



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TECNOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Apellidos y nombre: Velázquez Martí, Borja (borvemar@dmta.upv.es)¹

Departamento/Centro: ¹Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria
Universitat Politècnica de València

Índice general

1. Resumen de las ideas clave	2
2. Introducción	2
3. Objetivos	2
4. Separación en origen	2
5. Cribado	3
5.1. Cribado de residuos mediante trommel	3
5.2. Cribado de residuos mediante discos	4
5.3. Cribado vibrante o oscilatorio	4
6. Separación por aire	5
7. Separador balístico	6
8. Identificación y clasificación manual	6
9. Separadores de metales	6
9.1. Separadores magnéticos	6
9.2. Separadores por corrientes de Foucault	6
10. Sistema de hundimiento flotación	7
10.1. Separador por flotación en cilindro vertical	8
10.2. Separador por flotación en cilindro horizontal	8
11. Identificación con sensores ópticos	9
12. Cierre	10
13. Ejercicio propuesto	10
14. Bibliografía	10

1 Resumen de las ideas clave

La separación de residuos sólidos según los diferentes tipos de materiales es un paso crucial en la gestión de residuos para poder aplicar las tecnologías de tratamiento de forma más eficiente y económica. Si los residuos son una mezcla heterogénea incontrolada, la presencia de materiales no deseados en el proceso de reciclaje puede llevar a una disminución en la capacidad y calidad de la utilización de los materiales para la fabricación de nuevos productos. Por otra parte, dificulta también la valorización energética, dado que puede variar la inflamabilidad, combustibilidad y poder calorífico. En el caso de la incineración de residuos, la mezcla heterogénea puede provocar una combustión incompleta o la quema de materiales inadecuados, lo que contribuye a la liberación de sustancias tóxicas en el aire. La compostabilidad de los residuos orgánicos se ve afectada cuando se mezclan con materiales no biodegradables. La presencia de plásticos y otros materiales no compostables dificulta la descomposición natural y puede generar residuos no deseables en el compost final. En este artículo se va a describir la tecnología disponible para separar y clasificar los distintos materiales residuales, por tamaño y forma, por densidad, por sus propiedades magnéticas, y por sus propiedades ópticas.

Si estás listo, empezamos...

2 Introducción

La viabilidad de los tratamientos de los residuos para su reutilización, reciclaje, valorización energética, incineración o compostaje requiere materiales con características uniformes. La heterogeneidad aumenta la dificultad técnica de los procesos, su eficiencia, calidad y su coste. Por otra parte, los residuos mezclados requieren una clasificación más exhaustiva antes de poder ser reciclados. Este proceso adicional implica mayores costos y más tiempo, lo que puede desincentivar la práctica del reciclaje. Es por ello que una parte muy importante del sistema de gestión de residuos esté centrada en la separación de materiales. La tecnología empleada en esta fase de clasificación de materiales residuales se basa en propiedades como el tamaño y forma, por densidad, por sus propiedades magnéticas, y por sus propiedades ópticas.

3 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de describir las tecnologías de separación de residuos sólidos de distintos materiales, proponiendo soluciones a los problemas asociados a las distintas operaciones.

4 Separación en origen

La gestión de residuos debería comenzar con la separación en la fuente. Eso abarata costes y procedimientos. Tanto los residuos domésticos, como los producidos en establecimientos comerciales e industriales deberían separarse en categorías específicas, dividiendo los distintos materiales. Esto obliga a planificar las actividades y protocolos de tratamiento de residuos.

El uso de contenedores de diferentes colores facilita la identificación y separación de los residuos. Por ejemplo, contenedores verdes para residuos orgánicos, azules para papel y cartón, amarillos para plástico, etc. Por otra parte, en programas regionales deben establecerse programas de recolección selectiva en los distintos ámbitos geográficos para recoger específicamente los materiales.

La siguiente fase en la gestión de residuos implica la implementación de centros de tratamiento especializados, donde los materiales separados se procesan de manera adecuada. Estos centros pueden clasificar, limpiar y preparar los materiales para su reutilización o reciclaje.

5 Cribado

Es un método utilizado para clasificar y separar partículas sólidas en función de su forma y tamaño. Existen distintas tecnologías disponibles:

5.1 Cribado de residuos mediante trommel

El cribado de residuos mediante un trommel, también conocido como tambor de cribado, es una técnica comúnmente utilizada en la gestión de residuos sólidos. Consiste en un tambor cilíndrico horizontal con cierta inclinación que tiene una malla con agujeros de un tamaño creciente. Los residuos sólidos se alimentan en el extremo de entrada del trommel. Este material puede provenir de fuentes como la recogida de basura municipal, construcción y demolición, o desechos industriales. El tambor del trommel gira sobre su eje horizontal, lo que provoca que los residuos se desagreguen y avancen a lo largo del tambor. Uno de los factores que dificultan la desagregación de las fracciones durante el giro es la humedad. La malla perforada permite que materiales de los distintos tamaños caigan y sean recogidos por un transportador debajo del tambor. Los materiales que no pasan a través de las aberturas del trommel y que son demasiado grandes para el proceso de cribado se dirigen hacia el extremo de salida del tambor.

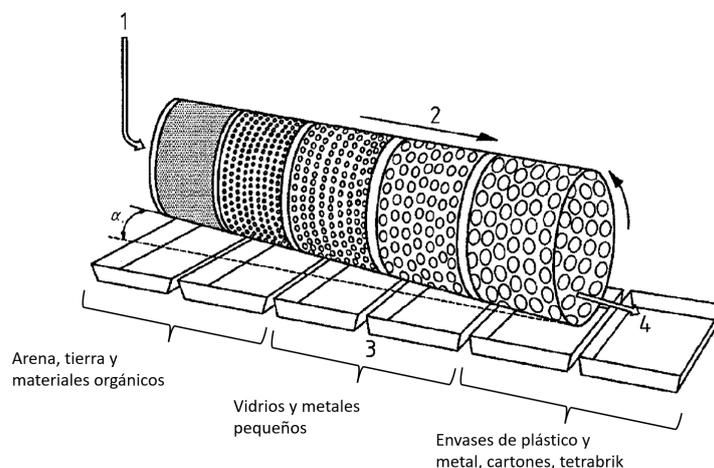


Figura 1: Esquema de la criba por trommel

El trommel se utiliza al principio de la línea de separación de residuos sólidos urbanos (RSU). Éstos suelen estar embolsados por lo que el trommel posee unas cuchillas interiores para rasgar las bolsas y esparcir los residuos. Los materiales orgánicos junto los inertes, como tierra y arena, suelen ser la fracción con tamaño más pequeño, y se recoge desde los orificios menores, aunque puede estar acompañado de vidrios, plásticos o metales de pequeño tamaño, que después serán separados por otras técnicas, tales como separadores magnéticos, técnicas de soplado o flotación-hundimiento. En el trommel el vidrio se quiebra y forma una fracción de un tamaño un poco mayor. Posteriormente, botes metálicos, latas de refrescos, tapaderas, y plásticos supone otra de las líneas de separación. Y finalmente, materiales plásticos de envases, cartón etc. se expulsa por la salida del trommel.

Cada una de las fracciones obtenidas requiere un procesamiento adicional o una clasificación manual.

Aspectos claves del diseño son el diámetro del tambor, velocidad de giro, diámetro de los orificios, longitud de cada tramo.

El diámetro del tambor dependerá del tamaño de los residuos de alimentación y de la cantidad a procesar por unidad de tiempo. Suele estar comprendido entre 2 y 3 m. La longitud es proporcional al diámetro $L = 3,5 \cdot D$.

5.2 Cribado de residuos mediante discos

Este método consiste en utilizar un conjunto de discos giratorios dispuestos en varios ejes horizontales o inclinados. Estos discos están espaciados uniformemente y giran en el mismo sentido al flujo de los materiales. Los materiales a granel se alimentan en la parte superior de la máquina de cribado, donde entran en contacto con los discos giratorios. Los discos giratorios impactan y agitan los materiales a medida que estos pasan a través de la máquina. La combinación de la acción de los discos y la gravedad provoca la separación de los materiales en función de su tamaño y forma.

Durante el proceso, los materiales más grandes pueden fracturarse y romperse debido al impacto repetido contra los discos giratorios. Esto facilita la liberación de materiales más pequeños que pueden pasar entre los discos. Los materiales más pequeños pasan a través de los espacios entre los discos, mientras que los materiales más grandes continúan moviéndose hacia el extremo de la máquina.

Las fracciones de materiales más pequeños que han pasado a través de los discos se recogen en una salida específica, mientras que los materiales más grandes se dirigen hacia otra salida o área de procesamiento.

5.3 Cribado vibrante o oscilatorio

El cribado vibrante u oscilatorio de residuos es una técnica que utiliza tamices para separar y clasificar partículas sólidas de la fracción más pequeña del trommel en función de su tamaño y forma.

El equipo de cribado vibrante consta de un cilindro vertical en cuyo interior se colocan unas superficies perforadas o unas mallas que separa los materiales en función de su tamaño. Estas superficies perforadas se colocan en un marco que permite movimientos oscilatorios o vibraciones.

Los residuos sólidos se alimentan por la parte superior. Se aplica un mecanismo de vibración controlada al tamiz o criba. Esta vibración puede ser circular, lineal u oscilante, dependiendo del diseño específico del equipo. La vibración agita los materiales en la superficie del tamiz. La vibración provoca que los materiales se muevan y se dispersen sobre la malla, permitiendo la separación por tamaño. Las partículas más pequeñas pasan a través de la malla y son recogidas en una salida específica, mientras que las partículas más grandes continúan moviéndose sobre la superficie del tamiz, un poco inclinado y se dirigen hacia otra salida o área de procesamiento. Algunos equipos permiten ajustes en la amplitud y frecuencia de las vibraciones para adaptarse a diferentes tipos de residuos y tamaños de partículas.

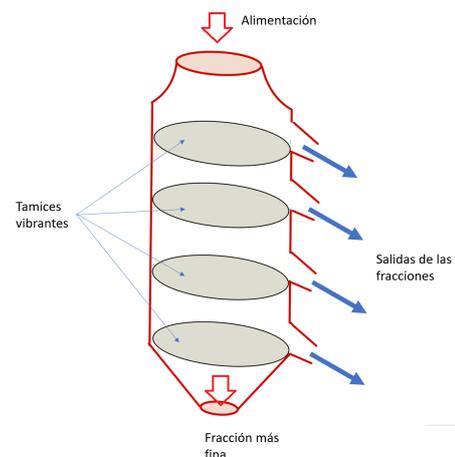


Figura 2: Cribado vibrante o oscilatorio

En algunos casos, el tamiz vibrante puede incorporar dispositivos para limpiar o despejar la malla de manera regular, reduciendo obstrucciones y mejorando la eficiencia del cribado. Estos sistemas generalmente se basan en la inyección de aire.

Este sistema separa bien la tierras, vidrios y plásticos.

6 Separación por aire

Utilizan corrientes de aire para separar materiales ligeros de los más pesados. Este método es eficaz para separar papel y plástico de residuos mixtos.

a) Separador por aire en Zig-Zag

Los residuos son introducidos por la parte superior en un conducto vertical que cambia de dirección formando ángulos alternos, permitiendo que caigan a través de una corriente de aire ascendente. Los materiales ligeros son desviados hacia arriba, mientras que los más pesados descienden hacia abajo.

Los desechos más ligeros, como plásticos y papeles, tienden a ser llevados hacia arriba, mientras que los materiales más pesados, como metales y vidrio, tienden a caer hacia abajo. La eficiencia del proceso dependerá de factores como la configuración del conducto zigzag, la velocidad y la presión del aire, y la naturaleza específica de los desechos tratados.

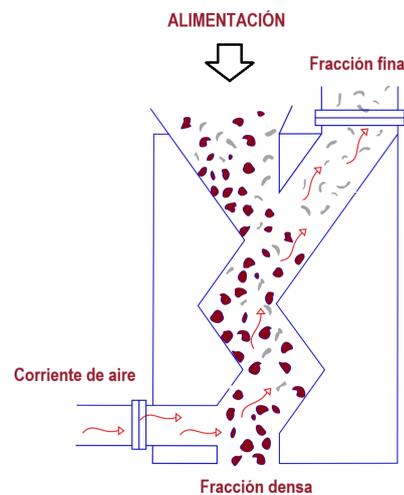


Figura 3: Separador de aire por zigzag

b) Separador de residuos rotativo por aire

El separador de residuos rotativo por aire es un dispositivo diseñado para la clasificación y separación de residuos sólidos en base a sus propiedades físicas utilizando una corriente de aire centrífuga generada por un rotor en movimiento.

Los residuos sólidos se introducen en el separador, generalmente en la parte superior del equipo y la corriente de aire se introduce tangencialmente por la parte inferior. El separador está equipado con un rotor que gira a alta velocidad. La rotación del rotor genera una fuerza centrífuga que afecta el movimiento de los residuos dentro del equipo. La acción del rotor crea una corriente de aire centrífuga en el interior del separador. Esta corriente de aire influye en la trayectoria de los residuos, llevándolos hacia diferentes direcciones según su tamaño y densidad. Las partículas más ligeras tienden a ser llevadas por la corriente de aire hacia la parte superior del separador, mientras que las partículas más pesadas son impulsadas hacia la parte inferior. Las fracciones de residuos separadas son descargadas en salidas específicas, permitiendo la recolección por separado de diferentes tipos de residuos. La velocidad de rotación del rotor y el flujo de aire pueden ajustarse para adaptarse a la composición específica de los residuos y mejorar la eficiencia de la separación.

c) Separador por corrientes de aire cruzadas

Los residuos se depositan en una cinta de transporte y se dejan caer a través de una corriente de aire perpendicular. Los componentes ligeros se soplan horizontalmente hacia un conducto de recolección y los componentes pesados se caen sobre otra cinta. Esto se realiza en una cámara para controlar la deposición adecuada de los materiales en líneas independientes.

d) Separación de residuos en campana de succión

Este proceso implica la aspiración directa de residuos livianos que circulan por una cinta transportadora. El sistema de aspiración está ubicado en una campana por donde se logra extraer eficientemente los residuos de menor peso a través de una tubería de gran sección dirigiéndolos a líneas de procesamiento independientes. Este enfoque es particularmente útil cuando se desea separar materiales ligeros, como papel, plásticos o cartón, de una corriente de residuos más amplia.

7 Separador balístico

El equipo consiste en una plataforma inclinada formada por bandejas en movimiento oscilatorio dispuesta de forma transversal a la alimentación. Los residuos generalmente se descargan por la parte central. El movimiento oscilatorio hace que los residuos más voluminosos y pesados caigan hacia la parte baja de la bandeja, pero los más ligeros saltan hacia la parte superior. Los materiales pequeños se cuelan por los orificios de las bandejas. Por tanto, la línea de alimentación se divide en al menos tres líneas separadas, una con materiales voluminosos y pesados, por la parte inferior; otra de materiales de volumen medio y ligeros, por la parte superior; y otra central de materiales pequeños.

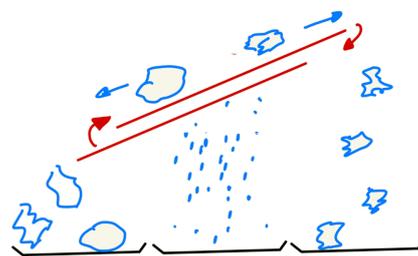


Figura 4: Cribado balístico

8 Identificación y clasificación manual

Los trabajadores en instalaciones de reciclaje pueden realizar la clasificación manual de los residuos conociendo los distintos tipos de materiales que se utilizan para objetos específicos lo que permite a los operarios identificar y clasificarlos en función de su apariencia y características visuales.

9 Separadores de metales

9.1 Separadores magnéticos

Se utilizan para la recuperación de metales ferrosos. Un imán separa automáticamente los objetos de metal de la corriente de residuos, facilitando su reciclaje.

9.2 Separadores por corrientes de Foucault

Los separadores por corrientes de Foucault (Eddy Current Separators en inglés) son dispositivos utilizados para la separación de metales no ferrosos muy conductores, tales como el cobre y el aluminio, de un flujo de residuos circulando por cintas transportadoras.

Las corrientes de Foucault son corrientes eléctricas inducidas en materiales conductores cuando se exponen a un campo magnético variable. Inicialmente se genera un campo magnético variable utilizando imanes o electroimanes. Este campo magnético varía en intensidad y dirección rápidamente. Cuando un material conductor, como un metal no ferroso, pasa a través de este

campo magnético variable, se inducen corrientes eléctricas en el material. Estas corrientes, conocidas como corrientes de Foucault, fluyen en direcciones opuestas a las del campo magnético que las generó.

Las corrientes de Foucault generan su propio campo magnético, que interactúa con el campo magnético original. Esto provoca la generación de fuerzas magnéticas que actúan sobre el material conductor que experimentan una repulsión significativa debido a la interacción de las corrientes de Foucault con el campo magnético. Esta fuerza de repulsión causa que los materiales no ferrosos se desvíen hacia una trayectoria diferente, siendo expulsados de la corriente principal de residuos, lo que permite su recolección por separado para su posterior procesamiento y reciclaje.

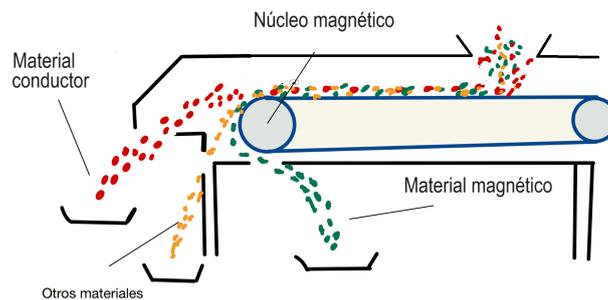


Figura 5: Separador por corrientes de Foucault

10 Sistema de hundimiento flotación

La separación de residuos por flotación es un proceso que se basa en las diferencias de densidad entre los materiales para separar partículas más ligeras de partículas más pesadas. Aunque la flotación se asocia comúnmente con la separación de sólidos de líquidos, en el contexto de la gestión de residuos, la flotación se puede aplicar para separar materiales sólidos tal que con el tiempo suficiente las partículas más ligeras tienden a flotar en un líquido, mientras que las partículas más pesadas tienden a hundirse, formando capas.

Se utiliza un tanque o contenedor especial diseñado para contener una suspensión líquida, generalmente agua. Este tanque puede tener mecanismos para introducir aire o gas. Estas burbujas adhieren a las partículas más ligeras, haciéndolas más flotantes y facilitando su separación.

Este sistema es utilizado para la separación eficiente de plásticos (como fracción ligera), residuos inertes tales como vidrio, cerámica, metales, arena y tierra (fracción pesada), y materia orgánica (fracción intermedia). El plástico tiene una densidad específica que oscila entre 900 y 950 kg/m^3 , menor que la del agua. Como resultado, los residuos plásticos tienden a flotar en la superficie del agua. Por otro lado, el vidrio, la cerámica, los metales y los residuos inertes tienen una densidad específica de 1800 a 2400 kg/m^3 , que es mayor que la del agua y los lleva a hundirse en ella.

La recuperación depende de la densidad relativa y el tamaño de partícula de los contenidos a separar. Las partículas más pequeñas disminuyen la eficiencia de la recuperación, ya que pueden perderse en las corrientes, mientras que las partículas más grandes consiguen una recuperación más alta. Por tanto, la recuperación aumenta con el aumento del tamaño de partícula. La recuperación también depende de la cantidad de sólido en el medio de separación, es decir, la recuperación disminuye con el aumento adicional de la cantidad de contenido sólido en el agua.

Existen distintas configuraciones de los dispositivos de separación de sólidos por flotación. Dos de las más comunes son las siguientes:

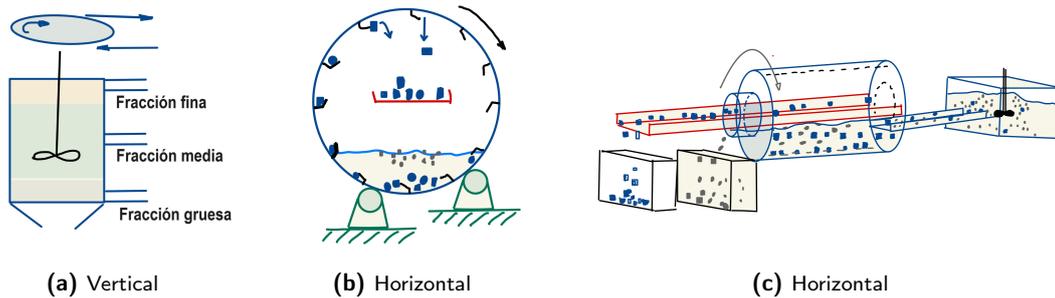


Figura 6: Separador por flotación vertical y horizontal

10.1 Separador por flotación en cilindro vertical

El equipo consiste en un cilindro vertical lleno de agua, donde existen tres entradas y salidas de agua tangenciales al cilindro. Una de las salidas se dispone en la parte superior, otra en la parte intermedia y la última por la parte inferior. El dispositivo funciona en tres etapas.

En la primera etapa los residuos se cargan por la parte superior, y se espera un tiempo para que los materiales se distribuyan verticalmente por densidades. Tras un primer tiempo de espera, las tuberías de la zona intermedia y baja están cerradas por válvulas, introduciéndose agua solamente por la entrada tangencial superior. La fuerza centrífuga hace que las partículas de mayor tamaño y menor densidad que flotan en la capa superior sean removidas de forma independiente. Éstas suelen ser partículas plásticas.

En la segunda etapa se cierra la corriente superior. Se provoca una agitación para movilizar principalmente las partículas de materia orgánica, papel y cartón que se han podido quedar en el fondo, y se abre la corriente en la zona intermedia para remover esta fracción también mediante una corriente tangencial y ayudándose de la fuerza centrífuga.

En una tercera etapa se cierran las válvulas de las tuberías superior e intermedia, y se abre la salida de la parte inferior por donde salen las partículas más pesadas.

10.2 Separador por flotación en cilindro horizontal

En este caso el dispositivo consiste en un cilindro giratorio dispuesto horizontalmente. El líquido llena parcialmente el volumen. En la cara interior del cilindro existen unas bandas cuchara que cuando gira el cilindro recoge los materiales hundidos. Cuando llegan a la parte superior caen en una plataforma que los extrae. Los materiales flotantes son arrastrados por el agua a través de una tubería que desemboca en un canal con un filtro.

Tanto en el sistema vertical como el horizontal el agua circula en sistema cerrado y se somete a filtración y cloración para mantener sus condiciones sanitarias.

11 Identificación con sensores ópticos

Utilizan sensores ópticos para identificar y clasificar materiales basándose en propiedades como el color, la forma y la reflectividad. Los objetos se mueven a lo largo de cintas transportadoras, y los sensores detectan y separan automáticamente los materiales deseados. Posteriormente robots especializados pueden ser programados para seleccionar y clasificar materiales específicos. Estos sistemas son capaces de adaptarse a diferentes formas y tamaños de residuos.

a) Uso de imágenes

Utilizan cámaras y sistemas de visión por computadora para analizar y clasificar objetos en movimiento. Estos sistemas pueden reconocer patrones y formas, ayudando en la identificación y separación de diferentes tipos de materiales. Del mismo modo que en la clasificación manual, a través de imágenes se pueden identificar objetos específicos que se conoce que son fabricados con los distintos tipos de materiales. Esto permite identificar y clasificar los residuos automáticamente y utilizar posteriormente sistemas automáticos o robotizados de separación.

b) Identificación según reflectancia/absorbancia

Identifican materiales en función de sus propiedades espectrales. Pueden distinguir entre plásticos, papel, cartón y otros materiales, lo que permite una clasificación más precisa. Previamente a la trituración, se utilizan sensores ópticos para detectar diferentes tipos de materiales según sus propiedades reflectantes o absorbentes de radiación a determinadas longitudes de onda.

Las bandas mas utilizadas son:

- Infrarrojo: Permite diferenciar diferentes tipos de plásticos (PET, HDPE, PVC, PP y PS).
- XRF (fluorescencia de rayos X): Se utiliza para diferenciar entre metales/aleaciones (por ej., cobre del acero).
- XRT (transmisión de rayos X: Permite identificar materiales basados en la densidad atómica, por ejemplo, halógenos y componentes orgánicos.
- EMS (sensor electromagnético): Es un dispositivo que detecta campos electromagnéticos o propiedades magnéticas en su entorno.

Tras la detección del tipo de plástico por estos sensores se diseñan sistemas de separación automática.

c) Sistemas de escaneo tridimensional

Escanean los residuos tridimensionalmente mediante tecnología Lidar, para identificar y clasificar objetos basándose en su forma y tamaño. Esto es especialmente útil para la clasificación de residuos voluminosos.

d) Tecnologías ultrasonidos

Pueden utilizarse para medir la densidad y la composición de los objetos, facilitando la identificación y clasificación de los materiales.

12 Cierre

Una planta de separación y clasificación de residuos combina distintas tecnologías para mejorar su eficiencia. En la Figura 7 se muestra un ejemplo.

La entrada de los residuos en la línea de proceso se realiza con su descarga directa desde los camiones en un foso. Desde el foso se elevan mediante una cinta transportadora a la tolva de alimentación de un trommel. Desde el trommel los residuos se dividen en tres líneas. Una para materiales orgánicos junto los inertes, como tierra y arena, suelen ser la fracción con tamaño más pequeño (fracción fina). Botes metálicos, latas de refrescos, tapaderas, y plásticos supone otra de las líneas de separación (Fracción media). Finalmente, materiales plásticos de envases, cartón etc. se expulsa por la salida del trommel (Fracción gruesa).

La fracción fina pasa por un separador magnético, y de ahí la fracción fina no metálica se somete a separadores de aire.

La fracción media pasa por un separador balístico, y la fracción media ligera separa plásticos de vidrio por flotación. La fracción gruesa también pasa por un separador de metales, y los materiales no metálicos se separan por sensores ópticos.

Obsérvese que una vez separados se procede a la trituración para entrar en las líneas de tratamiento final fusión, incineración, compostaje etc.

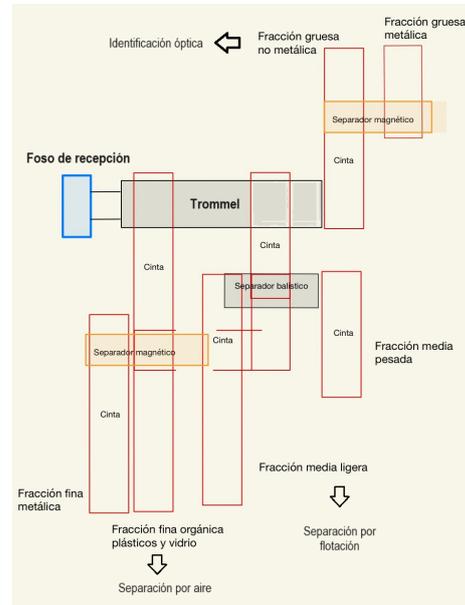


Figura 7: Ejemplo de distribución de la planta

13 Ejercicio propuesto

Investiga y propón un sistema de separación de los distintos materiales residuales de construcción.

Si has propuesto las fases elementales ¿Objetivo conseguido!

14 Bibliografía

Elias X.(2009) Reciclaje de residuos industriales. 2ª Ed. Ed. Diaz de Santos. 1320pp. ISBN: 978-8479788353

Milagro Socarás Ruz R., Pérez Sánchez Y. (2017) Plan de acciones para el manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU): Manejo de los Residuos Solidos Urbanos (RSU) Editorial Académica Española 84 pp. ISBN: 978-3659657184