

TECNOLOGÍA MINERALÚRGICA



TEMA 10: CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO (HMS)



CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO

- 10.1. Introducción.
- 10.2. Historia.
- 10.3. El Medio Denso.
- 10.4. Equipos Separadores.



Introducción

• La separación en medio denso se la conoce como "dense medium separation" (DMS) o "heavy medium separation" (HMS).

 Su aplicación principal será el <u>lavado</u> y <u>limpieza</u> de <u>carbones</u>, <u>preconcentración de minerales para eliminación de ganga antes de las etapas</u> <u>de molienda, recuperación de diamantes, minerales de hierro, cromita,</u> <u>fluorespato, estaño, manganeso, fosfatos y reciclado</u>.

• La separación por medio denso está muy ligada a la concentración por gravedad.

Densidad relativa
$$(\Delta \rho) = \frac{\rho_{pesado} - \rho_{medio}}{\rho_{ligero} - \rho_{medio}}$$



Introducción

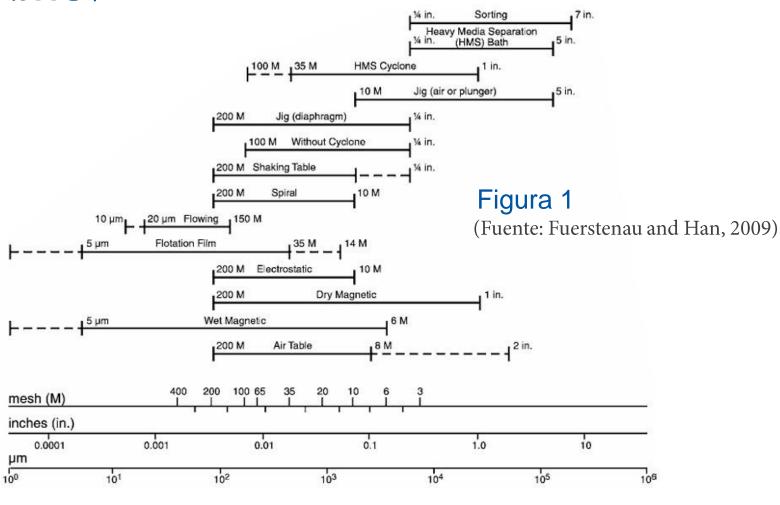
- Su principio se basa en separar gravimétricamente partículas de diferente densidad dentro de un baño o medio de densidad intermedia.
- Este tipo de concentración se aplica a partículas de un tamaño relativamente grueso que presentan una diferencia de densidad significativa.
- Las partículas debería ser superiores a 3 mm de diámetro, siendo la separación efectiva con una diferencia de densidad relativa de 0.1 o inferior.

Tabla 1

Valor de $\Delta \rho$	Separación	Comentario
+ 2.50	Fácil	Hasta tamaños de 100 µm (o algo inferiores)
1.75 - 2.50	Posible	Hasta tamaños de partícula de 150 µm
1.50 - 1.75	Algo difícil	Hasta tamaños de partícula de 1700 μm.
1.25 - 1.50	Muy difícil	Aplicable sólo para arenas y gravas.
< 1.25	Imposible	En Medio Denso posible



Introducción



Approximate range of applicability of various concentrating devices (M = mesh, Tyler Standard)

Rango de aplicación de los equipos de concentración gravimétrica según tamaños



Ventajas

- Separaciones precisas a una determinada densidad relativa.
- Control de la densidad dentro de un margen de variación entre ± 0.005 unidades de densidad relativa.
- Manejo de un amplio rango de tamaños (carbones).
- Manejo de un amplio rango de tamaños (carbones).
- Posibilidad de modificar la densidad relativa de separación.
- Control de las variaciones o fluctuaciones en la alimentación.



Desventajas

- Coste relativamente alto en la recuperación y reciclado del medio denso.
- Alto coste en las operaciones auxiliares de reciclado del medio denso.
- Altos costes de mantenimiento si el medio empleado es abrasivo.
- Problemas potenciales en el arranque de sistemas (bombas) si se sedimenta el medio en depósitos, bombas o tuberías.



Evolución histórica

- 1858 La patente de Bessemer proponía el uso de cloruros de hierro, manganeso, bario y calcio como medio, aunque su aplicación industrial no fue hasta el siglo XX.
- 1911 Du Pont desarrolla el uso de hidrocarburos clorados para obtener mayores densidades.
- 1911 Se patenta el proceso Chance que establece el uso de arena y agua como medio dentro de un cono separador (*Teeter bed separator*).
- 1921 Aparece el primer proceso industrial para la limpieza y recuperación de antracita empleando el proceso Chance.
- 1922 Primeros experimentos usando como medio magnetita en la limpieza de carbón (proceso Conklin).
- 1931 Comienza el uso generalizado de plantas de separación por medio denso (DMS).
- 1930s Plantas DMS de recuperación de minerales en Reino Unido y EEUU empleando galena.
- 1937 Primer empleo de ferrosilicio (FeSi) en una planta de concentración de mineral en EEUU, empleando separador magnético de banda para la recuperación del medio.



Evolución histórica

- 1940 Se concede la primera patente americana sobre ferrosilicio.
- 1940 La compañía American Cyanamid Co., implanta el proceso DMS para la limpieza de carbones, empleando separación magnética para la recuperación del medio.
- 1938 Aparece el proceso Tromp en Alemania para el empleo comercial de la magnetita como medio.
- 1942 Se patenta el ciclón de medio denso en Holanda por la Dutch State Mines (DSM).
- 1946 Aplicación por primera vez de los conos en la recuperación de diamantes en Suráfrica.
- 1955 Empleo por primera vez de ciclones para la recuperación de diamantes en Tanzania empleando magnetita como medio.
- 1955 Aparece el proceso de Knapsack (Hoechst) para fabricar esferas de ferrosilicio.
- 1960s Uso del tetrabromoetano (TBE) para tratar minerales de estaño.
- 1960s Aparecen las unidades separadoras Dyna Whirlpool y Vorsyl.
- 1970s Aparecen las unidades separadoras Tri Flo.



Evolución histórica

- 1970s Empleo por primera vez de trazadores para determinar rutinariamente la eficiencia del proceso de recuperación de diamantes.
- 1980s Empleo por primera vez de trazadores para determinar rutinariamente la eficiencia del proceso de limpieza de carbones.
- 1992 Empleo de ciclones de medio denso con diámetros superiores a 1 metro (actualmente de 1.5 m) en la industria del carbón.
- 2005 Empleo de ciclones de medio denso con diámetros superiores a 60 cm (actualmente de 80 cm) en la industria mineral.
- 2010s Se tiende a separadores en forma de artesas o cubas en lugar de conos ya que proporcionan una zona de separación sin turbulencias y minimizan la cantidad de medio a emplear.
- 2010s Empleo de instrumentación y control de procesos, automatización de las plantas con obtención de mayores rendimientos y separaciones más precisas.



- La aplicación de este proceso es una extensión de los ensayos convencionales de laboratorio de hundido-flotado (sink-float).
- Las plantas industriales no son capaces de simular al 100% la separación llevada a cabo en laboratorio por las siguientes razones:
 - 1. Las suspensiones que se emplean como medio no son líquidos verdaderos.
 - 2. La entrada de alimentación y la retirada de los hundidos y flotados crea zonas de turbulencias en el medio de separación.
 - 3. Se requiere agitación o corrientes ascendentes en el recipiente para mantener el medio de separación en suspensión.
 - 4. El proceso industrial necesita elevados rendimientos no permitiendo elevados tiempos de residencia de las partículas a separar.



- Un medio de separación debe cumplir:
 - 1. Barato desde el punto de vista de su empleo.
 - 2. Físicamente estable, es decir, que no se descomponga o se degrade durante el proceso.
 - 3. Químicamente inerte, es decir, que no reaccione con el mineral que esté procesando.
 - 4. Fácil de eliminar del producto.
 - 5. Fácilmente recuperable para su nuevo uso (reciclable).
 - 6. Baja viscosidad a la densidad relativa de separación.
 - 7. Estable dentro de un rango especificado de densidad relativa.



 Actualmente se presentan cuatro tipos de medio de separación que se están empleando o ha sido empleados: líquidos orgánicos, sales disueltas, sólidos gasificados y suspensiones de sólidos.

Liquidos Orgánicos

- Los líquidos orgánicos se emplean para separaciones de mena o carbón en laboratorio, a escala industrial no están implantados por su coste y toxicidad.
- Rango de densidad relativa entre 0.86 y 2.96.
- Estos ensayos determinarán la idoneidad del proceso a escala industrial.
- Poseen baja viscosidad, son estables e inmiscibles con el agua.
- En procesos con el carbón se requiere tratar a éste previamente para reducir adsorción del medio, normalmente con un agente activo que crea una película de agua.
- Líquidos orgánicos serán: gasolina, benzeno, tetrabromoetano, bromoformo, tetrabromuro, acetileno y pentacloruro de carbono.



Sales Disueltas

- Se emplean para la separación y limpieza del carbón.
- Sales disueltas serán: cloruro cálcico y cloruro de zinc.
- Rango de densidad relativa baja entre 1.4 y 1.6.
- Es necesario inducir mecánicamente corrientes ascendentes dentro de la cuba o artesa para llevar a cabo separaciones eficientes del carbón.
- El proceso *Belknap* aún se utiliza y emplea cloruro cálcico para separar el carbón.



Sólidos Gasificados

• Se nombra aquí para conocerlo pero ha quedado en desuso por su dificultad de manejar carbones húmedos.

Se empleaba una lámina seca fluidizada.

• El único proceso industrial con algún grado de éxito fue el proceso de airearena de *Fraser* y *Yancey* (Stephens Adamson Mfg. Co.)

 El medio de separación era arena aireada (0.60-0.80 mm) con comportamiento de fluido denso.



Suspensiones de sólidos

- Está muy extendido el uso de este tipo de medio en procesos DMS.
- Se emplean suspensiones de sólidos en agua.
- Las suspensiones varían desde suspensiones estables con el empleo de magnetita ultrafina hasta suspensiones inestable de arena gruesa (proceso Chance) en las que se hace necesario el empleo de corrientes ascendentes.
- Rango de densidad relativa entre 1.30 y 1.90 (en carbones).
- La concentración de sólidos en suspensión estará entre un 25 y un 45%
- Los sólidos más gruesos tendrá una velocidad de asentamiento mayor, menor viscosidad y recuperación más sencilla.
- Los sólidos más finos tendrán una velocidad de asentamiento menor, mayor viscosidad y recuperación más dificultosa.



Suspensiones de sólidos

- Al inicio, se empleó galena como medio recuperándose por flotación pero se descartó, posteriormente, por los problemas que planteaba.
- En la actualidad el medio más empleado para menas metalíferas (fluorita, minerales de plomo y zinc y minerales de hierro) es el ferrosilicio (dens. rel. 6.7-7.1).
- Es un aleación de hierro y silicio (82% de Fe y 16% de Si).
- Se comercializa en diferentes tamaños de 50 μm (atomizado) o 150 μm (molido).
- En la preparación del carbón se emplean partículas finas de alta densidad como la magnetita (dens. rel. 5.0) y baritas (dens. rel. 4.2) que permiten una densidad del medio por encima de 2.0.
- Estas últimas suspensiones son inestables pero se pueden controlar con el tamaño de alimentación y la cantidad de carbón y esquistos que hay presente en la suspensión.

10.4. Equipos de Separación



- Las condiciones que debe cumplir un separador de medio denso serán:
 - 1. Tendrá capacidad para procesar un alto tonelaje de material.
 - 2. Requerirá un mínimo volumen circulante del medio.
 - 3. La densidad relativa del volumen total del medio en el separador deberá permanecer uniforme.
 - 4. Las corrientes hidráulicas dentro del separador deberán minimizarse.
 - 5. El separador será diseñado para cumplir con una eficiente entrada de la alimentación, una recuperación del producto valioso y la eliminación del rechazo.
 - 6. El separador será capaz de aceptar alimentaciones que puedan variar en tamaño de partícula y en porcentaje de impurezas.



• Las unidades SMD pueden clasificarse en separadores de gravedad y en separadores centrífugos.

Separadores de Gravedad

- En estas unidades la alimentación y el medio se introducen independientemente sobre la superficie del medio en estado de reposo.
- El recipiente, cuba o artesa será de dimensiones relativamente grandes.
- El material que flota será extraído por rebose de la superficie del medio.
- El material hundido será extraído por medio de válvulas o sistemas mecánicos que son diseñados para minimizar las turbulencias en el baño.



Separador de Cono

- Empleados tanto en la recuperación de menas como en el tratamiento de carbones.
- El más conocido es el separador de cono WEMCO.
- La alimentación se introduce por la parte superior sobre la superficie del medio.

- El medio se introduce en el cono a diferentes niveles de profundidad.
- Se controlará el gradiente de densidad.

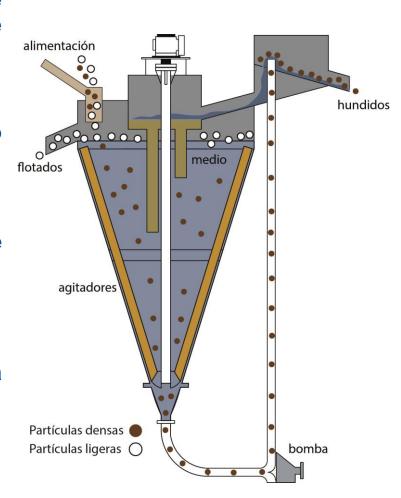


Figura 2



Separador de Cono

- Los flotados se extraen por la periferia superior del cono por rebose.
- Los hundidos son evacuados a través del fondo por bomba o bien elevados con la ayuda de aire comprimido (air lift).
- El cono dispondrá de unos agitadores mecánicos para mantener la suspensión del medio.
- Se suministran con diámetros máximos de 6 metros y una capacidad de procesado de 500 t/h.
- El tamaño de partícula máximo de alimentación será de 10 cm.

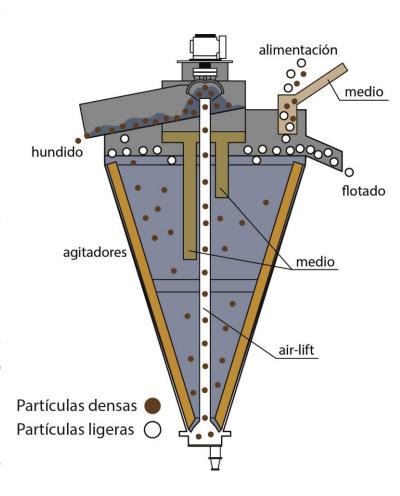


Figura 3



Separador de Tambor

- Estas unidades pueden realizar separaciones de dos o tres productos.
- Para el caso de tres productos, el tambor estará dotado de dos compartimentos: el de baja densidad y el de alta densidad.
- La rotación del tambor levanta el hundido hasta extraerlo del baño y depositarlo en un vertedero.
- Se fabrican en diferentes tamaños que llegan hasta los 4.6 x 7.0 m, y capacidades de hasta 800 t/h.
- Son capaces de separar partículas con tamaños comprendidos entre 6 mm y 30 cm.

(Separador de tambor WEMCO)

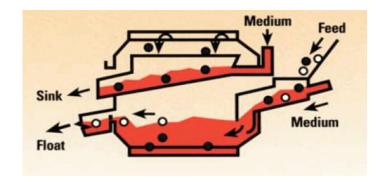


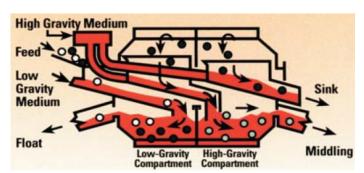
Figura 4 (Cortesía de FLSmidth)



Separador de Tambor

- Estas unidades pueden realizar separaciones de dos o tres productos.
- Para el caso de tres productos, el tambor estará dotado de dos compartimentos: el de baja densidad y el de alta densidad.
- La rotación del tambor levanta el hundido hasta extraerlo del baño y depositarlo en un vertedero.
- Se fabrican en diferentes tamaños que llegan hasta los 4.6 x 7.0 m, y capacidades de hasta 800 t/h.
- Son capaces de separar partículas con tamaños comprendidos entre 6 mm y 30 cm.





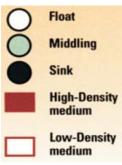


Figura 5 (Cortesía de FLSmidth)



Separador de Tambor

- Existe otra variante del separador de tambor suministrado por el fabricante de equipos Humboldt Wedag, Ilamado TESKA
- principal en la industria **Empleo** del carbón.



(Cortesía de MBE)

Figura 7



2 Perforated plates

3 Nozzles

4 Separating compartment

5 Sinks discharge chute

6 Floats discharge device

7 Drive

8 Support

9 Guide rollers

10 Drive for discharge device

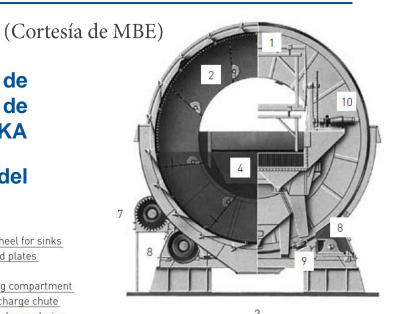
11 Pneumatically fitted sealing buff

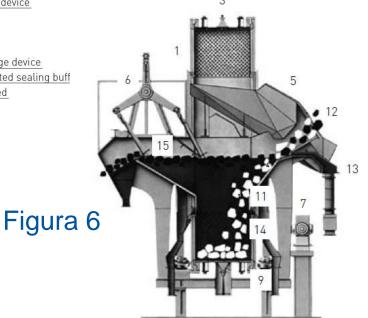
12 Feed to be washed

13 Dense medium

14 Sinks

15 Floats







Separador de Artesa

- En casi todos ellos tanto el producto hundo como el producto flotado es extraído por medios mecánicos: transportadores de scrapers o rascadores y brazos rastrilladores.
- Muy empleados en la industria del carbón.
- Algunos modelos destacables serían:
- Separador McNally Tromp (McNally-Pittsburg Inc).
- Separador McNally Lo-Flo (McNally-Pittsburg Inc).
- Separador Barvoys (Roberts and Schaefer Co.).
- Separador de la Dutch State Mines, DSM (Roberts and Schaefer Co.).
- Separador Wilmot HM (Wilmot Engineering Co.).
- Separador H&P (Heyl & Patterson, Inc.).

(Separador McNally Lo-Flo)

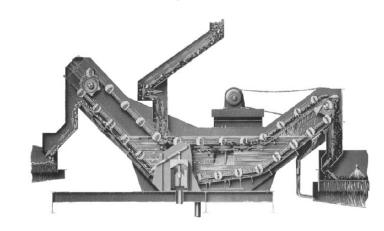




Figura 8

(Cortesía de Metso)



Separador Drewboy

- Se ha empleado de forma intensiva en la industria del carbón del Reino Unido.
- Presenta una alta capacidad de tratamiento.
- El carbón se alimenta por un extremo.
- Una rueda con aspas radiales elevará los hundidos y sacarlos fuera del baño.
- Otra rueda de estrella descargará el flotado por el extremo opuesto de la entrada de alimentación.
- La entrada del medio se efectúa a través de la alimentación del carbón y del fondo del baño, controlado por válvulas.

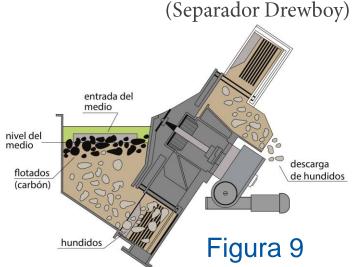




Figura 10 (Cortesía de Birtley)



Separador Drewboy

- Se ha empleado de forma intensiva en la industria del carbón del Reino Unido.
- Presenta una alta capacidad de tratamiento.
- El carbón se alimenta por un extremo.
- Una rueda con aspas radiales elevará los hundidos y sacarlos fuera del baño.
- Otra rueda de estrella descargará el flotado por el extremo opuesto de la entrada de alimentación.
- La entrada del medio se efectúa a través de la alimentación del carbón y del fondo del baño, controlado por válvulas.





Figura 11 (Cortesía de Metso)



Separador Norwalt

- Se desarrolló en Sudáfrica.
- El carbón se introduce por el centro del separador.
- Los flotados se extraen por un extremo del separador a través de un vertedero.
- Unos rastrillos trasladarán los hundidos a una rueda elevadora.
- La descarga del hundido se consigue por un vertedero exterior.

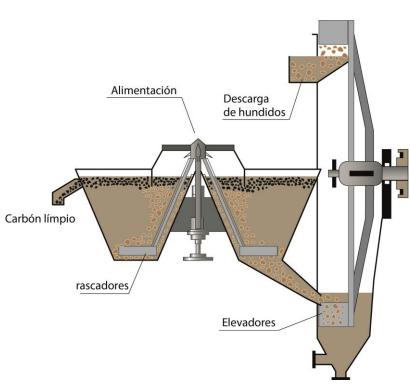


Figura 12



Separadores Centrifugos

• Los separadores centrífugos se emplean en el tratamiento de menas y lavado de carbones.

Proporcionarán al medio elevadas fuerzas centrífugas y baja viscosidad.

• Se consiguen separaciones mucho más precisas que con los separadores gravimétricos.

Permitirán separar partículas de tamaños inferiores a 0.5 mm.



Ciclón DSM

(Cortesía de Krebs Engineers)

- Desarrollado por la Dutch State Mines (DSM, Holanda).
- Se emplea tanto para el tratamiento de minerales metálicos como carbones.
- El rango de tamaños está comprendido entre los 0.5 mm y 40 mm.
- Principio de operación idéntico al de los hidrociclones convencionales.
- El mineral se introduce en suspensión con el medio (ferrosilicio o magnetita en partículas finas).
- Los hundidos son recogidos por la descarga inferior o ápice (apex) y los flotados a través de la descarga superior (vortex finder).

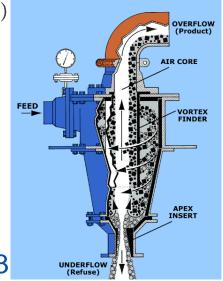


Figura 13

(Cortesía de Krebs Engineers)



Figura 14



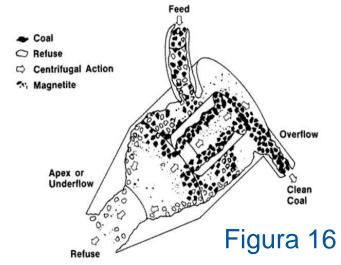
Ciclón DSM

- Desarrollado por la Dutch State Mines (DSM, Holanda).
- Se emplea tanto para el tratamiento de minerales metálicos como carbones.
- El rango de tamaños está comprendido entre los 0.5 mm y 40 mm.
- Principio de operación idéntico al de los hidrociclones convencionales.
- El mineral se introduce en suspensión con el medio (ferrosilicio o magnetita en partículas finas).
- Los hundidos son recogidos por la descarga inferior o ápice (apex) y los flotados a través de la descarga superior (vortex finder).

(Cortesía de Dorr-Oliver - Eimco)



Figura 15



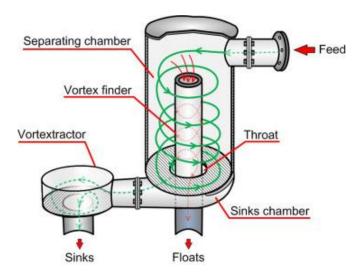
(Cortesía de MBE Coal and Mineral Technology)



Separador Vorsyl

- Está muy extendido en las plantas de procesamiento de carbón.
- Limpieza y recuperación de partículas pequeñas de carbón (hasta 30 mm).
- La alimentación consiste en carbón deslamado y el medio magnetita.
- La alimentación se introduce bajo presión.
- El rechazo serán las impurezas de esquistos.
- Funcionamiento muy similar a como ocurre en los hidrociclones.

Figura 17

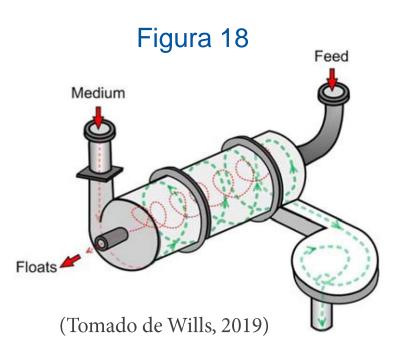


(Tomado de Wills, 2019)



Separador LARCODEMS

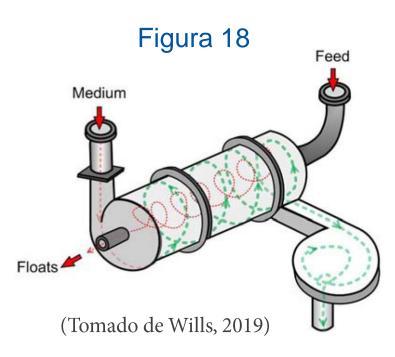
- LARCODEMS (Large Coal Dense Medium Separator).
- Desarrollado para el tratamiento de carbón en un amplio rango de tamaños 0.5 mm – 100 mm).
- La unidad consiste en una cámara cilíndrica inclinada a 30°.
- La alimentación es introducida bajo presión ayudada por una bomba o a través de una altura de caída.
- La entrada tangencial del otro extremo se conecta al extractor de rechazo.





Separador LARCODEMS

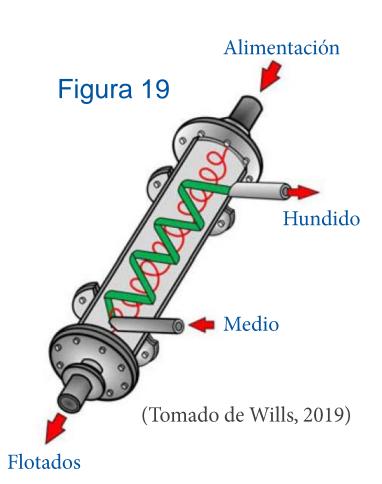
- El carbón es alimentado al separador por un vertedero (chute) conectado al extremo.
- El carbón limpio es extraído por la salida inferior.
- Las partículas de elevada densidad son extraídas por el extractor de rechazo.
- Una unidad de 1.2 m de diámetro y 3 metros de largo puede tratar 250 t/h de carbón.
- En Sudáfrica hay unidades para el tratamiento de minerales de hierro tratando 800 t/h (tamaños entre 6 – 90 mm).
- Otra reciente aplicación de estas unidades es en la industria del reciclado de plásticos.





Separador Dyna Whirlpool

- Este equipo es muy similar al descrito anteriormente.
- Fue desarrollado en los EEUU.
- Se emplea muy extensivamente en el hemisferio sur (Sudáfrica, principalmente).
- Tratamiento de carbones, diamantes, fluorespato, titanio, mineral de plomozinc.
- Rango de tamaños entre 0.3 y 30 mm.
- Capacidades por unidad entre 10 y 100 t/h.





Separador "Only Water"

- Considerados como separadores "autógenos" de medio denso.
- Estos hidrociclones se emplean para la limpieza de carbón.
- Tamaños comprendidos entre 0.2 1 mm.
- El hidrocición presenta un ángulo de cono mucho mayor (hasta 120°) y el capturador de vórtice se extiende mucho más.
- El medio denso lo generan las propias partículas finas de las rocas que van en la alimentación.
- El diseño del hidrocición favorece la separación por diferencia de densidad.

Figura 20



(Cortesía de Krebs Enginners)

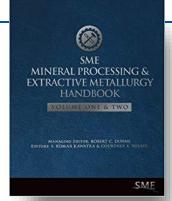
Figura 21

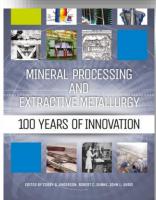


(Cortesía de Metso Minerals)

Referencias:







SME

Coal Processing and Utilization

D.V. Subba Rao Formerly Head of the Department of Mineral Beneficiation, S.D.S Autonomous College, Andhra Pradesh, India

T. Gouricharan Senior Principal Scientist and Head, Coal Preparation, Central Institute of Mining and Fuel Research, Dhanbad, Jharkhand, India



