

**SEPARACION ó CONCENTRACION.**- La fase final del beneficio del mineral es la concentración, la cual tiene por objeto separar de la ganga los elementos útiles, ligados química ó mecánicamente.

Generalmente se opera sobre un mineral molido cuyo contenido en metal es del orden de 1 al 5%

Los principales procedimientos son:

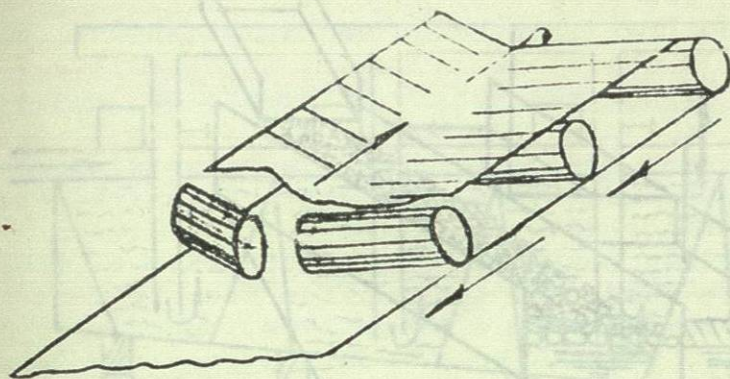
- A).- Separación Hidromecánica
- B).- Flotación
- C).- Separación Magnética
- D).- Separación por Ventilación
- E).- Separación Electroestática.

Si bien en algunas ocasiones se realiza lo que llamamos separación previa a mano en forma de:

**SCHEIDAJE.**- Esta operación consiste en una selección manual del mineral en su subida de la mina, se separan los bloques estériles después de haberlos roto con ayuda de un mazo para asegurarse que no contienen porción útil alguna.

**SELECCION SOBRE CINTA.**- Esta selección consiste en hacer desfilar los trozos de mineral delante de los operarios, que separan los trozos estériles el mineral se colocan sobre una cinta continua, generalmente cubierta de caucho, ésta cinta es soportada por pares de rodillos que están ligeramente inclinados uno con relación al otro a fin de dar a la cinta la forma de un canal, la cinta tiene generalmente una pendiente del orden del 20% para que el mineral al fin de su recorrido se vierta automáticamente en los aparatos de acabado. Los operarios se colocan a lo largo de la cinta.

**SEPARACION HIDROMECHANICA.**- La separación hidromecánica se basa en las diferencias que presenta la caída de los granos de mineral en el agua según su naturaleza química, sus dimensiones y sobre todo sus diferencias en peso.



SELECCION SOBRE CINTA

#### APARATOS DE SEPARACION HIDROMECHANICA.

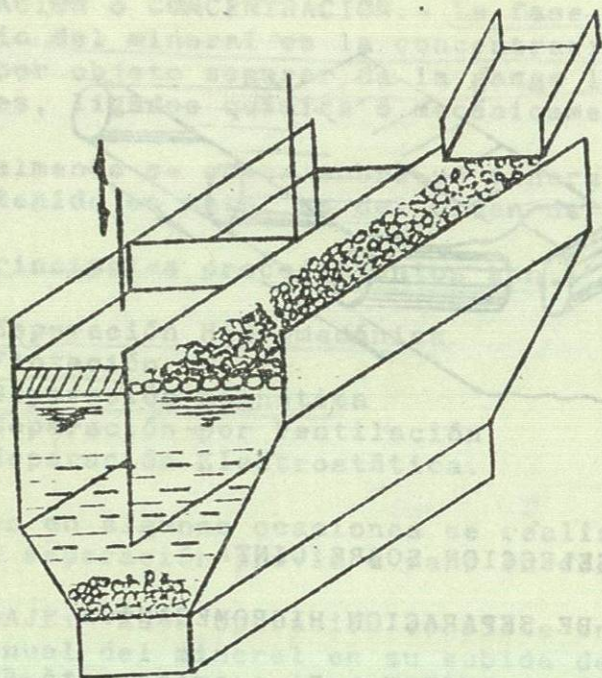
**SEPARADOR DE PISTON.**- El aparato está formado de varios compartimientos (1 a 5) colocados en serie cada compartimiento está dividido en dos partes por un tabique longitudinal; la primera comprende un tamiz sobre el cual llega el mineral; la segunda posee un pistón accionado por una biela excéntrica y animado de un movimiento de elevación y descenso.

El agua que llena las cajas es forzada a atravesar el mineral depositado sobre la rejilla, alternativamente en uno y otro sentido.

El mineral en estado de fango se introduce en la primera caja cuando el pistón desciende, el agua atraviesa el tamiz adquiriendo una velocidad suficiente para levantar los granos de equivalencia pequeña que se clasifican por el orden de masa volumétrica entonces las partes ligadas son arrastradas sobre el tamiz siguiente por una corriente de agua que llega a la superficie de las cajas; las partes pesadas atraviesan el tamiz y caen al fondo de la caja.- El resultado se hace más regular revistiendo el tamiz de un lecho de granalla más gruesa que los gra-



nos de mineral y de un espesor aproximado de 5 cm.



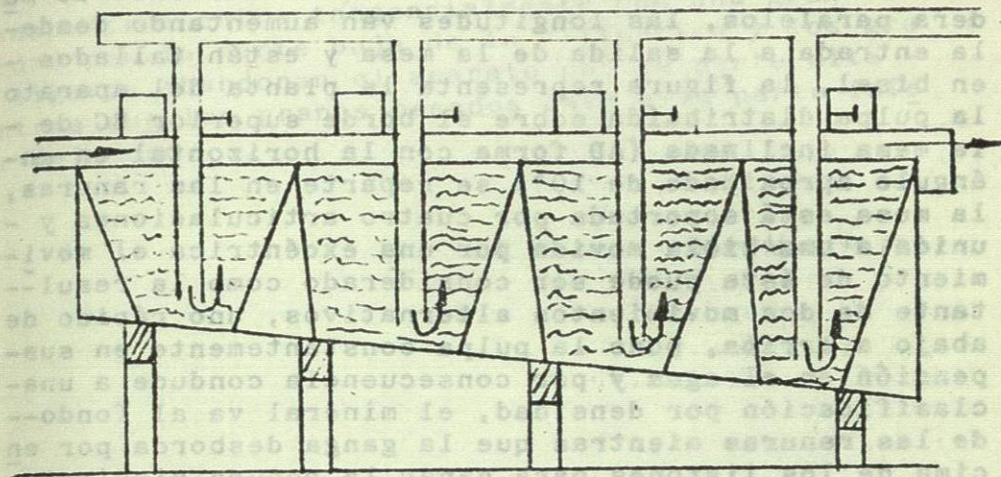
SEPARADOR DE PISTON

El pistón tiene un curso del orden de 1 cm.-- y efectúa 200 vaivenes por minuto. Las dimensiones -- del tamíz son de 70 x 40 cm. aproximadamente.

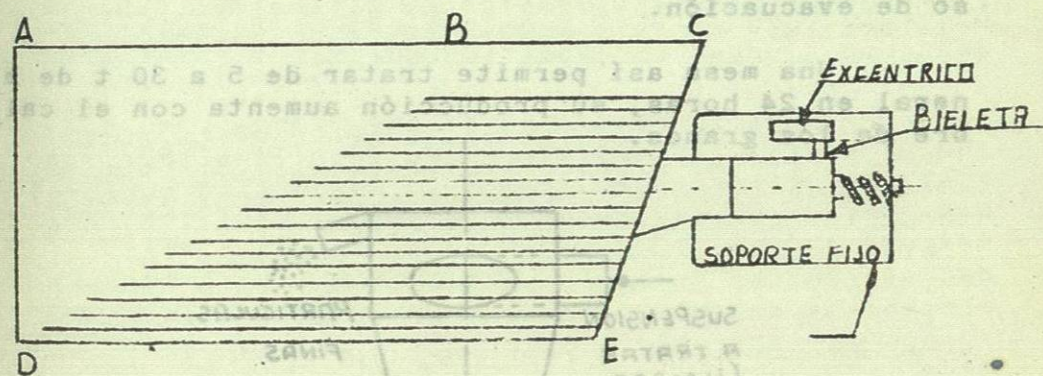
SEPARADOR DE CAJAS.- Este aparato está consti -- tuído por una serie de cajas en forma de pirámides -- cuadrangulares invertidas cuyas dimensiones van en -- aumento, lo que origina una disminución de la veloci -- dad de la corriente de agua horizontal que conduce -- el mineral.

La clasificación tiende a hacerse por orden -- de masa volumétrica pero generalmente se inyecta -- agua de abajo a arriba en el fondo de cada caja, y -- esta corriente de agua ascendente hace intervenir -- una clasificación por equivalencia. Se recogen las -- diversas categorías de mineral en el fondo de las ca -- jas y a la salida del aparato.

MESA DE SACUDIDAS.- Este aparato, muy amplia --



SEPARADOR DE CAJAS

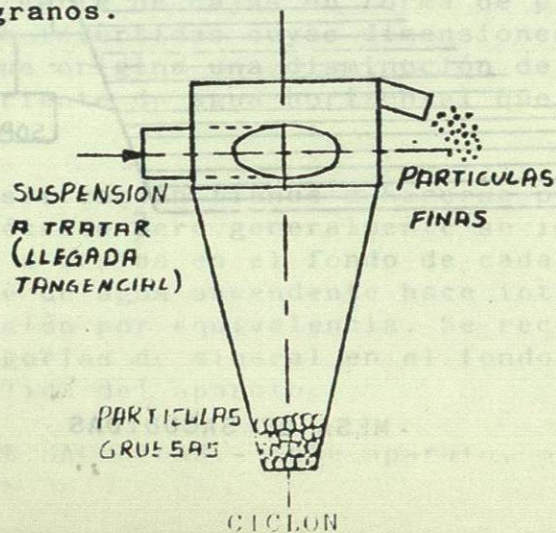


MESA DE SACUDIDAS



do está constituido esencialmente por un revestimiento de linóleo sobre el cual se clavan listones de madera paralelos, las longitudes van aumentando desde la entrada a la salida de la mesa y están tallados en bisel, la figura representa la planta del aparato la pulpa distribuida sobre el borde superior BC de la mesa inclinada (AD forma con la horizontal en un ángulo aproximado de  $10^\circ$ ) se reparte en las ranuras, la mesa está soportada por cuatro articulaciones y unida a una biela movida por una excéntrica el movimiento de ésta puede ser considerado como la resultante de dos movimientos alternativos, uno rápido de abajo a arriba, pone la pulpa constantemente en suspensión en el agua y por consecuencia conduce a una clasificación por densidad, el mineral va al fondo de las ranuras mientras que la ganga desborda por encima de los listones para ganar la ranura siguiente y camina así hacia la parte baja de la mesa. El otro movimiento es un movimiento alternativo en el plano de la mesa, determinante de los choques longitudinales; las partículas de mineral puro ganan, por saltos sucesivos, la extremidad de las ranuras y vienen a establecerse sobre la parte lisa donde son lavadas por una lámina de agua que viene de AB los concentrados ganan el borde de la mesa AD para caer en un paso de evacuación.

Una mesa así permite tratar de 5 a 30 t de mineral en 24 horas, su producción aumenta con el calibre de los granos.



**CICLON.** - El ciclón comprende de una parte cilíndrica y una parte cónica que tienen el mismo eje, la suspensión entra tangencialmente con una gran velocidad por la parte baja de la cilíndrica y los granos ligeros abandonan el aparato por la parte alta mientras que los granos pesados caen a la parte inferior del cono.



## FLOTACION

Principio.- La flotación tiene por objeto separar de la ganga el elemento rico del mineral, reuniéndolo en la superficie del agua en la que se le ha sumergido mientras que la ganga permanece en el fondo en el caso de un mineral complejo, permite hacer flotar, uno del otro, los diversos constituyentes que se trata separar (flotación diferencial).

La flotación consiste en inyectar aire dividido en burbujas muy finas en un fango formado de mineral pulverizado y agua, al que se han incorporado "reactivos convenientes". Las burbujas de aire se fijan sobre ciertos granos (según su naturaleza química) y forman una espuma; se concibe que el empuje del agua pueda vencer el peso de la espuma y haga flotar ésta; mientras que los otros granos permanecen en el fondo.

La flotación no tiene lugar más que para las partículas no mojadas por el agua, condición realizada por la adición de un producto conveniente. En la flotación intervienen múltiples fenómenos; fenómenos electrostáticos y electrolíticos. capilaridad, adsorción, emulsiones y naturaleza de la superficie del grano juegan un papel fundamental.

Este tratamiento da muy buenos resultados, aún para minerales pobres o muy complejos. Por ello, este procedimiento ha tenido un desarrollo considerable. Creado en los Estados Unidos, en 1911, se puede estimar en casi 1000 millones de toneladas la cantidad de mineral tratado anualmente por este procedimiento. No se aplica más que a los minerales no féreos. y, sobre todo, a los sulfuros. Sin la flotación, el plomo, el cinc y el cobre serían mucho más costosos.

El papel que realizan los reactivos en los procesos de flotación son:

1.- Formación de una película sobre el mineral. El reactivo envuelve al mineral con una película muy delgada que aumenta su aptitud a no dejarse mojar por el agua, y permite la adherencia de las burbujas de aire (papel colector). Para este fin se emplean sobre todo xantatos de potasio.

2.- Formación de la espuma.- El reactivo a la división en el agua del aire insuflado o aspirado, en un gran número de pequeñas burbujas que forman una espuma de dimensiones convenientes (la dimensión de una burbuja normal es de 3 mm de diámetro aproximadamente). Además, esta espuma debe ser de una estabilidad suficiente para no romperse antes de su salida del aparato. pero no debe mantenerse demasiado tiempo a fin de desagregarse desde su entrada en los espesadores.

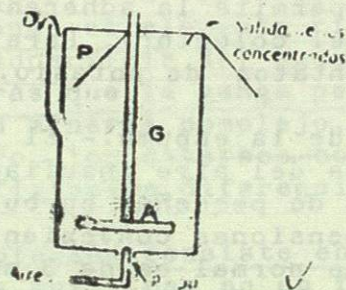
Se utilizan sobre todo para realizar este papel aceites de alquitrán, de madera de pino en particular (papel espumante).

3.- Modificación del medio.- La flotación puede ser impedida por la presencia de sales solubles (ej. sulfatos) o por ciertas modificaciones químicas superficiales del mineral. A veces la ganga puede flotar, como consecuencia de su finura o de su naturaleza química.

Los principales agentes modificantes son: el ácido sulfúrico; el sulfuro de sodio, utilizado para precipitar las sales solubles que se encuentran en la pulpa, y también para facilitar la flotación de los minerales oxidados recubriendo su superficie de una capa de sulfuro.

La cantidad de reactivo es relativamente pequeña: para 1 t de mineral tratado, es del orden de 60 g de aceite, 50 g de xantato de potasio y 2 kg. de ácido o de producto básico; la riqueza del mineral pasa por ejemplo de 1 a 25% y la tasa de recuperación del metal sobrepasa el 90%.





### SEPARACION MAGNETICA

**Principio.** - La separación magnética es aplicable a elementos paramagnéticos o ferromagnéticos; estando el mineral colocado en un campo magnético, los elementos magnéticos son separados por atracción.

A veces la separación magnética es precedida de un tratamiento térmico conveniente cuyo objeto es acentuar las propiedades magnéticas de un elemento del mineral a fin de hacer más fácil la separación.

El paramagnetismo debido al hierro se atenúa con la complejidad química de las combinaciones. Una simple calcinación puede destruir ciertas sales complejas y formar combinaciones más simples muy paramagnéticas.

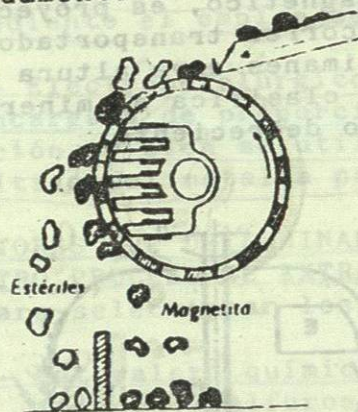
**APARATOS DE SEPARACION MAGNETICA.** - Se les clasifica en dos categorías bien distintas según que el mineral sea ferromagnético o paramagnético.

**A).** - **SEPARACION DE MINERALES FERROMAGNETICOS.** - Siendo la fuerza de atracción relativamente grande, los aparatos utilizados son muy simples. Se puede operar en seco o por vía húmeda. La separación en seco utiliza un aparato de tambor si el mineral está en trozos comprendidos entre 5 y 40 mm, y un aparato de correa si se opera sobre granos muy finos, que

tiene la ventaja de suprimir los polvos.

**1.- APARATO DE TAMBOR.** - Este aparato está formado por un tambor cilíndrico que gira alrededor de un eje horizontal; la superficie de este tambor está formada de barras de hierro y de cobre (o de acero austenítico amagnético) alternadas. Un electroimán imanta las barras de hierro y les permite retener momentáneamente los bloques de magnetita, mientras que los estériles continúan su caída. Los bloques de magnetita caen cuando la rotación del tambor los lleva a una zona de pequeña intensidad del campo magnético.

Un aparato cuyo cilindro tiene 75 cm de diámetro, 60 cm de longitud y gira a razón de 30 r.p.m., trata aproximadamente 5 t/h de mineral.



**2.- LOS SEPARADORES HIDROMAGNETICOS,** se fundan en principios análogos. Estos aparatos Gröndal están constituidos por un casquete esférico de eje de rotación vertical; este casquete está formado por sectores alternativamente de cobre y de hierro; éstos durante su imantación por un imán, retienen los granos magnéticos del lavado. Un conducto circular dividido se encuentra debajo del casquete; las partes estériles caen en un compartimiento mientras que las partes magnéticas son arrastradas al compartimiento colocado a una altura inferior de la anterior.

Esta separación se llama de baja intensidad.

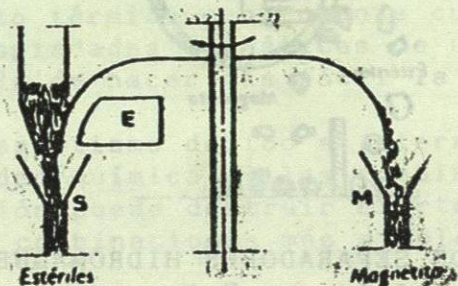


porque los campos magnéticos no sobrepasan de 0.3 - telsa. Se practica en las minas para obtener concentrados (52 a 68% de hierro) a partir de todo-uno de magnetita de 45% de hierro aproximadamente.

#### B.- SEPARACION DE MINERALES PARAMAGNETICOS.

La separación es mucho más difícil que en el caso precedente. La fórmula que da la fuerza de atracción - muestra que es preciso utilizar campos magnéticos intensos y que presenten una gran variación lineal.

Los aparatos del tipo "Rapid" son los más extendidos. El mineral, molido bastante groseramente, llega a la superficie de una correa sin fin; es atraído por la acción de los imanes que giran rápidamente alrededor de un eje vertical; cuando el mineral está fuera del campo magnético, es proyectado por inercia al costado de la correa transportadora. Generalmente se utilizan tres imanes cuya altura está regulada de tal manera que se clasifica el mineral en seis categorías de magnetismo decreciente.



Esta separación se llama separación magnética de alta intensidad, porque los campos utilizados alcanzan 2 telsas. Este procedimiento permite obtener concentrados de 10% de hierro a partir de todo-uno de 25% de hierro aproximadamente (limonita oolítica de ganga calcárea).

## EXTRACCION DEL METAL

EXTRACCION DEL METAL.- El concentrado, obtenido por los procesos anteriores, deberá ser tratado con el fin de eliminar el resto de la ganga y descomponer el mineral de modo que pueda extraerse el metal.

CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE EXTRACCION Y AFINO DEL METAL.- Los procesos de extracción y afino del metal se clasifican de la siguiente forma:

A).- Pirometalúrgico.- El calor necesario para la reacción se obtiene de la combustión de combustibles.

B).- Hidrometalúrgicos.- El metal se extrae del mineral mediante el empleo de alguna disolución líquida.

C).- Electrometalúrgicos.- La energía eléctrica es la encargada de proporcionar el calor para la descomposición, o bien se utiliza para la deposición electrolítica del metal a partir de una solución.

FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCION DE UN U OTRO PROCESO DE EXTRACCION.- Los factores principales para seleccionar los procesos de extracción son:

- Naturaleza química del concentrado - (óxidos, sulfuros)
- Riqueza en metal útil
- Pureza que se pide al producto final
- Cantidad que debe tratarse de concentrado

PROCESOS PIROMETALURGICOS.- Los procesos que integran este grupo son: SINTERIZACION, CALCINACION, TOSTACION, FUSION, DESTILACION, AFINO A FUEGO.

Los tres primeros métodos son procesos térmicos preliminares a la fusión.

SINTERIZACION.- Consiste en calentar las partículas a una temperatura próxima a la de fusión, aproximadamente 1000°C, para que tomen un estado pastoso y se adhieran unas con otras.

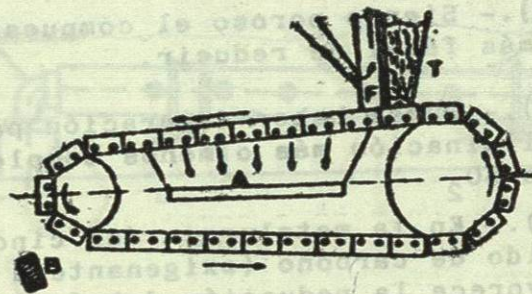


Las partículas a sinterizar son previamente mezclados con un poco de carbón (del orden del 10%) a fin de obtener la temperatura suficiente; a veces se añade un fundente (sílice, cal) que sirve de ligante así se obtienen productos a la vez muy porosos (para favorecer la reducción posterior) y muy resistentes.

Se utilizan diferentes aparatos: horno rotativo, convertidores Dwight Lloyd y Huntington-Heberlein aparato Greenwalt, etc.

Una de las máquinas más utilizadas en la sinterización y la más difundida es la de Dwight-Lloyd, en la cual, la carga cae automáticamente mediante una tolva de alimentación sobre una parrilla móvil sin fin. La carga pasa a continuación por debajo de un encendedor, el cual prende la superficie de la carga al penetrar ésta en la zona de aspiración. El dispositivo de encendido está formado en esencia por un quemador de forma especial que dirige los productos calientes de la combustión directamente a través de la superficie de la carga. Por debajo del emparrillado móvil que transporta la carga existe en la zona de aspiración una caja de viento o de aspiración. La caja de viento está conectada a un ventilador centrífugo de fuerte depresión, el cual aspira al aire a través de la carga a su paso por encima de la caja. Esto hace que el calor penetre a través del lecho que forma la carga que se quiere sinterizar. La profundidad del lecho suele variar la inmensa mayoría de las veces de 10 a 12.5 cm. con minerales de cobre y de 20 a 25 cm con minerales de hierro. La velocidad a que se mueve la cinta es tal que la sinterización se completa al llegar el material al extremo de la caja de vientos. El material sinterizado al alcanzar el otro extremo del emparrillado cae a una vagoneta dispuesta para recibirlo. La ventaja de esta máquina es que cada fase del proceso se realiza mecánicamente y automáticamente.

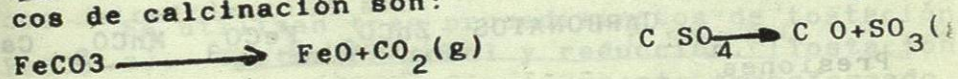
Un aparato con 13 metros de longitud y 1 metro de ancho tuesta aproximadamente 200 toneladas en 24 horas a una velocidad de 50cm/min.



proceso  
exotérmico

### MAQUINA DWIGHT-LLOYD

CALCINACION. - Se define con el nombre de calcinación, la descomposición de un compuesto químico con producción de un sólido y un gas. El sólido que se obtiene normalmente es un óxido. Ejem. típicos de calcinación son:



También se puede definir como la disociación térmica de los carbonatos bajo el efecto de una elevación de temperatura, ejem. descomposición de carbonato de hierro:  $\text{FeCO}_3 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{FeO}$

Sería ventajoso, desde el punto de vista de consumo posterior de carbono, detenerse en el óxido ferroso, pero no se puede impedir su oxidación inmediata, en óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). ó en óxido magnético ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) por el exceso de aire en el ho-