recogen la mayoría de las pilas en tiendas de bienes de consumo eléctricos, en joyerías y en algunas IRM. El reciclaje es difícil porque muy pocas compañías tienen la tecnología para procesar las pilas domésticas y no hay una infraestructura de recolección conveniente. Además las pilas botón mezcladas son difíciles de seleccionar y pueden presentar un peligro de almacenamiento debido a emisiones de vapor de mercurio. Otro obstáculo es que las pilas tienen que ser separadas individualmente para cumplir con los requisitos federales de transporte.

Los consumidores no deberían desechar las pila con los residuos domésticos, sino que deberían entregarlas durante promociones de recolección especiales o ponerse en contacto con agencias públicas que puedan evacuarlas correctamente. No son reciclables las pilas alcalinas y de cinc-plomo, y debido al contenido en mercurio deben evacuarse en vertederos de residuos peligrosos.

Solamente son reciclable las pilas botón de óxido de mercurio y óxido de plata o las pilas de níquel-cadmio, aunque por un precio determinado un procesador desactivará y evacuará las pilas de litio. En la Tabla 2-12 se resumen los tipos de pilas domésticas y los procesadores actualmente conocidos.

TABLA 2.12. TIPOS DE PILAS DOMÉSTICAS Y COMPAÑÍAS DE RECICLAJE DE ESTADOS UNIDOS EN 1992

Tipo de pila	Porcentaje del mercado	Metal contaminante	Procesadores / recicladores
Células botón			
Alcalinas	5	Mercurio	Ninguno
De litio	15	Litio	MERECO (Nueva York) solamente desactivación de litio.
Oxido de mercurio	20	Mercurio	MERECO (Nueva York)
Oxido de plata	5	Plata	MERECO (Nueva York) ECS Refining (California)
Cinc - aire	60		Ninguno
Cilíndricas, células de 6 y 9 voltios			
Alcalinas	75	Mercurio	Ninguno
Cinc-carbono	15	Mercurio	Ninguno
Cadmio - níquel	1	Cadmio	Inmetco (Pennsylvania) MERECO
Otros	4		Ninguno

Normativas para pilas domésticas

Aunque la Agencia de Protección Ambiental (EPA) no clasifica las pilas domésticas como residuos peligrosos, Minnesota y Connecticut han aprobado una legislación que obliga a la reducción del contenido de mercurio en las pilas alcalinas y a que los fabricantes inicien programas de recuperación. Nueva Jersey ha considerado una legislación que obligaría a los fabricantes a aceptar la devolución de pilas de los comerciantes o de los programas municipales de recogida. La Ley en California prohíbe la evacuación de los residuos peligrosos domésticos en los vertederos, pero por lo general no se conocen y no se imponen las normativas sobre pilas, y el único mecanismo oficial de recuperación es a través de recogidas periódicas de residuos peligrosos por parte de los condados y

municipios. El objetivo principal de las agencias públicas no es reciclar las pilas, sino evacuarlas con seguridad.

2.16 POSIBILIDADES FUTURAS DE RECICLAJE

Mientras se va agotando el espacio de los vertederos existentes y se construyen nuevos vertederos, que requieren compras caras de terreno y una protección ambiental rigurosa, es razonable pensar que los gestores de residuos sólidos intentarán reservar el espacio de los vertederos para los materiales que no tienen un potencial de reciclaje rentable. Como las posibilidades de reciclaje son limitadas para muchos materiales, la reducción en origen tendrá más importancia para aquellos materiales actualmente desechos. Aproximadamente el 30 por 100 de los RSU están formados por material de envases, de esta forma hay un gran potencial para la conservación del espacio de los vertederos a través de la reducción en origen. Los fabricantes de envases pueden contribuir a una solución mediante la reducción de la cantidad del material utilizado en cada envase o paquete, utilizando materiales sencillos en vez de compuestos, utilizando materiales reciclados e indicando claramente el tipo de material para facilitar el reciclaje. Los consumidores deben asumir la responsabilidad de elegir productos según la reciclabilidad de su envase.

El papel residual constituye una fracción importante del flujo de residuos y por ello se debe aumentar la capacidad para reciclar periódicos, revistas y calidades inferiores de papel residual. Hay un límite para la cantidad del papel usado que puede incorporarse en papel nuevo; sin embargo; hay que desarrollar los usos adicionales para el papel, tales como pelets de combustible para calefacción doméstica o industrial, y envases laminados para reemplazar envases de plásticos no reciclables. Mientras los consumidores cambian sus hábitos para incluir la separación rutinaria de materiales, se prevé el desarrollo de nuevos productos.

En el futuro se logrará el reciclaje de plásticos mediante procesos químicos y de refinería. Dos productores de resina ya están despolimerizando botellas de PET usado para producir etilenglicol y ácido tereftálico, que se utilizan como materia prima para sintetizar PET de calidad virgen para las botellas nuevas. Las compañías de petróleo más grandes y los productores de resina están trabajando en procesos de refinería que transformarían los plásticos en gases combustibles, alimentadores de hidrocarburos y aceites. Además, varios laboratorios están experimentando con rechazos de trituradoras de automóviles. Una primera situación consiste en separar polímeros en gases de hidrocarburos, otra tecnología es disolver los componentes termoplásticos en diferentes disolventes para recuperar lubricantes y polímeros útiles. Otro paso seguido por la industria de plásticos para minimizar el impacto de los plásticos en los vertederos es la obtención de microorganismos que biodegradan los materiales plásticos existentes identificados. El objetivo es producir una versión biodegradable de diversos plásticos para las aplicaciones de un solo uso, como los envases de comida rápida y las bolsas de película fina. Para facilitar la biodegradación se incorporan fotooxidantes y catalizadores, biológicos y químicos, en la estructura básica del material plástico. La activación de estos catalizadores permitirá que el plástico se degrade biológicamente.