

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

10.1. Introducción.

La separación en medio denso también denominada separación en medio pesado ("*dense medium separation*" o "*heavy medium separation*") se aplica en la preconcentración de minerales para eliminar aquella ganga antes de su introducción en la etapa de molienda para la liberación final. Sin embargo, este proceso tiene su aplicación principal en el lavado y limpieza de carbones de su contenido en cenizas y esquistos (en 1990 se limpiarían con este procedimiento **241 Mt** según el *Power Research Institute*, cantidad que iría en aumento)

La separación en medio denso está muy ligada a la concentración por gravedad y se basa en la separación de materiales de diferente densidad por inmersión de los mismos en un fluido que actúa como medio pesado y que presentará una densidad intermedia.

Este proceso es aplicable a cualquier mineral, en el que después de un adecuado grado de liberación por trituración, hay bastante diferencia en la densidad relativa (*specific gravity*) entre las partículas que se pretende separar (partículas pesadas y partículas ligeras). El proceso se aplica ampliamente cuando la diferencia de densidad

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

ocurre a un tamaño de partícula grueso, puesto que la eficiencia de la separación disminuye con el tamaño debido a una disminución de la velocidad de asentamiento de las partículas (*Settling Rate*).

Las partículas deberían ser preferiblemente superiores a **3 mm** de diámetro, en tal caso la separación puede ser efectiva sobre una diferencia de densidad relativa de 0.1 o inferior.

Separaciones por debajo de las **500 μm** , e inferiores, en tamaño pueden ser llevadas a cabo con el empleo de separadores centrífugos. Existiendo diferencia de densidad, no hay límite superior en cuanto a tamaño, excepto el límite impuesto por la disponibilidad de la planta para manejar el material.

Las ventajas del proceso de medio denso son:

- Posibilidad de hacer separaciones precisas a una determinada densidad relativa.
- Posibilidad de mantener una densidad de separación que puede ser controlada dentro de un margen de variación entre ± 0.005 unidades de densidad relativa.
- Posibilidad de manejar un amplio rango de tamaños (caso del tratamiento de carbones).
- Posibilidad de cambiar la densidad relativa de separación para conseguir exigencias variables de mercado.
- Posibilidad de manejar fluctuaciones en la alimentación, tanto en cantidad como en calidad.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Por el contrario, las desventajas que presenta el proceso de medio denso son:

- Coste relativamente elevado debido principalmente por la necesidad de equipos auxiliares para recoger y reciclar el medio denso (*medium*).
- Alto coste debido a las operaciones de los equipos para el reciclado del medio y la pérdida del mismo.
- Altos costes de mantenimiento si el medio empleado es abrasivo.
- Potenciales problemas de arranque del sistema si se permite al medio sedimentarse en bombas, recipientes y tuberías.

En algunos casos, los costes adicionales de los sistemas de medio denso estarán justificados por la recuperación de las sustancias vendibles. Los diagramas de flujo de medio denso ofrecen generalmente más flexibilidad de respuesta ante las condiciones cambiantes del mercado que aquellos diagramas de flujo de "all-water" tales como los jigs y las mesas concentradoras (*tables*).

10.2. Historia.

En el año 1858 fue patentado el primer proceso de medio denso por Sir Henry Bessemer. Fueron propuestos como líquidos de separación soluciones de cloruros de

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

hierro, manganeso, bario y calcio; la separación fue realizada en separadores con forma de cono. Una gran planta, empleando cloruro de calcio fue levantada en Alemania aunque pronto fue abandonada.

El proceso Chance, empleaba una mezcla de arena y agua, fue patentado en 1917. La primera planta con este proceso se creó en 1921 para la limpieza de antracita, en 1925 fue la primera vez que el proceso se empleaba para la limpieza de carbón bituminoso.

En 1922 apareció el proceso Conklin para la limpieza de antracita empleando magnetita en suspensión.

En 1935 el lavador (*washer*) Belknap de cloruro cálcico fue el primero instalado para limpiar carbón bituminoso.

El proceso Tromp, desarrollado en 1938, fue el primero en emplear comercialmente medio de magnetita.

La separación en medio pesado, originalmente desarrollada para la concentración de mineral, fue introducida por la American Cyanamid Co. para la limpieza de carbón en 1940. El proceso empleaba magnetita (5.0 sp gr) como medio de suspensión y empleaba un único método para la recuperación magnética y reacondicionamiento del medio de magnetita.

El carbón comercialmente limpiado en medio denso actualmente es realizado en suspensiones de arena o magnetita. La tendencia en el diseño de separadores, que

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

comenzaron con separadores cónicos altos, es ahora hacia cubetas o artesas poco profundas, que proporcionan una zona de separación tranquila y minimizan la cantidad de medio denso requerido.

Actualmente con el empleo de la instrumentación y control de procesos, las plantas de medio denso son automatizadas y capaces de un alto rendimiento y pueden efectuar separaciones muy precisas.

10.3. El Medio Denso.

La aplicación industrial de este proceso es una extensión de los ensayos convencionales de laboratorio de hundido-flotado (*float-sink*), que son empleados como separación gravimétrica estándar (100 % eficiencia). Las plantas industriales no simulan exactamente la separación llevada a cabo en laboratorio por las siguientes razones: las suspensiones que se emplean como medio de separación no son líquidos verdaderos, la introducción de alimentación y la eliminación de las sustancias hundidas y flotantes crea perturbaciones en el medio de separación, se requiere agitación o corrientes ascendentes en el recipiente para mantener el medio de separación en suspensión y por último el proceso industrial necesita elevados rendimientos no permitiendo el suficiente tiempo de permanencia para las sustancias a separar.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Un medio de separación debe cumplir:

- ❑ Barato desde el punto de vista de su empleo.
- ❑ Físicamente estable; es decir que no se descomponga o se degrade durante el proceso.
- ❑ Químicamente inerte; es decir que no reaccione con el mineral o el carbón que se esté procesando.
- ❑ Fácil de eliminar del producto.
- ❑ Fácilmente recuperable para su uso (reciclado).
- ❑ Baja viscosidad a la densidad relativa de separación.
- ❑ Estable dentro de un rango especificado de densidad relativa.

Actualmente hay cuatro tipos de medio de separación que están siendo o han sido empleados industrialmente: líquidos orgánicos, sales disueltas en agua, sólidos gasificados y suspensiones de sólidos en agua (fínamente divididos).

Líquidos orgánicos.

Los líquidos orgánicos se emplean para separaciones de mena o carbón en laboratorio en el rango de 0.86 hasta 2.96 de densidad relativa. Estos ensayos determinarán la idoneidad del proceso a escala industrial.

Los líquidos orgánicos tienen baja viscosidad, son estables y virtualmente inmiscibles con el agua. La densidad relativa del líquido puede ser regulada

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

rápidamente proporcionando líquidos de alta o baja densidad.

En el caso del carbón, a la hora de reducir el consumo de medio de separación debido a la adsorción de éste por el primero, puede ser necesario el tratamiento previo del carbón por un agente activo que va a crear, sobre su superficie, una película delgada de agua.

Líquidos orgánicos empleados en ensayos de laboratorio como líquido de separación son: gasolina, benceno, tetrabromoetano, bromoformo, tetrabromuro acetileno, y pentacloruro de carbono.

Aunque actualmente no se emplean a escala industrial, hay en marcha desarrollos de nuevos procesos que están empleando los líquidos orgánicos.

Sales disueltas en agua.

Para la separación del carbón se pueden emplear sales disueltas en agua como cloruro cálcico, y cloruro de zinc. A causa de la baja densidad relativa de las soluciones de cloruro cálcico, es necesario inducir mecánicamente corrientes ascendentes para obtener separaciones de carbón a la densidad relativa requerida normalmente.

El proceso *Belknap* de cloruro es el único proceso que empleando un líquido pesado verdadero como líquido de separación ha sobrevivido industrialmente en la

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

preparación del carbón. Este proceso separa el carbón del rechazo empleando cloruro cálcico en un rango de densidad relativa de 1.4 a 1.6. El cloruro cálcico se emplea para estabilizar y controlar la densidad del medio, puesto que el medio está formado por partículas finas de arcilla procedentes del carbón.

Sólidos gasificados.

Se emplearía una lámina seca fluidizada que tendría una densidad relativa intermedia entre el carbón a limpiar y el rechazo para alcanzar una separación adecuada. El único proceso para conseguir algún grado de éxito industrial fue el proceso aire-arena de *Fraser y Yancey*, comercializado por Stephens Adamson Mfg. Co. El medio de separación era arena aireada (0.60-0.18 mm) que tenía un comportamiento de fluido denso. Se han construido algunas plantas para carbón bituminoso con esta técnica, aunque posteriormente se ha quitado el proceso por su dificultad de manejar carbones húmedos.

Suspensiones.

La mayoría de las plantas de medio denso para lavado de carbón en EE.UU., emplean suspensiones de sólidos en agua. Una suspensión puede ser definida como cualquier líquido en el cual son dispersados sólidos insolubles y mantenido en un estado energético de fluido. La

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

estabilidad de las suspensiones varía desde suspensiones estables con el empleo de magnetita ultrafina hasta suspensiones altamente inestables de arena gruesa (proceso Chance) en las que se hace necesario el empleo de corrientes ascendentes, creadas mecánicamente.

Las densidades relativas de separación para los carbones varía desde 1.30 hasta 1.90. Para alcanzar este rango de densidad relativa manteniendo la concentración volumétrica a un nivel razonable, es necesario o bien seleccionar sólidos de alta densidad relativa o introducir corrientes ascendentes en el recipiente. Normalmente la concentración volumétrica aceptada de los sólidos en suspensión está entre el 25 y el 45 %, su tamaño y densidad relativa debe ser seleccionada para proporcionar la densidad de medio deseada mientras al mismo tiempo se obtiene la estabilidad del medio.

Los sólidos más gruesos tendrán una velocidad de asentamiento mayor, una menor viscosidad y una recuperación del medio más sencilla. Los sólidos más finos tendrán una menor velocidad de asentamiento (mayor estabilidad del medio), mayor viscosidad y presentarán mayor dificultad de recuperar el medio.

Inicialmente se empleó galena como medio (4.0 sp gr) recuperándose posteriormente por flotación, pero se desechó debido a la desventaja de ser quebradiza, tender a enlamar y la posibilidad de oxidarse, dificultando el proceso de flotación.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Actualmente el medio de separación más utilizado para las *menas metalíferas* (fluorita, minerales de plomo-zinc y minerales de hierro) es el ferrosilicio (den. rel. 6.7-6.9) es una aleación de hierro y silicio (82 % Fe y 16 % Si), si el contenido de Si aumenta por encima del 16 %, la susceptibilidad magnética se verá muy reducida, por el contrario si disminuye por debajo del 15 %, la aleación tenderá a corroerse. Se maneja en tamaños de 95 % - 150 μm hasta 95 % - 40 μm .

En la preparación del carbón se emplean partículas finas de alta densidad como es la magnetita (den. rel. 5.0) y baritas (den. rel. 4.2) que dan generalmente suspensiones inestables pero permiten densidades del medio por encima de 2.0. Afortunadamente, la estabilidad de tales medios puede ser modificado significativamente controlando el tamaño de molienda y la cantidad de carbón y limos de esquito, que hay presentes en la suspensión.

10.4. Equipos Separadores (*Separatory vessels*).

La función de un separador es separar una alimentación en dos o más productos. En la mayor parte de los casos el material de alimentación será previamente triturado y humedecido. Sin embargo la alimentación puede ser también producto hundido de un separador primario para una separación secundaria en producto medio y producto de rechazo.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Las especificaciones para el diseño de un separador son:

1. Tendrá la capacidad de procesar un alto tonelaje de material por unidad de superficie de separador.
2. Requerirá un mínimo volumen circulante del medio.
3. La densidad relativa del volumen total del medio en el separador, generalmente debe permanecer uniforme.
4. Las corrientes hidráulicas dentro del separador deben minimizarse para alcanzar una verdadera separación hundido-flotado.
5. El separador debe ser diseñado para permitir una eficiente entrada de la alimentación, un recuperación del producto limpio y la eliminación del rechazo.
6. El separador debe ser capaz de aceptar alimentaciones que pueden variar en tamaño de partícula y en porcentaje de impurezas.

Los equipos separadores en medio denso en uso, pueden ser clasificados en **separadores de gravedad** (*static-baths*) y **separadores centrífugos** (*dynamic-baths*)

Separadores de gravedad.

En los separadores de gravedad en medio denso, la alimentación y el medio se introducen independientemente sobre la superficie del medio en estado de reposo en un recipiente relativamente grande. El material que flota será recogido por rebose de la superficie del medio y el

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

material que hunde será recogido del fondo a través de válvulas o mecanismos que minimicen las turbulencias en el baño.

Separador de Cono.

Se emplea tanto en el tratamiento de menas como en el tratamiento de carbones. El más conocido es el separador de **cono WEMCO**. La alimentación se introduce en la parte superior del cono sobre la superficie del medio.

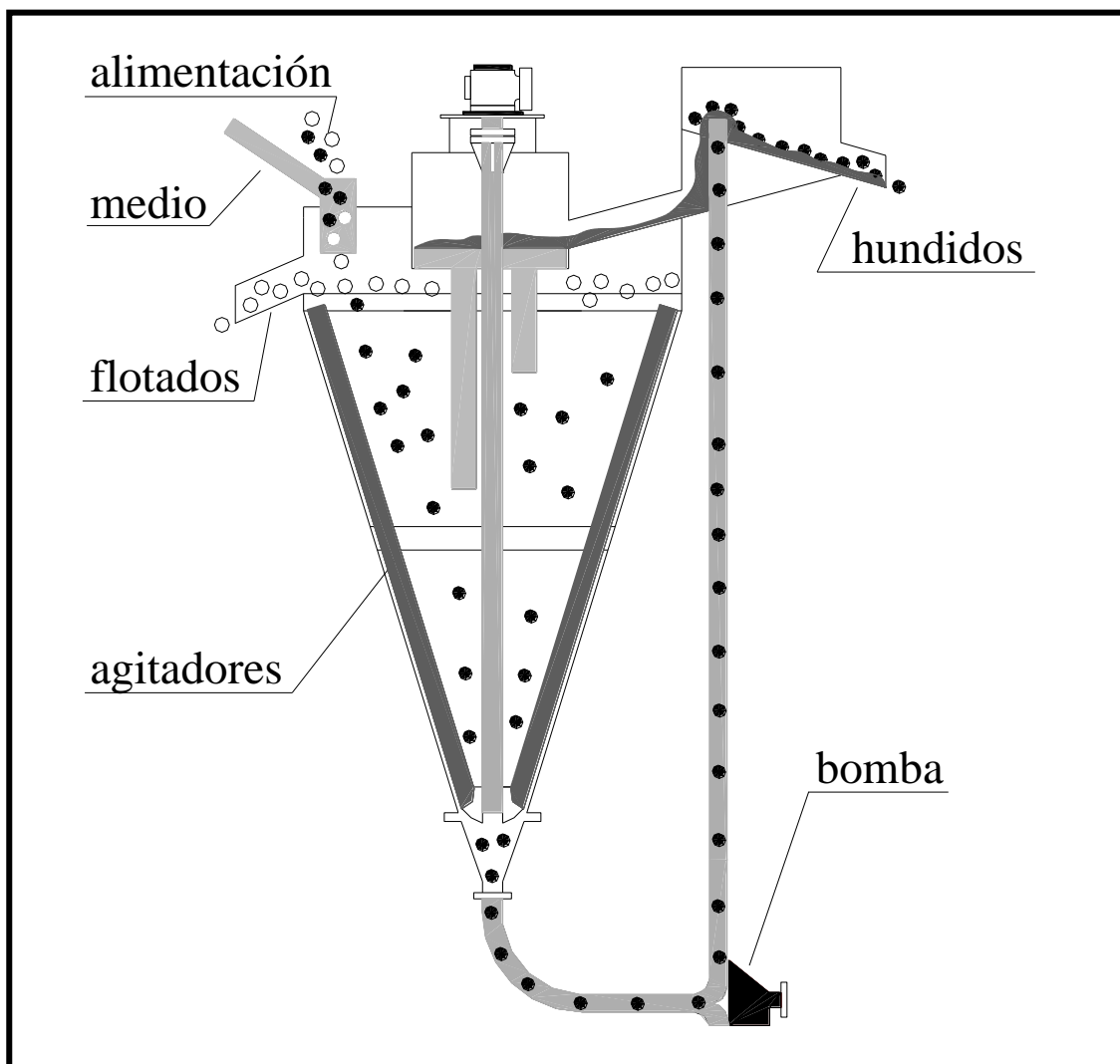


Fig.10.1: Separador de cono WEMCO con sistema de bombeo.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

El medio se introduce en el interior del cono a diferentes niveles por medio de tuberías de retorno para el control del gradiente de densidad; los flotados se obtienen en la periferia superior del cono por rebose y los hundidos son evacuados del fondo a través de bombas o bien elevados por aire comprimido (*air lift*) a través de un conducto central.

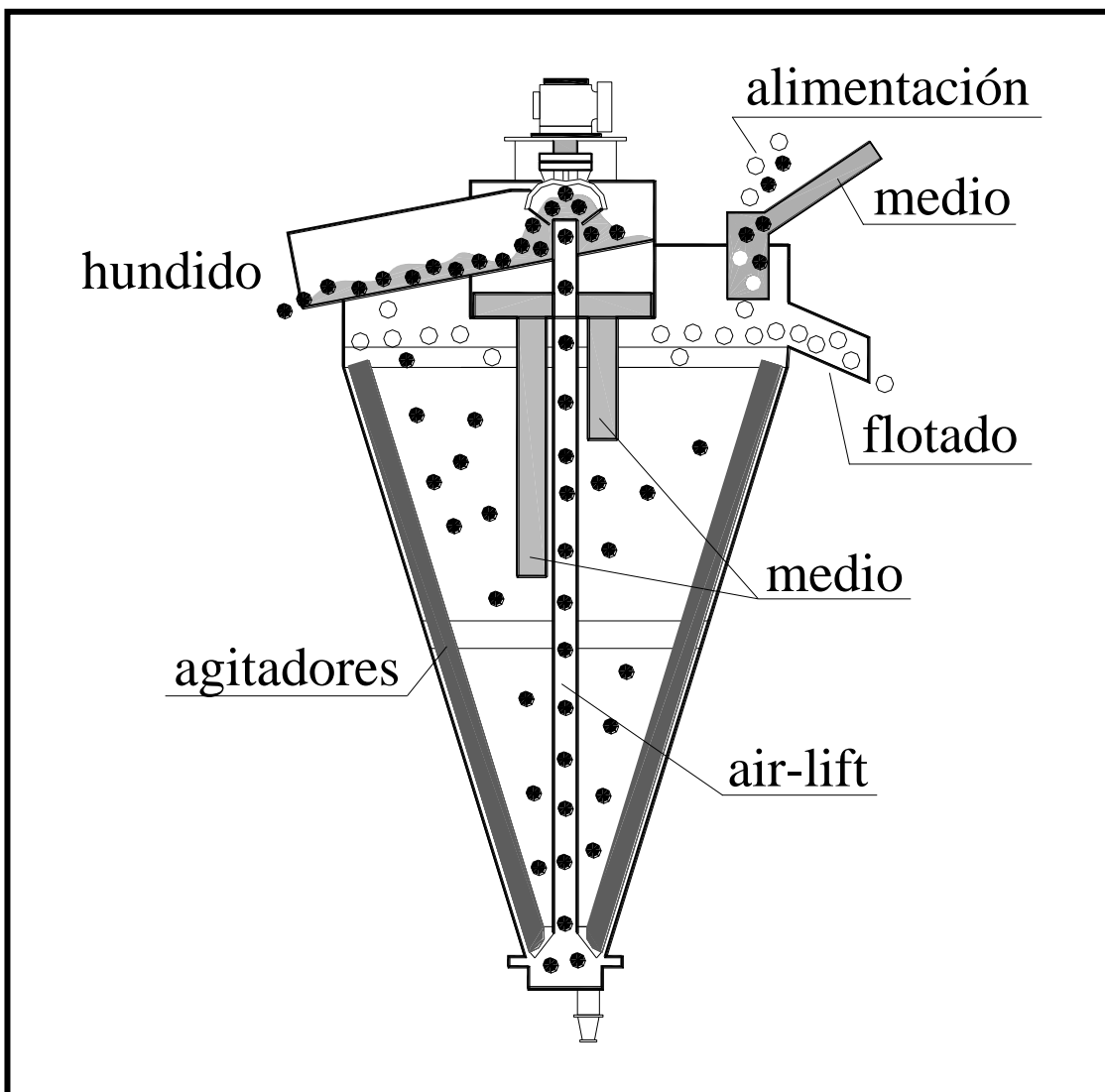


Fig.10.2: Separador de cono WEMCO con sistema neumático.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

El cono posee unos agitadores mecánicos para mantener la suspensión del medio.

El cono tiene un diámetro máximo de hasta 6 metros, con una capacidad de procesamiento de 500 t/h y un tamaño de partícula máximo de alimentación de 10 cm.

Separador de Tambor.

La rotación del tambor levanta el hundido hasta extraerlo del baño y depositarlo en un vertedero situado a diferente nivel, el producto flotado decanta a un vertedero situado en el extremo opuesto al canal de alimentación del tambor.

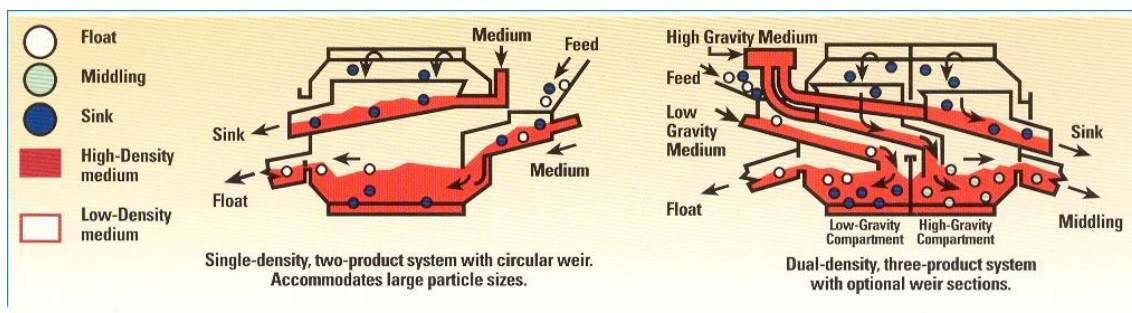


Fig.10.3: Separadores de tambor WEMCO (Cortesía de Baker Hughes).

Los separadores de tambor WEMCO, pueden realizar separaciones de dos productos o de tres productos en este último caso el tambor estará provisto de dos compartimentos: el compartimento de baja densidad y el compartimento de alta densidad.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO



Fig. 10.4: Separador de tambor WEMCO (Cortesía de Baker Hughes).

Estos tambores se fabrican en diámetros que llegan hasta los 4.6 m por 7.0 m de largo, y capacidades de hasta 800 t/h. Son capaces de separar partículas con tamaños comprendidos entre 6 mm y 30 cm.

Existe otra variante de separador de tambor suministrado por el fabricante de equipos Humboldt Wedag, denominado separador TESKA

Separador de Artesa (*Trough-type*).

Hay diferentes diseños y en casi todos ellos, tanto el producto hundido como el producto flotado, es extraído por medios mecánicos: transportadores de scrapers o rascadores y brazos rastrilladores.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Este tipo de separadores es muy empleado en la industria del carbón y de todos ellos destacan los siguientes:

- Separador McNally Tromp de tres productos (McNally-Pittsburg Inc.).
- Separador McNally Lo-Flo (McNally-Pittsburg Inc.).
- Separador Barvoys (Roberts & Schaefer Co.).
- Separador de la Dutch State Mines, **DSM** (Roberts & Schaefer Co.).
- Separador Wilmot HM (Wilmot Engineering Co.).
- Separador H & P (Heyl & Patterson, Inc.).

Separador Drewboy.

Se emplea de forma amplia en la industria del carbón del Reino Unido debido a su elevada capacidad de procesado.

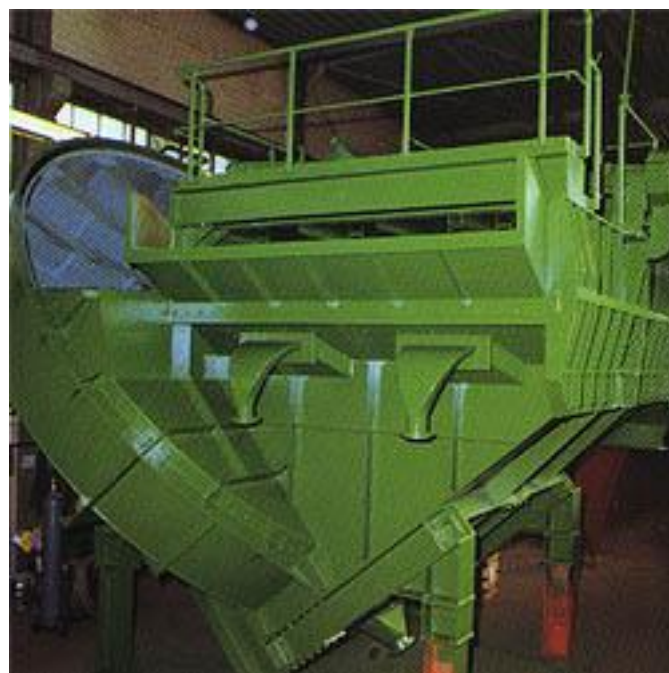


Fig.10.5: Separador Drewboy. (Cortesía de Metso minerals).

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

El carbón se alimenta por un extremo donde una rueda de aspas radiales se encargará de elevar los hundidos y sacarlos fuera del baño, por otra parte una rueda de estrella descargará el flotado por el extremo opuesto de la entrada de alimentación. La entrada de medio se efectúa a través de la alimentación del carbón y del fondo del baño, controlado a través de válvulas.

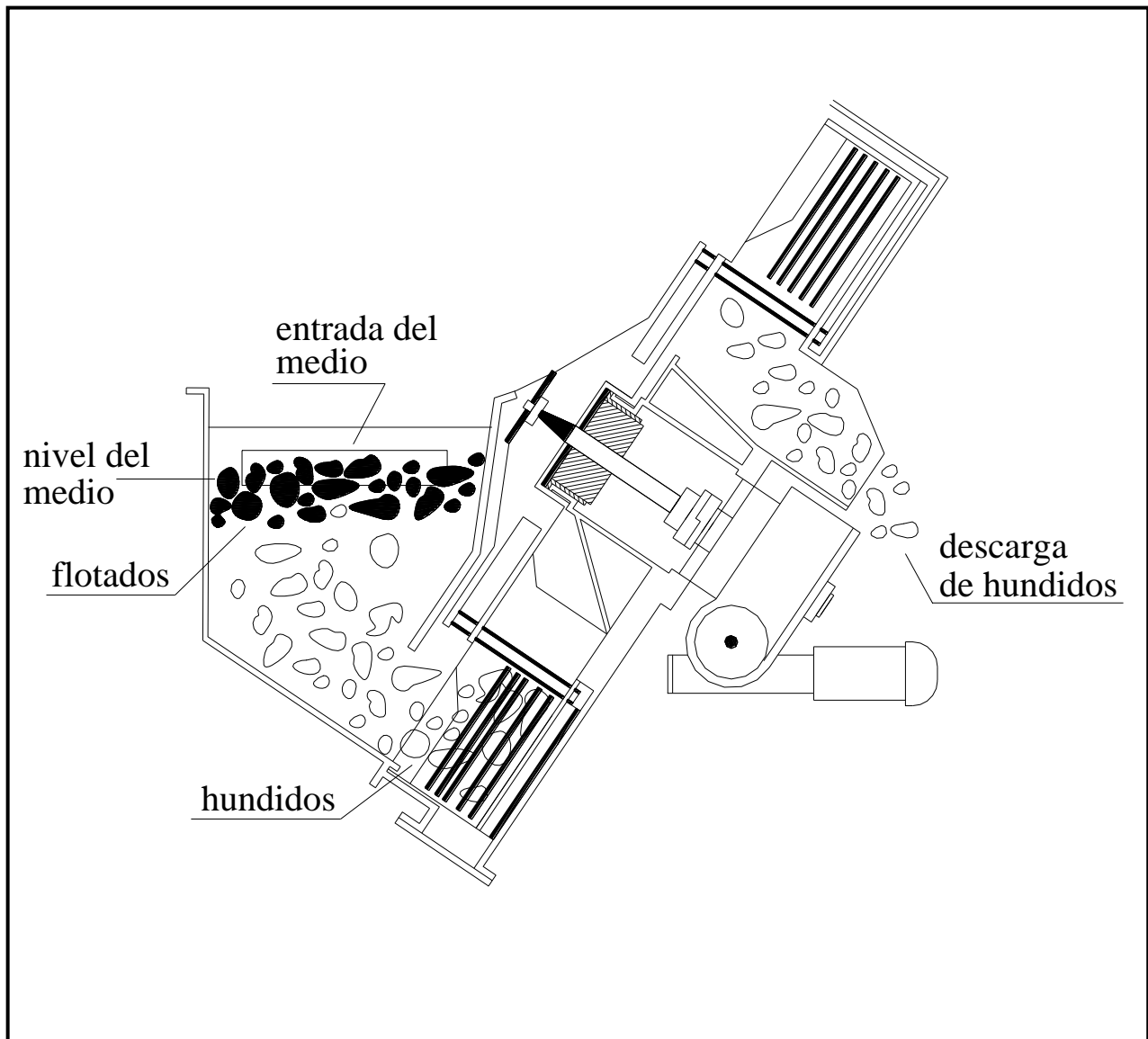


Fig.10.6: Corte esquemático del separador Drewboy.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Separador Norwalt.

Se desarrolló en Sudáfrica siendo donde más se aplica. Se alimenta el carbón en el centro del separador, descargándose los flotados a través de un vertedero en el extremo del separador. Los hundidos serán rastrillados por unos agitadores que los dirigen a una rueda elevadora que se encargará de sacarlos fuera del equipo, depositándoles en un vertedero exterior.

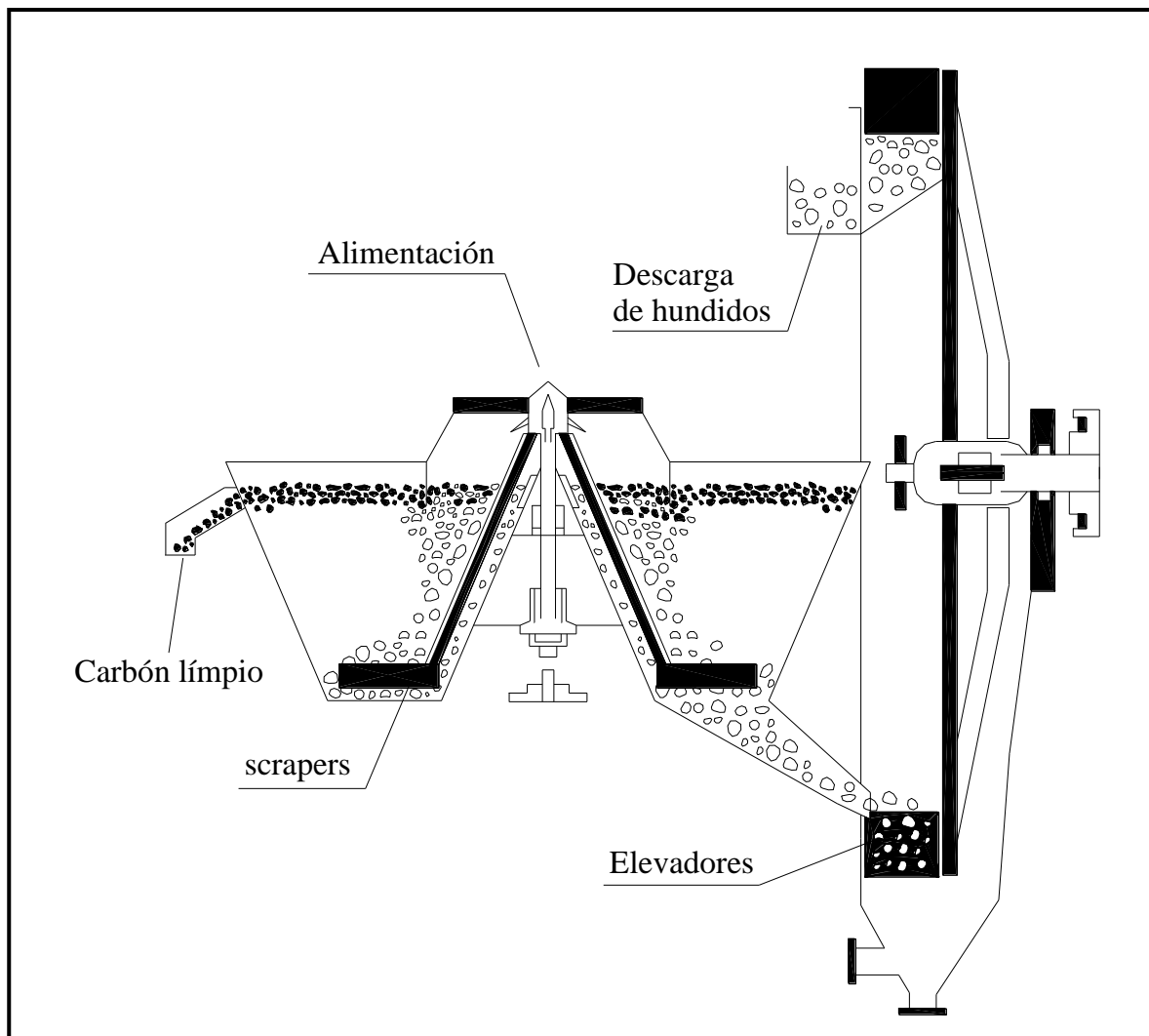


Fig.10.7: Corte esquemático de un separador Norwalt.

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Separadores centrífugos.

Los separadores centrífugos se emplean en el tratamiento de menas y lavado de carbones. Proporcionan al medio altas fuerzas centrífugas y baja viscosidad con lo que las separaciones son mucho más precisas que con los separadores gravimétricos y permite realizar separaciones de partículas más finas (< 0.5 mm).

El Ciclón DSM.

Fue desarrollado por la Dutch State Mines, y es empleado para tratar minerales metálicos y carbón en el rango de tamaños comprendido entre 40 y 0.5 mm. El principio de operación es muy similar a los hidrociclones convencionales. El mineral se introduce en suspensión con el medio (ferrosilicio o magnetita en partículas muy finas) por gravedad desde una altura de 2.5 - 3 m. Los hundidos son recogidos por el ápice (apex) y los flotados salen a través del captador de remolino central (central vortex finder).



Fig.10.8: Bancada de ciclones HMS (Cortesía de Krebs Engineers).

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

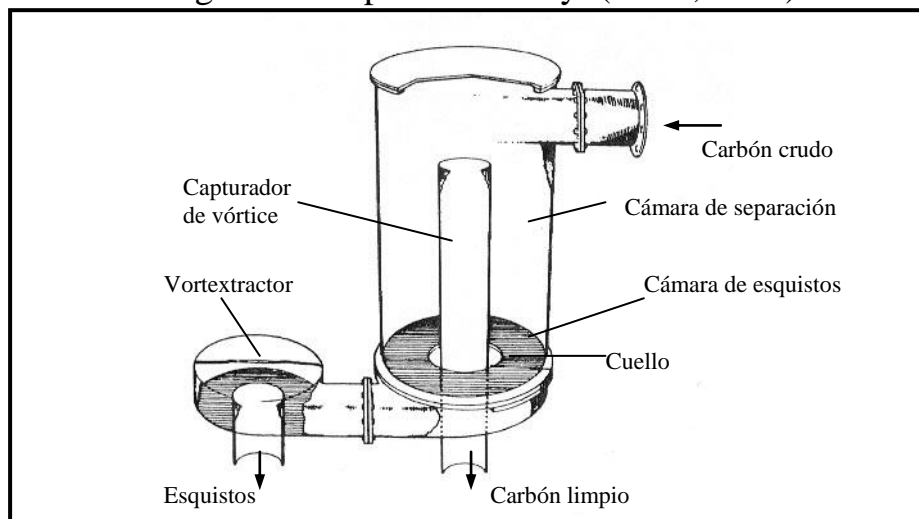


Fig.10.9: Ciclón WEMCO HMS (Cortesía de Baker Hughes).

Separador Vorsyl.

Se emplea en muchas plantas de preparación del carbón para el tratamiento de los tamaños pequeños hasta 30 mm. La alimentación consiste en carbón deslamado y el medio de magnetita. La alimentación se introduce bajo presión y las fuerzas centrífugas van a permitir llevar a cabo la separación entre el carbón limpio y la arcilla esquistosa de forma similar a como ocurre en los hidrociclones.

Fig.10.10: Separador Vorsyl (Wills, 1997).

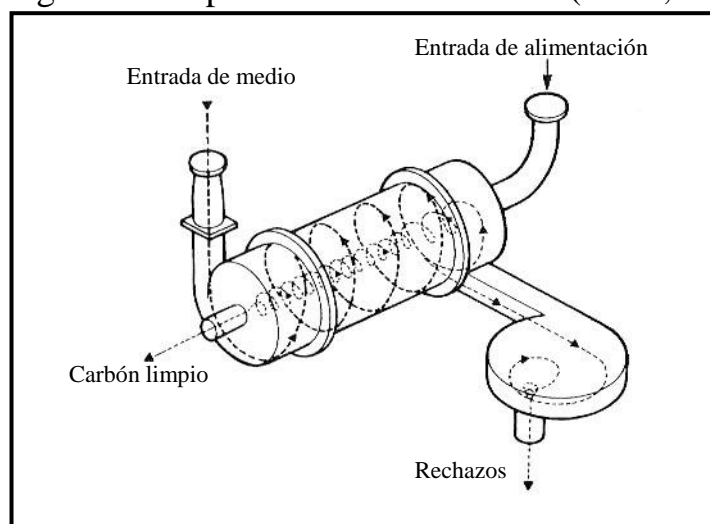


BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

El Separador LARCODEMS.

El separador LARCODEMS (*Large Coal Dense Medium Separator*) es un desarrollo reciente para el tratamiento del carbón crudo en el rango de tamaños desde 100 - 0.5 mm. La unidad consiste en una cámara cilíndrica que está inclinada 30° respecto a la horizontal. La alimentación de medio es introducida bajo presión, bien a través de bomba o bien a través de una altura de caída, a través de la entrada tangencial del extremo inferior. La entrada tangencial del otro extremo se conecta al extractor (*vortextractor*) de rechazo. El carbón crudo es alimentado al separador por un vertedero (*chute*) conectado al extremo, el carbón limpio después de su separación es eliminado a través de la salida inferior. Las partículas de elevada densidad relativa pasan rápidamente a la pared de la cámara cilíndrica y son extraídas a través del extractor de rechazo.

Un equipo de este tipo de 1.2 m de diámetro y 3 m de largo puede tratar 250 t/h de carbón (Point of Air Colliery, U.K.). Fig.10.11: Separador LARCODEMS (Wills, 1997).



BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.
TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

Separador Dyna Whirlpool.

Este equipo es similar al comentado anteriormente y también se emplea para tratar carbón (principalmente en Sudáfrica), además de diamantes, titanio, mineral plomo-zinc, en el rango de tamaños comprendido entre 0.5 - 30 mm.

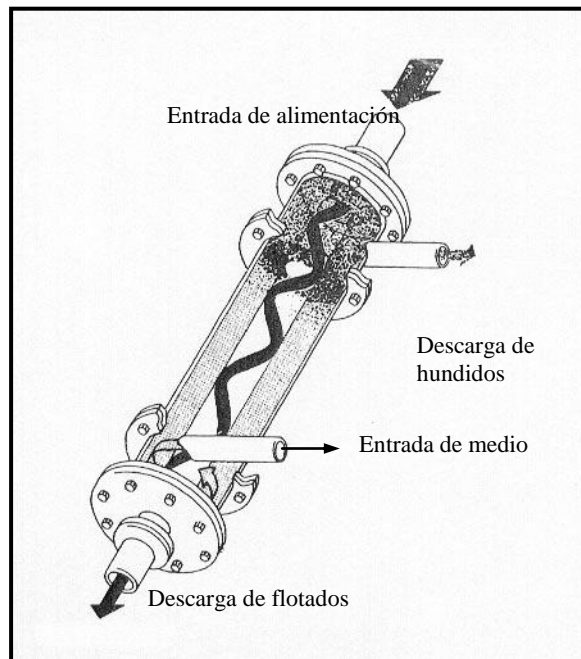


Fig.10.12: Separador Dyna Whirlpool (Wills, 1997).

Separador "Only-Water".

Por último destacar un tipo de separadores considerados como separadores "autógenos" en medio denso que son los hidrociclones de "sólo agua" (Only-water). Estos hidrociclones se emplean para limpiar carbón crudo en un rango de tamaño comprendido entre 600-150 μm . Difiere de un hidrociclón convencional de

BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

medio denso en que el cono está en etapas y el ángulo final del cono es mucho mayor (hasta 120°), por otra parte el capturador del vórtice (vortex finder) es mucho más largo. Las partículas finas de densidad alta e intermedia se recolectan y recirculan en esta sección cónica. Presenta la ventaja de la menor inversión inicial y los bajos costes de operación debido a la eliminación de los costes de los procesos de separación y recuperación del medio.



Fig.10.13: Hidrociclón autógeno de medio denso
(Cortesía de Metso Minerals)



Fig.10.14. Hidrociclón "Only-water" de medio denso
(Cortesía de Krebs Engineers)