

# Plantas de Selección de Envases Ligeros

|          |                                                                                     |  |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>2</b> | <b><u>El proceso de selección de envases ligeros</u></b>                            |  |
|          | • Objetivos                                                                         |  |
|          | • Residuos a tratar                                                                 |  |
|          | • Proceso de selección                                                              |  |
|          | - Operaciones de recepción y almacenamiento                                         |  |
|          | - Operaciones de pretratamiento                                                     |  |
|          | - Operaciones de selección de materiales                                            |  |
|          | - Operaciones de control de calidad, adecuación de materiales y gestión de rechazos |  |
| <b>3</b> | <b><u>Control de la producción de plantas de selección de EELL</u></b>              |  |
|          | <b>(Procedimientos y puntos de control)</b>                                         |  |
|          | • Caracterización del material de entrada                                           |  |
|          | • Control de la calidad del material seleccionado                                   |  |
|          | • Control de la composición del rechazo                                             |  |
|          | • Control de materiales seleccionados en stock                                      |  |
|          | • Control de la producción                                                          |  |
|          | • Control del rendimiento de los operarios                                          |  |
|          | • Disponibilidad de la línea de selección                                           |  |
| <b>4</b> | <b><u>Estándares de plantas de selección</u></b>                                    |  |
|          | • Recepción y almacenamiento de residuos de envases de entrada en planta            |  |

- Pretratamiento
- Selección de envases
- Adecuación del material seleccionado y gestión del rechazo

|          |                                                                             |  |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>5</b> | <b><u>Criterios básicos de dimensionamiento de plantas de selección</u></b> |  |
|          | • Dimensionamiento de líneas de selección de EELL                           |  |
|          | • Automatización de líneas manuales de selección de EELL                    |  |
|          | • Dimensionamiento de líneas compartidas de tratamiento de RU y EELL        |  |

**Glosario de equipos y procesos**

|    |                                         |  |
|----|-----------------------------------------|--|
| 1  | Recepción y almacenamiento              |  |
| 2  | Alimentadores primarios                 |  |
| 3  | Abre-bolsas                             |  |
| 4  | Trómel de clasificación                 |  |
| 5  | Separador balístico                     |  |
| 6  | Separador neumático                     |  |
| 7  | Separadores magnéticos                  |  |
| 8  | Separadores ópticos                     |  |
| 9  | Separadores de inducción                |  |
| 10 | Triaje de materiales                    |  |
| 11 | Cintas transportadoras                  |  |
| 12 | Prensas de materiales                   |  |
| 13 | Equipos para la gestión de los rechazos |  |

# 2

## Procesos de selección

**Una planta de selección de envases ligeros** (en adelante EELL) es una instalación especializada en la clasificación, de forma manual y/o mecánica, de los diferentes tipos de envases ligeros, procedentes de la recogida selectiva realizada por los ciudadanos a través de los contenedores amarillos de la vía pública, en función de su composición.

### Objetivos

- Satisfacer la jerarquía de acciones sobre Residuos (Directiva 2008/98)
  - a** Prevención
  - b** Preparación para la reutilización
  - c** Reciclado
  - d** Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética
  - e** Eliminación
- Cumplimiento de la Normativa española vigente en materia de Residuos (Ley de Envases y Residuos de Envases 11/1997 y Ley de Residuos 12/2012).
- Proceder a la valorización de los residuos objeto de selección (EELL).
- Reintroducir materiales seleccionados en el ciclo de consumo, con el consiguiente ahorro de materias primas. Crear una infraestructura industrial y comercial productiva, generadora de puestos de trabajo.
- Generar una mejora ambiental, consecuencia de una adecuada Gestión del tratamiento de los residuos objeto de la selección.



## Residuos a tratar

Las empresas que adhieren sus envases al SIG de Ecoembes los identifican con el denominado "Punto Verde". Esto forma parte de sus obligaciones legales. Los residuos que se tratarán en las plantas de selección de EELL proceden de la recogida selectiva de los contenedores amarillos, donde los ciudadanos han depositado los envases ligeros de origen doméstico. Nos referimos a ENVASES DE PLÁSTICOS, ENVASES METÁLICOS y CARTÓN PARA BEBIDAS Y ALIMENTOS. Estos contienen impurezas o materiales no solicitados que durante el proceso de selección deben separarse de los materiales solicitados.

**Materiales solicitados:** PEAD (polietileno de alta densidad), PET (polietileno tereftalato), PEBD (polietileno de baja densidad, generalmente en forma de film) y la fracción de plástico mezcla (en adelante PM) compuesta por materiales de PS (poliestireno), PP (polipropileno), y otros plásticos; además se encuentran los envases metálicos de aluminio y de acero, así como los envases de cartón para bebidas y alimentos (en adelante CBA).

**Materiales no solicitados:** Cartón, celulosas, P/C, plásticos film de baja y alta densidad y otras impurezas como vidrio, maderas textiles, plásticos no envase, materia orgánica, otros metales, etc.

Es muy importante realizar un control de la calidad de los residuos recogidos que llegan a las plantas de selección, así se podrá conocer la calidad de la recogida selectiva, se dispondrá de los datos necesarios para el cálculo de efectividades, como medida de su buen funcionamiento, de las plantas de selección y se conocerán los flujos de materiales en los procesos de selección y el potencial de recuperación de envases a partir de la recogida selectiva. Para ello, se lleva a cabo un proceso estadísticamente representativo de análisis de los residuos denominado caracterización ([Punto 3](#)).



Planta de selección de envases ligeros.

## Proceso de selección

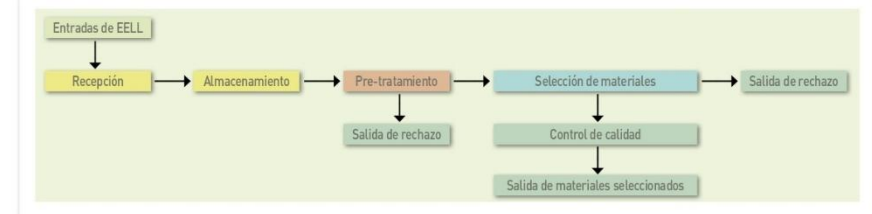
El proceso de tratamiento de una planta de selección de EELL se divide en cuatro grupos principales de operaciones:

- [Recepción y almacenamiento.](#)
- [Pre-tratamiento.](#)
- [Selección de materiales.](#)
- [Controles de calidad, adecuación de los materiales seleccionados y gestión del rechazo.](#)

Estas operaciones son diferentes en función del grado de automatización de las plantas de selección. Las instalaciones se clasifican como automáticas (fig. 2) o manuales (fig. 3) dependiendo de cómo se realice la operación de selección de materiales.

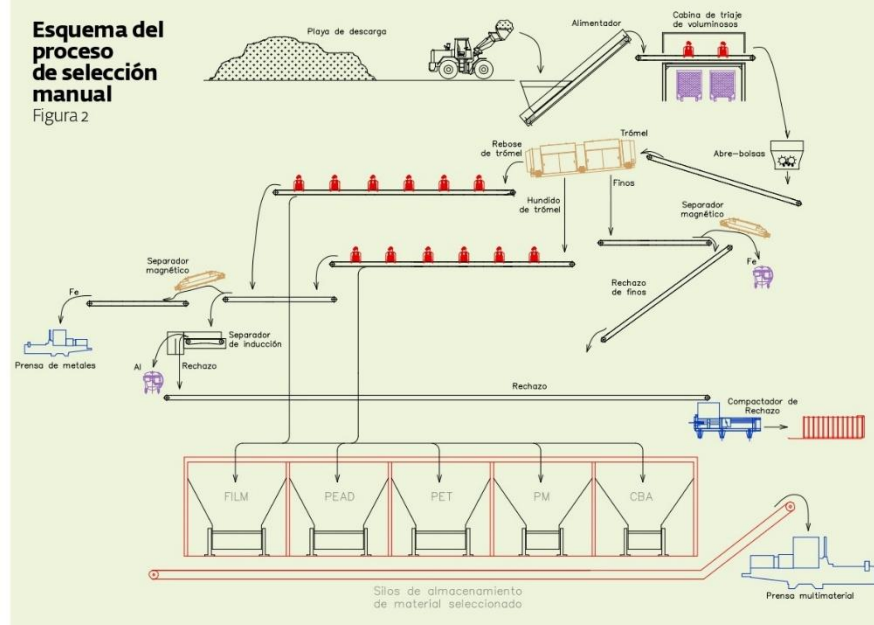
En este apartado se analiza cómo debe realizarse el proceso de selección de los envases ligeros en una planta y qué equipos se utilizan.

Esquema proceso de selección.



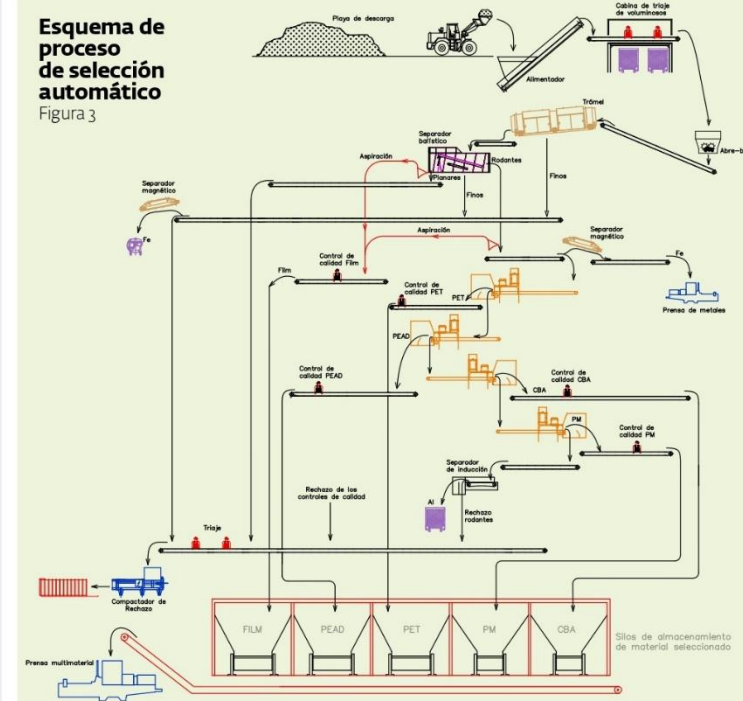
# **Esquema del proceso de selección manual**

Figura 2



# **Esquema de proceso de selección automático**

Figura 3





## Operaciones de **Recepción y almacenamiento**

### **Báscula de control y pesaje de los vehículos de recogida**

Los vehículos con los residuos de envases recolectados de la vía pública llegan a la instalación de selección pasando por el control de accesos y pesadas (báscula). Con el fin de realizar el transporte del material recogido de una forma más eficiente, cuando los vehículos de recogida viaria deben recorrer distancias superiores a 40 km desde el lugar de recogida hasta la planta de selección destino, es conveniente descargar el material en puntos intermedios (estaciones de transferencia) para su compactado y posterior transporte en contenedores de mayor capacidad. En estas ocasiones, el material entrante en planta, está dotado de una mayor densidad, debiéndose tener en cuenta en el momento de dimensionar la capacidad de tratamiento de la instalación.

### **Área de descarga de los residuos transportados**

Una vez pesados e identificados los vehículos, su procedencia y el horario, se dirigen hacia el área de recepción cubierta, don-

de se descargan los residuos transportados en la zona o lugar indicado por el operador del área de descarga y alimentación.

### **Posicionamiento y apilado de los residuos descargados**

La pala cargadora apila los residuos descargados en altura optimizando la superficie disponible destinada a almacenamiento previo al tratamiento.

En este proceso se pueden encontrar determinados componentes de residuos voluminosos que por su forma o tamaño, colchones, grandes envoltorios, bicicletas, etc., obstaculizan el trabajo y podrían afectar a los posteriores equipos de selección. El operario, con ayuda de la pala cargadora, los depositará en un contenedor específico situado en la misma superficie o fuera de la misma.

## Recepción y almacenamiento



### 1 Báscula de control y pesaje de los vehículos de recogida

A la entrada y a la salida se registra la procedencia/destino de los camiones, matrícula, tipología de carga y peso del material.



### 2 Área de descarga de los residuos transportados: playa

Los residuos son descargados en la playa de descarga para su homogeneización y posterior alimentación con pala cargadora.



### 2 Área de descarga de los residuos transportados: foso

En plantas de gran capacidad el material se almacena en fosos para su posterior alimentación mediante púlpas.



### 3 Posicionamiento y apilado de los residuos descargados

La pala cargadora o pulpo retira materiales voluminosos, homogeniza y apila el material según procedencia y horario.



## Operaciones de Pretratamiento

### Alimentación primaria-dosificación

Los residuos depositados en el área de recepción son recogidos por la pala cargadora (playa de descarga) o pulpo (foso), trasladados y descargados en el alimentador dosificador provisto de velocidad variable y de limitador de caudal, mediante el cual se regula el caudal de tratamiento.

### Triaje de voluminosos

Los residuos dosificados regularmente por el alimentador son descargados por el mismo en una cinta transportadora de triaje de voluminosos, donde los operarios de triaje seleccionan aquellos materiales que por su forma o tamaño son perjudiciales para los tratamientos posteriores, como por ejemplo: sábanas de film, cartonaje, RAEE's, etc.

Los materiales voluminosos seleccionados (valorizables y no valorizables) son almacenados en contenedores situados bajo la cabina de triaje para su envío a reciclador o a rechazos del tratamiento.

### Abrebolsas

Los residuos no seleccionados son descargados por la misma cinta de triaje en un equipo abre Bolsas cuya misión es extraer los materiales de las bolsas siendo preparados para el resto de las operaciones de selección.

### Clasificación con trómel

Los componentes de las bolsas se someten a un proceso de cribado por medio de un trómel o criba giratoria, que clasificará los materiales en tres tamaños:

- Componentes de tamaño fino, con alto contenido en orgánicos e inertes.
- Componentes de tamaño intermedio, con alto contenido en envases reciclables.
- Componentes de tamaño grande o rechazos del cribado.

### Clasificación con separador balístico

El flujo de materiales de tamaño intermedio se somete posteriormente a la clasificación balística según forma, tamaño y densidad, y separado en tres nuevos flujos de materiales:

- Flujo de materiales pesado – rodante (rodantes), formado por la mayor parte de los materiales pesados y/o rodantes, fundamentalmente envases para líquidos, envases metálicos y cartón para bebidas y alimentos. Desciende por el plano inclinado del separador balístico.
- Flujo de materiales ligero – planar (planares), formado en su mayor parte por cartones, papeles y otros plásticos film de forma plana o aplastada que ascienden por el plano inclinado del equipo.
- Flujo de materiales finos, formado por finos que no han podido ser cribados en el trómel por estar adheridos a otros o entorpecidos por ellos, y que hunden por la malla del equipo.

La cantidad de material que llega a cada una de las tres fracciones dependerá de la calidad del material que entra en el equipo. Por ejemplo, en instalaciones con un 75 - 85 % de material solicitado a la entrada, el reparto que debe hacer un separador balístico está en el entorno de 80 % de material rodante, 15 % de material planar y 5 % de materiales finos.

En aquellas instalaciones en las que las operaciones de selección se llevan a cabo de forma manual, no se utiliza clasificación por medio de separador balístico. El material procedente del trómel es conducido directamente a la cabina de selección donde los operarios trian los materiales solicitados.

## Pretratamiento



1

### Alimentación y dosificación

El material es descargado por la pala cargadora o pulpo en el alimentador primario, encargado de alimentar y dosificar la línea de tratamiento.

2

### Triaje de voluminosos

Deben retirarse los materiales susceptibles de provocar atascos en el resto de la línea (sábanas de film, cartonaje, RAEE's, etc.)



3

### Abrebolsas

Apertura, desgarrado y vaciado de bolsas, homogeneizando el caudal a la vez que rompe botellas para su vaciado.



4

### Clasificación con trómel

Clasificación por tamaño para separar los EELL (hundido) de la materia orgánica (hundido de finos) y voluminosos (rebose).



5

### Clasificación con separador balístico

Clasificación por densidades para separar el material ligero – planar (film y P/C) del material pesado rodante (envases).



## Operaciones de **Selección de materiales**

### **Separación neumática**

El principal objetivo de la separación neumática es el de limpiar de materiales de film y papel los flujos de rodantes y de planares, ya que dichos materiales entorpecen la selección del resto de materiales. El material seleccionado es sometido a un control de calidad manual para separar impurezas. Posteriormente se almacena para su preparación para expedición (prensado).

### **Separación magnética**

El flujo de rodantes de la separación balística es sometido a selección de materiales magnéticos (acero) mediante separadores del tipo over-band.

Del mismo modo, las fracciones de finos del trómel y del separador balístico son sometidas a selección de materiales magnéticos antes de pasar a formar parte de los rechazos de la selección.

### **Separación óptica**

El flujo de materiales rodantes que no han sido seleccionados por la aspiración neumática de esta línea ni por el separador magnético se somete a separaciones ópticas por infrarrojos o por colorimetría para seleccionar los siguientes materiales solicitados:

- Envases de PET.
- Envases de PEAD.
- Envases de CBA.
- Envases de PM.

Para mejorar el rendimiento y la calidad de selección de estos materiales, la separación neumática y magnética deben preceder a la separación óptica.

### **Separación de inducción**

El flujo de materiales no seleccionados por medio de la separación óptica es sometido a selección de metales no magnéticos (aluminio) mediante un separador de corrientes de Foucault.

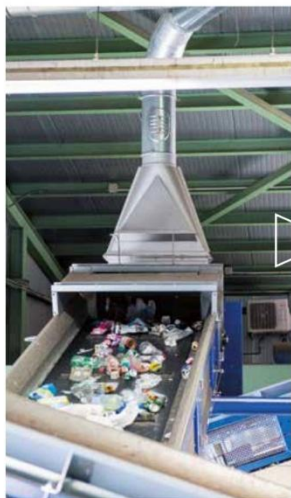
### **Separación manual**

Los materiales no seleccionados de los flujos de rodantes y de planares convergen en una cinta sobre la que son sometidos a triaje manual. El resto no seleccionado pasa a formar parte de los rechazos de la selección.

En aquellas instalaciones en las que las operaciones de selección se llevan a cabo de forma manual el material procedente del trómel es conducido directamente a la cabina de selección donde los operarios trian los materiales solicitados.



## Selección de materiales



### 1 Separación neumática

En los flujos de planares y rodantes primero debe aspirarse el material film para facilitar la selección del resto de materiales.



### 2 Separación magnética

El acero se selecciona mediante un separador magnético situado sobre el flujo de rodantes



### 3 Separación óptica

Mediante separadores ópticos se seleccionan los materiales de PET, PEAD, CBA y PM.



### 4 Separación por inducción

El separador de inducción retira el material de aluminio aprovechando su comportamiento ante las corrientes de Foucault.



### 5 Separación manual

Los materiales no seleccionados en el flujo de rodantes y planares se unen en una corriente para realizar un triaje positivo.



Operaciones de

## Control de calidad, adecuación de materiales y gestión de rechazos

### Control de calidad

Debido a errores producidos en los diferentes equipos, los materiales de envases seleccionados contienen impurezas que reducen la pureza del producto final, por lo que se retiran las impurezas mediante triaje manual.

Esta operación se suele disponer después de las selecciones de cada uno de los materiales recuperados (PET, PEAD, CBA y PM) antes de ser almacenados en silos para su prensado. En otras instalaciones el control de calidad se realiza antes del prensado con el fin de hacer uso de un solo operario para realizar esta operación.

Las impurezas seleccionadas pasan a formar parte del flujo de rechazos de la instalación o bien, si se trata de materiales solicitados, son reciclados a puntos anteriores del proceso para su selección.

### Almacenamiento temporal de materiales seleccionados

Los materiales seleccionados son depositados en espacios confinados específicos para cada uno de ellos (silos de almacenamiento intermedio), a la espera de ser densificados mediante operaciones de prensado.

Los silos de almacenamiento son habitáculos dimensionados en función de los siguientes parámetros:

- Densidad aparente de cada material.
- Producción de cada material seleccionado por turno de trabajo.
- Capacidad horaria de la prensa de compactación.

La extracción de los materiales almacenados en los silos se realiza mediante fondos móviles, cintas transportadoras o bien directamente con pala cargadora, que los evacua hacia el alimentador de la prensa embaladora posterior.

Si la cantidad seleccionada de algún material es más pequeña (ejemplo: aluminio), la producción se almacena en contenedores auxiliares para su posterior prensado.

### Prensado de materiales seleccionados

Los materiales almacenados temporalmente en los trojes o contenedores son sometidos posteriormente a operaciones de aumento de densidad, por medio de prensas de enfardar, mediante las cuales se obtienen balas con densidades adecuadas al almacenamiento definitivo y transporte posterior, con el fin de cumplir los requerimientos establecidos en las Especificaciones Técnicas de Materiales Recuperados (ETMR) de Ecoembes.

Una misma prensa debidamente dimensionada puede estar capacitada para enfardar la producción de todos los materiales seleccionados (PET, PEAD, FILM, CBA y PM) menos para los metales, y en especial el acero, que requieren dimensiones y características de fardos diferentes, así como de prensas específicas.

### Gestión de los rechazos de la instalación

Todos los rechazos de la instalación de selección se concentran habitualmente en una única cinta transportadora de salida que los descarga en el punto de evacuación. En ocasiones la corriente de finos se descarga en puntos diferenciados del resto de los rechazos.

Debido a la baja densidad del material de rechazo, ha de adecuarse su volumen para realizar de forma eficiente su retirada a vertedero. Para ello pueden disponerse varios sistemas alternativos:

- Auto-compactadores.
- Compactadores estáticos.
- Prensa de rechazos.
- Contenedores (para instalaciones de baja capacidad).

El transporte de los contenedores con los rechazos se realiza con vehículos portacontenedores hacia los centros de tratamiento (vertido o valorización energética).



## Control de calidad, adecuación de materiales y gestión de rechazos



### 1 Control de calidad de materiales seleccionados

Los materiales seleccionados automáticamente son sometidos a un control de calidad mediante triaje negativo manual para retirar los impropios.



### 3 Almacenamiento temporal de materiales seleccionados

Antes de ser prensados los materiales son almacenados hasta alcanzar la cantidad de una bala de material.



### 2 Gestión de rechazos de la instalación

El material de rechazo de la instalación es compactado o almacenado en contenedores para su envío a vertedero.



### 4 Alimentación a prensa

Los materiales seleccionados en silos son transportados por un alimentador hasta la prensa multimaterial para su enfardado.

### 5 Prensado de material

Plásticos y CBA son prensados en la prensa multimaterial. Los metales son prensados aparte en una prensa acorde a sus características.



# 3 Control de la producción de plantas de selección de EELL

Para conocer la eficiencia de los procesos, en las plantas de selección de envases se deben llevar a cabo diferentes operaciones de control de rendimiento, calidad de los materiales seleccionados así como el rendimiento de los operarios. Ecoembes lleva a cabo en las plantas de selección diferentes controles para analizar su funcionamiento.

## Caracterización del material de entrada

Como se comentó en el punto 2, con el fin de conocer la calidad de la recogida selectiva, aportar datos necesarios para el cálculo de efectividades de las plantas de selección, conocer los flujos de materiales en los procesos de selección y el potencial de recuperación de envases a partir de la recogida selectiva, se realiza un control

de la calidad de los residuos recogidos y que llegan a las plantas de selección. Para ello, se lleva a cabo un proceso de análisis de los residuos denominado caracterización.

La caracterización de residuos consiste en determinar la composición de un residuo, mediante ensayo normalizado de sus diferentes controlando el error en la estimación del porcentaje de impropios con un margen de error del 5%.

A continuación se expone el procedimiento que se lleva a cabo para la caracterización de los residuos recogidos, buscando conseguir una muestra lo más homogénea posible sobre la que realizar la separación de materiales:

1. En función de las características de la planta y del objetivo de los trabajos, la muestra se puede tomar de los siguientes puntos:

- Directamente de los vehículos de recogida a su llegada a la planta de selección.
- De la playa de descarga o foso de recepción de la planta de selección.

2. Dependiendo del punto del que se tome el material objeto de análisis, se procede a la toma de muestra de la siguiente manera:

- En los casos en que se tome el material de un vehículo recolector, todo el contenido del mismo se descarga en una superficie limpia y pavimentada. A continuación se procede a su homogeneización por medios mecánicos y se toma una cantidad de, aproximadamente, unos 1.000 kg.
- Si el material se obtiene de la playa de descarga o del foso de recepción, se toma, previa homogeneización, una cantidad de unos 1.000 kg.

3. Las muestras tomadas tanto del vehículo recolector como del foso de recepción o playa de descarga, serán depositadas en una superficie limpia y pavimentada, para proceder a su extendido y homogeneización por medios mecánicos.

4. Después de esta homogeneización, se realizará un primer cuarteo y se tomará el material de dos cuartos opuestos elegidos al azar. Este material se extenderá aparte y se realizará la apertura de las bolsas cerradas.

5. Sobre esta fracción de material, unos 500 kg, se efectuará una homogeneización y un segundo cuarteo. Posteriormente, se realizará la apertura de las bolsas que aún continúen cerradas y, finalmente, se tomarán 50 kg de cada cuarto y otros 25 kg de dos cuartos opuestos elegidos al azar. De esta manera, se obtendrán 250 kg de muestra sobre la que se realizará la separación de materiales.

**FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE ENVASES LIGEROS** Tabla 1

Datos Generales

Tipo de Caracterización: ☒ Entrada en Planta ☐ Residuos de Planta Fecha: 05/12/14

Comunidad: \_\_\_\_\_

Entidad: XXX \_\_\_\_\_

Lugar de la Caracterización: PS XXX \_\_\_\_\_

Empresa Caracterizadora: YYY S.A. \_\_\_\_\_

**Resultado de la Caracterización**

| Material                                                                   | Cantidad (kg) | % Peso |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|
| <b>Material Solicitado (Ejemplo):</b>                                      |               |        |
| PET                                                                        | 48,12         | 18,60  |
| PEAD Natural                                                               | 5,00          | 1,93   |
| PEAD Color                                                                 | 20,00         | 7,73   |
| PVC                                                                        | -             | -      |
| Film (excepto bolsas de un solo uso)                                       | 15,00         | 5,80   |
| Film bolsas de un solo uso                                                 | 10,00         | 3,87   |
| Resto de Plásticos                                                         | 15,00         | 5,83   |
| Acero                                                                      | 50,00         | 19,60  |
| Aluminio                                                                   | 2,85          | 1,10   |
| Cartón para bebidas                                                        | 36,09         | 14,18  |
| Madera                                                                     | -             | -      |
| <b>Material No Solicitado (%):</b>                                         |               |        |
| Materia orgánica                                                           | 10,12         | 3,91   |
| Restos de jardín y podo                                                    | 0,04          | 0,01   |
| Cables                                                                     | 0,04          | 0,01   |
| Techos                                                                     | 5,12          | 1,98   |
| Madera no envasar                                                          | -             | -      |
| Madera Envasar Comercial Industrial                                        | -             | -      |
| Vidrio (excepto)                                                           | 3,14          | 1,23   |
| Plásticos No Envasar (Excepto Film Bolsas Resaca)                          | 3,86          | 1,49   |
| Film bolsa basura                                                          | 0,37          | 0,14   |
| Plásticos Envasar Comercial Industrial (Excepto Film Comercial Industrial) | 3,58          | 1,38   |
| Film Comercial Industrial                                                  | 6,14          | 2,37   |
| Restos de otros metales                                                    | -             | -      |
| Acero no envasar                                                           | -             | -      |
| Acero Envasar Comercial Industrial                                         | -             | -      |
| Aluminio no envasar                                                        | -             | -      |
| Aluminio Envasar Comercial Industrial                                      | -             | -      |
| Otros (indicar significativos)                                             | 10,82         | 4,18   |
| Papel Cartón                                                               | 6,57          | 2,46   |
| Papel Impreso                                                              | 3,78          | 1,46   |
| Envasar Doméstico con Punto Verde                                          | 1,47          | 0,57   |
| Envasar Doméstico sin Punto Verde                                          | 3,12          | 0,43   |
| Envasar Comercial con Punto Verde                                          | -             | -      |
| Envasar Comercial sin Punto Verde                                          | -             | -      |
| <b>Material Solicitado (Ejemplo):</b>                                      | 202,66        | 78,35  |
| <b>Material No Solicitado (%):</b>                                         | 56,01         | 21,65  |
| <b>Total</b>                                                               | 258,67        | 100,00 |

**Observaciones:**

Desgloses en kg: (1) Otros: Líquido contenido en envase: 2,13 kg. Multimaterial: 1,86 kg. Restos de medicamentos: 0,01 kg. BAEF y 2,11 kg. Material inutilizable del que se ha separado la totalidad de la fracción envasar: 2,71 kg.

(\*) Todos los materiales que no corresponden a envases domésticos de metal, plástico, madera o cartón para bebidas.

6. La separación de los materiales para su caracterización se efectuará manualmente, pesándose cada una de las fracciones con una báscula adecuadamente calibrada/verificada.

7. Hay que verificar que los materiales estén correctamente separados y el resultado de cada muestreo se refleje en una ficha de caracterización.

Los resultados obtenidos en la ficha de caracterización se muestran clasificados en materiales solicitados y no solicitados (Tabla 1). Los materiales solicitados son los envases ligeros domésticos, siendo los no solicitados el resto de materiales.

## Control de la calidad del material seleccionado

Se trata de llevar a cabo un análisis de la calidad de las distintas fracciones de materiales recuperados en las plantas de selección controlando el error en la estimación del porcentaje de impropios con un margen de error del 10%.

El control de calidad se podrá realizar en el material a granel o prensado en balas.

Las causas para realizar un control de calidad de materiales recuperados en las plantas son las que a continuación se indican:

1. Control derivado de programación anual (control de seguimiento).

Estos controles se limitarán, en el caso de material prensado en balas, a la apertura del número de balas indicado en la columna correspondiente al Nivel de Calidad Aceptable de la Tabla 2).

2. Control derivado de disconformidad.

3. Controles de primera designación de recuperador/reciclador.

El control de calidad de las balas se basa en un sistema

de muestreo por atributos AQL. Para ello, se emplea el método de las tablas de muestreo de MIL-STD-105D del "Manual de Control de Calidad" de J. M. Juran y Frank M. Gruyna. Esta metodología de control está basada en los siguientes puntos básicos:

- Obtención del tamaño de la muestra según el número de balas del lote o en stock, para cada material, para un muestreo simple y un nivel de inspección normal (nivel II).
- Obtención del número de balas de aceptación o de rechazo para el nivel de calidad aceptable elegido según la Tabla 2.
- Aceptación o rechazo del lote o stock inicial según el número de balas rechazadas, referenciadas con la **ETMR** correspondiente. En caso de que se alcance el número de balas de rechazo estipulado para la muestra, el lote o stock se considerará no conforme, identificándose como tal.

### Elección del tamaño de la muestra en los controles de calidad. Tabla 2

| Tamaño de lote | Tamaño de muestra | Nivel de calidad aceptable (1) |
|----------------|-------------------|--------------------------------|
| 2 a 8          | 2                 | 2                              |
| 9 a 15         | 3                 | 2                              |
| 16 a 25        | 5                 | 2                              |
| 26 a 50        | 8                 | 3                              |
| 51 a 90        | 13                | 4                              |
| 91 a 150       | 20                | 6                              |

(1) Número de balas que no cumplen ETMR para rechazar el lote o stock.

Para tamaños de muestra superiores a los recogidos en la tabla anterior, se estudia el nivel de inspección y de calidad aceptable.

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR) DE RESIDUOS DE ENVASES DE PLÁSTICO PET EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado                                                                                                                                                                                                                                                     | Envases de PET (se admiten todos los colores) procedentes de recogida selectiva $\geq 95,50\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado).<br>Este porcentaje incluye la humedad.                                                                                                           |
| Impropios                                                                                                                                                                                                                                                               | Impropios $< 4,50\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:<br>• PVC (botellas completas y fragmentos) $< 0,25\%$<br>• metales $< 0,25\%$<br>• suma de otros materiales plásticos y otras impurezas $< 4,00\%$                                                                                                  |
| Condiciones de entrega                                                                                                                                                                                                                                                  | Los envases deben haber sido pinchados<br>En balas de longitud: 1,005 L $\leq$ 1,50 m y densidad $\geq 190,00$ kg/m <sup>3</sup><br>Fleje de las balas: acero<br>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.<br>Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas) |
| Valores de porcentaje en peso.<br>Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.<br>Suma de otros materiales plásticos y otras impurezas no incluye ni PVC ni metales. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)  
DE RESIDUOS DE ENVASES DE PLÁSTICO PEAD  
EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado    | Botellas y bidones de PEAD procedentes de recogida selectiva $\geq 90,00\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado).<br>Este porcentaje incluye la humedad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Impropios              | Impropios $< 10,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• cauchos siliconas, espumas poliestireno y poliuretano <math>&lt; 0,05\%</math></li> <li>• envases de otras poliolefinas y de otros materiales plásticos (excepto cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano) <math>&lt; 7,00\%</math></li> <li>• metales <math>&lt; 0,50\%</math></li> <li>• papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) y otras impurezas <math>&lt; 2,00\%</math></li> </ul> |
| Condiciones de entrega | En balas de longitud: 1,00s L $\leq 1,50$ m y densidad $\geq 210,00$ kg/m <sup>3</sup><br>Fleje de las balas: acero<br>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.<br>Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)                                                                                                                                                                                                                                                 |

Valores de porcentajes en peso.

\*Cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano\* se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias.

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.

Suma de otros materiales plásticos y otras impurezas no incluye ni PVC ni metales.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)  
DE RESIDUOS DE ENVASES DE PLÁSTICO PEAD NATURAL  
EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado    | Botellas y bidones de PEAD NATURAL procedentes de recogida selectiva $\geq 90,00\%$ (incluidos etiquetas y tapones que formen parte del envase tras el prensado).<br>Este porcentaje incluye la humedad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Impropios              | Impropios $< 10,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• envases de PEAD color (incluido blanco) y con multicapa negra <math>&lt; 1,00\%</math></li> <li>• cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano <math>&lt; 0,05\%</math></li> <li>• envases de otras poliolefinas y otros materiales plásticos (excepto PEAD Color, PEAD Blanco, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano) <math>&lt; 7,00\%</math></li> <li>• metales <math>&lt; 0,50\%</math></li> <li>• papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) y otras impurezas <math>&lt; 1,50\%</math></li> </ul> |
| Condiciones de entrega | En balas de longitud: 1,00s L $\leq 1,50$ m y densidad $\geq 210,00$ kg/m <sup>3</sup><br>Fleje de las balas: acero<br>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.<br>Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Valores de porcentajes en peso

\*Cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano\* se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.

Otras impurezas no incluye: PEAD color, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano, envases de otras poliolefinas y de otros materiales plásticos y metales.

PLÁSTICO FILM

| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)<br/>DE RESIDUOS DE ENVASES DE PLÁSTICO FILM<br/>EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado                                                                                                                                                     | Envases flexibles de film (bolsas y films de embalaje, incluido el film extensible y el film retráctil) procedentes de recogida selectiva $\geq 82,00\%$ (incluidas las etiquetas que formen parte del envase tras el prensado).                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Impropios                                                                                                                                                               | <p>Impropios <math>&lt; 8,00\%</math> con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PET <math>&lt; 1,00\%</math></li> <li>• cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano <math>&lt; 0,05\%</math></li> <li>• metales <math>&lt; 1,50\%</math></li> <li>• papel/cartón, cartón bebidas/alimentos (brik) <math>&lt; 2,50\%</math></li> <li>• otras impurezas <math>&lt; 9,00\%</math></li> <li>• Humedad <math>&lt; 5,00\%</math></li> </ul> |
| Condiciones de entrega                                                                                                                                                  | <p>En balas de longitud: 1,00s L <math>\leq 1,50</math> m y densidad <math>\geq 250,00</math> kg/m<sup>3</sup></p> <p>Fleje de las balas: acero</p> <p>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.</p> <p>Envío: camión completo (mínimo 15,00 toneladas)</p>                                                                                                                                                                                |

Valores de porcentajes en peso.

"Cauchos siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano" se refiere a envases de cauchos, siliconas, espumas de poliestireno y poliuretano o a envases cuyo contenido previo haya sido alguna de estas sustancias.

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo, exceptuando el límite para la fracción humedad que va referido a material seco.

Otras impurezas no incluye PET, cauchos, siliconas, espumas poliestireno y poliuretano, metales, papel cartón y cartón bebidas/alimentos (brik). Así mismo no quedan incluidas dentro de otras impurezas aquellas que impregnan el envase.

PLÁSTICO MEZCLA

| <b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)<br/>DE RESIDUOS DE ENVASES DE PLÁSTICO MEZCLA EN PLANTAS DE SELECCIÓN<br/>DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado                                                                                                                                                       | <p>Envases de plástico procedentes de recogida selectiva, no reclamados en otras fracciones <math>\geq 80,00\%</math> (incluidos etiquetas adheridas y tapones que aún formen parte del envase tras el prensado).</p> <p>Esta fracción incluye, por tanto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• envases de PEAD no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del PEAD</li> <li>• envases de PET no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del PET</li> <li>• envases de Film no incluidos en su fracción de acuerdo a la ETMR del Film</li> <li>• resto de envases plásticos sin fracción específica (PVC, polipropileno, poliestireno, etc...)</li> </ul> <p>Este porcentaje incluye la humedad.</p> |
| Impropios                                                                                                                                                                 | <p>Impropios <math>&lt; 20,00\%</math> con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• envases plásticos que deben incluirse en sus fracciones respectivas ( PET, PEAD y Film) <math>&lt; 10,00\%</math></li> <li>• otros materiales plásticos no envases <math>&lt; 10,00\%</math></li> <li>• metales, papel/cartón, cartón/bebidas( brik) y otras impurezas <math>&lt; 4,00\%</math></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Condiciones de entrega                                                                                                                                                    | <p>En balas de longitud: 1,00s L <math>\leq 1,50</math> m y densidad <math>\geq 210,00</math> kg/m<sup>3</sup></p> <p>Fleje de las balas: acero</p> <p>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.</p> <p>Envío: camión completo (mínimo 10,00 toneladas)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Valores de porcentajes en peso

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.

Otros materiales plásticos no envases incluye cajas de PEAD inyección

Otras impurezas no incluye envases plásticos que deben incluirse en sus fracciones respectivas (PET, PEAD y Film), ni otros materiales plásticos no envases.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)  
DE RESIDUOS DE ENVASES DE CARTÓN PARA BEBIDAS/ALIMENTOS  
EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado    | Cartones para bebidas/alimentos líquidos procedentes de recogida selectiva $\geq 95,00\%$ (incluidos los tapones que formen parte del envase tras el prensado).<br>Este porcentaje incluye la humedad.                                                                              |
| Impropios              | Impropios $< 5,00\%$ con límite máximo para las siguientes fracciones de:<br>• otros envases $< 3,00\%$<br>• otros impropios $< 2,00\%$                                                                                                                                             |
| Humedad                | Humedad $< 10,00\%$                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Condiciones de entrega | En balas de longitud: 1,00s L $\leq 1,50$ m y densidad $\geq 400,00$ kg/m <sup>3</sup><br>Fleje de las balas: acero<br>La integridad de las balas debe mantenerse a lo largo de la carga, transporte, descarga y almacenamiento.<br>Envío: camión completo (mínimo 20,00 toneladas) |

\*Valores de porcentajes en peso.

Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR)  
PARA SALIDA DE RESIDUOS DE ENVASES DE PAPEL Y CARTÓN DE PLANTAS DE  
SELECCIÓN, PROCEDENTES DE RECOGIDA MULTIMATERIAL. Tabla 3**

|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características del material                                                                                        | Material en balas de diversas calidades de papeles y cartones.<br>CALIDAD mínima 5,01 de la Norma UNE-EN 643 "Lista Europea de Calidades Estándar de Papel y Cartón para Reciclar". |
| Procedencia                                                                                                         | Recogida multimaterial de envases ligeros                                                                                                                                           |
| Dimensiones de las balas y condiciones de entrega                                                                   | Presentación en balas cuyas dimensiones estarán en función de la prensa de cada planta.<br>Envío: camión completo                                                                   |
| Identificación de las balas                                                                                         | Las balas llevarán una identificación, con, al menos, los siguientes datos: material, fecha de embalado, planta de origen y peso aproximado.                                        |
| Humedad máxima                                                                                                      | 10,00 %                                                                                                                                                                             |
| Materiales impropios: flejes, arena, metales, plásticos y, en general, todo aquel material que no sea papel-cartón. | Máximo el 3,00% sobre el peso total (este porcentaje no considera aquellas sustancias inutilizables que formen parte del envase).                                                   |

Valores de porcentajes en peso.

Porcentaje para el límite total de materiales impropios, referido a material húmedo.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR) DE RESIDUOS DE ENVASES METÁLICOS DE ACERO EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado    | Contenido férrico magnético $\geq 90,00\%$ (incluye humedad y todo aquello que forme parte del propio envase).                                                                                                                                                                                |
| Impropios              | Impropios $<10,00\%$                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Condiciones de entrega | <p>Compactado en forma de paquetes o balas. Recomendable en paquetes/balas de 50,00 kg mínimo y 500,00 kg máximo. Los paquetes/balas deben resistir la manipulación industrial.</p> <p>Densidad aparente <math>\geq 800,00 \text{ kg/m}^3</math>.</p> <p>Entrega mínima: camión completo.</p> |

Valores de porcentajes en peso.  
El porcentaje para el límite total de impropios va referido a material húmedo.

**ACERO**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MATERIALES RECUPERADOS (ETMR) DE RESIDUOS DE ENVASES METÁLICOS DE ALUMINIO EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS. Tabla 3**

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material solicitado    | <p>Envases de aluminio procedentes de recogida selectiva <math>\geq 90,00\%</math> (incluye humedad y todo aquello que forme parte del propio envase).</p> <p>Contenido de envases aluminio laminar monomaterial <math>\leq 5,00\%</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Impropios              | <p>Total de impropios <math>&lt;10,00\%</math> con límite máximo para las siguientes fracciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>metales férricos libre = <math>0,00\%</math></li> <li>metales no férricos <math>&lt;3,00\%</math></li> <li>plásticos, papel/cartón, cartón/bebidas (brik) y laminados complejos <math>&lt;4,00\%</math> (en ningún caso estas fracciones podrán superar por separado el <math>2,00\%</math>)</li> <li>finos y otros <math>&lt;3,00\%</math></li> </ul> <p>porcentajes referidos al material húmedo</p> |
| Condiciones de entrega | <p>Compactado en forma de paquetes o balas.</p> <p>Densidad aparente <math>\geq 500,00 \text{ kg/m}^3</math>.</p> <p>Los paquetes/balas deben resistir la manipulación industrial.</p> <p>Entrega mínima:</p> <p>5,00 toneladas en plantas con entradas anuales <math>&lt;3.000,00</math> toneladas</p> <p>10,00 toneladas en plantas con entradas anuales <math>\geq 3.000,00</math> toneladas</p>                                                                                                                                                   |

Valores de porcentajes en peso.  
Los porcentajes, tanto para el límite total de impropios como para las limitaciones parciales de cada fracción van referidos a material húmedo.  
Otras impurezas no incluye metales férricos libre, metales no férricos, plásticos, papel y cartón, cartón bebidas/alimentos y laminados complejos.

**ALUMINIO**

## Operativa del control de calidad

Resumen de la operativa del control de calidad de balas:

1. Control del número de balas de cada material: recuento de balas en stock.
2. Determinación del tamaño de la muestra (número de balas a controlar según Tabla 2).
3. Elección de la primera bala al azar.
4. Medida de las dimensiones de la bala (este dato permite obtener la densidad).
5. Apertura de las balas y control: la separación de los materiales se debe efectuar manualmente. El peso total de la bala se obtiene por la suma de pesos de los materiales separados. Para realizar la pesada de los materiales se dispone de una báscula de precisión adecuadamente calibrada y/o verificada.
6. Se verifica que los materiales estén correctamente separados.
7. Se anotan los resultados en una ficha preparada para tal fin (Ficha de Control de Calidad).

8. Controles derivados de programación anual: se realizará el promedio del porcentaje total de impropios aparecidos en cada bala analizada. Posteriormente, se comparará dicho valor promedio con el límite de impropios totales establecido en la ETMR correspondiente. Si se supera este valor, el material no cumplirá especificaciones.

Controles de primera designación de recuperador/reciclador: el proceso anteriormente indicado (orden 1 a 7) se hará sucesivamente hasta que se alcance el número de balas de rechazo obtenido por el método de MIL-STD-105D para cada material o se acepte el lote o stock.

Controles derivados de disconformidades: en este caso, se seguirá lo indicado para controles de primera designación de recuperador/reciclador, pero en la valoración del cumplimiento o no de la ETMR sólo se tendrá en cuenta el/los parámetro/s objeto de la disconformidad.

El control de calidad sobre material a granel se realiza de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Toma una muestra de unos 250 kg. Para ello se procederá a la toma de submuestras en varias fases de la propia línea de producción o de la alimentación a prensa (si estas corrientes no son la misma) una cantidad de material de unos 50 kg.
2. La separación de los materiales se efectuará manualmente. El peso total de la muestra se obtendrá por la suma de pesos de los materiales separados. Para realizar la pesada de los materiales se dispondrá de una báscula de precisión adecuadamente calibrada y/o verificada.
3. Se verifica que los materiales estén correctamente separados.
4. Se anotan los resultados en una ficha preparada para tal fin (Ficha de Control de Calidad).
5. Controles derivados de programación anual: una vez analizado el material, se compara el porcentaje total

de impropios obtenido en el análisis con el límite de impropios totales establecido en la ETMR correspondiente. Si se supera este valor, el material no cumplirá especificaciones.

Controles de primera designación de recuperador/reciclador: una vez analizado el material se compara con lo indicado en la ETMR correspondiente y se verifica el cumplimiento o no cumplimiento de las especificaciones.

Controles derivados de disconformidades: en este caso, se seguirá lo indicado para controles de primera designación de recuperador/reciclador, pero en la valoración del cumplimiento o no de la ETMR sólo se tendrá en cuenta el/los parámetro/s objeto de la disconformidad.

### Control de la composición del rechazo

Son caracterizaciones del rechazo de las plantas de envases ligeros, tal y como ya se ha visto en el apartado de control de la calidad de los residuos recogidos, que sirven de índice para conocer qué materiales no están siendo seleccionados correctamente.

### Control de materiales seleccionados en stock

Consiste en llevar a cabo el recuento de las balas pendientes de ser enviadas a un reciclador. Este tipo de control, al margen de realizarse como etapa previa al control de calidad de las balas para poder determinar el tamaño de la muestra, se puede realizar de modo

exclusivo cuando se produce algún tipo de incidencia en el control de la producción.

### Control de la producción

Al margen del control de la producción que ECOEMBES lleva de cada una de las instalaciones de selección de envases ligeros, cada planta debe llevar a cabo un control de la misma mediante el análisis mensual de los datos de entradas, salidas y stock. Los balances que se realizan con estos datos y las composiciones de entrada obtenidas en las caracterizaciones, permiten obtener

una serie de parámetros de gran utilidad para poder sabersí el funcionamiento de la planta es adecuado:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Selección EELL (kg)}}{\text{Entradas totales (kg)}}$$

$$\text{Efectividad (\%)} = \frac{\text{Selección EELL (kg)}}{\text{Entradas de EELL (kg)}} (\%)$$

La efectividad se calcula globalmente y para cada material.

El rendimiento es un parámetro que no elimina el efecto de la calidad del material de entrada (en las entradas totales se incluye el material no solicitado o impropio que se recoge en el contenedor y llega a la planta), mientras que la efectividad sí lo hace (sólo considera el material solicitado o material propio). Esto significa que una planta con rendimiento bajo puede tener una efectividad elevada en su proceso.

En plantas manuales se considera el 80 % como un valor adecuado de efectividad global, debiéndose alcanzar valores iguales o superiores a 85 % en el caso de plantas automáticas.

## Control del rendimiento de los operarios de triaje

A día de hoy, gracias a la continuada realización de estudios de mejora de rendimiento en las plantas de selección, que comprende estudios realizados desde el año 2003 hasta la actualidad, se dispone de una amplia base de datos. En concreto, de los estudios efectuados en las plantas de selección se han analizado las medidas tomadas de actividad por material y producción por ma-

terial. De este modo, se describen a continuación dichas medidas y la importancia que tienen para el análisis de la producción de las plantas de selección. Los valores obtenidos en los estudios sirven de referencia para control y análisis del rendimiento de los operarios de triaje.

- Actividad media por operario (movimientos/operario y hora)

Se han llevado a cabo medidas de los movimientos que realiza en dos minutos cada triador en los puestos de triaje positivo. Tras extrapolar el dato a movimientos realizados por operario en una hora se ha calculado la media aritmética de la actividad por operario. Se han diferenciado en los cálculos los puestos de triaje primario de los puestos de triaje secundario (tabla 4). Debido a la variedad de calidades de los materiales seleccionados, no se aporta un valor de referencia para los puestos de control de calidad.

| Valores de la actividad (movimientos/operario y hora) de los operarios de triaje. Tabla 4 |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                                                           | Valor de referencia |
| Triaje primario                                                                           | 1.400               |
| Triaje secundario                                                                         | 2.000               |

- Nivel de actividad según material seleccionado (movimientos/operario y hora)

Se ha optado por calcular la media del valor máximo de movimientos destinados a una fracción realizados en una hora por un triador. Se han eliminado aquellos valores encontrados por medio de un análisis de determinación de valores atípicos. Dado que está comúnmente establecido que un mismo

operario selecciona simultáneamente varios materiales, la actividad parcial para cada material no es indicativa de un valor de referencia para la selección de una sola fracción, mientras que sí puede serlo el valor máximo de movimientos destinados a un solo material. Para este parámetro, tras analizar los resultados, se comprueba que a todas las fracciones seleccionadas se les puede asignar el mismo nivel de actividad de referencia (2.000 movimientos/operario y hora).

- Rendimiento medio por operario (kg/operario y hora)

Se ha calculado la media de los valores obtenidos a partir de la división entre el total de kilos seleccionados manualmente y los operarios destinados a la selección de éstos, y por hora efectiva de triaje (tabla 5). Debido a la variedad de la calidad de material de los materiales de entrada, no se aporta un valor de referencia para los puestos de triaje de materiales voluminosos.

| Rendimiento por operario de triaje secundario. Tabla 5 |                     |
|--------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                        | Valor de referencia |
| kg/operario•h                                          | 79                  |

Se han eliminado aquellos valores encontrados por medio del análisis de determinación de valores atípicos. Con el resto de valores se ha calculado la media aritmética para cada material seleccionado manualmente. En plantas de selección automática en las que se realiza un triaje manual de los materiales de la fracción planar se aplican los parámetros medidos en plantas de selección manual (tabla 6). Debe indicarse que los materiales de acero y aluminio no se trian manualmente pues la maquinaria que los selecciona está instalada tanto en plantas manuales como en plantas automáticas.

| Rendimiento por operario de triaje secundario de cada material. Tabla 6 |     |      |              |            |      |    |    |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|------|--------------|------------|------|----|----|-----|
|                                                                         | PET | PEAD | PEAD NATURAL | PEAD COLOR | FILM | PM | CB | P/C |
| kg/operario y hora                                                      | 90  | 122  | 192          | 126        | 58   | 54 | 78 | 306 |

## Disponibilidad de la línea de selección

Es el porcentaje que suponen las horas efectivas de funcionamiento de la línea frente a las horas de trabajo de la planta:

$$\text{Disponibilidad línea (\%)} = \frac{h_{\text{funcionamiento real línea}}}{h_{\text{turno}} - h_{\text{paradas}}} \times 100$$

Una planta que posea una disponibilidad de línea inferior al 85% se considera muy insuficiente en lo que se refiere a este parámetro, para calcular un valor indicativo de referencia se han eliminado los datos de plantas que el día del estudio obtuvieron un valor inferior al 85%. Tras analizar los resultados de los datos obtenidos se establece tanto para las plantas manuales como para las plantas automáticas que la disponibilidad de la línea debe ser superior al 95 % del tiempo empleado, ya que valores inferiores a este suponen una disminución de la capacidad anual de la instalación.

# 4 Estándares de plantas de selección

**El parámetro que identifica a una planta** de selección de envases ligeros es su capacidad de tratamiento expresada en t/h de material de entrada. En este sentido, se considera que las plantas automáticas se pueden clasificar en estándares de 3, 4, 5, 6, 7 y 8 t/h. Esta clasificación recoge los distintos tipos de plantas automáticas que están funcionando actualmente, considerándose un único tipo de planta manual de 2 t/h de capacidad de tratamiento.

Como se analizó en el apartado anterior, desde un punto de vista genérico las diferentes instalaciones y capacidades deben disponer de las siguientes etapas:

- Recepción y almacenamiento.
- Pre-tratamiento.
- Selección de materiales.
- Controles de calidad, adecuación de los materiales seleccionados y gestión del rechazo.

Con el fin de concretar con mayor definición los equipamientos principales necesarios en cada una de estas etapas, se desarrollan a continuación los procesos estándares correspondientes a las diferentes capacidades, comparándose cada uno de los grupos de operaciones en función de los diferentes estándares. En el último punto se recoge el diagrama de bloque completo de cada uno de los estándares.

## Recepción y almacenamiento de residuos de envases de entrada en planta

En el acceso principal de la planta, los vehículos que realizan el transporte de residuos hasta la misma, así como los que salen de ésta con subproductos, son sometidos a pesaje y control en báscula en la zona de recepción. Tras el pesaje de los vehículos de transporte, estos acceden al área de recepción. El sistema de almacenamiento estándar de los residuos de envases es el de playa de descarga. La playa de descarga debe disponer de una capacidad mínima equivalente a la necesaria para almacenar la cantidad de material recogido en dos días. Teniendo en cuenta que el material de entrada almacenado en la playa de descarga no debe sobrepasar los 3 m de altura, y considerando que el 15% de la superficie debe quedar libre para permitir maniobrar a la pala cargadora, las superficies calculadas para cada uno de los estándares se muestran en la Tabla 7:

| Superficie mínima de playas de descarga estándar. Tabla 7 |                       |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| Régimen de diseño (t/h)                                   | Superficie Playa (m²) |
| 2                                                         | 262                   |
| 3                                                         | 410                   |
| 4                                                         | 536                   |
| 5                                                         | 660                   |
| 6                                                         | 784                   |
| 7                                                         | 907                   |
| 8                                                         | 1.030                 |

## Pre-tratamiento

La etapa de alimentación y acondicionamiento de los residuos debe contar con los medios adecuados para conseguir su objetivo, siendo éstos los que se indican a continuación:

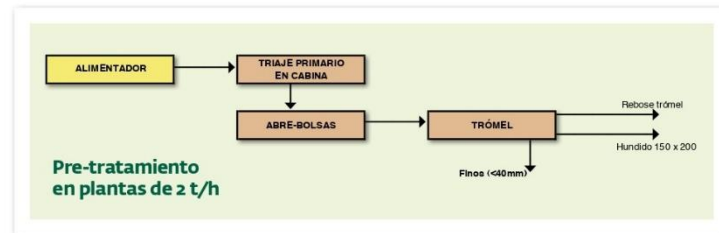
- Alimentador / dosificador de residuos.
- Cabina de triaje primario.
- Sistema de apertura de bolsas.
- Trómel (excepto en plantas de selección de 3 t/h).
- Separador balístico.

La disposición de estos medios varía en función de la capacidad de la instalación. En el caso de las plantas manuales esta etapa no cuenta con el equipo de separación balística, siendo el reboso y hundido de trómel recogidos en cintas de triaje para llevar a cabo la selección manual.

A continuación se describen los diagramas de bloques estándares en función de la capacidad de diseño de las instalaciones:

### Pre-tratamiento en plantas de 2 t/h (planta manual)

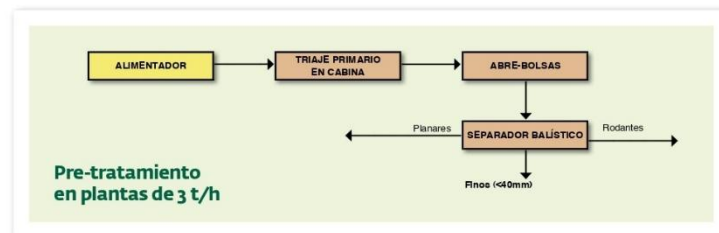
En el caso de las plantas manuales, esta etapa no cuenta con el equipo de separación balística, siendo el flujo de hundido de botellería de trómel (<150x200 mm) y el de reboso (>200 mm) recogidos en cintas de triaje para llevar a cabo la selección manual.



### Pre-tratamiento en plantas de 3 t/h

Debido a que las capacidades de los separadores balísticos son superiores a las necesarias en este tipo de instalaciones, se elimina todo el material fino (<40mm), en su

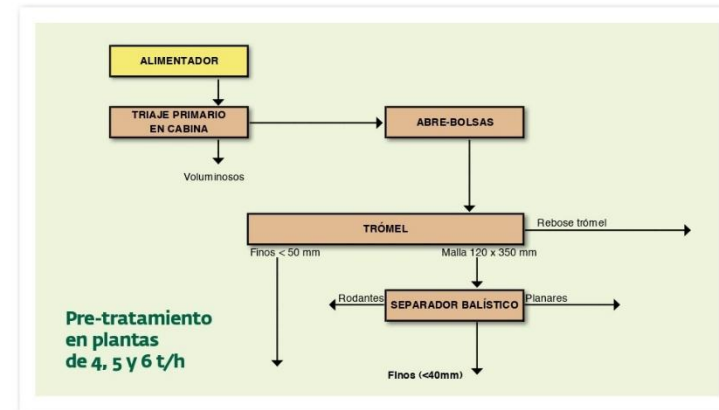
mayoría impropio, presente en el material de entrada en la planta. Por este motivo no es necesario el uso de un trómel para realizar esta función.



### Pre-tratamiento en plantas de 4, 5 y 6 t/h.

Es necesaria la instalación de un trómel que divida los flujos y separe el material fino (<50 mm) y los materiales más voluminosos (>350 x120 mm) que puedan afectar a la selección automática del material solicitado (50< Ø < 120x350).

Los equipos que conforman esta etapa estarán dimensionados en función del régimen de alimentación de la instalación (4, 5 y 6 t/h).

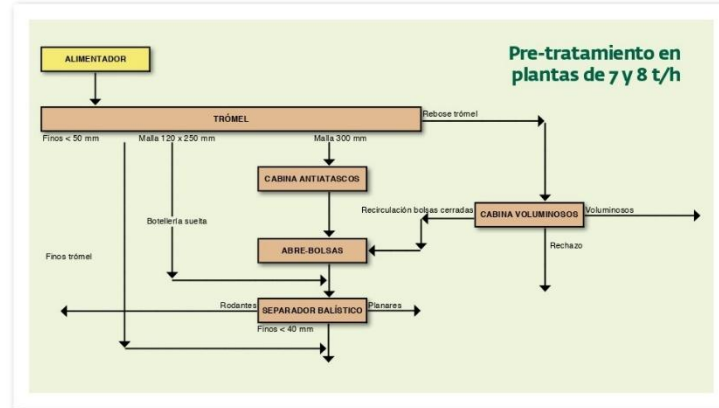


### Pre-tratamiento en plantas de 7 y 8 t/h.

Se debe dotar al trómel de una tercera malla, dividiendo el flujo en cuatro fracciones: finos ( $\phi < 50$  mm), hundido de  $120 \times 250$  mm con predominio de botellas ( $\phi < 250$  mm), hundido de  $250 \times 300$  mm con predominio de bolsas cerradas ( $\phi < 300$  mm) y reboso ( $\phi > 300$  mm). De este modo, el abre-bolsas se sitúa en el flujo de hundido de bolsas cerradas, aligerándose así la carga que recibe este equipo.

Para evitar atascos en el abre-bolsas es recomendable incorporar una cabina de triaje (cabina anti-atascos) donde se puede realizar un triaje de aquellos materiales perjudiciales para el equipo.

Los equipos que conforman esta etapa estarán dimensionados en función del régimen de alimentación de la instalación (7 y 8 t/h).



### Selección de envases

En plantas automáticas, en esta etapa del proceso el flujo principal está dividido en tres fracciones: finos, rodantes y planares. En cada una de estas fracciones se dispone de los equipos necesarios para seleccionar los materiales solicitados que contienen.

#### Fracción rodante

- Equipo de aspiración de film.
- Separador magnético.
- Separadores ópticos.
- Separador de corrientes de Foucault.

#### Fracción planar

- Equipo de aspiración de film.
- Cinta de triaje manual. Provista de los puestos y tolvas necesarias para el triaje manual de material solicitado existente en este flujo.

#### Fracción finos

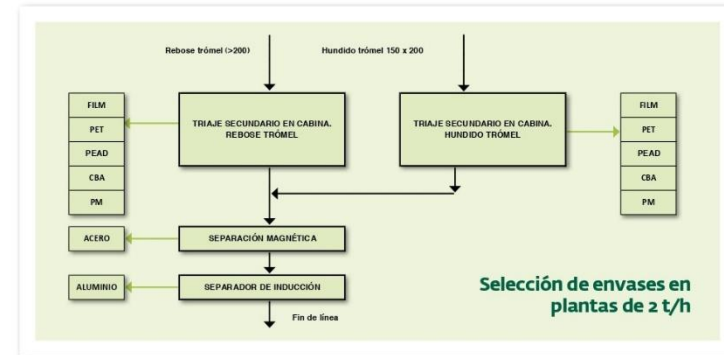
- Separador magnético.

En el caso de las plantas manuales, esta etapa se realiza por medio de operarios que realizan el triaje manual de los materiales plásticos. Los metales son seleccionados al final de la línea por medio de un separador magnético (acero) y de un separador de corrientes de Foucault (aluminio).

### Selección de envases en plantas de 2 t/h.

Únicamente el material solicitado metálico (acero y aluminio) se selecciona de forma automática. El resto de materiales solicitados se selecciona manualmente sobre los dos flujos resultantes del trómel en la cabina de triaje secundario.

Para alcanzar el 80% de efectividad (valor eficiente en plantas manuales) son necesarios 12 operarios de triaje que seleccionen de media 79 kg/h\*operario, bajo la premisa de que el material de entrada tiene un 75% de material solicitado.



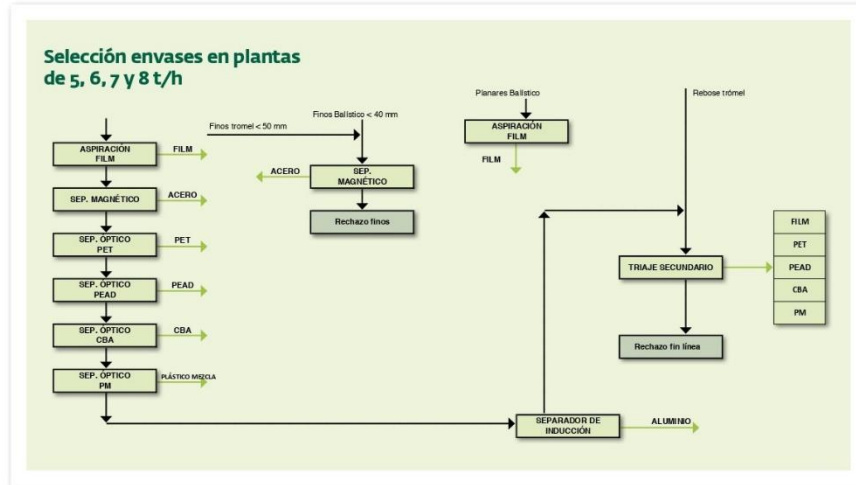


### Selección de envases en plantas de 5, 6, 7 y 8 t/h.

Se debe disponer de un separador óptico para cada uno de los materiales seleccionados por medio de estos equipos, ya que las capacidades necesarias para estos regímenes

de alimentación no permiten disponer de dos canales de entrada.

Los equipos que conforman esta etapa estarán dimensionados en función del régimen de alimentación de la instalación (5, 6, 7 y 8 t/h).



### Adecuación del material seleccionado y gestión del rechazo

Tanto para plantas automáticas como para plantas de selección manual, los materiales seleccionados deben ser adaptados a las necesidades de las especificaciones técnicas para materiales recuperados (ETMR), de manera que parte de los productos puedan ser depositados en contenedores para su transporte a granel, o prensados en las prensas embaladoras continuas que, para los diversos materiales, dispone la instalación.

Para mejora de los procesos de reciclaje de los materiales seleccionados y la gestión de los rechazos, se debe disponer de los siguientes procesos y maquinaria:

- Controles de calidad de los materiales seleccionados.
- Silos de almacenaje previo al prensado de materiales.
- Prensa multimaterial.
- Prensa de metales.
- Prensa de film.
- Contenedores.
- Sistema de gestión del material de rechazo.
- Almacenamiento de los materiales seleccionados.

### Adecuación del material seleccionado y gestión del rechazo en plantas de 2 t/h.

#### • Controles de calidad de los materiales seleccionados.

En las plantas de selección manual no es necesaria la realización de controles de calidad de aquellos materiales que se trían manualmente.

#### • Silos de almacenaje previo al prensado de materiales.

No se considera necesario que los silos de materiales seleccionados sean automáticos, ya que la labor de desplazamiento del material hasta el alimentador de prensa se puede realizar por medio de la carretilla o la pala cargadora. Deben existir tantos silos como materiales seleccionados sean prensados en la prensa multimaterial (PET, PEAD, FILM, PM y CBA).

#### • Prensa multimaterial.

Se utiliza para prensar los materiales almacenados en los silos automáticos. En función de las cantidades de material almacenado, una carretilla o pala cargadora vierte su contenido sobre un alimentador/dosificador situado transversalmente a los mismos conduciendo el material seleccionado hasta la prensa.

#### • Prensa de metales.

Al ser el acero el metal mayoritario, éste es prensado en continuo. El aluminio es almacenado en contenedores o en una cinta pulmón para ser prensado individualmente al final del turno.

#### • Prensa de film.

En plantas de capacidades inferiores a 7 t/h no se instala una prensa únicamente para este material, haciéndose uso de la prensa multimaterial.

#### • Contenedores.

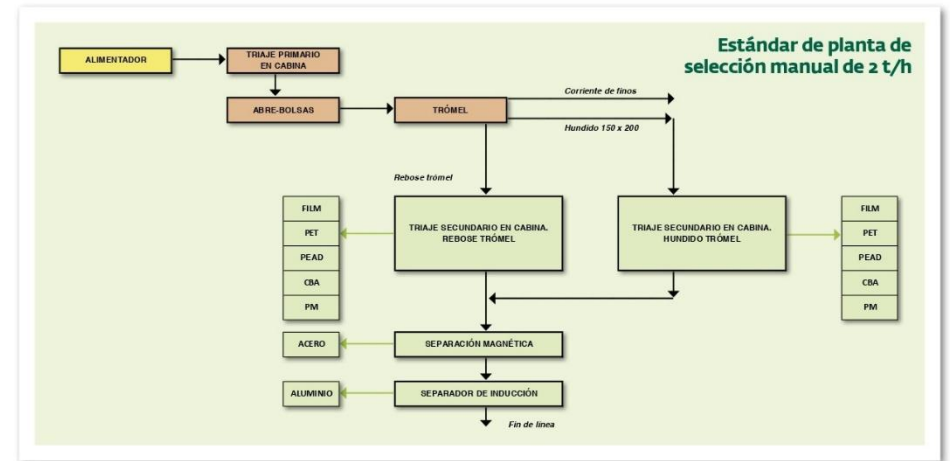
Se consideran necesarios contenedores de 3 a 5 m<sup>3</sup> para para que se almacene el aluminio y permita vaciarlo en la tolva de la prensa de metales. Además, son necesarios contenedores de caja abierta de 25 a 30 m<sup>3</sup> para el almacenamiento de los materiales voluminosos y de las balas de metales prensados.

#### • Sistema de almacenamiento del material de rechazo.

Para capacidades inferiores a 5 t/h se considera óptima la instalación de un autocompactador para la gestión y transporte del rechazo.

#### • Almacén de materiales seleccionados.

Para plantas manuales se considera que el material seleccionado y ya prensado debe almacenarse en una superficie mínima calculada para dos portes y medio de cada material, estimándose en unos 180 m<sup>2</sup>.



- Controles de calidad de los materiales seleccionados.

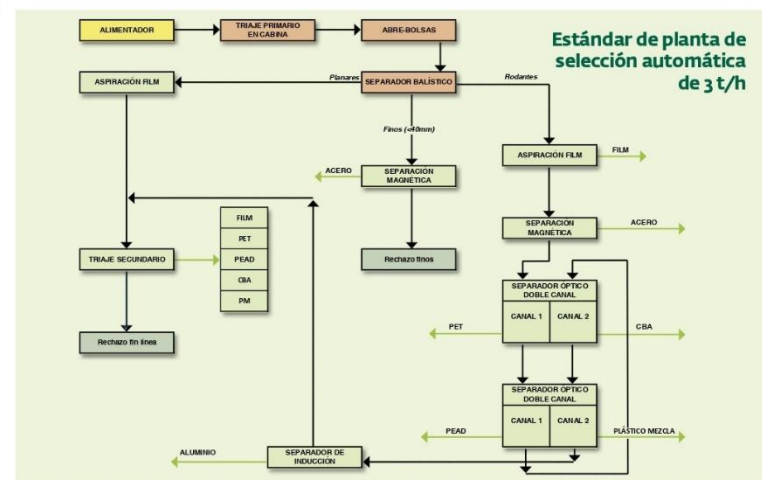
Se consideran necesarios al menos dos puestos compartidos de control de calidad, para el PET/CBA y para PEAD/PM, y uno para el material film. En función de la calidad obtenida de los materiales metálicos será preciso o no realizar esta labor.

- Silos de almacenaje previo al prensado de materiales.

Se deben instalar como mínimo 5 silos automáticos para los materiales de PET, PEAD, FILM, PM y CBA. Si bien este número puede ser superior si se seleccionan PEAD Natural.

- Prensa multimaterial.

Se utiliza para prensar los materiales almacenados en los silos automáticos. En función de las cantidades de material almacenado, los silos vierten su contenido sobre un alimentador/dosificador situado transversalmente a los mismos conduciendo el material seleccionado hasta la prensa.



- Prensa de metales.

Al ser el acero el metal mayoritario, éste es prensado en continuo. El aluminio es almacenado en contenedores o en una cinta pulmón para ser prensado individualmente al final del turno.

- Prensa de film.

En plantas de capacidades inferiores a 7 t/h no se instala una prensa únicamente para este material, haciéndose uso de la prensa multimaterial.

- Contenedores.

Se consideran necesarios contenedores de 3 a 5 m<sup>3</sup> en función de la capacidad de la planta para que almacene el aluminio (si no se recoge en una cinta pulmón) y permita vaciarlo en la tolva de la prensa de metales. Ade-

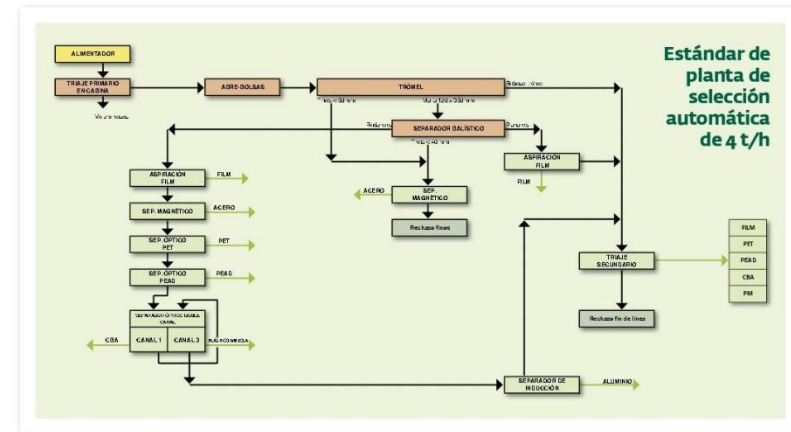
más, son necesarios contenedores de caja abierta de 25 a 30 m<sup>3</sup> para el almacenamiento de los materiales voluminosos y de las balas de aluminio y acero.

- Sistema de almacenamiento del material de rechazo.

Para capacidades inferiores a 5 t/h se considera óptima la instalación de dos autocompactadores para la gestión y transporte del rechazo.

- Almacén de materiales seleccionados.

Para plantas manuales se considera que el material seleccionado y ya prensado debe almacenarse en una nave con una superficie mínima calculada para dos portes y medio de cada material, estimándose en unos 180 m<sup>2</sup>.





### Adecuación del material seleccionado y gestión del rechazo en plantas de 7 y 8 t/h.

#### • Controles de calidad de los materiales seleccionados.

Se considera necesario al menos un puesto de control para cada uno de los materiales seleccionados de forma automática.

#### • Silos de almacenaje previo al prensado de materiales.

Se deben instalar como mínimo 4 silos automáticos para los materiales de PET, PEAD, PM y CBA. Si bien este número puede ser superior si se seleccionan PEAD Natural.

#### • Prensa multimaterial.

Se utiliza para prensar los materiales almacenados en los silos automáticos. En función de las cantidades de material almacenado, los silos vierten su contenido sobre un alimentador/dosificador situado transversalmente a los mismos conduciendo el material seleccionado hasta la prensa.

#### • Prensa de metales.

Deben instalarse dos prensas, una para cada una de las fracciones metálicas.

#### • Prensa de film.

En plantas de esta capacidad se debe instalar una prensa únicamente para este material. El material film seleccionado se prensa en continuo tras el control de calidad, por lo que no es necesario un silo para el almacenaje de este material.

#### • Contenedores.

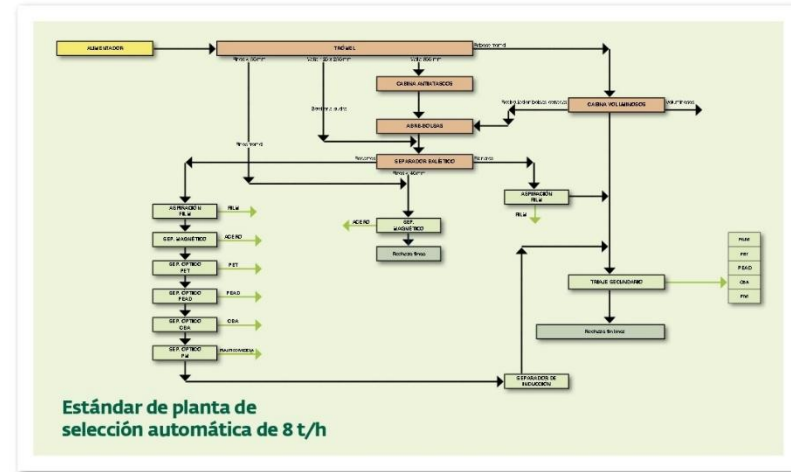
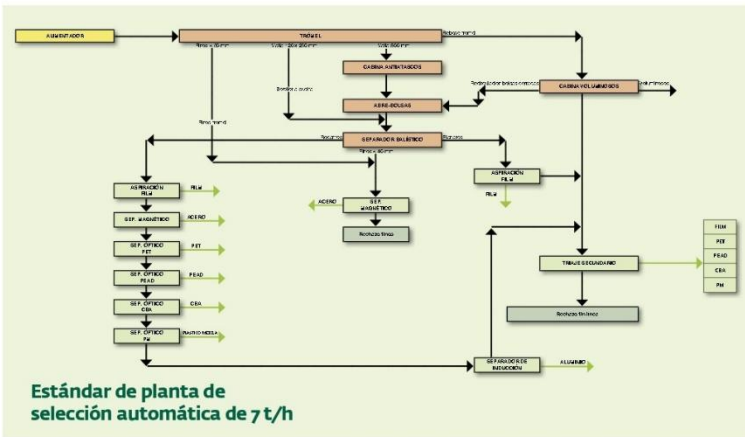
Se consideran necesarios contenedores de 3 a 5 m<sup>3</sup> en función de la capacidad de la planta para que almacene el aluminio (si no se recoge en una cinta pulmón) y permita vaciarlo en la tolva de la prensa de metales. Además, son necesarios contenedores de caja abierta de 25 a 30 m<sup>3</sup> para el almacenamiento de los materiales voluminosos y de las balas de aluminio y acero.

#### • Sistema de almacenamiento del material de rechazo.

Se considera óptima la instalación de un sistema de compactación con traslación de contenedores para la gestión y transporte del rechazo.

#### • Almacén de materiales seleccionados.

Se considera que el material seleccionado y ya prensado debe almacenarse en una nave con una superficie mínima calculada para almacenar 5 portes (plantas de 7 t/h) y 6 portes (plantas de 8 t/h) de cada material. Se estima que dicha superficie debe ser de 350 m<sup>2</sup> (plantas de 7 t/h) y 450 m<sup>2</sup> (plantas de 8 t/h).



# 5 Criterios básicos de dimensionamiento de plantas de selección

La capacidad de las plantas de selección debe ser dimensionada correctamente con el fin de maximizar la recuperación y la eficiencia tanto técnica como económica. Las instalaciones sobredimensionadas pueden producir pérdidas económicas por amortización de inversiones innecesarias. Igualmente, una capacidad inferior a la necesaria producirá elevados costes operativos al necesitar de más turnos de trabajo para alcanzar los objetivos de tratamiento.

En el momento de calcular la capacidad de las instalaciones se deben tener en cuenta:

- Capacidad nominal (t/h): toneladas por hora de tratamiento que puede procesar una línea en condiciones de operativa normales.
- Capacidad de diseño (t/h): toneladas por hora de tratamiento máximo que puede procesar una línea manteniendo las calidades y cantidades de recuperación garantizadas.

## Dimensionamiento de líneas de selección de EELL

### Previsión de entradas

Para el dimensionamiento de una planta de selección se debe conocer la previsión de entradas a lo largo de la vida útil prevista para la instalación. Para ello, como norma general, se considera que la vida útil de una planta de selección de EELL es de 25.000 horas. Para dimensionar se considera que las 25.000 h de vida útil se alcanzan en 10 años de funcionamiento.

### Operativa de trabajo

Las plantas de selección de EELL en general trabajan un máximo 2 turnos/día al final de su vida útil. Si bien, por falta de capacidad debido al incremento de las entradas en planta o por crecidas estacionales de la generación de los residuos puede darse el caso de instalaciones que procesan 3 turnos/día. Se recomienda no sobrepasar 2

turnos/día por las ventajas que supone no alcanzar el tercer turno diario:

- Flexibilidad de la instalación ante posibles crecimientos estacionales del material de entrada en planta y ante posibles paradas por avería, ya que se utiliza el tiempo que se dedicaría al tercer turno para solventar los problemas mencionados.
- Reducción de costes de explotación al evitar el pago del plus de nocturnidad a los operarios del turno de noche recogido en los convenios colectivos. Además del consiguiente incremento del coste de personal por tener que realizar trabajos en días festivos, ya que el tercer turno supone la necesidad de realizar las operaciones de mantenimiento en fin de semana.

Se considera como estándar que los turnos de trabajo han de ser de 1.800 h/año, si bien, debido a los descansos, tiempos de limpieza y disponibilidad de línea, las horas útiles de trabajo por turno serán 1.729.

| Estándar de horas útiles anuales de funcionamiento en plantas de selección de EELL. Tabla 8 |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Días de funcionamiento/año                                                                  | 247   |
| Horas/turno                                                                                 | 8     |
| Tiempo de descanso/turno                                                                    | 0,5   |
| Tiempo de limpieza/turno                                                                    | 0,13  |
| Disponibilidad de línea                                                                     | 95%   |
| Horas útiles/turno* año                                                                     | 1.729 |
| Horas útiles/2 turnos* año                                                                  | 3.458 |

## Dimensionamiento

Con el fin de optimizar los costes de explotación, se deben mantener dos turnos de funcionamiento al final de la vida útil de la instalación. Por tanto, la capacidad nominal de una planta de selección debe ser tal que permita procesar en dos turnos de trabajo diario el total de las entradas en el último año de vida útil. De este modo, el cálculo para conocer cuál debe ser la capacidad nominal de la instalación es:

$$\text{Capacidad nominal} = \text{entradas al final de la vida útil (t/año)} / (2 \text{ turnos} \cdot 1.729 \text{ h/año})$$

También deben tenerse en cuenta los crecimientos estacionales de entradas. Por ejemplo, es habitual en zonas de costa que en los meses de verano las entradas aumenten respecto al resto de meses. Por este motivo, la capacidad de diseño de una planta de selección debe ser tal que permita procesar en dos turnos de trabajo diario los picos estacionales de entradas en el último año de vida útil. Además, con el fin de asegurar el tratamiento de todos los residuos, la capacidad de diseño debe sobredimensionarse en un 10%. El cálculo para conocer cuál debe ser la capacidad de diseño de la instalación será:

$$\text{Capacidad de diseño} = 1,1 \cdot (\text{entrada mensual media al final de la vida útil (t/mes)} \cdot \text{Incremento de entradas superior en un mes (\%)} / (2 \text{ turnos} \cdot 144 \text{ h/mes}))$$

## Ejemplo 1: Dimensionamiento de planta de selección de envases ligeros

| Previsión de entradas Tabla 9 |        |                                 |
|-------------------------------|--------|---------------------------------|
| Año                           | t/año  | Estimación de crecimiento anual |
| 2013                          | 8.400  | 7%                              |
| 2014                          | 8.667  |                                 |
| 2015                          | 9.274  |                                 |
| 2016                          | 9.923  |                                 |
| 2017                          | 10.617 |                                 |
| 2018                          | 11.361 |                                 |
| 2019                          | 12.156 |                                 |
| 2020                          | 13.007 |                                 |
| 2021                          | 13.917 |                                 |
| 2022                          | 14.892 |                                 |

**Operativa de trabajo estándar**  
1.729 h útiles turno/año

| Estacionalidad anual de entradas. Tabla 10 |                                  |
|--------------------------------------------|----------------------------------|
| Mes                                        | Incremento respecto mes promedio |
| Enero                                      | -4%                              |
| Febrero                                    | -3%                              |
| Marzo                                      | -2%                              |
| Abril                                      | -1%                              |
| Mayo                                       | 1%                               |
| Junio                                      | 2%                               |
| Julio                                      | 3%                               |
| Agosto                                     | 5%                               |
| Septiembre                                 | 3%                               |
| Octubre                                    | 0%                               |
| Noviembre                                  | -1%                              |
| Diciembre                                  | -3%                              |
| Mes promedio                               | 0%                               |



### Capacidad nominal

*Capacidad nominal (t/h) = entradas al final de la vida útil (t/año) / (2 turnos ° 1.729 h/año)*

$$14.892 \text{ t/año} / (2 \text{ turnos } ° 1.729 \text{ h}) = 4,31 \text{ t/h.}$$

La planta de selección debe tener una capacidad nominal de 4,5 t/h.

### Capacidad de diseño

Entradas año 10 = 14.892 t/año.

Entradas mes promedio = 14.892 t/año / 12 meses = 1.241 t/mes.

Entradas mes más desfavorable (agosto) = 1.241 t/mes ° (100% + 5%) = 1.303 t/mes.

Horas útiles/mes = 1.729 h / 12 meses = 144 h/mes.

*Capacidad de diseño = 1,1° (entrada mensual media al final de la vida útil (t/mes) ° Incremento de entradas superior en un mes (%)) / (2 turnos ° 144 h/mes))*

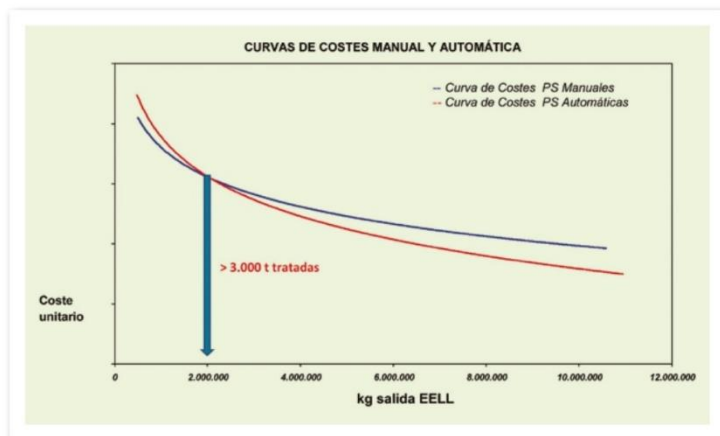
$$1,1° (1.303 \text{ t/mes} / (2 \text{ turnos } ° 144 \text{ h/mes})) = 4,97 \text{ t/h} = 5 \text{ t/h.}$$

Con la **capacidad de diseño de 5 t/h** la instalación puede asegurar el tratamiento de las entradas a lo largo de toda la vida útil.

## Automatización de líneas manuales de selección de EELL

La decisión de automatizar una instalación de selección de envases ligeros viene condicionada por las cantidades anuales que se han de procesar. Desde el punto de vista de los costes unitarios de selección, las plantas de selección

automáticas presentan una mejora de eficiencia frente a las instalaciones manuales a partir de las 3.000 t/año de entrada o 2.000 t/año de materiales seleccionados. Los procesos automáticos disponen de mayor capacidad de tratamiento, lo que conlleva una disminución de las horas de proceso, y presentan efectividades de selección superiores al 85%, reduciéndose el coste unitario de selección.



## Dimensionamiento de líneas compartidas de tratamiento de RSU y EELL

Con objeto de planificar/proyectar plantas eficientes en aquellas zonas geográficas en las que la aportación es inferior a las 3.000 t/año, la solución alternativa a las instalaciones manuales es la automatización del proceso de selección para uso compartido de tratamiento de fracción resto y material procedente de la recogida selectiva.

De este modo, se dota a las líneas de capacidad nominal suficiente para procesar la fracción procedente de la recogida selectiva en el menor número de horas de proceso posible, dedicándose el resto de horas anuales al tratamiento de la fracción resto. El aumento de la capacidad nominal supone una mejora de la eficiencia, acentuándose dicha mejora con el incremento del rendimiento respecto a los obtenidos en plantas manuales de selección. Además, disponer de una alta capacidad de diseño supone una ventaja al poder adaptar la operativa del proceso ante las fluctuaciones estacionales de aportación.

Se debe destacar que al compartir el uso de la línea de tratamiento, se comparten los costes fijos de ambos procesos. En las líneas de selección de envases ligeros dichos costes suponen el 32-35% del coste unitario de selección. De este modo, costes de amortización y financiación, seguros y personal de jefatura y administración se pueden imputar en función de la dedicación de la línea a cada uno de los procesos.

En el caso de las plantas de línea compartida, se diseña la capacidad nominal en función de las entradas de la fracción RSU. La capacidad nominal debe ser tal que

se procesen en un turno de trabajo diario el total de las entradas de RSU en el último año de vida útil.

La capacidad de diseño debe permitir procesar en un turno de trabajo diario los picos estacionales de entradas en el último año de vida útil. Además, con el fin de asegurar en todo momento el tratamiento de todos los residuos, la capacidad de diseño debe dotarse de un 10% adicional. El cálculo para conocer cuál debe ser la capacidad de diseño de la instalación será:

**Capacidad de diseño =  $1,1 \cdot (\text{entrada mensual media al final de la vida útil (t/mes)} \cdot \text{Incremento de entradas superior en un mes (\%)}) / (1 \text{ turno} \cdot 144 \text{ h/mes})$ .**

Los equipos necesarios para alcanzar dicha capacidad determinarán la capacidad nominal de la línea cuando se procesa la fracción de EELL, si bien deben cumplir la condición de que la fracción de EELL se procese en un único turno de trabajo diario en el último año de vida útil. De este modo, se puede dedicar el tercer turno para la realización de las operaciones de mantenimiento.

## Ejemplo 2: Dimensionamiento de planta de selección de línea compartida

| Previsión de entradas de EELL y RSU. Tabla 11 |       |                                 |                           |        |                                 |
|-----------------------------------------------|-------|---------------------------------|---------------------------|--------|---------------------------------|
| Previsión de entradas EELL                    |       |                                 | Previsión de entradas RSU |        |                                 |
| Año                                           | t/año | Estimación anual de crecimiento | Año                       | t/año  | Estimación anual de crecimiento |
| 2013                                          | 1.950 | 7,00%                           | 2013                      | 46.500 | 1,00%                           |
| 2014                                          | 2.087 |                                 | 2014                      | 46.965 |                                 |
| 2015                                          | 2.233 |                                 | 2015                      | 47.435 |                                 |
| 2016                                          | 2.389 |                                 | 2016                      | 47.909 |                                 |
| 2017                                          | 2.556 |                                 | 2017                      | 48.388 |                                 |
| 2018                                          | 2.735 |                                 | 2018                      | 48.872 |                                 |
| 2019                                          | 2.926 |                                 | 2019                      | 49.361 |                                 |
| 2020                                          | 3.131 |                                 | 2020                      | 49.854 |                                 |
| 2021                                          | 3.350 |                                 | 2021                      | 50.353 |                                 |
| 2022                                          | 3.585 |                                 | 2022                      | 50.856 |                                 |

### Operativa de trabajo estándar 1.729 h útiles turno/año

#### Capacidad nominal RSU

Capacidad nominal (t/h) = entradas al final de la vida útil (t/año) / (t turnos \* 1.729 h/año)

$$50.856 \text{ t/año} / (1 \text{ turnos} * 1.729 \text{ h}) = 29,4 \text{ t/h.}$$

La planta de selección debe tener una **capacidad nominal** de **30 t/h**.

#### Capacidad de diseño RSU

Entradas año 10 = 50.856 t/año.

Entradas mes promedio = 50.856 t/año / 12 meses = 4.238 t/mes.

Entradas mes más desfavorable (agosto) = 4.238 t/mes \* (100% + 7,51%) = 4.556 t/mes.

Horas útiles/mes = 1.729 h / 12 meses = 144 h/mes.

Capacidad de diseño =  $1,1 * (\text{entrada mensual media al final de la vida útil (t/mes)} * \text{Incremento de entradas superior en un mes (\%)}) / (1 \text{ turno} * 144 \text{ h/mes})$

$$1,1 * (4.556 \text{ t/mes} / (1 \text{ turnos} * 144 \text{ h/mes})) = 34,8 \text{ t/h} = 35 \text{ t/h}$$

Con la capacidad de diseño de 35 t/h la instalación puede asegurar el tratamiento de las entradas de RSU a lo largo de toda su vida útil.

| Incremento respecto mes promedio. Tabla 12 |                                         |              |                                        |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|----------------------------------------|
| Mes                                        | Incremento respecto mes promedio (EELL) | Mes          | Incremento respecto mes promedio (RSU) |
| Enero                                      | -1,27%                                  | Enero        | -8,37%                                 |
| Febrero                                    | -11,98%                                 | Febrero      | -6,06%                                 |
| Marzo                                      | -10,10%                                 | Marzo        | -12,32%                                |
| Abril                                      | -5,90%                                  | Abril        | -0,37%                                 |
| Mayo                                       | 3,48%                                   | Mayo         | 0,01%                                  |
| Junio                                      | -0,71%                                  | Junio        | 5,20%                                  |
| Julio                                      | 8,56%                                   | Julio        | 5,64%                                  |
| Agosto                                     | 12,71%                                  | Agosto       | 7,51%                                  |
| Septiembre                                 | -4,00%                                  | Septiembre   | 5,13%                                  |
| Octubre                                    | 9,68%                                   | Octubre      | -0,76%                                 |
| Noviembre                                  | 0,02%                                   | Noviembre    | 2,45%                                  |
| Diciembre                                  | -7,55%                                  | Diciembre    | -6,91%                                 |
| Mes promedio                               | 0,00%                                   | Mes promedio | 0,00%                                  |

#### Capacidad nominal EELL

Capacidad nominal (t/h) = entradas al final de la vida útil (t/año) / (t turno \* 1.729 h/año)

$$3.585 \text{ t/año} / (1 \text{ turnos} * 1.729 \text{ h}) = 2,1 \text{ t/h.}$$

La planta de selección debe tener una **capacidad nominal** de **2,1 t/h**.

#### Capacidad de diseño EELL

Entradas año 10 = 3.585 t/año.

Entradas mes promedio = 3.585 t/año / 12 meses = 298,7 t/mes.

Entradas mes más desfavorable (agosto) = 298,7 t/mes \* (100% + 12,7%) =

336,7 t/mes.

Horas útiles/mes = 1.729 h / 12 meses = 144 h/mes.

Capacidad de diseño =  $1,1 * (\text{entrada mensual media al final de la vida útil (t/mes)} * \text{Incremento de entradas superior en un mes (\%)}) / (1 \text{ turno} * 144 \text{ h/mes})$

$$1,1 * (336,7 \text{ t/mes} / (1 \text{ turnos} * 144 \text{ h/mes})) = 2,6 \text{ t/h} = 3 \text{ t/h}$$

Con la **capacidad de diseño** de **3 t/h** la instalación puede asegurar el tratamiento de las entradas de EELL a lo largo de toda su vida útil.

**La capacidad de diseño de la instalación ha de ser de 35 t/h cuando procese la fracción de RSU y de un mínimo de 3 t/h cuando procese la fracción de EELL.**

# Glosario de equipos y procesos

Una vez se han descrito los diferentes procesos posibles de selección de envases en función de su capacidad, en el presente capítulo se hace una descripción técnica de los equipos y procesos involucrados en dichos procesos.

En cada uno de los equipos y procesos se analizarán los siguientes aspectos:

|                                                                                   |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | <b>FUNCIÓN</b>         |
|  | <b>DESCRIPCIÓN</b>     |
|  | <b>TIPOS</b>           |
|  | <b>CARACTERÍSTICAS</b> |



1 [Recepción y almacenamiento](#)



2 [Alimentadores primarios](#)



3 [Abre-bolsas](#)



4 [Trómel de clasificación](#)



5 [Separador balístico](#)



6 [Separador neumático](#)



7 [Separadores magnéticos](#)



8 [Separadores ópticos](#)



9 [Separadores de inducción](#)



10 [Triaje de materiales](#)



11 [Cintas transportadoras](#)



12 [Prensas de materiales](#)



13 [Equipos para la gestión de los rechazos](#)

# Recepción y almacenamiento

## FUNCIÓN

Espacio donde se descargan y almacenan los residuos transportados por los vehículos de recogida hasta las plantas de selección.

## DESCRIPCIÓN

Son grandes espacios cubiertos y cerrados, salvo por las puertas de acceso. Se comunican con la nave de tratamiento, donde están ubicados los equipos de selección, mediante el primer equipo que es el alimentador primario.

## TIPOS

Se clasifican en dos tipos:

- Fosos de recepción provistos de puente-grúa y pulpo.
- Playas de recepción para manejo con pala cargadora.

Para plantas de selección de envases de características y capacidad estándar, se plantea el sistema de recepción de área o playa de descarga. Si las capacidades de tratamiento de las instalacio-

nes son elevadas (6,7 y 8 t/h) o bien están combinadas con plantas de tratamiento de "fracciones resto", el tipo de recepción y almacenamiento suele ser un foso de descarga para los envases, adosado a los fosos convencionales de la planta de tratamiento de dichas fracciones.

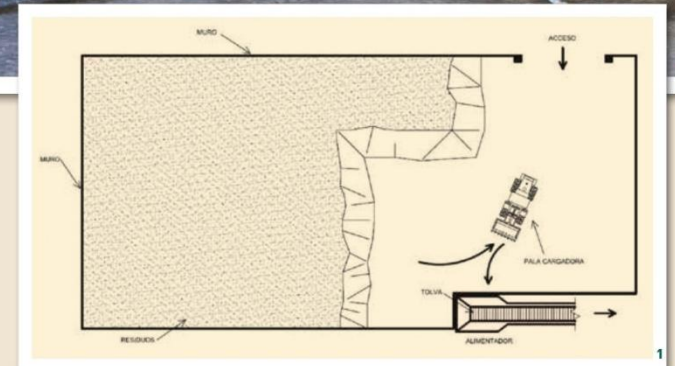
En función de la posición del alimentador primario se pueden obtener diferentes alternativas a estos dos tipos.

## CARACTERÍSTICAS

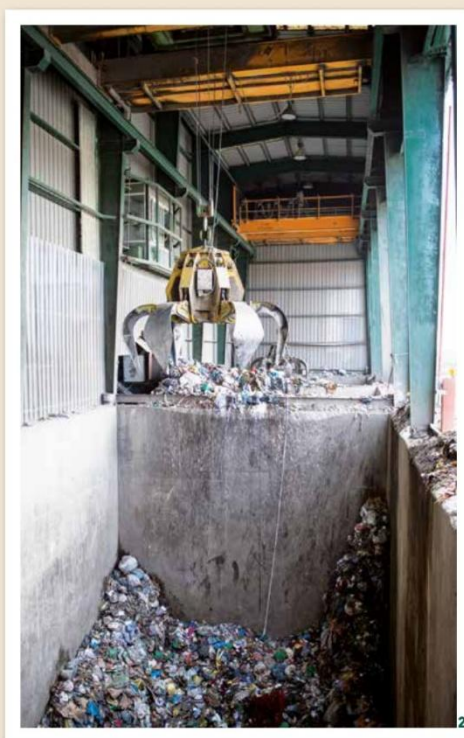
- El diseño de la playa de descarga o foso de almacenamiento se realiza para que la capacidad media de almacenamiento en volumen sea de **dos días de producción**, con el fin de solventar posibles paradas por atascos, averías, cortes de fluido eléctrico, etc...
- Para evitar impactos no deseados de los camiones y la pala de alimentación, el área de descarga debe estar **desprovista de columnas de apoyo intermedias**. Las maniobras de pala y camiones y el coste de construcción recomiendan que el ancho óptimo-mínimo, debe estar entre 25 y 30 metros y sin columnas.



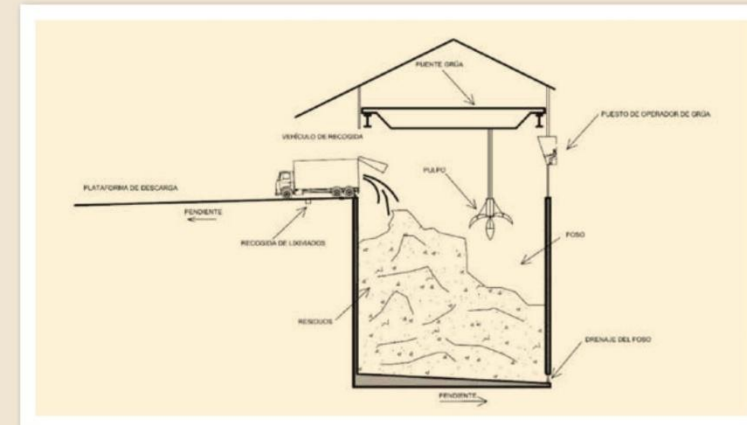
1. Playa de descarga.



- El área de descarga debe disponer de puertas de acceso practicables para vehículos de recogida.
- La **superficie del área de descarga y la superficie de maniobra del foso** de descarga, debe ser de **hormigón armado** (con cemento puzolánico para evitar degradación físico-química del mismo) y debe soportar el tránsito y maniobras de descarga y giro de los vehículos de transporte y de la pala cargadora utilizada para la alimentación.
- Para evitar el impacto con la estructura de la cubierta de los camiones porta-contenedores en su posición de descarga o con las puertas posteriores abiertas de los camiones convencionales de recogida, **la altura interior de la cubierta de la playa** de descarga y de las puertas debe ser al menos de **7 metros libres**.
- En las playas de descarga, el talud natural formado por los residuos de envases almacenados tiene una pendiente de 45°, hasta 3 metros de altura (dato obtenido empíricamente).
- En el caso de la playa de descarga, se establece una **altura de almacenamiento de tres metros**, que coincide aproximadamente con la altura libre de descarga de la cuchara de una pala cargadora de tamaño pequeño-medio, habitual para estas capacidades de tratamiento. Así se evita que la pala cargadora utilizada para la alimentación y el apilado de las cantidades entrantes, no aplaste y deforme los mismos, con el consiguiente perjuicio en las operaciones de separación.



2



2

2. Foso de descarga.

- En el caso de fosos de descarga, los puestos de descarga dispondrán en su parte inferior de un talón o bordillo de apoyo resistente de **hormigón armado** y de una **altura aproximada de 25 cm**. Así, cuando las ruedas de los vehículos de descarga se aproximen al foso, tendrán un tope que limite su avance. Por otra parte, el ancho del bordillo no debe sobrepasar un ancho recomendado de 25 cm, evitando que se derramen sobre la plataforma parte de los residuos que descargan los vehículos.
- Para recoger los líquidos que puedan presentarse en la recogida selectiva, el área de descarga debe tener una pendiente del 2%

hacia los laterales de la nave que no sean el de las puertas de entrada ni el de alimentación. Igualmente el suelo de los fosos de descarga se diseñará con una pendiente mínima del 2%, dirigida hacia una de las esquinas del fondo del foso, provisto de una rejilla de unos 0,5 x 0,5 m, situada en la parte más inferior de una de las paredes que conforman dicha esquina.

- Tanto las aéreas de descarga como los fosos de almacenamiento deben de estar provistos de iluminación y ventilación suficientes para realizar las operaciones de descarga, almacenamiento y alimentación de los residuos a tratar.

# Alimentadores primarios

## FUNCIÓN

La función principal de los alimentadores primarios es la de regular y dosificar, en régimen continuo, el caudal de residuos a tratar en la planta de selección.

## DESCRIPCIÓN

Consisten en sistemas mecánicos de traslación, generalmente metálicos, situados en el fondo de tolvas encauzadoras de gran volumen. De esta forma, los residuos alimentados a dicha tolva, se transportan al pretratamiento del proceso a modo de cintas transportadoras, mediante elementos de arrastre provistos de rastreles o nervaduras transversales.

El sistema de traslación está formado por dos ejes (uno de accionamiento y otro de retorno), provistos de coronas dentadas en cada extremo de cada eje que arrastran cadenas sinfín, a las cuales van unidos los elementos de traslación provistos de sistemas de rodadura o deslizantes (rodillos o placas deslizantes). El conjunto se apoya en un robusto bastidor de estructura metálica en celosía, en el que

se instalan los caminos de rodadura o deslizamiento.

Los alimentadores disponen de un sistema de centrado y tensado de las cadenas de traslación. Algunos modelos de alimentadores son similares a cintas transportadoras de gran robustez, cuya banda se desliza apoyada en rodillos o planos metálicos de deslizamiento.

Con el fin de conseguir una buena dosificación, la alimentación de residuos mediante pala cargadora o pulpo es clave.

La descarga de residuos, sobre la tolva encauzadora del alimentador, debe hacerse de forma gradual, con el fin de comenzar a facilitar la dosificación. Los residuos han de caer sobre la zona del alimentador vacía de residuos, desde la menor altura posible y provocar una distribución del volumen vertido a lo largo de esta zona del alimentador. De esta forma, debido a la pendiente del alimentador se consigue el efecto dosificador de volteo hacia atrás y el reparto longitudinal en capa homogénea.

Las operaciones erróneas de descargar encima de los residuos que se están dosificando por el alimentador, implica en la mayoría de los casos, irregularidades en la alimentación y posibles atascos.

## TIPOS

Existen varios tipos de alimentadores que se utilizan en plantas de selección:

- De placas metálicas o cinta transportadora con racletas o nervaduras.
- De fondo móvil de cadenas con rastreles de avance.



## CARACTERÍSTICAS

- **Inclinación de 40°** para regular la alimentación en el caso de alimentadores de placas metálicas o cinta transportadora. Así los residuos descargados en la tolva se voltean sobre sí mismos de forma natural, hacia la parte inferior del alimentador, distribuyéndose regularmente en



**1.** Alimentación con pulpo en foso de almacenamiento.

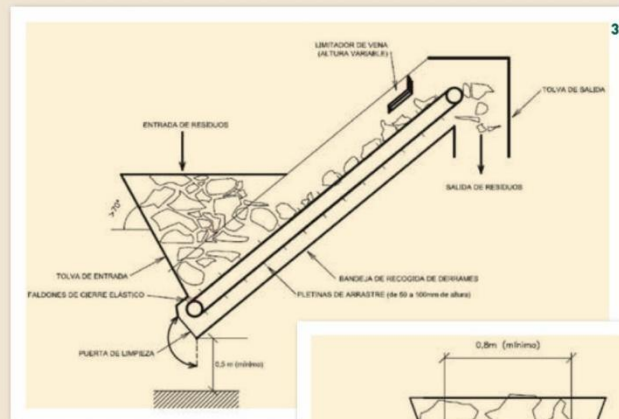
**2.** Alimentación con pala cargadora en playa de descarga.

volumen y consiguiendo una dosificación adecuada del proceso.

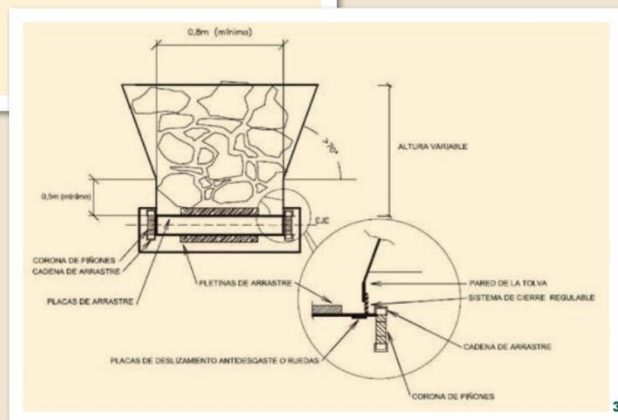
Cuando la inclinación es inferior a 40°, el alimentador dosificador se convierte en un transportador convencional. Cuando es superior, los residuos se deslizan hacia la parte inferior del alimentador, produciendo vacíos de caudal y alimentación irregular.

- La tolva del alimentador ha de estar diseñada con capacidad suficiente para dos descargas de pulpo o de cuchara de pala cargadora.

- **Las pendientes de la tolva** deben tener 70° en la arista de los diedros que la conforman.



3. Alimentador de placas inclinado (vista lateral y transversal).



Con pendientes inferiores existe retención de residuos, atascos e irregularidades de alimentación.

Se ha comprobado que las paredes inclinadas  $70^\circ$  de dicha tolva, en su parte más cercana al alimentador, deben pasar a ser verticales en una altura de unos 0,5 metros aproximadamente, como mínimo para evitar la posible formación de bóvedas y atascos.

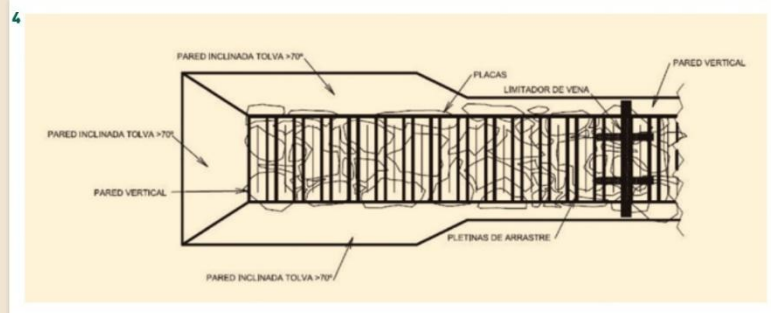
- En la operación de descarga, la tolva encauzadora debe disponer en su parte superior de la suficiente dimensión para que no se derramen residuos fuera de la misma.

- La velocidad del alimentador vendrá determinada por los caudales en volumen que haya que alimentar. En todo caso, los alimentadores tendrán velocidad variable, regulada por el operador en función del caudal de cálculo estudiado.

- El sistema de traslación (tabillas, placas o banda) deberá disponer en toda su longitud, de racletas o nervaduras, a modo de elevadores, para facilitar el avance de los materiales. Su altura debe estar entre 5 cm y 10 cm y han de ser removibles con el fin de definir la más conveniente en cada caso. La longitud de cada racleta debe cubrir entre el 60% y el 80% del ancho del alimentador, para evitar que haya materiales que puedan no ser arrastrados.

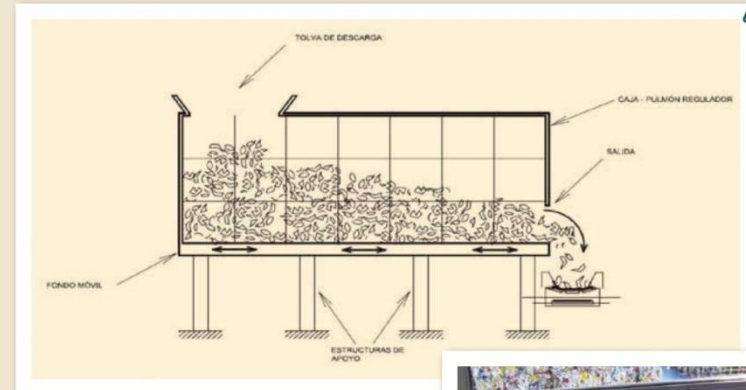
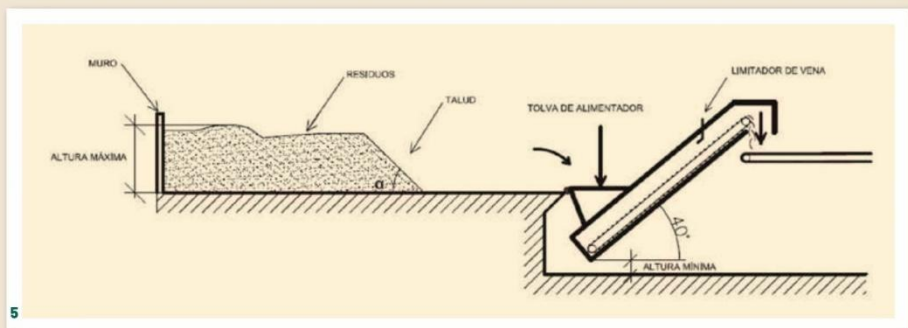
- Los alimentadores deberán disponer de un limitador regulable de vena, a modo de barras verticales, situado elevado sobre la zona inclinada y cerca del extremo más alto del alimentador, para que limite el paso de materiales





4. Alimentador de placas inclinado (planta).

5. Alimentador empotrado en área de descarga.



6. Alimentador de fondo móvil.

con exceso de medida o bien de acumulaciones de otros de menor tamaño. Su misión principal por lo tanto es ayudar a regular el caudal en volumen.

• **Longitud del alimentador.** Será la que resulte necesaria según la implantación general del resto de los equipos.

• **Ancho del alimentador.** La dimensión mínima vendrá determinada por el tamaño medio de las bolsas de residuos. Los órdenes de magnitud varían en función de la capacidad de la planta. Para plantas de pequeña capacidad el ancho del alimentador primario habitualmente es de 1.000 mm. Para plantas de gran capacidad el ancho es de 2.000 mm.



# Abre-bolsas

## FUNCIÓN

El abre-bolsas libera los materiales contenidos dentro de las bolsas para someterlos posteriormente a los diferentes procesos de clasificación y separación de los que consta la planta de selección.

Se trata de una robusta caja de acero. Tiene una boca superior de entrada y otra inferior de salida. En su interior dispone de uno o dos ejes giratorios o rotores, provistos de elementos resistentes de corte o desgarrado. Entre los elementos de corte, se delimita un espacio de dimensiones regulables a través del cual se hacen pasar las bolsas que contienen los residuos.

Mediante el giro de los rotores, producido por el accionamiento de un motor reductor instalado en el exterior, las bolsas introducidas por la boca de entrada son desgarradas debido a la presión ejercida entre las cuchillas de los rotores o entre las cuchillas del rotor y la contra-cuchilla fija instalada en el bastidor del



equipo, liberando los materiales contenidos en las mismas sobre las paredes interiores del equipo.

## TIPOS

Los abre-bolsas se clasifican según los siguientes criterios:

- **Número de rotores.** Pueden disponer de dos rotores con elementos cortantes, entre los cuales se realiza la presión de apertura, o de un rotor, donde la presión de apertura de las bolsas se realiza entre



1. Boca de alimentación del abrebolsas.

2. Equipo abre-bolsas.

el rotor del abre-bolsas y las contracuchillas fijas.

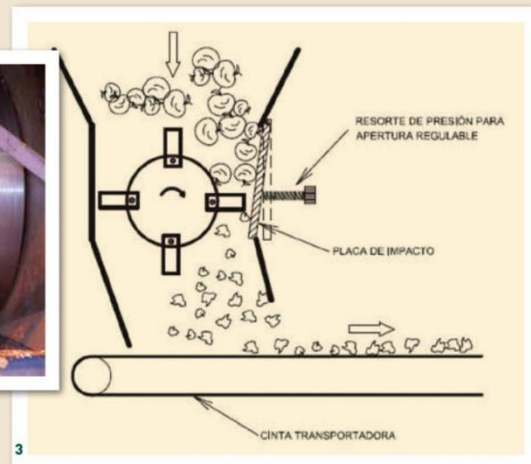
- **Mecanismos de apertura.** Desgarradores, cuando realizan el desgarre de las bolsas mediante cuchillas instaladas en los rotores que permite su posterior vaciado, y los **tipo triturador**, donde las bolsas son levemente trituradas debido a la presión que ejercen los dientes incorporados en el rotor contra las contracuchillas fijas instaladas en el equipo o contra los dientes del segundo rotor.

Las características técnicas que deben definir un abre-bolsas de una planta de selección de envases, son las siguientes:

- **Deben disponer de una boca de entrada** con dimensiones superiores al tamaño máximo de los paquetes y bolsas que contienen los residuos.
- **Capacidad del equipo.** La capacidad del equipo depende de sus dimensiones de entrada, la potencia instalada, la longitud del rotor de apertura y la densidad de los residuos. De esta forma los abre-bolsas tienen una capacidad entre 3 t/h y 45 t/h dependiendo de la densidad del material a alimentar.



3. Abre-bolsas tipo desgarrador.



3

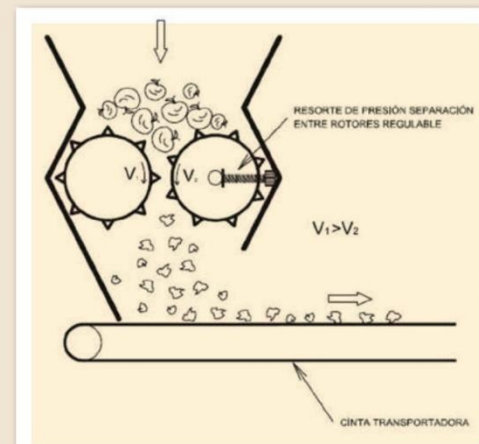
- **Efectividad de apertura.** Se define la efectividad de apertura como las bolsas que se han abierto tras su paso por el abre-bolsas entre el total de las bolsas alimentadas en el equipo. La efectividad de apertura en condiciones normales de funcionamiento y mantenimiento debe estar en torno al 95 %.
- Los abre-bolsas disponen de **sistemas de control** para asegurar el rendimiento del equipo ante presencias de materiales voluminosos que pue-

dan producir un atasco en la máquina. El sistema consiste en una serie de rotaciones inversas y consecutivas del rotor o una parada automática del equipo.

- No debe realizar trituración propiamente dicha, sino que debe desgarrar las bolsas y paquetes, manteniendo en la medida de lo posible los tamaños originales de los materiales contenidos para evitar posibles fallos en la lectura de los separadores ópticos.



4



4

4. Abre-bolsas tipo triturador.

- Los abre-bolsas disponen de un **sistema hidráulico**, manual o accionado por un motor eléctrico, para la regulación de la distancia entre el rotor móvil y la contracuchilla fija del equipo. Así se consigue variar la grieta mínima de corte, entendida como la longitud de corte producido por el abre-bolsas, cuando se trate material procedente de recogida selectiva de envases y material procedente de la fracción resto. La grieta mínima de corte debe ser re-

gurable como mínimo entre 5 y 80 mm.

- En abre-bolsas de tipo triturador, el número de dientes debe ser de aproximadamente 30.
- **Velocidad de giro del rotor.** Las velocidades del rotor de apertura varían entre 4 y 12 rpm en función del ritmo de trabajo de la planta.
- La **potencia instalada** de abre-bolsas instalados en las plantas de tratamiento de residuos de envases varían de 20 kW a 75 kW.

# Trómel de clasificación

## FUNCIÓN

Divide, mediante cribado por tamaños específicos, los flujos de materiales en dos o más categorías granulométricas. De esta forma se consigue concentrar determinados grupos de materiales para facilitar su posterior selección. Realiza la función principal de repartidor o divisor de distintos flujos del tratamiento. Complementariamente, también puede realizar la función de apertura de bolsas pues puede estar dotado de pinchos que hagan esta función.

## DESCRIPCIÓN

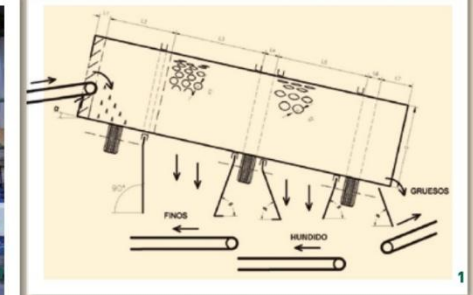
Consiste en una superficie cilíndrica giratoria dispuesta en posición inclinada, con una o más zonas provistas de orificios de igual o diferente dimensión, a través de los cuales pasan los materiales de menor tamaño. Los materiales que no han pasado por los orificios de cribado, salen del interior de la superficie cilíndrica por el extremo opuesto al de entrada como rechazos del cribado. Se obtienen así dos tipos de corrientes: una

corriente de material cribado, denominada pasante, y otra de rechazo de material no cribado denominado rebose.

Para recoger los flujos de materiales cribados y de los rechazos, llevan incorporadas unas tolvas que los llevan hacia otras áreas de la instalación de selección, así como los carenados para evitar derrames y proyecciones al exterior.

Estos equipos constan constructivamente de las siguientes partes principales:

- Cilindro giratorio provisto de un bastidor que sostiene y une las zonas perforadas o mallas y las zonas sin perforación sobre las cuales se apoya el cilindro, denominadas virolas ciegas.
- Sistema de apoyo y accionamiento de ruedas o cilindros, provistos de elementos electromecánicos (motorreductores) que generan y permiten la rotación del cilindro.
- Bastidor de apoyo donde se integran los elementos de accionamiento de la superficie giratoria.
- Conjunto estático de tolvas de recogida de materiales pasantes y de no pasantes de las mallas de cribado.
- Conjunto estático envolvente para evitar y proteger de proyecciones al exterior del cilindro giratorio, el cual conduce los materiales proyectados hacia el exterior hacia las tolvas de recogida de los materiales pasantes. Está provisto de cierres laberínticos entre partes giratorias y estáticas, que impiden derrames y proyecciones al exterior.
- Zonas y mallas de cribado. Las mallas suelen ser de chapa de acero perforada, de alta resistencia al impacto y a la abrasión (con acero de alto contenido en manganeso). La superficie cilíndrica giratoria puede disponer de más de una zona de cribado con diferentes dimensiones de



1. Trómel de dos mallas.

los orificios de la malla, lo cual permite clasificar los materiales a diferentes granulometrías, en función de tamaño, forma y clase del material.

## TIPOS

La clasificación de estos equipos se puede realizar en base a diferentes criterios.

En función del objetivo de esta máquina en el proceso se pueden clasificar en:

- Trómeles de voluminosos. En estos tipos, la luz de malla es lo suficiente elevada (de 300 a 450 mm) para que únicamente los materiales voluminosos no se criben, y así obtener una fracción cribada que alimenta al resto del proceso y una corriente de rechazo por el rebose del trómel de materia-

les voluminosos.

- Trómeles de finos. Se refiere a trómeles con material cribante de baja luz de malla (40-60 mm) cuyo fin es el cribado de la materia orgánica y aquellos elementos de pequeño tamaño.
- Trómeles mixtos. Son trómeles de longitud de cribado considerable y con varias mallas de cribado.

En cuanto al número de cribas, los trómeles se pueden clasificar en:

- De un flujo pasante de la malla y otro de rechazos no pasantes (una sola malla de cribado).
- De dos flujos pasantes de las mallas y otro de rechazos no pasantes (dos mallas de cribado).

- De tres flujos pasantes de las mallas y otro de rechazos no pasantes (tres mallas de cribado).

No se plantea la necesidad de dividir en mayor número de flujos el caudal de alimentación a seleccionar.

• **Pendiente de cribado.** La pendiente de cribado de un trómel depende de la capacidad de alimentación, de la composición y propiedades físicas de los residuos, la velocidad de giro del trómel y su diámetro nominal. Para trómeles instalados en plantas de clasificación de envases, con densidades aparentes entre 50 y 100 Kg/m<sup>3</sup> y para capacidades de alimentación entre 2 y 8 t/h, la pendiente óptima es de 5° aproximadamente.

• **Forma de los orificios de cribado.** La forma del cribado del mallado del trómel puede ser de diferentes figuras geométricas, según la forma predominante de los materiales a cribar y buscando la máxima densidad de superficie perforada. Las más usuales pueden ser:

- Orificio circular, con paso nominal de malla igual al diámetro del orificio.
- Orificio cuadrado, con paso nominal de malla equivalente al lado del cuadrado, aunque la dimensión mayor del orificio sea la diagonal.
- Orificio rectangular, utilizado frecuentemente para cribar envases en los que la dimensión mayor de los mismos puede orientarse en la dirección longitudinal del avance del material en el trómel.
- Orificio hexagonal, cuando se quiere conseguir la máxima densidad de superficie perforada. El paso nominal de la malla de cribado es equivalente a la del círculo inscrito en el hexágono.

• **Densidad de la superficie perforada.** La den-

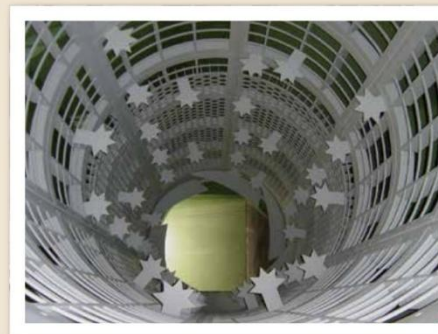
sidad de la superficie perforada respecto de la superficie total de la malla, está condicionada por tres factores: la forma de los orificios, su distribución, resistencia de la malla ante impactos y desgastes, y la orientación de los orificios. Los laminados de acero comerciales que cumplen estos requisitos tienen entre 55% y 60% de superficie perforada, de acero aleado de manganeso con espesores de 5 a 8 mm y con orificios alineados según la generatriz del trómel.

• **Orientación de las alineaciones de los orificios de la malla.** La orientación de los orificios de la malla, está relacionada fundamentalmente con la eficacia del cribado, por dos razones:

- Que facilite el paso de materiales a cribar: La eficacia de esta operación aumenta si las alineaciones de los orificios están orientadas perpendicularmente al avance-caída de los materiales. En los trómeles, debido al giro del equipo, el avance-caída es perpendicular al eje del mismo, luego las alineaciones de orificios deben estar orientadas paralelas a dicho eje.
- Que las alineaciones permitan la instalación de aletas anti obstrucción de elementos filiformes que reduzca el tiempo de mantenimiento dedicado al equipo.

• **Potencia instalada.** La potencia del trómel en una planta de selección de envases viene determinada por diferentes factores tales como la velocidad de giro, su capacidad, longitud, etc... Para plantas de procesamiento de residuos de envases los trómeles tienen unas potencias instaladas entre 11-18,5 kW.

• **Capacidad.** La capacidad del trómel depende de sus dimensiones y puede variar de 55 m<sup>3</sup>/h a 208 m<sup>3</sup>/h, que según una densidad de envases de 70 kg/m<sup>3</sup>, el valor se traduce en 3,8 t/h a 14,56 t/h.



2



3

2. Malla voluminosos.

3. Malla finos.

• **Pendiente de las tolvas de recolección.** Debido a la heterogeneidad de los materiales de envases, no es posible medir cuantitativamente los diferentes factores que influyen, **se ha optado por comprobaciones empíricas para determinar las pendientes de las tolvas**, en las cuales no se producen de forma notoria acumulaciones de materiales que impidan el normal funcionamiento de un trómel. Las pendientes comprobadas, de las paredes de las tolvas, con respecto a la horizontal, en función de los materiales de envases que se encauzan son las siguientes:

- Para materiales pasantes, con orgánicos húmedos: 70°
- Para materiales pasantes sin orgánicos húmedos: 60°
- Para materiales no pasantes: 60°

• **Velocidad de giro.** La velocidad de un trómel estándar para plantas de envases está comprendida entre 9 y 10 r.p.m. para diámetros de entre 3,0 y 2,5 m.

• **Sistemas de apertura de bolsas en trómel.** De forma adicional a la instalación del abre-bolsas también puede utilizarse el trómel para proceder a la apertura de bolsas. Estos sistemas consisten en instalar en el interior de la virola ciega de entrada al trómel, a continuación de las aletas introductoras, una zona con piezas de acero de forma triangular punteada de 20 cm aproximadamente de altura y unos 8 cm en la base (a modo de pinchos o cuchillos), soldadas o atornilladas perpendicularmente a la propia virola.

# Separador balístico

## FUNCIÓN

Realiza la de separación del flujo de materiales por tamaño, forma y densidad. Concentra determinados grupos de materiales para facilitar su posterior selección. Los separadores balísticos de las plantas de selección realizan la función principal de divisor de distintos flujos del tratamiento. Se obtiene por tres corrientes:

- Fracción de finos. Constituye la corriente filtrada del separador balístico con alto contenido en finos.
- Fracción de materiales rodantes, formada por materiales de mayor densidad aparente, de forma redondeada y cuadrangular (prioritariamente son envases de líquidos). Constituida principalmente por botellas, latas, CBA así como otros materiales de 3D.
- Corriente de planares, constituida principalmente por sábanas de plástico film, P/C y otros materiales de 2D.

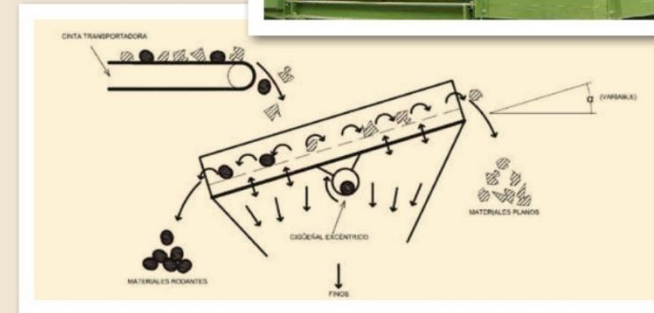
Puede decirse que los separadores balísticos de las plantas de selección realizan la función principal de divisor de distintos flujos del tratamiento.

## DESCRIPCIÓN

En general, un separador balístico instalado en una planta de selección de envases está constituido por los siguientes elementos:

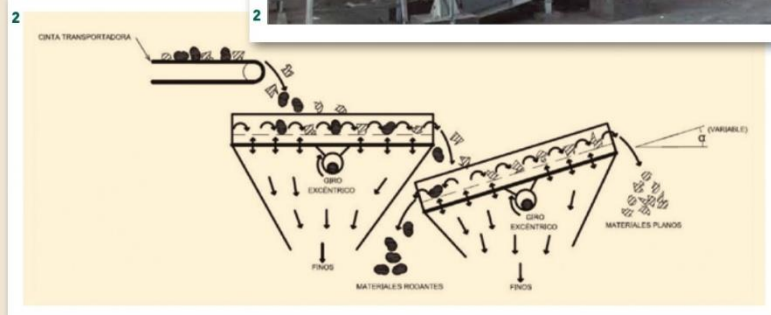
- Conjunto de pádeles perforados que constituyen una rampa.
- Uno o varios cigüeñales que transmiten el movimiento de cabalgadura a las rampas.
- Bastidor o ensamblaje.
- Dispositivo de regulación de la inclinación de las rampas. Este puede estar accionado tanto de forma hidráulica como manual.
- Ventiladores en su parte inferior que con un soplado continuo ayudan a una mejor separación entre materiales rodantes y planares. No todos los modelos de separadores balísticos tienen estos ventiladores.
- Opcionalmente pueden contar con un carenado superior para evitar la dispersión de material.
- Tolvas de recolección para los flujos de salida.

El movimiento oscilante provocado por el cigüeñal provoca que los materiales de mayor densidad aparente y de formas redondeadas descendan hacia la parte inferior de los planos, mientras que los materiales de formas planas ascienden hacia la parte superior. Simultáneamente los materiales finos de tamaño inferior a las perforaciones de la malla, pasan a través de las mismas y son considerados rechazos de la clasificación balística. Las fracciones obtenidas se recogen



1. Separador balístico de rebote en un plano.

2. Separador balístico de rebote en dos planos.



mediante tolvas a las cintas transportadoras correspondientes.

## TIPOS

Existen dos tipos de clasificadores balísticos, a saber:

- De un solo grupo de pádeles inclinados, accionados por un mismo cigüeñal.
- De dos grupos de pádeles inclinados, accionados por dos cigüeñales distintos; el primer grupo con inclinación menor, criba, distribuye y regula el caudal que alimenta al segundo grupo de planos de mayor inclinación, en el cual se clasifican los rodantes y los planares, además del cribado de finos.
- De dos grupos de pádeles inclinados accionados por dos cigüeñales distintos con inclinación similar, de forma que se realizan dos separaciones balísticas consecutivas. En este caso, la luz de malla de la primera rampa es de mayor tamaño respecto de la segunda y separa los materiales de mayor tamaño. Esta opción ofrece la posibilidad de obtener adicionalmente una corriente diferente de planares de mayor tamaño.

## CARACTERÍSTICAS

- **Capacidad.** La capacidad de procesamiento de los separadores balísticos varían, según el modelo entre 60 m<sup>3</sup>/h y 200 m<sup>3</sup>/h. Considerando una densidad de entrada a esta máquina en plantas de selección de envases del entorno de 50 kg/m<sup>3</sup>, se obtendrían unas capacidades

máximas de entre 3 t/h y 10 t/h.

- **Área de cribado.** Constituye el área total de las palas perforadas con una luz de malla determinada. Se ha comprobado empíricamente que la luz de malla óptima en plantas de selección de envases es de 40 mm, ya que una luz de malla mayor implica la pérdida de envases de pequeño tamaño, mientras que una luz de malla menor implica un aumento del mantenimiento para evitar la obturación del cribado.

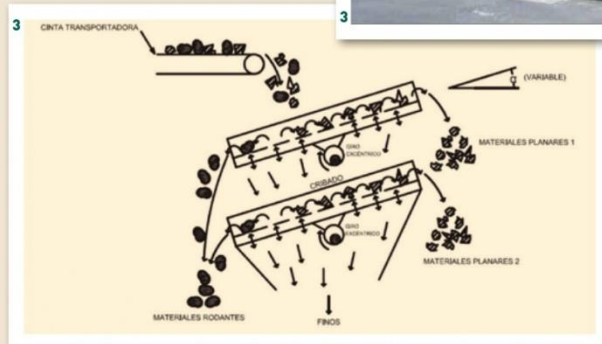
El área de cribado de un separador balístico está relacionada con su capacidad. De esta forma, los separadores balísticos de menor capacidad tienen un área de cribado entorno a 9 m<sup>2</sup> mientras que los separadores balísticos de gran capacidad disponen de áreas de cribado de entorno a 28 m<sup>2</sup>. También se debe destacar la presencia en plantas de selección de envases ligeros de los conocidos separadores balísticos ciegos. Es un tipo de separador balístico en el que las rampas no tienen cribado y, por tanto, sólo se obtienen las fracciones de rodantes y planares.

- **Pádeles y rampa.** Como se ha comentado anteriormente, el área de cribado del separador balístico está constituida por rampas que están compuestas a su vez por pádeles. Según el número de rampas los separadores balísticos pueden ser de sólo una rampa, de dos o más rampas en paralelo o de rampas consecutivas.

Las rampas están formadas por pádeles. Estos pádeles suelen tener unas dimensiones habituales unos 450 mm. El número de pádeles, en general, está relacionado con la capacidad. Los separadores balísticos de menor capacidad tienen 4 pádeles por cada rampa, mientras que separadores balísticos de mayor capacidad pueden llegar a los 12 pádeles por rampa.

- **Inclinación.** Se considera la inclinación del se-

3. Separador balístico de dos grupos de pádeles de misma inclinación.



parador balístico a la inclinación de las rampas en los que se realiza el proceso de separación balística y granulométrica. El valor de la inclinación óptima depende de varios factores como los detalles constructivos del modelo del separador balístico y el flujo de alimentación a la máquina. Los valores de referencia de la inclinación de separadores balísticos varían entre 13°-20° en función de la marca comercial.

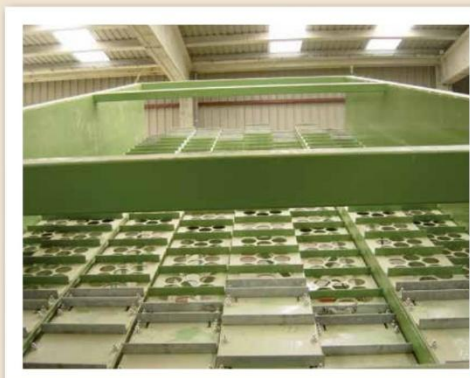
- **Potencia instalada.** La potencia instalada en un separador balístico está relacionada con su capacidad. Los separadores balísticos de poca capacidad suelen constar de un solo motor de 5 kW mientras que los separadores balísticos de gran capacidad necesitan la potencia de dos motores de 5 kW.

- **Efectividad de separación.** Se considera que un separador balístico tiene un funcionamiento correcto cuando el porcentaje de material rodante dentro de la corriente de rodantes es superior al 90% y además, el porcentaje de material planar dentro de la corriente de planares o ligeros también es superior al 90%.

- **Ventiladores.** Algunos modelos de separadores balísticos cuentan con ventiladores en su parte posterior. Estos ventiladores, que en función de la capacidad del separador balístico pueden ser 2 ó 3, ayudan a mejorar el reparto entre materiales planares y rodantes, ya que impulsan los materiales ligeros hacia su tolva de recolección.

- **Alimentación.** La alimentación al separador balístico debe realizarse de tal forma que cumpla con dos objetivos: aprovechar la mayor área posible de cribado del separador balístico y conseguir un reparto óptimo entre materiales rodantes y planares.

La caída de la cinta transportadora de alimenta-



4. Pádeles del separador balístico.

ción al separador balístico debe disponerse de forma que se alimente a la rampa del equipo en la posición equivalente de 1/3 respecto al extremo de la rampa que constituye la recolección de rodantes.

La implantación óptima de la cinta de alimentación del separador balístico a la posición de rampa comentada anteriormente ha de realizarse de forma directa y longitudinalmente al eje del separador balístico. No obstante, se pueden presentar dos formas de alimentación condicionada por las restricciones de espacio: alimentación de forma transversal y alimentación inversa. En ambos casos, para conseguir un buen funcionamiento de esta máquina se ha de evaluar las alturas de caída.

# Separador neumático

## FUNCIÓN

La función que realiza la separación neumática es la de seleccionar, mediante sistemas de aspiración, los materiales ligeros y filiformes con menor densidad aparente, del resto de materiales. Estos materiales ligeros son fundamentalmente plásticos film y papel prensa, y están presentes en los siguientes flujos del proceso:

- Corriente de planares de la separación balística.
- Rechazos no pasantes de la clasificación con trómel.
- Corriente de rodantes de la separación balística.

## DESCRIPCIÓN

Consisten en campanas de aspiración situadas estratégicamente en determinados puntos del proceso de selección, a través de las cuales se hace pasar una corriente selectiva de aire provocando una depresión que permite la captación y el transporte de los materiales más ligeros (plásticos film mayoritariamente).



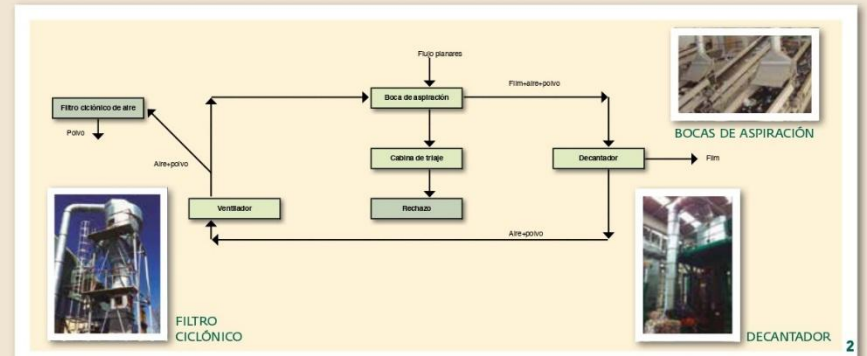
1. Ventilador.

Estas bocas de aspiración se disponen en caídas de cintas con el fin de aprovechar la balística de los materiales entre cintas para facilitar la aspiración. En algunos casos también en estas caídas se dispone de toberas que, debido a la inyección de aire, elevan el material con el fin de aproximarlo a los puntos de mayor depresión.

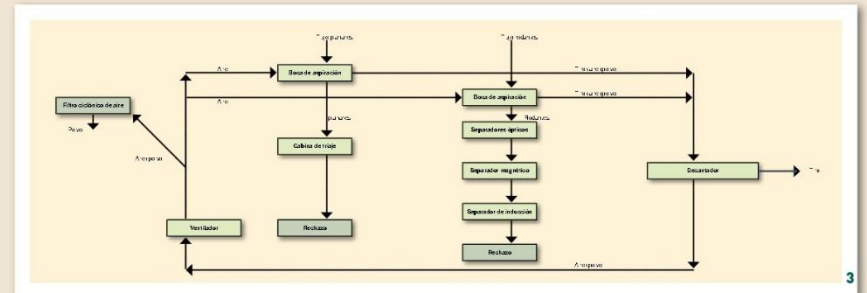
Dichos materiales ligeros son transportados por la corriente de aire a través de una tubería dimensionada al efecto, hasta una cámara de decantación o ciclón donde se separan del aire que los transporta. Estas cámaras de decantación se implantan en cintas transportadoras en las que se procede a realizar el control de calidad del film seleccionado.

El aire separado en la cámara de decantación y contaminado por polvo en suspensión es transportado a un filtro de mangas donde se limpia antes de retornarlo a la atmósfera.

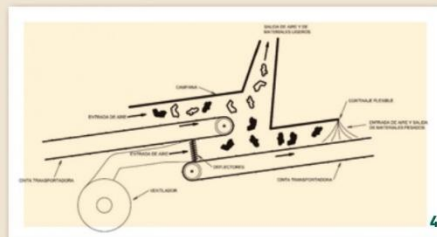
La corriente de aire es creada por un ventilador instalado en posición final de la línea del sistema de captación neumática.



2. Sistema de aspiración con una boca de aspiración.



3. Sistema de aspiración con dos bocas de aspiración.



4. Boca de aspiración automática en caída de cinta.

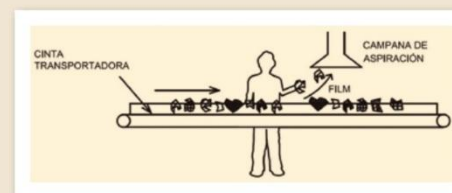
## TIPOS

Según el criterio que se determine, los sistemas de separación neumática se clasifican en:

- Automáticos o semiautomáticos. Automáticos cuando el material es aproximado a la zona de depresión de aire de forma automática debido a su propia balística en la caída de una cinta. Semiautomático, cuando el material es aproximado manualmente a la zona de depresión de aire en una cabina de triaje.
- En función del sistema de separación del material seleccionado de la corriente de aire, se pueden diferenciar tres dispositivos:
  - Separación aire y material mediante ciclón: la mezcla de aire y materiales aspirados alimentan al ciclón de forma tangencial en su parte superior. Se crea una corriente circular descendente en el interior que provoca la decantación del material seleccionado por su parte inferior. Este sistema está cada vez más en desuso.



4



5

## CARACTERÍSTICAS

- Los anchos de las bocas de las campanas de aspiración, tanto de entrada como de salida de los residuos, han de ser equivalentes a los anchos útiles de las cintas que transportan los residuos a tratar.
- Las alturas de las bocas de las campanas de aspiración, tanto de entrada como de salida de los residuos, han de permitir el paso libre de los mismos. Dependerá de la granulometría y del caudal a tratar.
- **Capacidad de aspiración.** En función de los puntos de aspiración del sistema, que pueden oscilar entre uno y tres, se requiere de los siguientes caudales de aire con una depresión entre 3.000 y 3.500 Pa:
  - 1-Campana de aspiración: entre 15.000 y 20.000 m<sup>3</sup>/h de aire.
  - 2-Campanas de aspiración: entre 30.000 y 35.000 m<sup>3</sup>/h de aire.
  - 3-Campanas de aspiración: entre 40.000 y 45.000 m<sup>3</sup>/h de aire.

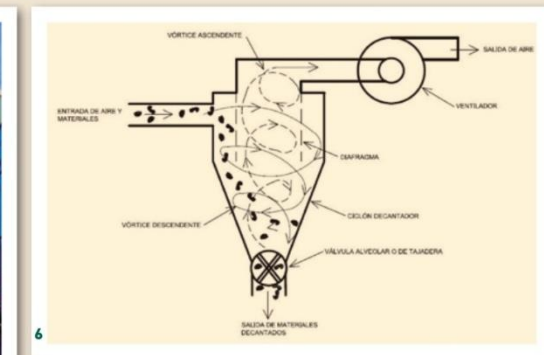


5

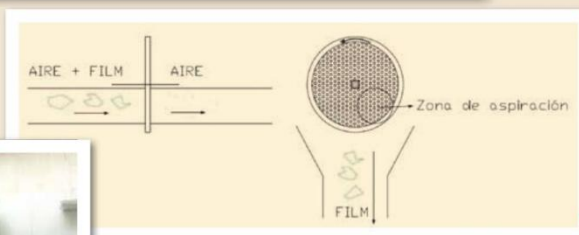
5. Aspiración semiautomática en cabina de triaje secundario.

En estos caudales de aire se ha contemplado un coeficiente de seguridad del 25 % que garantice el correcto funcionamiento de la instalación.

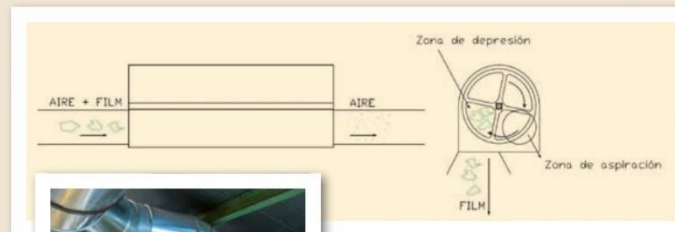
- El ventilador debe tener **capacidad** suficiente para mover un caudal mínimo de aire y a una depresión capaz de poder aspirar y transportar mediante tuberías, además del aire, unos objetos de densidades reducidas como es el caso del film, P/C y otras partículas de materiales ligeros como el polvo.
- La **depresión** en el ventilador debe alcanzar valores comprendidos entre 3.000 y 3.500 Pa, en función de la longitud existente entre ventilador y punto de captación. Además se debe tener en



6. Sistema de separación mediante ciclón.



7. Sistema de separación mediante paso de corriente a través de malla circular giratoria.



8. Sistema de separación mediante válvula alveolar.



co film y P/C de tamaños grandes e intermedios flexibles (máximo de 600 x 600 mm).

- La **regulación** de caudales/velocidades se debe realizar mediante válvula en la impulsión del ventilador del sistema y mediante variación de las secciones de entrada de aire a las campanas de captación.
- Con frecuencia se requieren **cortinas deflectoras** en las bocas de entrada y salida de las campanas de captación, para optimizar los rendimientos de las selecciones.
- Las **mangas del filtro** de aire están formadas por tejidos filtrantes. El objeto de las mangas es constituir una superficie filtrante proporcional al caudal de aire a filtrar y el contenido en partículas de polvo y otros elementos contenidos en el aire.

cuenta la sección de la tubería de transporte y las pérdidas de carga producidas por los diferentes componentes de la instalación (codos, testigos...). Las potencias de los ventiladores para sistemas de aspiración en plantas de selección estándares de envases varían entre los 22 kW y 55 kW.

- Las **tuberías de conducción** de los materiales ligeros captados en las campanas de aspiración no deben ser inferiores a 350 mm de diámetro, para permitir el paso de componentes de plásti-

Normalmente para instalaciones de captación de film se requiere aproximadamente 1 m<sup>2</sup> de superficie filtrante por cada 300 m<sup>3</sup>/h de aire aspirado, por lo tanto para las instalaciones de aspiración con ventiladores capaces de aspirar entre 15.000 y 40.000 m<sup>3</sup>/h de aire se requieren de filtros de mangas de grandes dimensiones, normalmente entre 100 y 200 m<sup>2</sup> de superficie filtrante, considerando una reserva del 25%.

# Separadores magnéticos



## FUNCIÓN

Son los encargados de seleccionar los materiales férricos, aprovechando sus propiedades magnéticas.

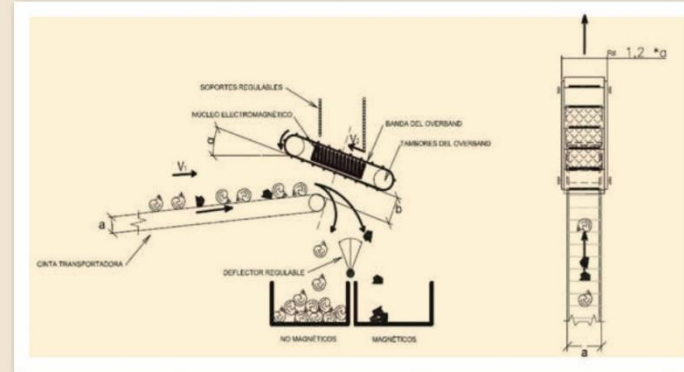
## DESCRIPCIÓN

El principio físico de funcionamiento de los separadores magnéticos se basa en un campo que se genera por un imán permanente o por energía eléctrica de excitación en una bobina enrollada sobre un polo magnético, cuya excitación sobre la bobina provoca el campo magnético. Con ello se consigue que los materiales férricos que atraviesen dicho campo magnético

sean atraídos hacia la bobina o imán, logrando su separación del resto de materiales.

Las fuerzas de atracción no afectarán a otros materiales no metálicos ni tampoco al resto de los metales no férricos como bronce o aluminio. Tanto la bobina, como los polos magnéticos, se encuentran ubicados en la parte central de una cinta transportadora que gira a una velocidad elevada y permite, mediante nervaduras, la evacuación de manera continua de los materiales férricos captados.

El separador magnético, junto a su banda, se encuentra suspendido sobre un soporte-bastidor provisto de resortes sin-fín regulables para situar el separador en la posición más eficaz de inclinación y aproximación. Se encuentra constituido por un sistema de carenado, tolvas



1. Over-band en línea.

y cierres, para evitar proyecciones al exterior e introducciones de materiales magnéticos entre núcleo, tambores y banda.

Su utilización implica que el flujo de residuos con materiales magnéticos deba pasar por el radio de acción del campo magnético creado. Las cintas que transportan los flujos de residuos objeto de selección han de incluir los separadores magnéticos en su diseño (tambores de cabeza de las cintas), o bien situarlos elevados sobre las cintas que los transportan (over-band).

## TIPOS

• Según el campo magnético generado los separadores pueden ser de dos tipos:

- ▶ Inducidos permanentes (imanes permanentes)
- ▶ Inducidos al paso de una corriente eléctrica (electroimanes)

En plantas de selección de envases se emplea generalmente el tipo electroimanes.

• Según el sistema constructivo, los electroimanes pueden ser de dos tipos:

- ▶ De tambor, situado en el interior del tambor de cabeza de la cinta transportadora que conduce el flujo de materiales a tratar.
- ▶ Over-band, situado en una banda independiente en posición elevada sobre la cinta que conduce el flujo de materiales a tratar, bien sea en línea con la banda o transversalmente a la misma.

Para las plantas de residuos de envases se recomiendan los separadores electromagnéticos de over-band. Es cierto que tienen un mayor consumo eléctrico y su coste de inversión es mayor, pero ante una simple avería (accionamiento, banda, etc.) de un separador de imanes permanentes, se impediría el funcionamiento de la línea completa.

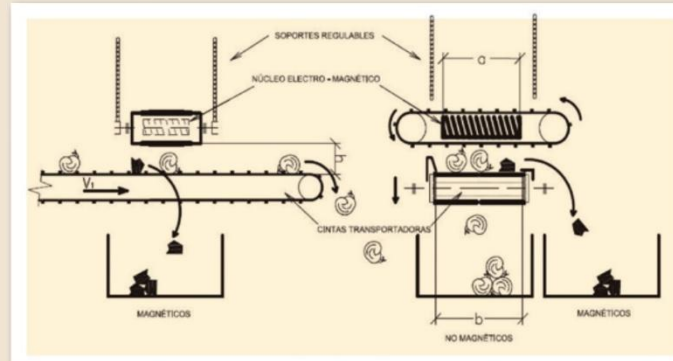
## CARACTERÍSTICAS

- El flujo de residuos transportado por la cinta que contiene los materiales magnéticos ha de pasar plenamente bajo el radio de acción del campo magnético creado por el separador.
- Dado que la fuerza de atracción de los materiales férricos, creada por el campo magnético del electroimán, es inversamente proporcional a la distancia al núcleo, estos equipos deben ser capaces de crear una **densidad de campo magnético** de 400 Gauss como mínimo, distancia a la cual se encuentran los materiales a captar.
- La **velocidad de la cinta** de transporte debe estar entre 1,0 y 1,5 m/s. La velocidad de la banda del over-band, debe estar entre 2,0 y 2,5 m/s.
- El **espesor de la capa** del flujo de residuos transportado por la cinta no ha de ser superior al tamaño medio de los materiales magnéticos a seleccionar.
- Los entornos cercanos al campo de acción de los separadores magnéticos (tambores, rodillos, estructuras de cintas, etc.) han de estar contruidos con metales no férrico ni imantables (inoxidable o aluminio).
- En el caso del separador en posición lineal res-



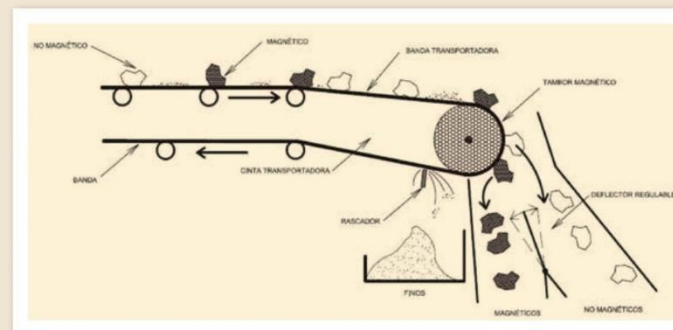
pecto de la cinta de transporte, el ángulo entre la pendiente de dicha cinta y la pendiente del separador debe estar entre 20° y 25°, aproximadamente. Además, la línea perpendicular al núcleo del electroimán que pasa por su centro debe ser tangente al tambor de cabeza de la cinta de transporte.

- En el caso de la posición transversal del separador respecto a la cinta de transporte, la pendiente longitudinal de ésta y la pendiente transversal del over-band deben ser paralelas.
- La **potencia instalada** de un separador magnético de tipo over-band para una planta de envases estándar está, en función de sus dimensiones, entre 1,5 kW a 5,5 kW.



4. Over-band cruzado.

5. Separador magnético de tambor en cabeza de cinta transportadora.



# Separadores ópticos

## FUNCIÓN

Mediante la separación óptica se seleccionan habitualmente en las plantas de selección de envases diversos tipos de plásticos (PET, PEAD y Plástico Mezcla), si bien los equipos actuales permiten separar otros plásticos, CBA, metales (ferricos y no ferricos), P/C, vidrio, materia orgánica, etc.

Los materiales recuperables de envases plásticos, CBA y P/C con tamaños homogéneos, contenidos en los flujos clasificados por los procesos anteriores, pueden ser seleccionados mediante la aplicación de dispositivos ópticos automáticos.

## DESCRIPCIÓN

Este principio consiste en hacer pasar mediante una cinta de velocidad controlada, un caudal uniforme de componentes previamente clasificados, generalmente mediante separadores balísticos (corriente de rodantes) o trómeles (pasante de tamaño medio), bajo el campo de acción de un escáner o sensor óptico.

El material a seleccionar queda estabilizado en una cinta a alta velocidad, una vez estabilizado en un punto de la cinta, la composición del material es detectado mediante un escáner que también determina su posición. Sabiendo la velocidad de la cinta se calcula el tiempo que el material tarda en llegar al final de la cinta en la que está instalado un bloque de electroválvulas que soplan el material reconduciéndolo a su tolva correspondiente.

La tecnología más utilizada para realizar separación óptica de materiales es la de rayos infrarrojos de campo cercano (NIR), pero existen otras tecnologías para separar materiales de colores diferentes por espectrometría óptica (colorime-



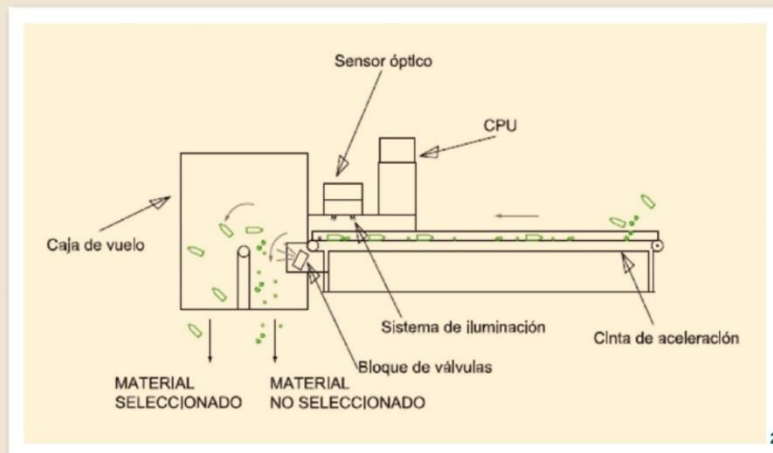
1. Separador óptico.

tría), y separación de materiales por detección con densitometría de rayos X. Los equipos de separación óptica NIR, que son los más utilizados, se componen de los siguientes elementos:

- **Bastidor:** estructura que soporta los diferentes elementos del equipo.
- **Software:** programa de identificación de los materiales. En función de la lectura del

sensor da orden para el control del caudal de aire correspondiente. Controla parámetros del equipo como velocidad de la cinta, calibrado y almacenamiento de datos.

- **Cinta transportadora de aceleración:** su objetivo es el de estabilizar el material a seleccionar para ser detectado por parte del escáner y posteriormente ser conducido hasta las válvulas de soplado. La cinta debe

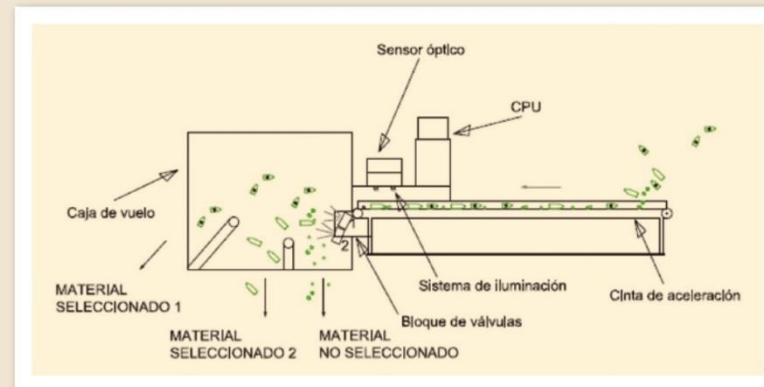


2. Separador óptico mono-válvula.

llevar una velocidad seleccionable entre 2,2 - 3,7 m/s, con el fin de distribuir el material a lo largo y ancho de la cinta y hacerle adquirir la velocidad suficiente para favorecer su lanzamiento y caída parabólica.

- **Sensor óptico:** es un escáner situado sobre la cinta de aceleración que detecta los materiales transportados y que, además de determinar su posición en la banda de la cinta, en función de la longitud de onda determina la naturaleza y/o el color del material. La lectura obtenida es procesada por el software del equipo.

- **Sistema de iluminación:** compuesto por bloques de bombillas que hacen incidir la luz (de longitud de onda determinada) sobre el material transportado y la reflejan en la zona de lectura del sensor. La intensidad de luz necesaria (Wattios por cm<sup>2</sup>) está determinada por la sensibilidad del escáner. De este modo, cuanto mayor sea la sensibilidad y eficiencia del escáner, menor será la intensidad de luz necesaria, pudiéndose reducir el consumo.
- **Bloque de válvulas:** bloque formado por múltiples válvulas de soplado situadas pos-



3. Separador óptico doble-válvula.

teriormente a la franja de lectura del sensor óptico (escáner), al final de la cinta de aceleración y debajo del tambor de cabeza. En función de la lectura del escáner se abre la válvula correspondiente a cada material, impulsando aire a presión para separar del resto cada material identificado. Existen equipos con dos bloques de válvulas. Generalmente se sitúan al final de la cinta de aceleración en la parte inferior, si bien en plantas donde el material de entrada a los separadores ópticos tiene un alto porcentaje de materia orgánica, se pueden situar en la parte superior para evitar mal funcionamiento por ensuciamiento de las válvulas. También puede situarse una de ellas en la parte superior y otra en la parte inferior.

- **Equipo compresor:** equipo encargado de impulsar aire para el accionamiento de las válvulas que seleccionan los materiales.
- **Caja de vuelo:** conjunto de tolvas y capotaje situados a la salida de la cinta de aceleración, con las cuales y tras el soplado, recogen el material seleccionado y no seleccionado en canales diferentes.
- **Sensor electromagnético:** situado debajo de la cinta de aceleración, recibe la señal del metal transportado (ferroso y no ferroso), procesándose en el software y dando orden al grupo de válvulas para su selección. Este sistema es un complemento del equipo, si bien no es propiamente una separación óptica, sino electromagnética.

TIPOS

Las tecnologías utilizadas en este tipo de equipos y que tienen aplicaciones en las plantas de selección de envases ligeros son las siguientes:

- **Separación por rayo infrarrojo cercano (NIR)**  
La lectura se realiza generalmente entre las longitudes de onda de 1.100 y 1.900 nm. Dicha lectura determina la naturaleza del polímero. Si el sensor permite detectar y ampliar el espectro entre 700 y 1.900 nm, se puede llegar a distinguir el papel y el cartón de la madera (celulosas). Su aplicación principal en plantas de selección es para realizar la separación de materiales según su naturaleza (PET, PEAD, PM, CBA y P/C).
- **Separación por colorimetría o espectro visible**  
La lectura se realiza entre las longitudes de onda de 400 y 800 nm. Con dichas longitudes de onda se puede determinar el color del polímero, independientemente del material que lo compone. Su aplicación en plantas de selección es para realizar la separación de materiales de una misma naturaleza por colores: PEAD Natural/PEAD Color.
- **Separación por densitometría de rayos X**  
Su aplicación no es propia de las plantas

de clasificación de envases ligeros, si bien, actualmente existen instaladas máquinas en plantas de residuo sólido urbano para separar materiales no requeridos en las fracciones orgánicas (como inertes, vidrios, etc.).

- **Separación mixta**  
Las tecnologías anteriores se pueden combinar en un equipo único permitiendo seleccionar no solo el tipo de material por su naturaleza, sino también por su color, su naturaleza o su forma.

CARACTERÍSTICAS

Los parámetros principales que deben definir un equipo de separación óptica podrían resumirse en los siguientes:

- **Ancho de banda útil** de la cinta transportadora. El ancho de banda útil define la capacidad de tratamiento del separador óptico. Como norma general, el material que llega a los separadores ópticos tiene una densidad de 50-70 kg/m<sup>3</sup> (en función del pre-tratamiento y de la calidad del material de entrada). Teniendo en cuenta esta densidad y el material tratado en plantas de selección de envases, las capacidades en función del ancho de banda útil se muestran en la Tabla 13.

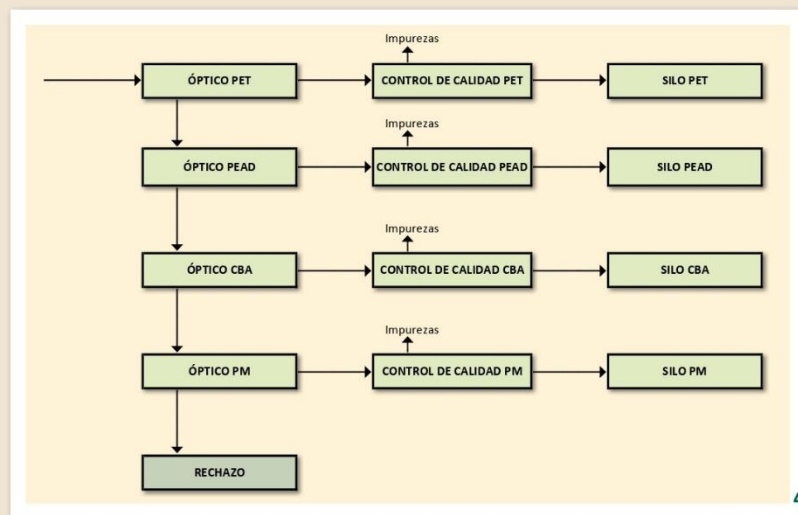
| Capacidad de los separadores ópticos según el ancho útil de banda. Tabla 13 |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Ancho útil de banda (mm)                                                    | Capacidad de tratamiento (t/h) |
| 500-900                                                                     | 1,0 – 2,0                      |
| 1.000-1.200                                                                 | 2,0 – 3,5                      |
| 1.400-1.600                                                                 | 3,5 – 4,5                      |
| 2.000-2.400                                                                 | 4,5 – 7,0                      |
| 2.800                                                                       | 7,0 – 9,0                      |

Debe destacarse que estos valores pueden variar en función del fabricante, la tecnología de lectura, el punto del proceso en el que esté situado el equipo, la calidad y densidad del material y la fracción que debe seleccionarse.

- **Longitud de la cinta de aceleración.** Este parámetro depende de la velocidad de la cinta de aceleración, que debe llevar una velocidad seleccionable entre 2,2 - 3,7 m/seg, con el fin de distribuir el material a lo largo de la cinta y hacerle adquirir la velocidad suficiente para favorecer su lanzamiento. Como norma general, la cinta de aceleración debe tener una longitud superior a 5 m en el caso de alimentarse longitudinalmente, o superior a 6 m en el caso de alimentarse transversalmente. Dichas

longitudes deben respetarse a la hora de diseñar e implantar el equipo en la línea, ya que las longitudes inferiores a lo recomendado pueden provocar que los materiales no estén estabilizados en la cinta en el momento de paso por el escáner de lectura, provocando errores de lectura y selección.

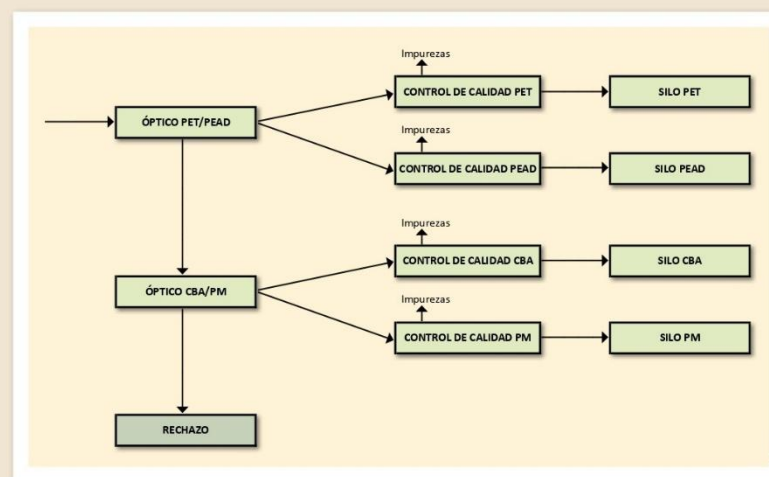
- **Número de bloques de válvulas.** Los equipos de separación óptica pueden estar provistos de un bloque de válvulas o de dos bloques de válvulas de aire. Los separadores ópticos de un solo bloque separan dos fracciones, la solicitada y el rechazo. Los separadores ópticos de dos bloques separan el flujo en tres fracciones, dos solicitadas y una de rechazo. Estos últimos presentan la ventaja de necesitar menos espacio de instalación y menor inversión al necesitar un solo separador óptico para seleccionar tres fracciones. El número y tipo de válvulas de aire de cada bloque dependerá de cada marca. A mayor número de válvulas por centímetro, mayor precisión de selección puede tener un separador óptico.
- **Calidad del material recuperado.** Dado que la pureza de la fracción seleccionada no es del 100%, posteriormente a la separación óptica debe realizarse un control de calidad del material. El control de calidad habitualmente se lleva a cabo por medio de operarios de triaje (separación manual) que seleccionan en una cinta trans-



portadora los materiales que no pertenecen a la fracción solicitada (selección de impurezas o triaje negativo). Dicha selección es previa al almacenamiento del material. En algunas plantas de selección, este control se realiza antes de prensar el material tras el almacenamiento en silos, ya sea por medio de operarios, o bien, por otro equipo de separación óptica.

• **Configuraciones de separadores ópticos.** Para

cada tipo de componentes o grupo de materiales se tiene que emplear un separador distinto, de tal forma que, si los materiales susceptibles de separación son PET, PEAD, CBA y PM, los equipos de ópticos necesarios deberían ser cuatro. La implantación elegida de las diferentes disposiciones se realizará en función del número de materiales que se desea separar, el espacio disponible, etc.



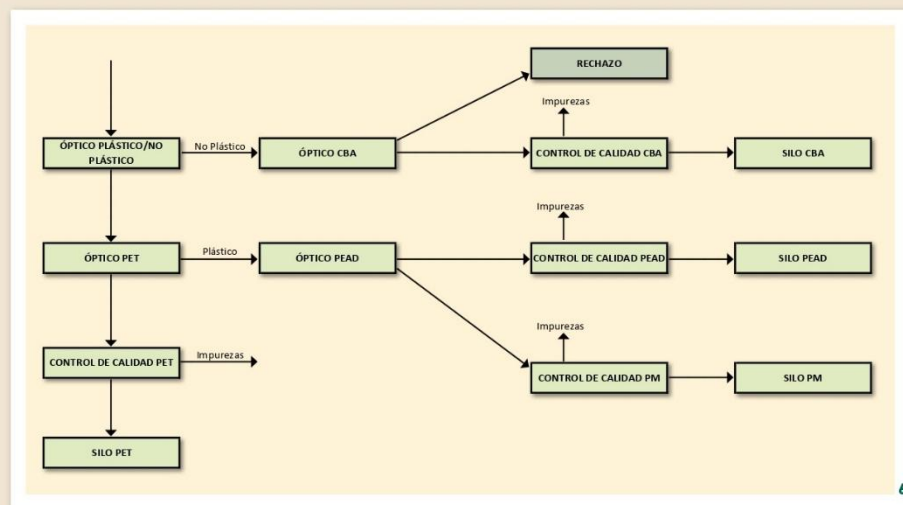
En función del número de bloques de válvulas, un separador óptico selecciona una o dos fracciones diferentes sin contar la fracción de rechazo. Por lo que en las plantas de selección de envases ligeros, en las que habitualmente los materiales a seleccionar por medio de esta tecnología son cuatro (PET, PEAD, CBA y PM), son necesarios entre dos y cuatro separadores ópticos. Éstos se sitúan en secuencias que seleccionan los materiales, denominándose a las diferentes secuen-

cias cadenas o cascadas de separación óptica. Se complementan con los controles de calidad (CC) necesarios.

Como norma general, la cascada de selección debe iniciarse con la selección de aquel material que, queriéndose seleccionar, esté presente en mayor medida en la fracción entrante. Esto favorece la selección de los demás materiales en el resto de la secuencia y se evitan sobredimensionamientos de capacidad del resto de

4. Configuración de cuatro ópticos mono-válvula con selección directa de los materiales.

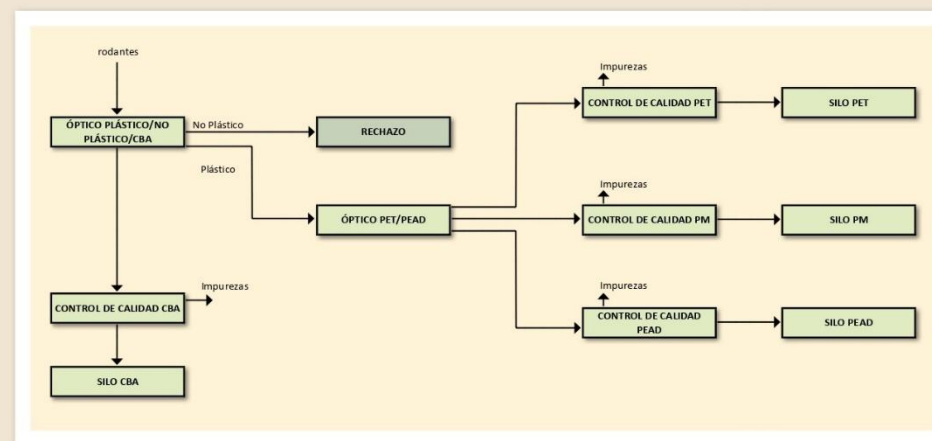
5. Configuración de dos ópticos doble-válvula con selección directa de los materiales.



la cadena de separadores ópticos. En aquellas plantas en las que la corriente de rodantes procedente del separador balístico sea baja en material solicitado, como en el caso de líneas de tratamiento de fracción resto, el primer separador óptico se programa para realizar la función de separar materiales plásticos de los no plásticos. Esta separación, aunque sirve de pre-tratamiento al resto de la cascada, no se recomienda en plantas de selección de EELL.

en las que el material de entrada en la planta contenga una cantidad de material solicitado superior al 75%. Las secuencias de separación más utilizadas en plantas de selección de envases ligeros se muestran en los esquemas siguientes.

Estas configuraciones son las habituales en plantas de selección de EELL, si bien, en función de los materiales que se quieren seleccionar o



de la capacidad de la planta, se pueden combinar diferentes secuencias y equipos. Por ejemplo, en las plantas que se selecciona el PEAD color diferenciado del PEAD natural es necesario un bloque de válvulas adicional para la separación de estos dos materiales.

A la variedad de configuraciones de separadores ópticos debe añadirse la posibilidad de seleccionar con un mismo escáner dos/tres materiales que discurren por flujos/canales diferenciados en la cinta de aceleración por medio de tabiques divisorios. De este modo, existen ópticos multicanal (doble canal/triple canal). A modo de

ejemplo, a un mismo separador óptico puede alimentarse un primer flujo que discorra por un canal de la cinta seleccionándose un material de dicho flujo. El rechazo de este primer flujo se alimenta en el otro canal, seleccionándose un segundo material.

• **Efectividad.** La efectividad de selección es el porcentaje de material seleccionado frente a la cantidad de material susceptible de ser seleccionado en la entrada del equipo. Los equipos de separación óptica presentan efectividades superiores al 90% (habiéndose medido valores de hasta 98% en plantas de selección de enva-

6. Configuración de cuatro ópticos mono-válvula.

7. Configuración de dos ópticos doble-válvula.

ses ligeros) si el equipo está bien dimensionado, está situado correctamente en el proceso de selección y, además, se realizan periódicamente las labores de limpieza y de mantenimiento del equipo.

Es decir, la efectividad del equipo no solo depende de las características del mismo, sino que también depende del pre-tratamiento del material que debe tratarse.

Citando algunos ejemplos de procesos con baja efectividad:

- Equipos instalados sin un aspirador de film previo. Obtienen menos efectividad al superponerse los plásticos film sobre los materiales a seleccionar, provocando errores de lectura o evitándose la misma.
- Anchos de banda útil inferiores al ancho necesario para una determinada capacidad. Provocan bajas efectividades al no permitir distribuirse a los materiales a lo ancho de la cinta, montándose unos sobre otros.
- Cintas de aceleración de longitud inferior a lo recomendado. Provocan que los materiales no se estabilicen en la cinta, provocando disparos de aire a destiempo

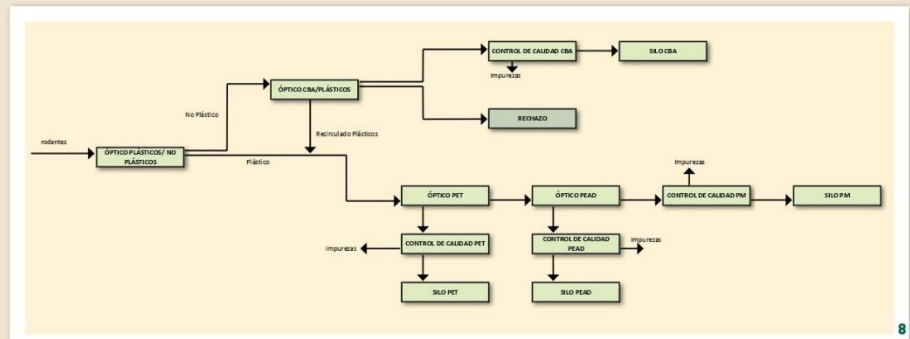
al llegar el material al final de la cinta de aceleración.

- Caudales de alimentación excesivos o irregulares de los mismos.

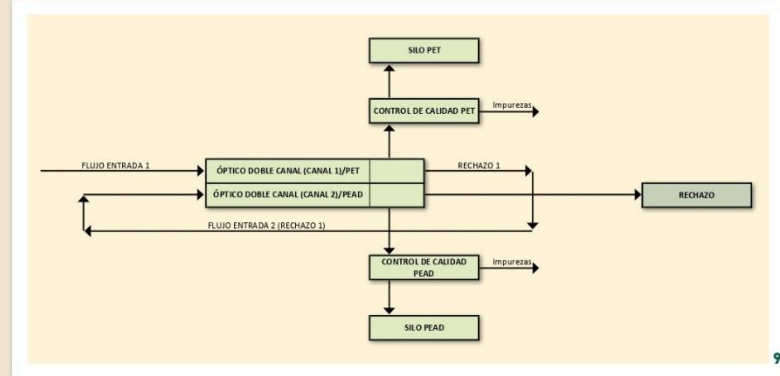
• **Pureza.** La pureza del material seleccionado es el porcentaje de material solicitado en la fracción frente al total del material que se ha seleccionado. Los equipos de separación óptica presentan purezas que oscilan entre el 90 y el 98% si el equipo está bien dimensionado, situado correctamente en el proceso de selección y además se realizan correctamente las labores de limpieza y de mantenimiento del equipo.

En función de los valores obtenidos de pureza de la fracción y de las especificaciones técnicas que han de cumplir los materiales seleccionados, se diseñará el número de puestos de control de calidad del que debe disponer cada instalación.

• **Mantenimiento.** La limpieza y mantenimiento de estos equipos es fundamental ya que incide directamente en el rendimiento de la instalación. Por este motivo, al final de cada turno deben llevarse a cabo las operaciones de limpieza que indique el proveedor en función de las características del equipo. Generalmente



8



9

8. Configuración de tres ópticos mono-válvula y un óptico doble-válvula.

9. Configuración de un óptico mono-válvula de doble canal.



|                                                                                                                       | Efectividad | Pureza | Pureza PM |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------|-----------|
| Secuencia de separadores mono-válvula                                                                                 | 90,0%       | 90,0%  | 90,0%     |
| Dos separadores ópticos doble-válvula                                                                                 | 87,9%       | 87,9%  | 85,0%     |
| Cuatro separadores ópticos mono-válvula (plástico/no plástico)                                                        | 83,7%       | 83,7%  | 56,5%     |
| Dos separadores ópticos doble-válvula (plástico/no plástico)                                                          | 80,1%       | 80,1%  | 52,3%     |
| Tres separadores ópticos mono-válvula (plástico/no plástico) y separador óptico doble-válvula para reciclar plásticos | 91,1%       | 84,5%  | 59,8%     |

son: comprobación y limpieza de las válvulas de soplado, cambio y limpieza de las bombillas (ya que se oscurecen al quemarse la suciedad acumulada sobre los cristales) y limpieza del cristal de lectura del escáner.

**Efectividad de las diferentes secuencias de separadores ópticos**

Cada una de las secuencias de separadores ópticos que se han planteado anteriormente tiene efectividades globales diferentes en función del orden de posicionamiento de los separadores ópticos. Así, en función de la efectividad y calidad de cada separador óptico determinado por el fabricante, se obtienen las siguientes efectividades y calidades globales de cada secuencia de separadores ópticos:

- Así, en función de los datos, **se puede concluir:**
- Las configuraciones de separadores ópticos mono-válvula obtienen mejores resul-

- tados que las configuraciones de doble-válvulas.
- El uso de configuraciones de "plásticos/no plásticos" obtienen menor efectividad debido a la acumulación de errores.
  - Aquellas configuraciones que seleccionan el plástico mezcla como rechazo de la cadena, obtienen mala calidad de selección de este material.
  - Es necesario más personal de control de calidad en aquellas configuraciones que seleccionan el plástico mezcla como rechazo de la cadena.
  - La configuración de cuatro separadores ópticos mono-válvula es la que obtiene mayor efectividad y calidad, además de un menor número de triadores de control de calidad.
  - El uso de reciclados favorece el rendimiento de la configuración, pero hace necesario el uso de separadores ópticos de mayores dimensiones.

# Separadores de inducción

## FUNCIÓN

Los separadores de inducción seleccionan los materiales metálicos no magnéticos, principalmente los que tienen como componente mayoritario el aluminio.

## DESCRIPCIÓN

La separación por inducción de los metales no férricos se basa en el principio físico de las corrientes de Foucault. Este principio consiste en la creación de un campo magnético alternativo, es decir, un campo magnético variable donde el polo norte y el sur cambian alternativamente. Este campo magnético variable se consigue en el equipo mediante un tambor inductor constituido principalmente por tierras raras de Neodimio y con una velocidad de giro superior a 3.000 rpm. De esta forma, si un metal no férrico está sometido a un campo magnético alternativo se crean unas corrientes internas denominadas corrientes de Foucault. Dichas corrientes generan un campo magnético opuesto al campo magnético variable generado por el imán. Esta fuerte oposición de

campos magnéticos provoca una repulsión entre ellos y, por tanto, el material no férrico será despedido de su trayectoria natural, consiguiendo su separación del resto del flujo de materiales.

Complementariamente el tambor induce también corrientes electromagnéticas secundarias que atraen a los metales férricos hacia el tambor. Estas corrientes electromagnéticas pueden aprovecharse para la separación de material férrico que se ha alimentado en el equipo.

Un separador de inducción consta de dos rodillos: el rodillo de arrastre que permite el movimiento de la banda del equipo mediante un motorreductor y el rodillo de cabeza o también denominado tambor inductor, que es responsable de generar las corrientes de Foucault. El tambor inductor está formado por dos tambores a su vez, uno exterior que gira a la velocidad de la banda transportadora y un tambor interior que genera las corrientes de Foucault.

Por lo tanto y, tal como se detalla en el esquema (página 121), el flujo de materiales alimentado al separador de inducción se divide en tres corrientes:

- Metales no férricos
- Metales férricos
- Resto de materiales



1. Separador de Inducción.

## TIPOS

En función de la posición del tambor interior respecto del tambor exterior, los separadores de inducción se pueden clasificar en: separadores de inducción con tambores concéntricos y separadores de inducción con tambores

excéntricos. Este último es el más utilizado, ya que ofrece una mayor protección contra la entrada de partículas férricas entre el rotor y la banda transportadora, así como una mayor vida útil.

### CARACTERÍSTICAS

- En función del flujo de entrada al equipo, se dimensiona el **ancho útil** de la banda del separador, de tal forma que para conseguir la misma efectividad de selección de aluminio en un flujo mayor de materiales es necesario un ancho útil mayor.
- Las **efectividades de selección** obtenidas experimentalmente en separadores de inducción en plantas de selección de envases son del 90% de aluminio seleccionado respecto al aluminio de entrada en el equipo.
- Requiere una **alimentación** dosificada regularmente y repartida a lo ancho de la cinta, por ello el ancho de la cinta de alimentación al separador de inducción ha de tener un ancho similar al ancho útil del equipo.
- Requiere que los metales a seleccionar se encuentren lo más libres posible del resto de los materiales, por lo tanto la **velocidad de la cinta** debe ser alta. La velocidad de la cinta del separador de inducción debe ser variable y estar entre 2 y 2,5 m/s.
- La **velocidad del rotor** es regulable y ha de ser de, al menos, 3.000 r.p.m.
- La **longitud necesaria** entre rotores del separador de Foucault, con el fin de estabilizar el material a seleccionar, ha de ser de 2.000 mm como mínimo.
- Dispone de una tajadera de separación entre las tolvas de aluminio seleccionado y las tolvas

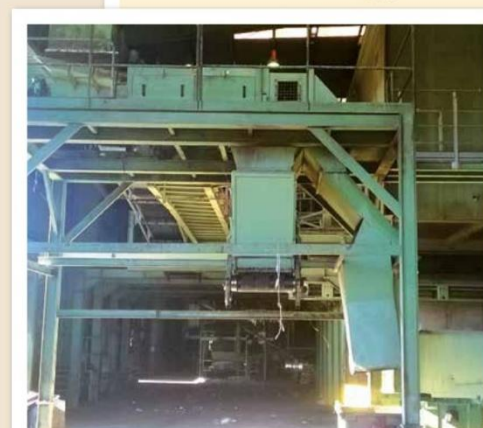
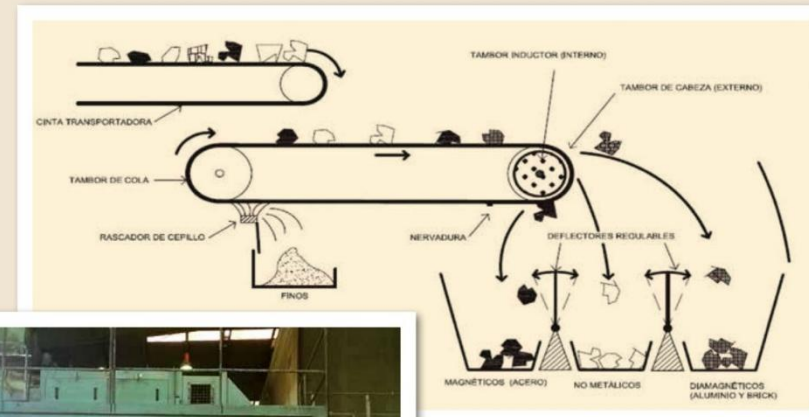
de corriente de rechazo del equipo, regulable en ángulo.

- Dispone de carenados laterales y capota de protección frontal.

- Requiere de al menos una **nervadura** de poco alzado en todo el desarrollo de la banda, con el fin de desprender de la zona magnetizable del tambor los materiales férricos que se adhieran.
- El separador de inducción debe estar provisto de un **rascador-limpiador** de su propia banda, del tipo cepillo o similar, situado en la cara de retorno, con el fin de ayudar a mantener limpia la banda del separador y que permita el paso de la nervadura transversal.

- **Dosificación.** No es recomendable dosificar al separador de inducción mediante bandeja vibrante, debido a que se reduce la velocidad de transporte en la bandeja con respecto a la cinta transportadora y por tanto aumenta el espesor de la capa de materiales. Este efecto provoca que la descarga del caudal sobre el separador sea irregular y por lo tanto, la separación de materiales pierda efectividad.

- La **potencia instalada** de un separador de Foucault consta de la suma de dos potencias: la potencia de la cinta transportadora y la potencia del rotor. En función de las dimensiones de la máquina la potencia total varía entre 2,5 kW para los modelos de menores dimensiones y 6,6 kW para los de mayor tamaño.



2. Separador de inducción.

3. Tolvas de caída del separador de inducción.

# Triaje de materiales

## FUNCIÓN

El triaje de materiales consiste en la selección manual de materiales sobre una cinta transportadora instalados dentro de la cabina. Aunque una planta esté diseñada para realizar una selección automática de los materiales, es necesario el triaje al final de la línea del proceso para obtener un 85% de efectividad de selección global.

## DESCRIPCIÓN

Consiste en la separación manual de diferentes materiales, realizándose sobre la banda superior de una cinta transportadora. En el triaje primario y triaje positivo de los materiales, dicha cinta se encuentra en posición horizontal dentro de una cabina de selección flanqueada a ambos lados por espacios o posiciones de triaje para los operarios y por las bocas de las tolvas de descarga de los materiales seleccionados hacia trojes o contenedores de almacenamiento posicionados debajo de dicha cabina de selección.



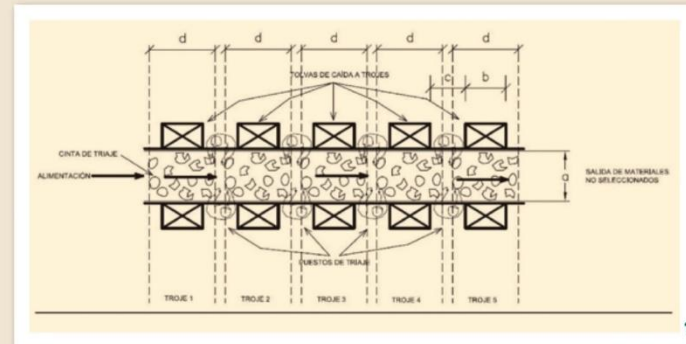
1

En el triaje de control de calidad, la cinta suele disponerse en posición frontal dentro de una cabina de selección donde el triador se coloca en la cabeza de la cinta. Los materiales seleccionados manualmente son impurezas que pueden depositarse en tolvas específicas o bien en cubos para su posterior vaciado al silo correspondiente.

## TIPOS

En función del tipo de material a seleccionar manualmente, el triaje de materiales se puede clasificar en tres tipos distintos:

- **Triaje primario o triaje de voluminosos:** cuando los materiales que se desea separar son de gran tamaño o de formas desproporcionadas y que es necesario se-



1

1. Distribución de puestos de triaje en cabina de selección primaria o secundaria (traje positivo).

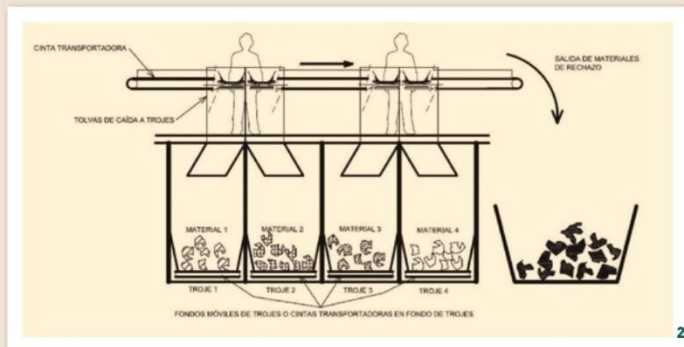
pararlos, con el fin de no comprometer el proceso de selección posterior. Estará ubicado en la cabina de selección de triaje de línea (pre-tratamiento), pudiéndose realizar también en los sistemas de recepción (playas o fosos).

- **Triaje positivo de materiales o triaje secundario:** cuando los materiales que se seleccionan manualmente son los directamente requeridos para su posterior prensado y venta. Este triaje está dispuesto en el fin de línea del proceso en plantas automáticas.
- **Triaje negativo o triaje de control de calidad:** cuando los materiales que se seleccionan son las impurezas que contienen los materiales seleccionados automáticamente y que han de retirarse para que



1

2. Distribución de puestos en cabina de selección de triaje negativo (controles de calidad).



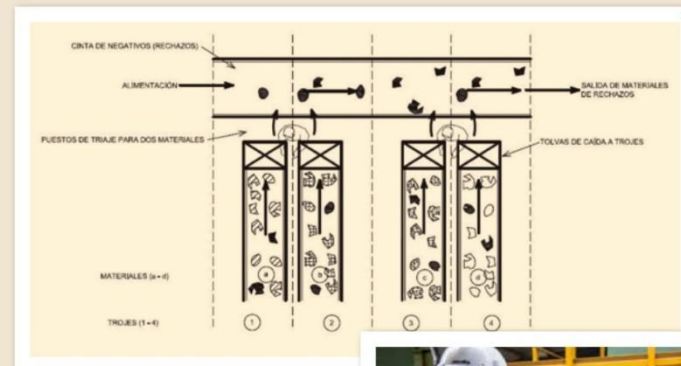
se cumplan las Especificaciones Técnicas de Materiales Recuperados (ETMR). Este triaje está dispuesto en las corrientes de materiales seleccionados por los separadores ópticos y la aspiración de film.

#### CARACTERÍSTICAS

- La selección de materiales debe realizarse en **cabinas de triaje específicas**, en las cuales se trata de conseguir las mejores posiciones ergonómicas y operativas posibles, por ello los puestos de triaje manual deben tener óptimas condiciones de climatización e iluminación.
- **Velocidad de la cinta de triaje:** las velocidades de triaje óptimas comprobadas expe-

rimentalmente en instalaciones deben estar entre 0,3 y 0,4 m/s. Velocidades superiores a 0,5 m/s son perjudiciales para el bienestar y la comodidad del operario, además de reducir su rendimiento.

- **Altura de triaje:** las cintas transportadoras deben estar a una altura que oscila entre 0,75 y 0,90 m desde el suelo donde se posiciona el operario. Algunas instalaciones disponen de una plataforma de altura variable, que se adapta a la posición más cómoda para el operario. La altura de las gualderas de las cintas transportadoras, en las que se apoya la cintura del triador, no debe ser mayor de 0,25 m.
- **Anchos de banda de triaje:** debido a la distancia que es capaz de abarcar un triador en la cinta de triaje, para anchos útiles de banda



3. Distribución de puestos de triaje en cabina de selección de triaje negativo (controles de calidad).

superiores a 0,6 m o 0,7 m, se deben proveer de puestos de triaje a ambos lados de la cinta.

- **Distancias entre posiciones de triaje y tolvas de recogida:** los triadores requieren una anchura libre en total de entre 0,8 y 1,0 m, para poder moverse sin entorpecimientos.
- El triaje de materiales ha de realizarse de forma que un solo operario pueda triar entre dos y tres materiales.
- El rendimiento promedio operativo de triaje manual de materiales, medido en planta, es de 2.000 movimientos por hora y por material.
- El triaje de materiales, por parte de los triadores, que no se encuentra en el troje correspondiente pueden recogerse mediante cubos o bien mediante cintas transportadoras que comunican los diferentes silos de almacenamiento.



# Cintas transportadoras

## FUNCIÓN

La función que realizan las cintas transportadoras como elemento esencial del conjunto de equipos de una instalación de selección, es la de trasladar los flujos de residuos de unos equipos a otros para completar los procesos de tratamiento.

## DESCRIPCIÓN

Están formadas por los siguientes elementos principales:

- Dos tambores rotativos dispuestos en cabeza de ida y en cola de retorno.
- Un sistema de accionamiento con motor-reductor, generalmente en tambor de cabeza.
- Una estructura resistente de perfiles laminados con sus apoyos que constituye el bastidor.
- Estaciones de rodillos intermedias de ida o superiores.
- Estaciones de rodillos intermedias de retorno o inferiores.
- Una banda sinfín de caucho, con trama resistente a la tracción y recubrimiento anti-

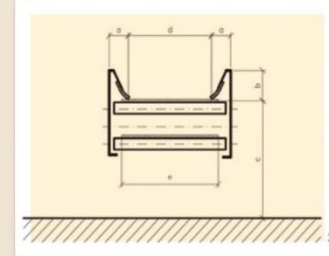
orgánico, para transporte de los flujos de materiales.

- Un sistema de limpieza eficaz y continua de la banda (rascador).
- Un sistema de centrado y tensado de la banda.
- Tolvinés de carga y descarga.
- Conjunto de gualderas y baberos laterales de cierre para evitar derrames.
- Capotaje o cerramiento en aquellos casos necesarios.

## TIPOS

Según el criterio a considerar hay diferentes posibles clasificaciones de las cintas transportadoras, así:

- Atendiendo a su función se pueden clasificar en: cintas de transporte que se diseñan y utilizan exclusivamente para transportar los residuos de un equipo a otro de la instalación; cintas de triaje, utilizadas para realizar el triaje o control de calidad de materiales, han de ser horizontales y de baja velocidad; y cintas de aceleración en separadores ópticos que con una velocidad superior estabilizan el material para su posterior lectura óptica.
- En función de su posición en la implantación de la planta se clasifican en: cintas inclinadas, cintas horizontales y cintas mixtas en las que se presenta un punto de inflexión en algún punto de su recorrido.
- En función de su sección transversal se clasifican en: cintas de sección transversal en V; cintas de sección transversal en



1. Cintas transportadoras de un único canal.

2. Cintas transportadoras de doble canal.

3. Sección de cinta transportadora de triaje.

artesa; cintas de sección transversal plana y cintas con sección transversal especial para el triaje manual.

- En función del tipo de recubrimiento de la banda pueden ser: de superficie lisa, de superficie rugosa y de superficie nervada. Esta característica está relacionada con la capacidad de transporte de materiales con inclinaciones elevadas de las cintas.
- En función del grado de cubrición: cintas abiertas, cintas encapotadas y cintas protegidas con gualderas y baberos. Las cintas encapotadas se utilizan para su implantación a la intemperie mientras que las protegidas con gualderas y baberos son utilizadas en posiciones de triaje.

## CARACTERÍSTICAS

- **Pendiente de las cintas.** La práctica recomienda que, según los residuos a transportar,

la pendiente máxima para cintas de banda lisa con residuos de fracción de envases, no debe superar los 18°.

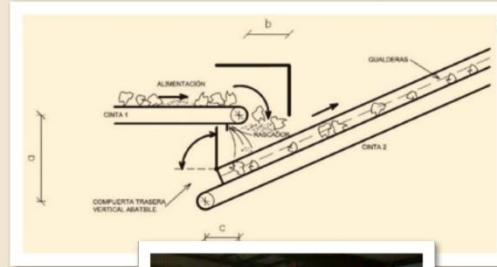
En este caso, si los residuos de envase no contienen finos con cierta humedad, que puedan ad-

herirse a la banda, se pueden instalar con banda nervada estándar de 1 cm de nervadura y llegar en general a una pendiente máxima de 20°. Podrían tener pendientes superiores, en función del alzado de las nervaduras y de su forma, siempre y cuando los materiales a transportar no vayan acompañados de finos adherentes que pudieran pegarse en la banda. Se debe limitar el contenido en finos adherentes porque las bandas no pueden limpiarse mediante rascadores convencionales, lo cual perjudica las labores de mantenimiento y limpieza del equipo.

- **Gualderas y baberos.** Las cintas transportadoras disponen en general de este elemento de gran importancia para la funcionalidad del equipo. Se trata de **paramentos metálicos de chapa plegada**, soportada desde la estructura de la cinta mediante perfiles laminados (angulares o pletinas). Sirven a su vez **para fijar los baberos flexibles de cierre** con el ajuste necesario.

La **misión principal del conjunto gualdera-babero es encauzar los residuos en la banda** de la cinta y evitar derrames y proyecciones fuera de la misma.

La **inclinación del conjunto gualdera-babero no debe ser inferior a 60°** sobre la horizontal, con el fin de que no haya retenciones de materiales. Los baberos de material flexible y dureza inferior a la banda deben estar fijados a las gualderas mediante **sistema regulable que permita ajustarlos a la banda en posición inclinada (no ortogonal)** según se vaya produciendo el desgaste de los mismos, debido al rozamiento con la banda.



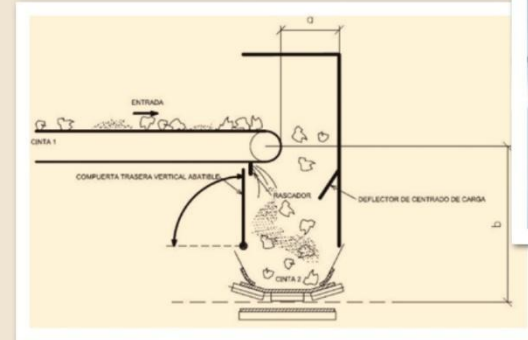
4. Tova de transvase entre cintas en línea.



La **posición de incidencia de los baberos sobre la banda debe estar cercana a cada uno de los bordes** de la misma (a unos 5 cm mínimo), con el fin de evitar derrames debido a las frecuencias y pequeñas desviaciones de la banda.

- **Ancho de la cinta transportadora.** Hay que considerar, en principio, que el ancho útil de cinta viene determinado por la diferencia que hay entre el ancho total de la banda y los márgenes laterales que los baberos deben dejar libres, más el ancho teórico del contacto de los baberos (unos 2 cm en cada lateral).

Se estima en total que una banda reduce su ancho total en unos 7,5 cm por cada lateral, es decir,



5. Tova de transvase entre cintas a 90°.



cir tendría un ancho útil de 15 cm menos que el ancho total.

En general se puede indicar que, para cualquier tipo de bandas, el ancho útil mínimo debe ser superior a 2 veces el tamaño máximo de los materiales que transporta, medidos al menos en dos de sus tres dimensiones, con la finalidad de que éstos no se acúñen en el espacio existente entre las gualderas de ambos laterales de la cinta y no puedan producir atascos indeseables.

En aquellas cintas específicas para triajes y separaciones manuales el ancho útil no debe sobrepasar 1,4 metros, siempre que haya posiciones de triaje a ambos lados de la cinta y si sólo hay operarios de triaje en un lado de la cinta, no debe sobrepasar los 0,7 metros para que estén a

su alcance todos los materiales.

- **Disponer de la sección transversal adecuada** al tipo de cometido para el que se requiere (traje, transporte o proceso).

- **Longitud de la cinta transportadora.** La longitud y pendiente de una cinta transportadora viene determinada por los requerimientos de la implantación.

- **Sistema de limpieza.** Las cintas transportadoras tienen instalado, próximo al rotor de accionamiento, un rascador cuyo fin es realizar la limpieza de materiales adheridos a la cinta. En cintas con nervadura no se debe disponer de este sistema, siendo necesario el uso de cepillos o de una limpieza periódica. Por todo esto no se aconsejan cintas nervadas para transportar material fino.

# Prensas de materiales

## FUNCIÓN

El objetivo del prensado de materiales mediante prensas horizontales es el aumento de la densidad aparente, con el fin de cumplir las Especificaciones Técnicas de Materiales Recuperados (ETMR) y optimizar el transporte de las balas de material al reciclador de destino.

## DESCRIPCIÓN

La prensa es un equipo de compactación mediante el cual los materiales que alimentan al cajón de prensado a través de la tolva de alimentación, se someten a la presión de una placa de empuje accionada por un cilindro hidráulico que se desliza dentro de un cajón de prensado de dimensiones determinadas, comprimiéndolos hasta una presión específica definida.

La prensa está equipada con una central hidráulica que aporta la energía cinética para los movimientos de la máquina. Está constituida por un

depósito de aceite, grupos de motor-bombas, elementos hidráulicos de distribución, de regulación, de filtraje y de refrigeración.

El cajón de prensado está seguido solidariamente por un túnel en el cual se continúa realizando la compactación.

En la parte superior de la placa de empuje están dispuestas las cuchillas de corte de fácil acceso y recambio que, junto con las cuchillas fijas en la parte fija de la boca de carga de la máquina, también desmontables, permiten cortar el material sobrante por encima del túnel de compactación. En la parte final del recorrido del túnel de compactación, se encuentra posicionado un segundo cilindro hidráulico de dirección vertical y por tanto perpendicular al anterior, el cual produce sobre las paredes del túnel un efecto de pinza reductora de la sección del mismo y por lo tanto del fardo.

El sistema de atado automático de los fardos completa el equipamiento estructural de la prensa. Está compuesto por un carro de agujas, el cual baja hacia la parte inferior de la máquina (bancada), donde se encuentra el dispositivo de enhebrado. Éste dispositivo captura el alambre y lo remonta hasta el cuerpo de atado, donde se ejecuta el anudado por torsión al segundo alambre proveniente de los portabobinas de alambre.

Los fardos, una vez formados y atados simultáneamente y continuamente, salen conducidos sobre y mediante una rampa de salida.

## TIPOS

Para prensado de materiales hay varios tipos de prensas:

- Prensas de túnel con sistema de atado de fardos vertical o lateral.
- Prensas de doble cámara con placas de empuje perpendiculares, con atado de fardos.
- Prensas de túnel para metales sin atado de fardos.
- Prensas de caja cerrada para metales, con placas de compactación perpendiculares sin atado de fardos.

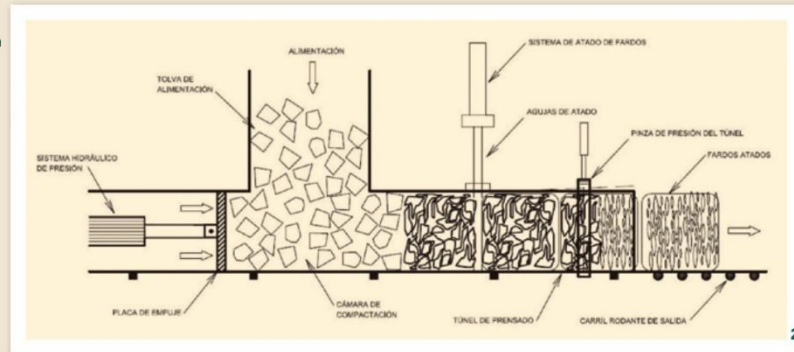
## CARACTERÍSTICAS

- Los sistemas de compactación y prensado de materiales, al estar dispuestos en "cola de proceso", han de estar sobredimensionados con el fin de que no representen un "cuello de botella" en el proceso de tratamiento de la planta de selección. Los movimientos de empuje se realizan

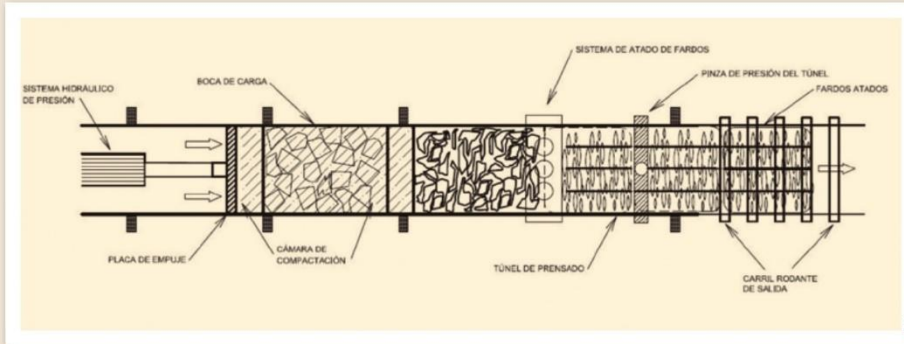


1. Prensa de metales.

2. Prensa compactadora de túnel (alzado y planta).



2



2

con la cámara llena de materiales y los de retorno con la cámara vacía, con lo cual existe un tiempo significativo durante el cual no se produce prensado realmente.

Para compensar este efecto se diseña un volumen de almacenamiento de la tolva de **alimentación a la prensa de capacidad superior (200 % como mínimo)** al volumen de la cámara de compactación.

- Esta tolva debe disponer de **paredes verticales** hasta la propia cámara de compactación para garantizar una alimentación plena. Están provistas de célula detectora de carga enclavada con el accionamiento de la placa, para garantizar el llenado completo en cada embolada.

- La **sección de la tolva** en planta ha de ser igual o menor que la sección en planta de la cámara de compactación (boca de carga), con el fin de no tener frenadas en la operación de llenado.

- La elección y cálculo de un sistema de prensado ha de tener en consideración los siguientes puntos:

- Densidad aparente de los materiales a compactar.
- Densidad exigida por las ETMR.
- Caudal de materiales a compactar.
- Tamaño medio de los materiales a compactar.
- Sección transversal del fardo que se conforma (sección del túnel de prensado).
- Volumen del cajón de carga o cámara de compactación.
- Reducción de volumen en cada embolada (índice de compactación).
- Longitud del fardo exigida por las ETMR.
- Sistema de atado del fardo si lo requiere.



3

3. Prensa compactadora multi-material de túnel.



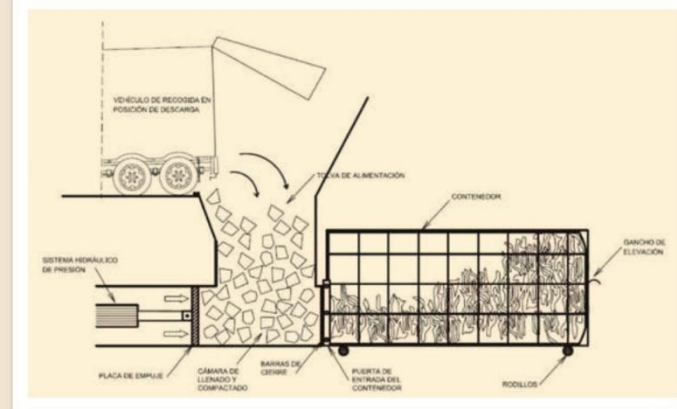
## Equipos para la gestión de los rechazos

### FUNCIÓN

En todas las plantas de selección se generan rechazos del tratamiento que han de ser gestionados.

La función de esta operación es la de adecuar los rechazos generados y proceder a su evacuación para garantizar un funcionamiento continuado de la instalación de selección.

La gestión del rechazo está basada en aumentar la densidad del rechazo con el fin de optimizar su transporte y vertido.



1. Compactadores estáticos.

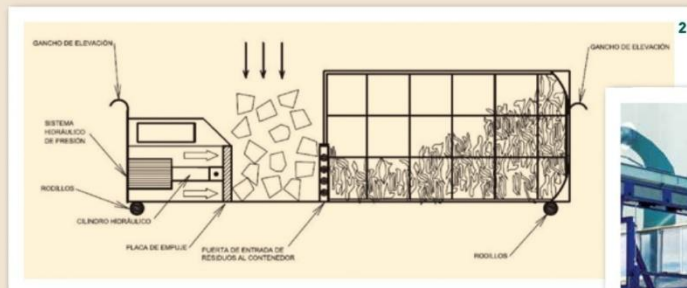
### DESCRIPCIÓN

Los rechazos generados tienen por lo general baja densidad, por lo que se plantea, al menos para capacidades superiores a 2 t/h, aumentarla mediante compactación. Para ello se requieren compactadores que cumplan la capacidad necesaria para garantizar la operación de selección. En instalaciones de capacidad inferior basta con almacenar los rechazos sin compactación en contenedores con capacidad suficiente. Excepcionalmente para capacidades mayores puede también instalarse una prensa embaladora, exclusiva para los rechazos.

Los sistemas de compactación de rechazos han de estar comunicados entre sí mediante cintas transportadoras reversibles, con el fin de que ante un fallo en uno de los equipos de activación se pueda activar el sistema de gestión paralelo.

### TIPOS

- Contenedores de caja abierta para capacidades menores.
- Contenedores cerrados con auto-compactador para capacidades medias.



2. Contenedor auto-compactador.



- Compactador para contenedores cerrados, para capacidades mayores.
- Excepcionalmente prensa embaladora para capacidades mayores.
- En cualquiera de los casos anteriores se debe disponer además de un troje complementario de fácil acceso para casos de avería, contiguo al sistema convencional de compactación, desde el cual se evacuarían los rechazos mediante carga con pala cargadora a un vehículo de transporte.

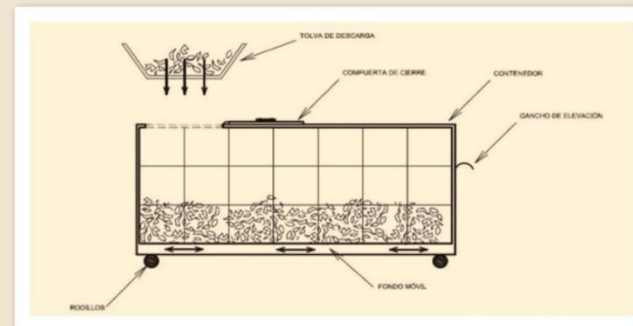
### CARACTERÍSTICAS

Las características generales de los sistemas de recolección de rechazos son las siguientes:

- La **capacidad de los contenedores** en cualquiera de los casos posibles debe ser la máxima, con el fin de reducir al mínimo posible los tiempos muertos debidos al cambio de contenedor lleno por otro vacío. Para plantas de tratamiento de

baja capacidad (hasta 3 t/h) se recomienda la implantación de un sistema de compactación mediante autocompactadores, para plantas intermedias (de 3 hasta 6 t/h) el equipo de compactación recomendado es un compactador estático; finalmente, para plantas de mayor capacidad (desde 7 t/h) se recomienda la instalación de un carro de transferencia con el fin de que el cambio de contenedores se realice de forma automática.

- En el entorno del sistema de recolección de los rechazos debe existir la superficie necesaria



3. Contenedor con fondo móvil.  
4. Contenedor de rechazo.

para permitir las maniobras de los vehículos de carga y descarga de los contenedores.

- El área de recolección de los rechazos debe estar aislada del resto de las instalaciones de selección, ya que a menudo existen derrames que pueden contaminar la gestión del resto de los materiales seleccionados.
- La capacidad del sistema de recolección de los rechazos debe estar dimensionada como mínimo para la capacidad nominal de la instalación, con el fin de garantizar que, ante un inadecuado funcionamiento de la misma, se evacue el total de los residuos que llegan a la instalación.
- El número de contenedores disponible para la evacuación de rechazos debe estar en consonancia con el sistema de transporte, la distancia al centro de tratamiento de los mismos y el tiempo empleado en hacer el recorrido de ida y retorno.

