



CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Oswaldo Pavez

INTRODUCCIÓN

- **Los métodos de separación por gravedad (concentración gravítica o gravimétrica) se usan para tratar una gran variedad de minerales, que varían desde los sulfuros metálicos pesados hasta carbón, en algunos casos con tamaños del orden de los micrones.**
- **En los últimos años, muchas compañías han re-evaluado los sistemas gravimétricos debido al incremento en los costos de los reactivos de flotación, la relativa simplicidad de los proceso gravimétricos y a a que producen poca contaminación ambiental.**
- **Actualmente, las técnicas más modernas que se aplican en este tipo de concentración incluyen equipos que aprovechan la fuerza centrífuga para la separación de partículas finas. Entre estas tecnologías modernas se pueden citar las siguientes : el concentrador centrífugo Knelson, el concentrador centrífugo Falcon, el jig centrífugo Kelsey y el Separador de Gravedad Múltiple (MGS) Mozley.**

PRINCIPIOS DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

- **Los métodos de concentración gravimétrica se utilizan para la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad y, últimamente, las tecnologías modernas aprovechan también la fuerza centrífuga para la separación de los minerales.**
- **En este tipo de separación se generan dos o tres productos : el concentrado, las colas, y en algunos casos, un producto medio (“middling”).**
- **Para una separación efectiva en este tipo de concentración es fundamental que exista una marcada diferencia de densidad entre el mineral y la ganga. A partir del llamado **críterio de concentración**, se tendrá una idea sobre el tipo de separación posible.**

CRITÉRIO DE CONCENTRACIÓN

- El criterio de concentración utilizado en la separación gravimétrica es el siguiente :

$$\frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

- Donde :
- D_h = densidad relativa del mineral pesado.
- D_l = densidad relativa del mineral liviano.
- D_f = densidad relativa del medio fluido.
- En términos generales, cuando el cociente es mayor que 2,5, ya sea positivo o negativo, la separación gravimétrica es relativamente fácil. A medida que el cociente disminuye, la eficiencia de la separación disminuye; valores menores que 1,25 indicarían que la concentración por gravedad, por lo general, no sería posible comercialmente.

MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR GRAVEDAD

- **En general, los métodos de separación por gravedad se agrupan en tres categorías principales :** **a) Separación por medios densos**, en el cual las partículas se sumergen en un baño que contiene un fluido de densidad intermedia, de tal manera que algunas partículas floten y otras se hundan; **b) Separación por corrientes verticales**, en la cual se aprovechan las diferencias entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas, como es el caso del jig; y **c) Separación en corrientes superficiales de agua o “clasificación en lámina delgada”**, como es el caso de las mesas concentradoras y los separadores de espiral.

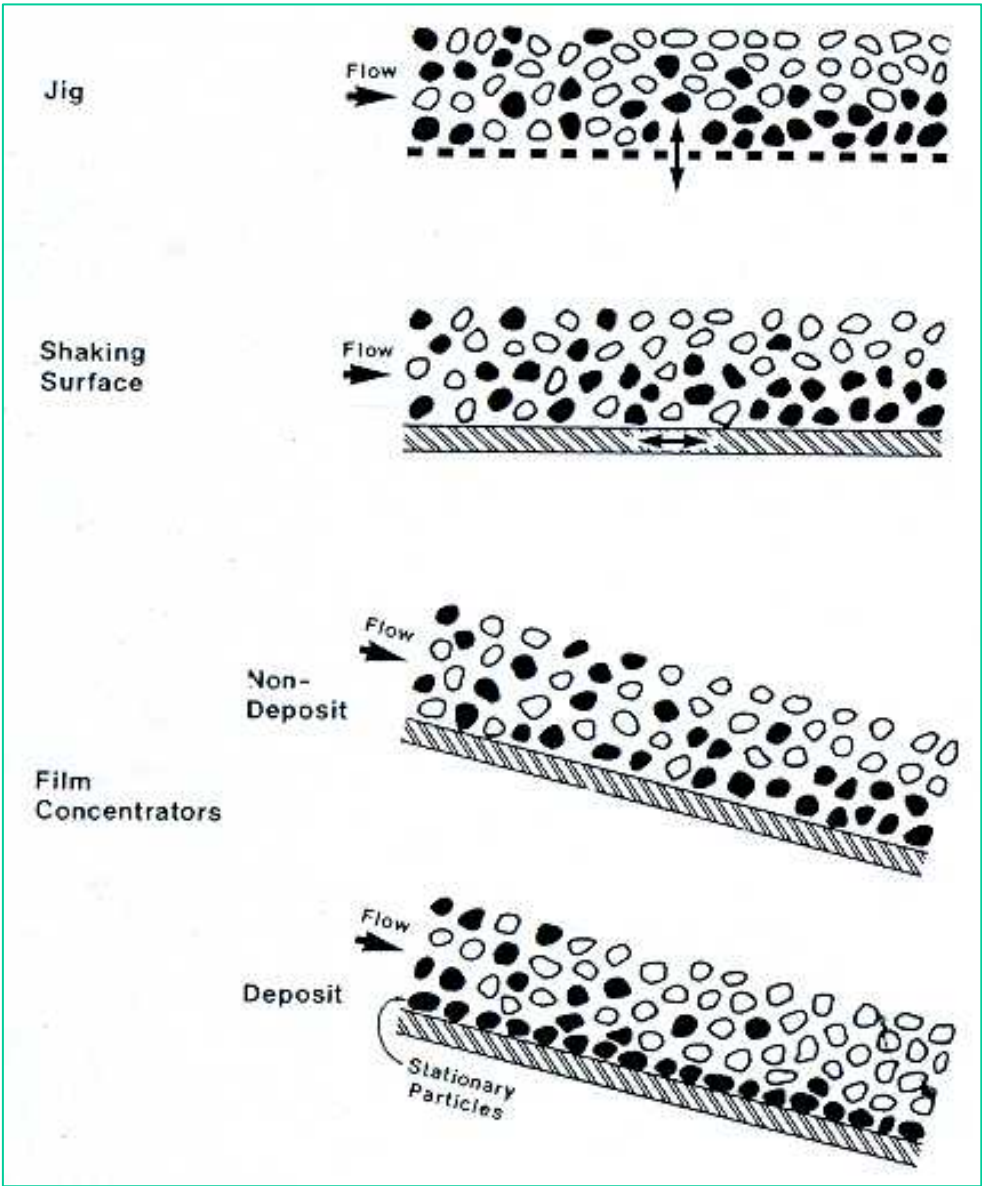
EFECTO DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

- **El movimiento de una partícula dentro de un fluido depende no solamente de su densidad relativa, sino también de su tamaño, así, las partículas grandes serán más afectadas que las pequeñas.**
- **La eficiencia de los procesos de separación gravimétrica, por lo tanto, aumenta con el tamaño de las partículas. Las partículas pequeñas en las cuales su movimiento es dominado principalmente por la fricción superficial, responden relativamente mal a los métodos de concentración gravimétrica. Sin embargo, los avances conseguidos en los últimos años en nuevos diseños de equipos (concentradores centrífugos), los cuales aprovechan la fuerza centrífuga para la separación del concentrado y las colas, han permitido el tratamiento de partículas finas con una considerable eficiencia.**
- **En la práctica, es necesario un estrecho control del tamaño de la alimentación a los equipos gravimétricos, para reducir el efecto del tamaño y hacer que el movimiento relativo de las partículas dependa de la densidad de ellas.**

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS

- Los métodos gravimétricos se pueden dividir en los siguientes tipos:
- **1. MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN EN MEDIO DENSO** : en estos métodos el medio en el cual se produce la separación tiene una densidad intermedia con respecto a las densidades de las especies que se quieren separar. Existen dos tipos de separadores en medio denso : **estático y dinámico.**
- **2. MÉTODOS DE CONCENTRACIÓN EN CORRIENTES** : en estos métodos la densidad del medio es inferior a las densidades de las especies que se quieren separar. Existen diferentes tipos de separación en corrientes : **corrientes verticales; corrientes longitudinales (escurrimiento laminar y escurrimiento en canaletas); corrientes oscilatorias; y corrientes centrífugas.**

CARACTERÍSTICAS DE LOS MÉTODOS DE SEPARACIÓN POR CORRIENTES



SEPARACIÓN EN MEDIOS DENSOS

SEPARACIÓN EN MEDIOS DENSOS

- La separación en medios densos consiste en separar sólidos en función de sus densidades **usándose como medio un fluido de densidad intermedia**, donde el sólido de densidad menor flota y el de densidad más alta se va al fondo (se hunde).
- Los medios densos usados son : **líquidos orgánicos, solución de sales en agua, suspensiones de sólidos de granulometría fina en agua.**
- La separación en medio denso se divide en dos métodos básicos de separación : **estáticos y dinámicos.**
- En un medio denso la separación es posible con menas en la que los minerales estén regularmente unidos. Si los minerales valiosos están finamente diseminados, no se puede desarrollar una diferencia apropiada de densidad entre las partículas trituradas por aplicación de chancado grueso.

SEPARACIÓN ESTÁTICA

- La separación estática se caracteriza por el uso de aparatos concentradores con recipientes de varias formas, donde la separación se realiza en un medio relativamente tranquilo bajo la influencia de simples fuerzas gravitacionales. La única fuerza actuante es la fuerza de gravitacional.
- La separación se realiza en **estanques, tambores, vasos, conos**. Los separadores de cono son ideales para el tratamiento de carbón grueso americano. Los de tambor son adecuados para carbones europeos.
- Teóricamente cualquier tamaño de partícula puede ser tratado por medio denso. Prácticamente, en la separación estática se trabaja en un rango granulométrico de **150 mm (6 pulg) a 6 mm (1/4 pulg)**, pudiéndose tratar tamaños de hasta **14 pulgadas**.

SEPARADOR POR MEDIOS DENSOS DEL TIPO TAMBOR

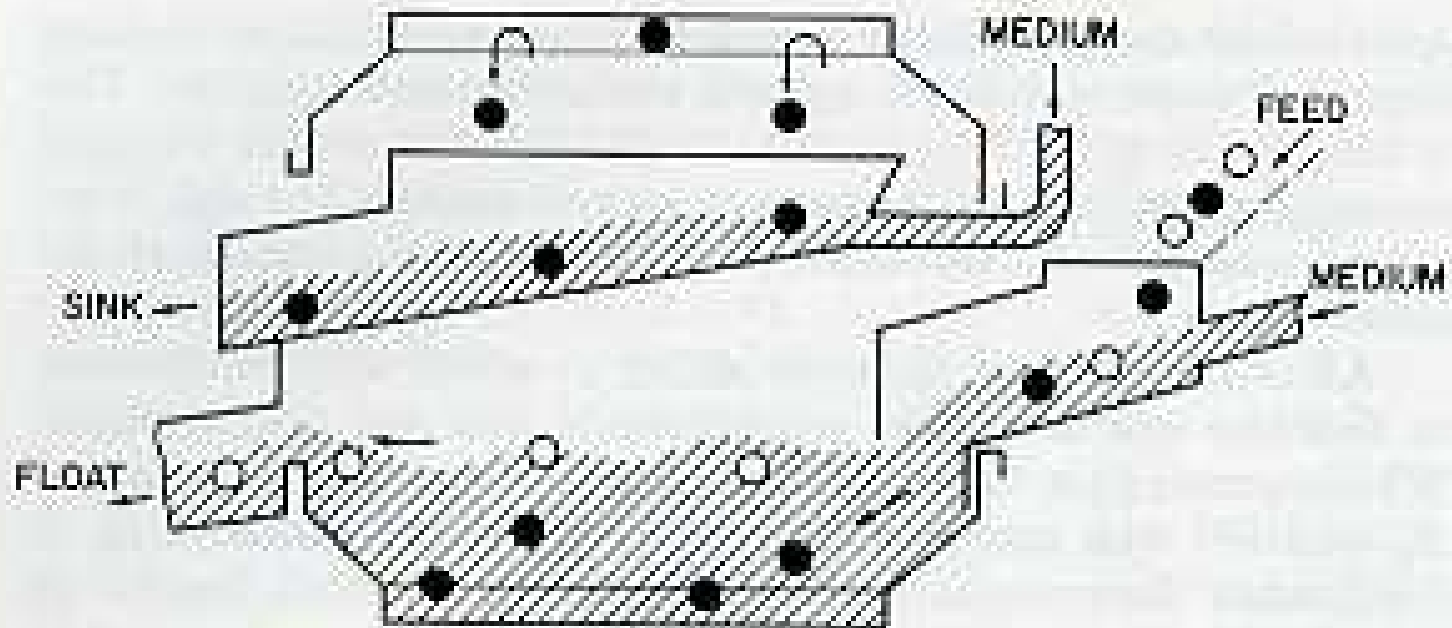
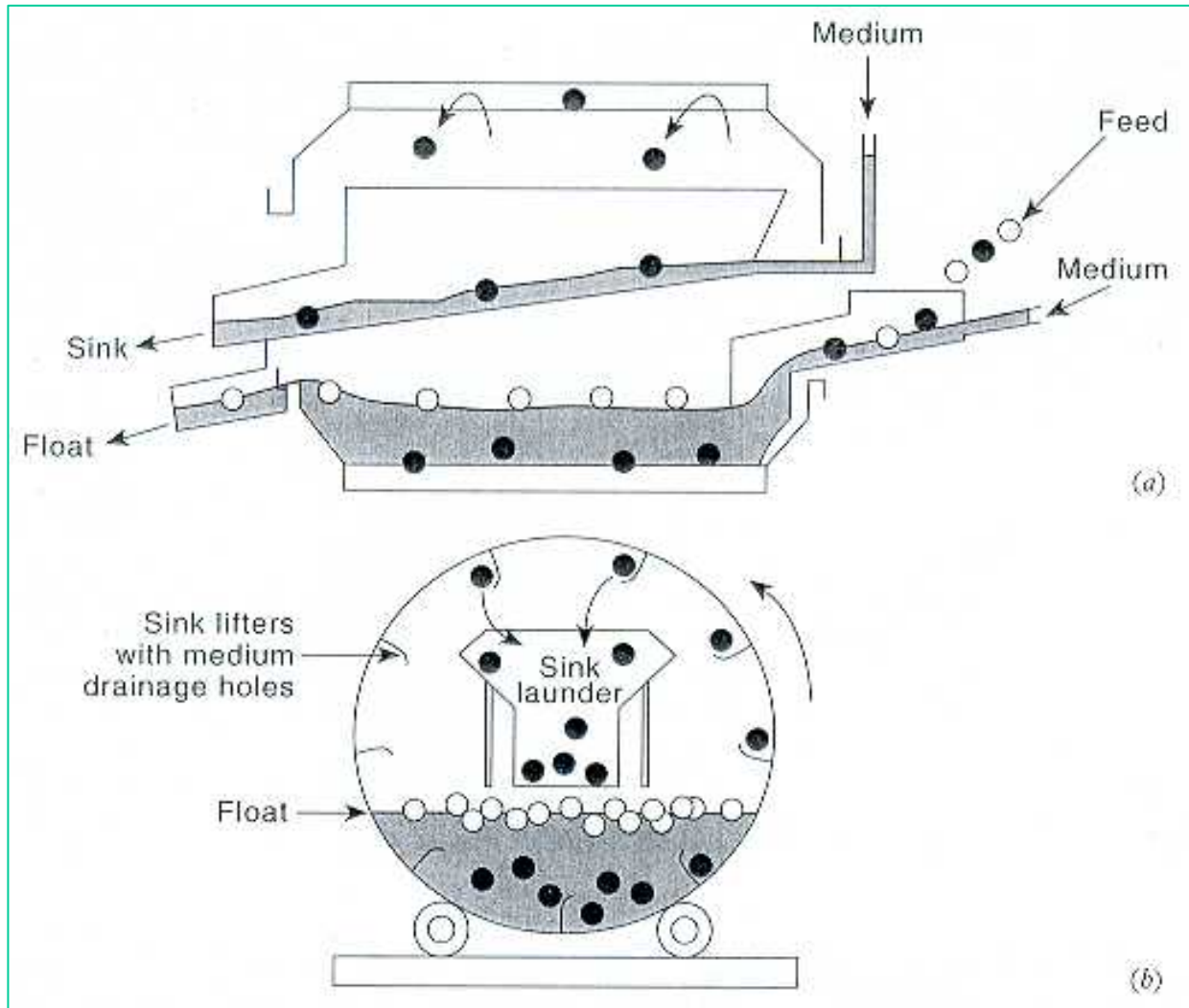
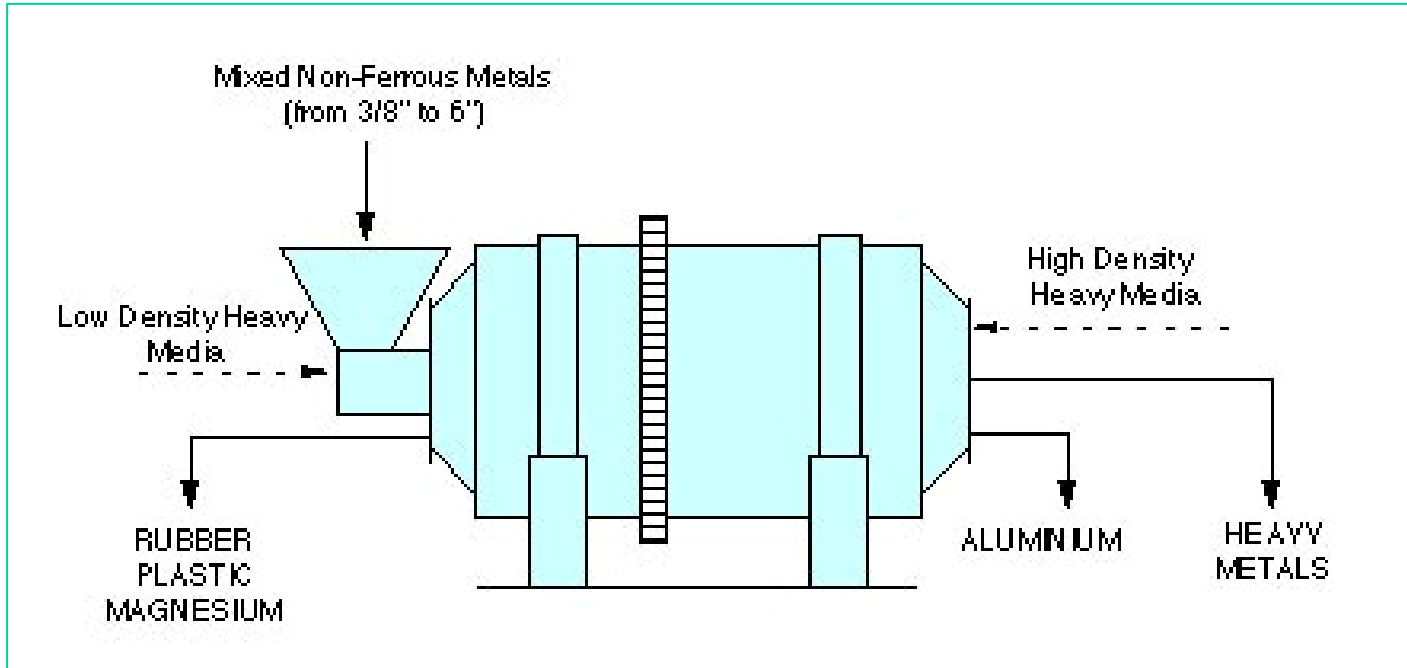
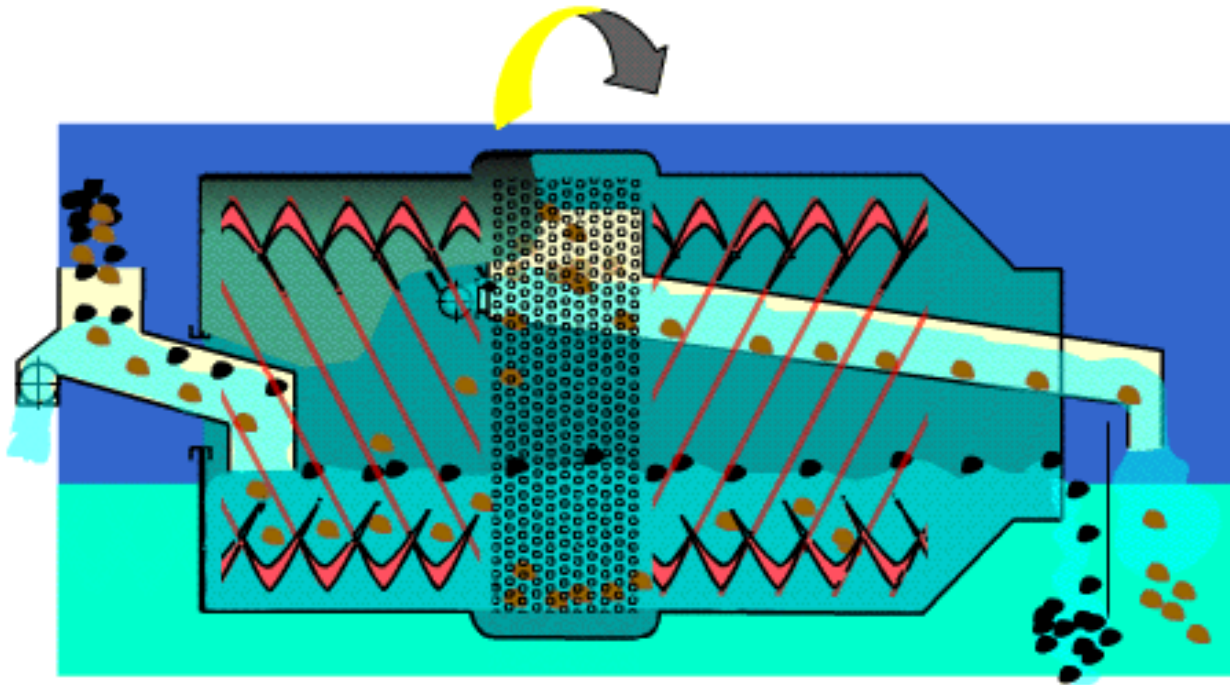


FIG. 10. Schematic representation of drum-type vessel (courtesy WEMCO).

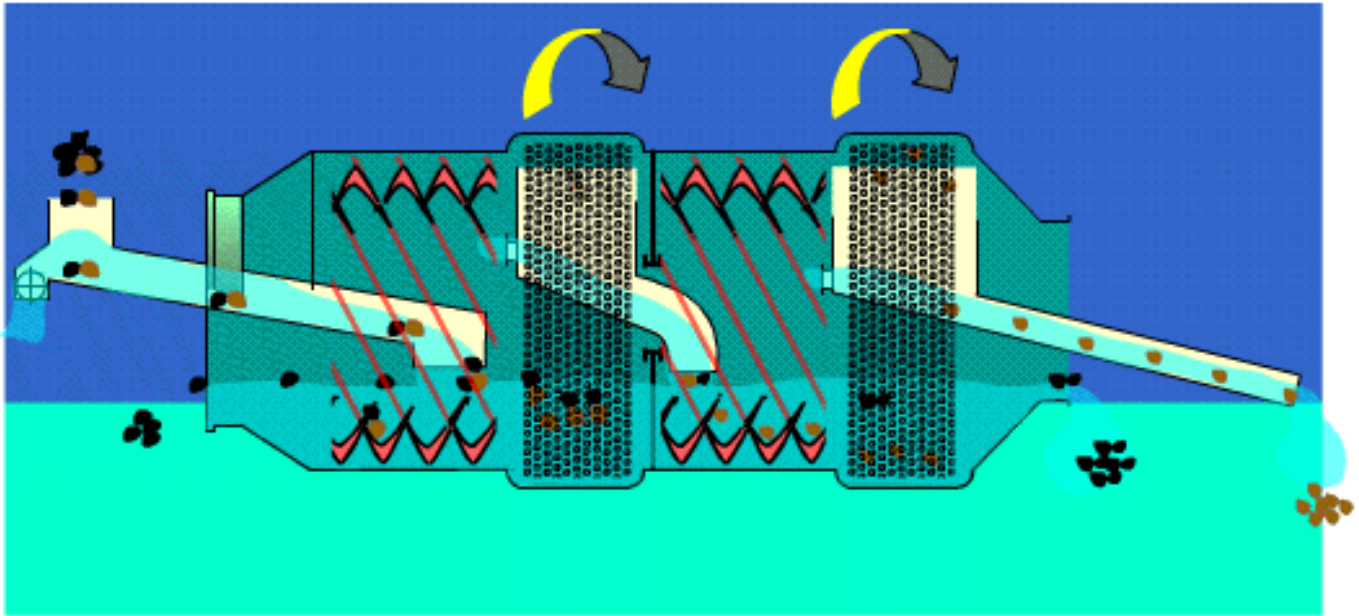




SEPARADOR EN MEDIO DENSO DEL TIPO TAMBOR



SEPARADOR EN MEDIO DENSO DEL TIPO TAMBOR



SEPARACIÓN DINÁMICA

- La separación dinámica se caracteriza por el uso de separadores que emplean fuerzas centrífugas, las cuales pueden ser hasta 20 veces mayores que la fuerza de gravedad que actúa en la separación estática.
- En la separación dinámica el tamaño máximo que se puede tratar varía de 50 mm (2 pulg) hasta 18 mm (3/4 pulg), siendo el mínimo de 0,5 mm (28 mallas) a 0,2 mm (65 mallas).
- Los equipos más importantes son los ciclones, no obstante existen otros equipos importantes como el Dyna-Whirlpool y el separador Vorsyl.

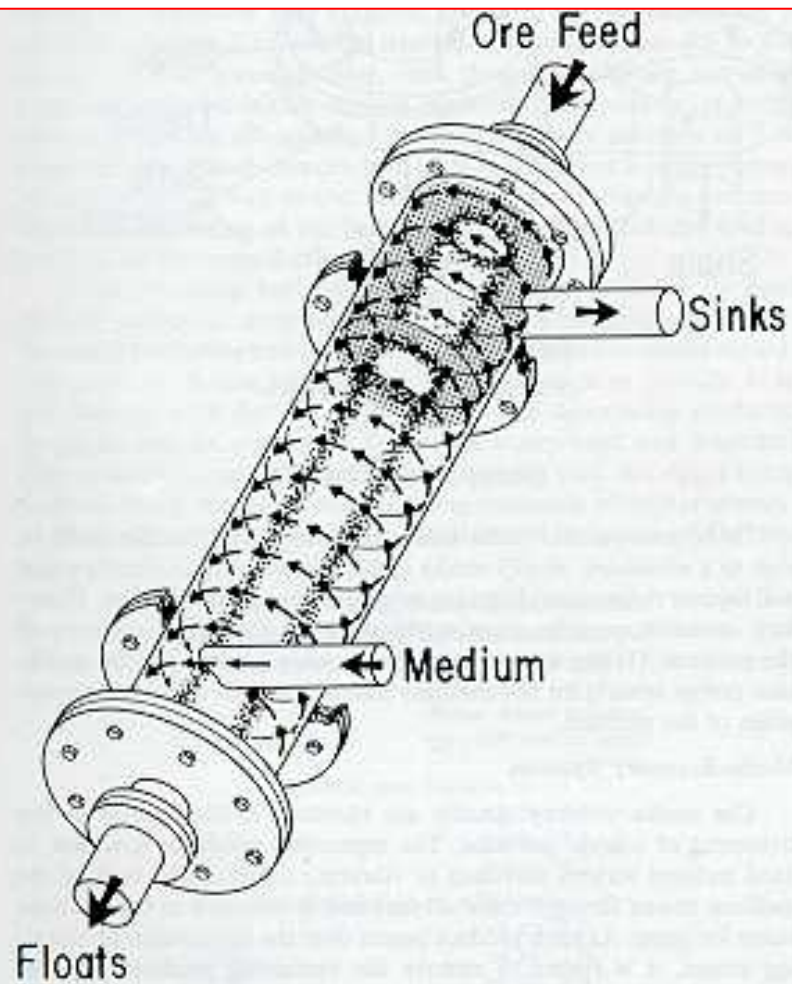
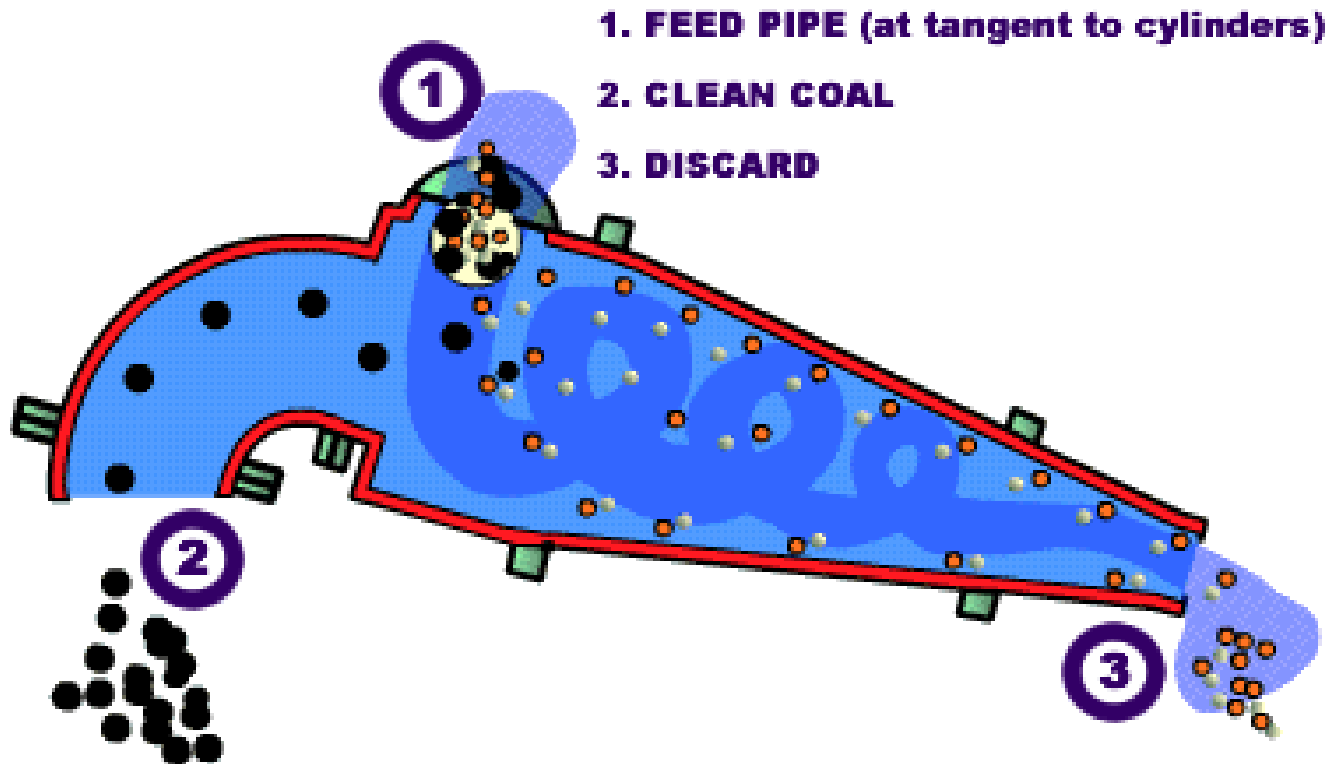


FIG. 14. Cutaway view of a DynaWhirlpool vessel.¹⁴

CICLÓN DE MEDIO DENSO



MEDIOS DENSOS

- **El medio denso ideal sería un líquido que tuviera las siguientes propiedades : barato, miscible en agua, estable, no tóxico, no corrosivo, de baja viscosidad y de densidad ajustable en un gran intervalo.**
- **Como no existe un líquido ideal, varios medios han sido desarrollados y usados comercialmente.**
- **Prácticamente, un medio denso se debe caracterizar por : a) barato en el local de uso; b) estable físicamente; c) fácilmente recuperable; d) químicamente inerte, para no atacar ciertos minerales; e) fácilmente removible de los productos de separación; f) tener baja densidad; g) tener una estabilidad que pueda mantenerse en el intervalo de densidad requerida.**
- **Tres tipos de medios densos son usados comercialmente : líquidos orgánicos, sales disueltas en agua y suspensiones de sólidos de granulometría fina en agua.**

LÍQUIDOS ORGÁNICOS

- Los líquidos orgánicos tienen **baja viscosidad, son estables y prácticamente inmiscibles en agua.**
- Su **aplicación industrial es limitada debido a que generalmente se descomponen químicamente, son tóxicos, corrosivos y de costo elevado.**
- Debido a los **problemas de toxicidad de estos líquidos densos su uso es muy restringido, y si se usan, debe hacerse con mucho cuidado.**
- Los **líquidos más utilizados son los siguientes : yoduro de metileno ($d=3,32$); tetrabromoetano ($d=2,96$); bromoformo ($d=2,89$); pentacloroetano ($d=1,67$); tetracloruro de carbono ($d=1,50$).**
- Algunos líquidos pueden mezclarse con tetracloruro de carbono y dar una **variedad de densidades menores, por ejemplo : al mezclar bromoformo con tetracloruro de carbono se obtienen densidades de 1,58 a 2,89.**

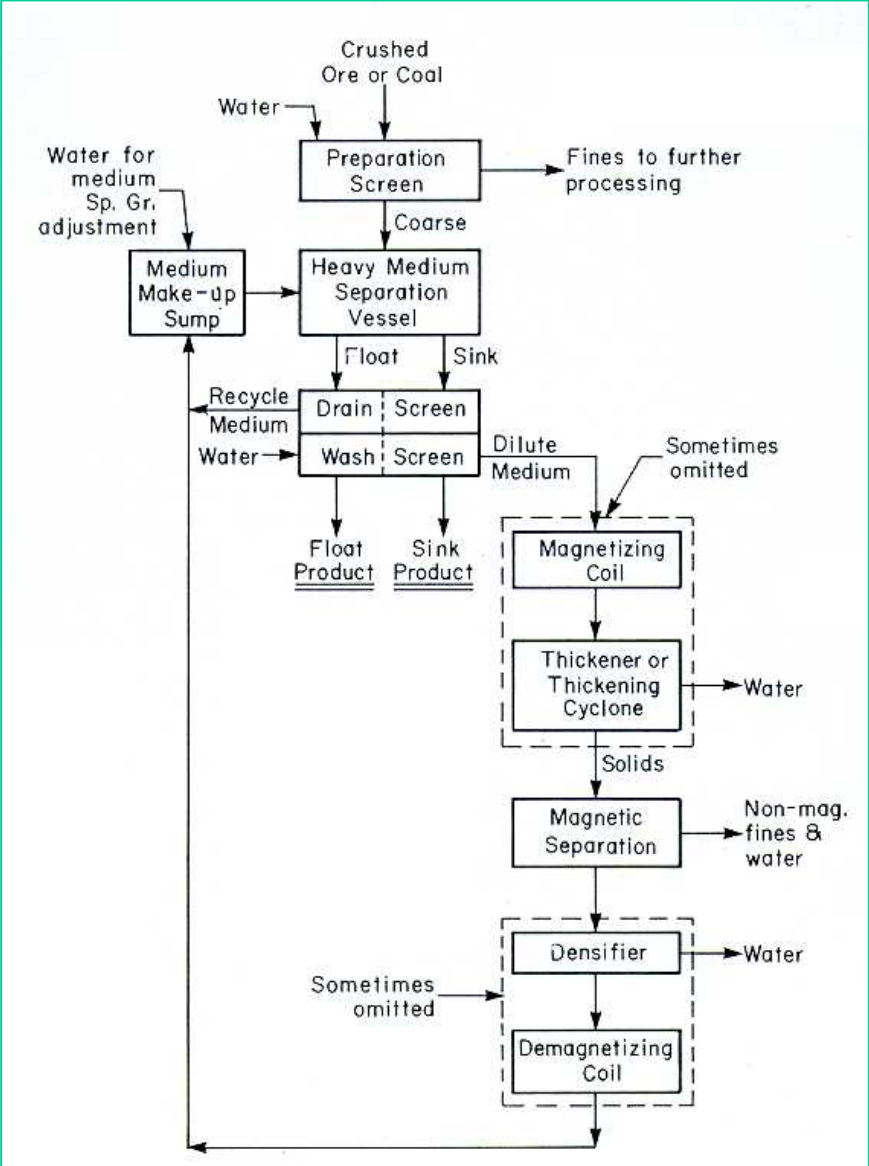
SUSPENSIONES DE SÓLIDOS

- Se definen como líquidos en los cuales sólidos insolubles se dispersan manteniendo sus características de fluidez.
- Los factores principales que se consideran en la elección del sólido para las suspensiones son : a) dureza alta; b) peso específico alto; c) estabilidad química (resistencia a la corrosión); d) sedimentación lenta y viscosidad tolerable; e) distribución granulométrica, tamaño y forma de los granos.
- Los materiales normalmente usados en las suspensiones son : arcillas, cuarzo, barita, magnetita, galena, fierro-silicio molido o atomizado y plomo atomizado.
- El fierro-silicio es el material más utilizado, alcanzándose densidades de hasta 3,5 g/cc.
- Las mezclas de Fe-Si tienen entre 15 a 22% de Si, y se recuperan por separación magnética de baja intensidad para su reutilización.

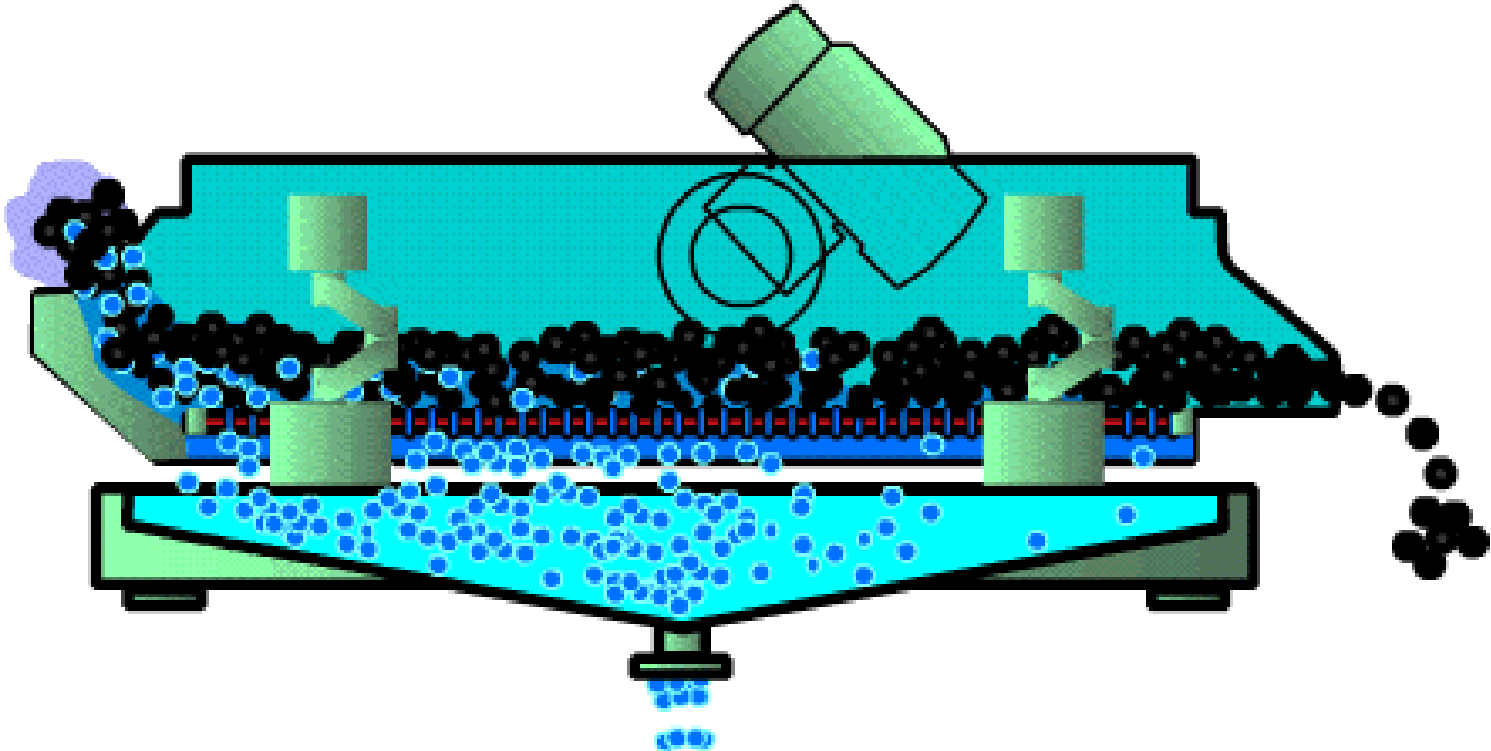
RECUPERACIÓN DEL MEDIO DENSO

- **En general la recuperación del medio denso se efectúa de la siguiente forma :**
- *** Los productos de la separación, livianos y pesados, se retiran del aparato utilizado como parte de la suspensión y alimentan cada uno de los harneros de drenaje con parrilla de acuerdo a la granulometría de la mena tratada.**
- *** El medio denso pasa por la malla del harnero y va a un estanque de stock.**
- **Los productos van a un harnero de lavado donde se retiran las partículas que las recubren, siendo los productos finales de la separación.**
- *** El material que pasa por la malla, contaminado con finos de la mena, es concentrado para retirarle esos finos.**
- *** Los procesos de concentración que se usan son : flotación para recuperar galena, separación magnética para fierro-silicio y magnetita, clasificación para arenas.**
- *** El concentrado se desagua (clasificadores de espiral y espesadores) y retorna al estanque de stock donde se junta al medio denso drenado, siendo entonces recirculado.**

CIRCUITO DE RECUPERACIÓN DEL MEDIO DENSO



HARNERO EN HÚMEDO PARA RECUPERACIÓN DEL MEDIO DENSO



APLICACIONES DE LA SEPARACIÓN POR MEDIOS DENSOS

- Las aplicaciones de la concentración por medios densos serían las siguientes :
- **Producción de concentrado final : carbón y algunos minerales industriales.**
- **Pré-concentración : diamante, sulfuros y óxidos metálicos.**

SEPARACIÓN EN CORRIENTES VERTICALES

SEPARACIÓN EN CORRIENTES VERTICALES

- A pesar que en estos métodos también están presentes las fuerzas de separación de corrientes longitudinales, los efectos causados por las corrientes verticales les confieren características propias y por eso son estudiados en forma separada.
- El equipo que utiliza corrientes verticales para la concentración de minerales es **el jig**, en los cuales las corrientes verticales son generadas por el movimiento de pulsaciones en el agua.

TIPOS DE JIGS

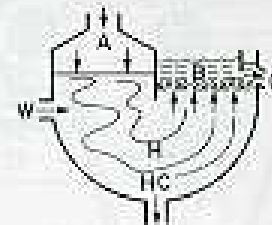
- Los jigs de parrilla fija se pueden dividir en los siguientes tipos :
- **1. JIGS DE PISTÓN** : en los cuales el movimiento de pulsación es producido por un pistón ubicado en un estanque de agua.
- **2. JIGS DE DIAFRAGMA** : en los cuales las pulsaciones son producidas por movimientos alternados de una pared elástica del propio estanque.
- **3. JIGS PULSADORES** : en los cuales las pulsaciones son producidas por chorros discontinuos periódicos del agua y del aire.

CARACTERÍSTICAS DE LOS JIGS

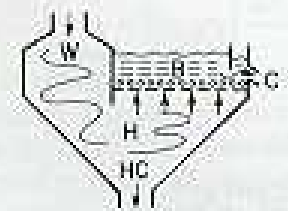
- **Hay diferentes tipos de jigs, los cuales difieren por la geometría, accionamiento, y otros detalles de construcción. A pesar de la gran variedad de jigs se puede decir que ellos se componen de los siguientes elementos básicos:**
- **Una caja fija, en cuyo interior el medio fluido sufre el movimiento de impulsión y succión.**
- **Un mecanismo de accionamiento, generalmente compuesto de motor, pistón, sistema de lubricación, etc.**
- **Una criba para mantener el lecho.**
- **Un sistema de descarga del flotado y del hundido.**
- **En cuanto al sistema de accionamiento, existen jigs con accionamiento mecánico, hidráulico-mecánico, hidráulico y neumático.**
- **Varios factores ejercen influencia en la estratificación obtenida en un jig, entre estos se pueden señalar el tipo de lecho, distribución de la mena, distribución del agua, frecuencia, amplitud, etc.**

Table 33. Fixed-Bed Jig Types

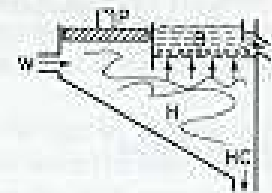
| Type and machines | Pulsing mechanism | Stroke modification |
|---|---------------------------------|--|
| 1. Baum Jeffrey Link-Belt McNally- Pittsburgh Tacub, Batac | Air pulsion | Air discharge control |
| 2. Richards Pan-American Pulsator | Water pulsion | Water valve control |
| 3. Harz Cooley, Collum Woodbury Denver-Harz | Mechanical piston | Differential piston action |
| 4. Denver MS | Mechanical diaphragm | Water valve pulsion |
| 5. Bendelari | Mechanical diaphragm (internal) | None |
| 6. Yuba Jeffrey Rouss Cleveland-IHC | Mechanical diaphragm (side) | Differential stroke, hydraulic or mechanical |
| 7. Pan-American Placer Kreut Remer | Moving hutch | Mechanical |
| 8. Russian MOBK | Pneumatic piston | Air release control |



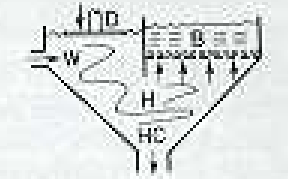
1



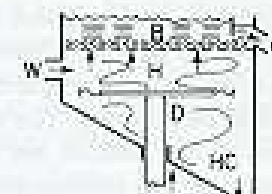
2



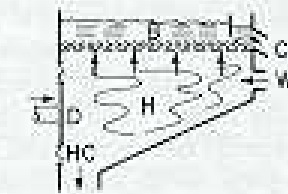
3



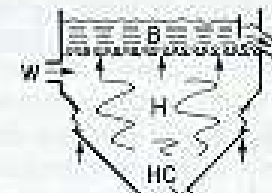
4



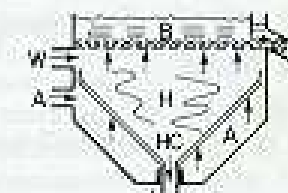
5



6



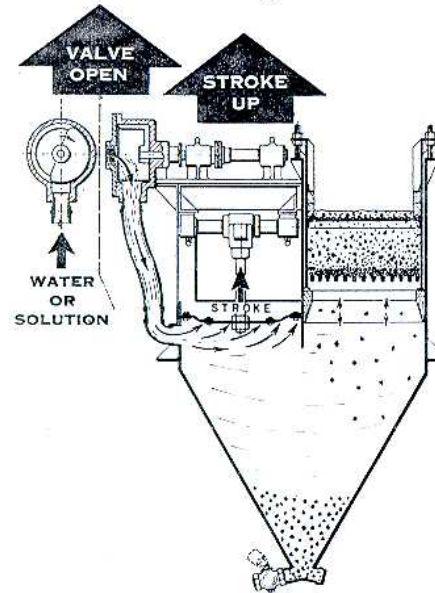
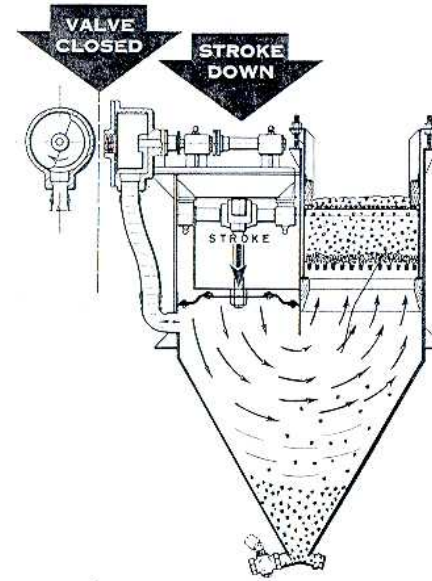
7



8

W = water inlet, H = hutch, B = jig bed, C = concentrate, D = diaphragm, P = piston.

JIG DENVER EN OPERACIÓN



EFFECTOS PRINCIPALES PARA LA ESTRATIFICACIÓN DE LOS MINERALES EN LOS JIGS

- Según Gaudin, tres son los efectos principales que contribuyen para la estratificación de las especies minerales en el jig :
 - **1. Clasificación por caída retardada de las partículas.**
 - **2. Aceleración diferencial al inicio de la caída.**
 - **3. Consolidación intersticial en el final de la caída.**

CLASIFICACIÓN POR CAÍDA RETARDADA DE LAS PARTÍCULAS EN EL JIG

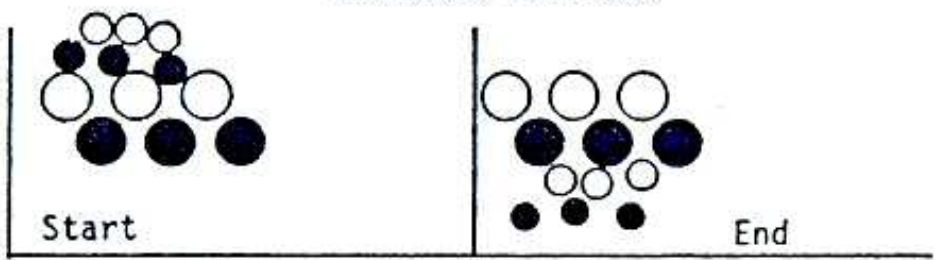
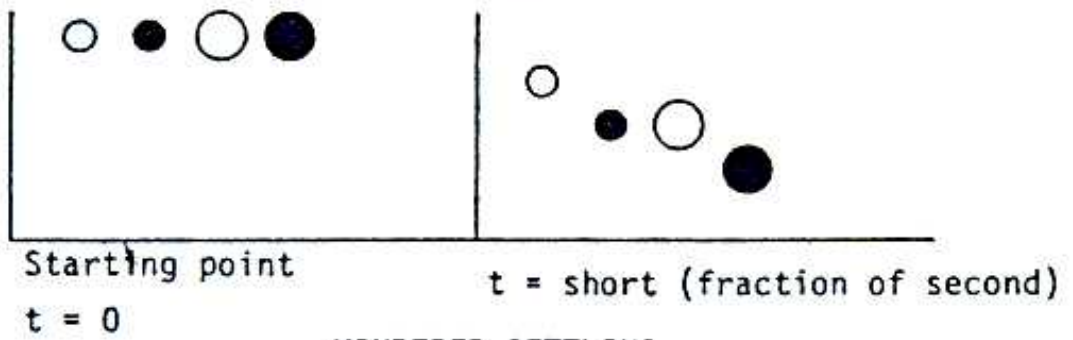
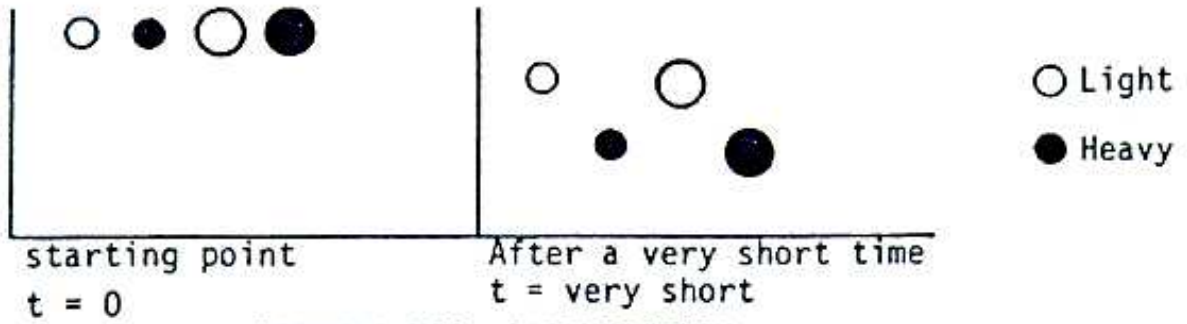
- Consideremos una mezcla de partículas en una columna hidráulica, donde existen corrientes ascendentes en su interior. **La fuerza gravitacional ejercida en las partículas será en dirección contraria a la fuerza producida por las corrientes.**
- Así, las partículas se dividen en dos categorías : aquellas en que la fuerza de gravedad es mayor que la impuesta por la corriente ascendente, y que por lo tanto, se acumularán en el fondo, y aquellas partículas que no tienen esta fuerza gravitacional y serán arrastradas por la corriente ascendente.
- Estas partículas en sedimentación pueden chocar entre sí, alterando el régimen de caída libre para caída retardada. Este es el caso del jig.
- La razón de separación es mayor en condiciones de caída retardada que en caída libre.

ACELERACIÓN DIFERENCIAL EN EL INICIO DE LA CAÍDA

- Cada partícula tendrá al inicio de la caída un determinado valor de aceleración que estará dado por la siguiente ecuación :
- $dv/dt = (1 - D_f/D_s)g$
- donde : D_f es la densidad del fluido y D_s la densidad del sólido.
- Se puede ver que la aceleración inicial depende del valor de la densidad del sólido y del fluido.
- Las partículas estarán más afectadas por la aceleración inicial, y por lo tanto, por su densidad, que por su velocidad terminal y por lo tanto por su tamaño.
- Como ejemplo se puede indicar lo siguiente : si se quiere separar partículas minerales pequeñas (pero pesadas) de partículas grandes (pero livianas), se necesita un jig de ciclo corto ya que en cada pulsación hay un inicio de un nuevo periodo de caída.

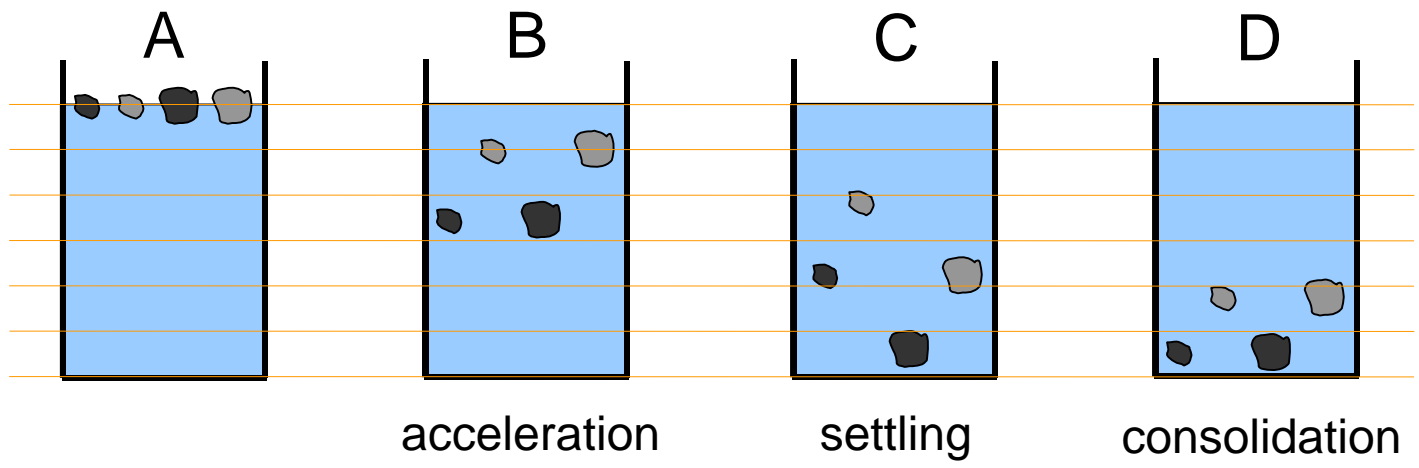
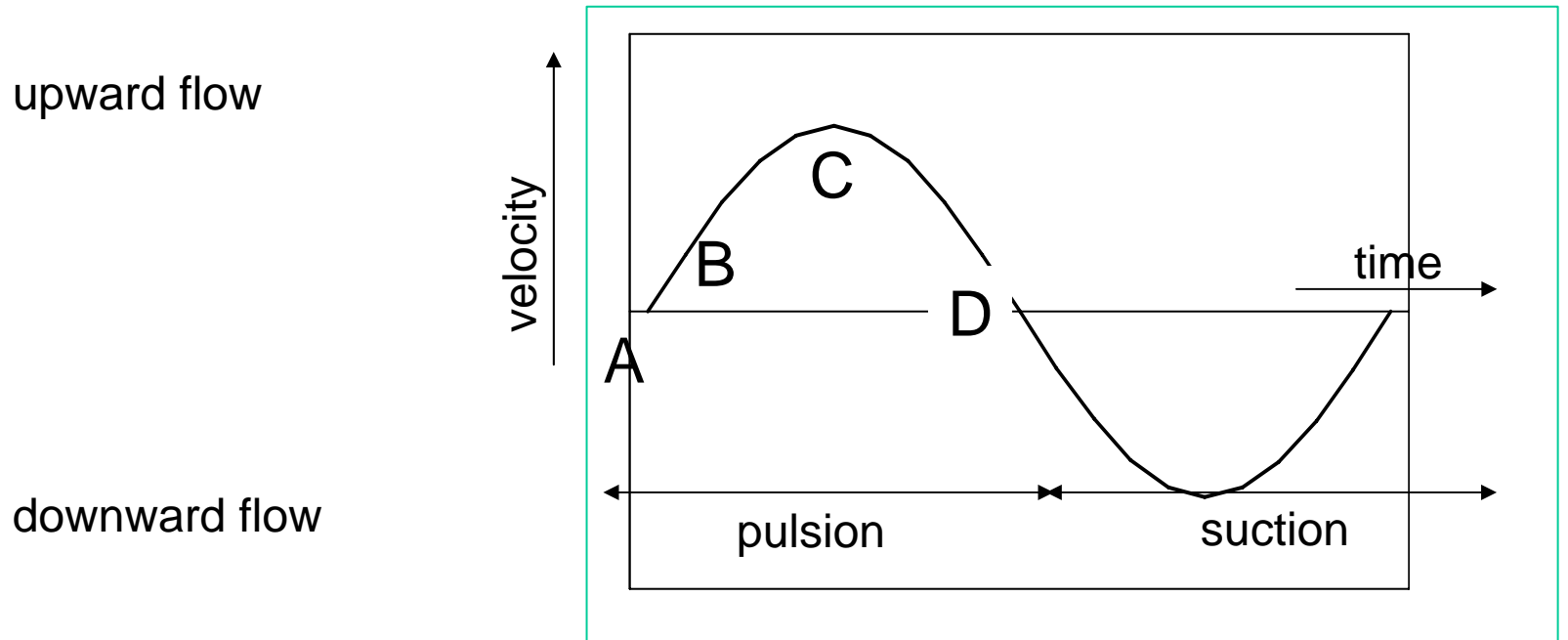
CONSOLIDACIÓN INTERSTICIAL AL FINAL DE LA CAÍDA

- Las diferentes partículas de la misma especie o especies diferentes no recorren las mismas distancias durante cada uno de los periodos de la caída a que son sometidas.
- Existe un espacio de tiempo en que las partículas pequeñas están depositadas sobre el lecho de partículas gruesas, las cuales están compactadas unas a otras, incapaces de moverse, mientras que las partículas pequeñas están libres.
- Las partículas pequeñas se depositan en los intersticios entre las partículas gruesas. La consolidación intersticial permite que los granos pequeños, pesados, se muevan a través de los intersticios, inclusive después que el lecho inicie su compactación. La recuperación de partículas finas depende de la duración del ciclo de consolidación.



INTERSTITIAL TRICKLING

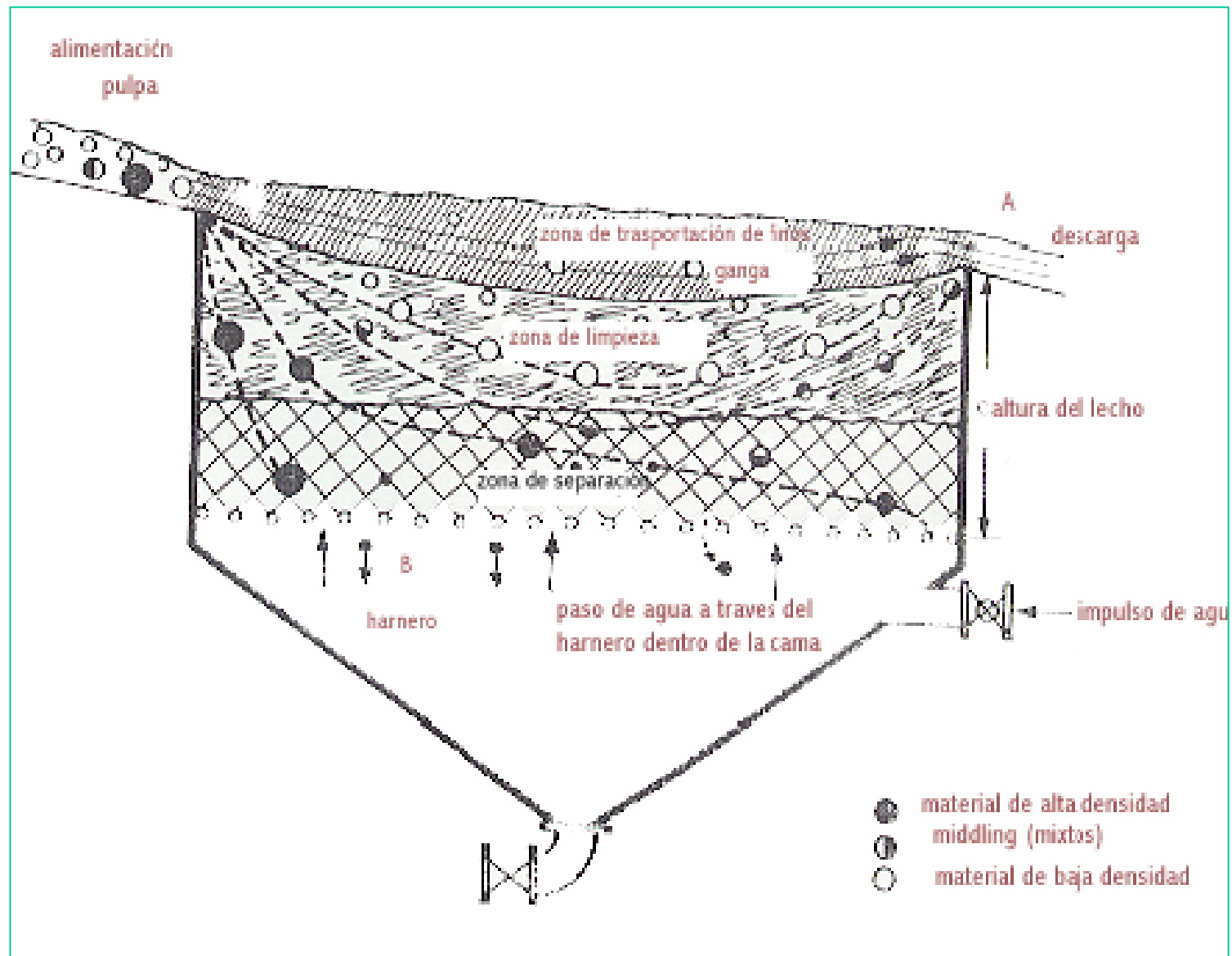
Phenomena during an idealised jiggging process



CAPAS EN EL INTERIOR DEL JIG

- En el jig se distinguen tres capas :
- **1. Capa superior o transportadora** : es responsable por el esparcimiento de la alimentación y por la rápida eliminación de lamas y otros materiales no deseados. Es una capa fina y fluida.
- **2. Capa rougher o desbastadora** : en ella las partículas livianas son inmediatamente eliminadas para la capa superior y las partículas de densidad indeterminada son rápidamente pasadas para la capa separadora.
- **3. Capa separadora** : es aquella que acepta y deja pasar las partículas pesadas y elimina los medios.

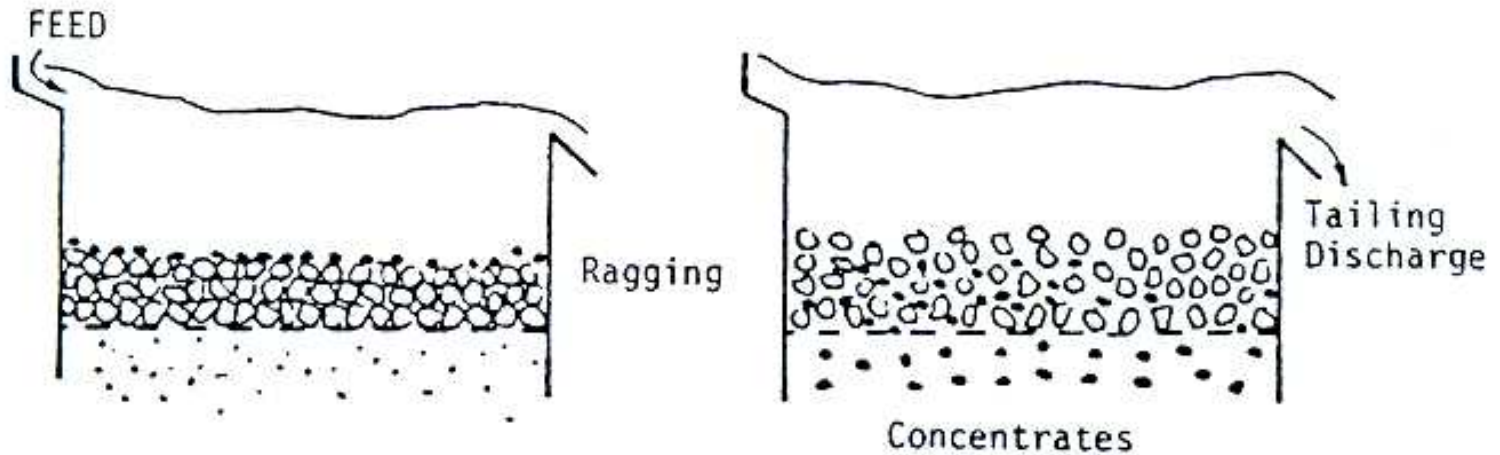
ZONAS AL INTERIOR DEL JIG



EL LECHO DEL JIG

- Los lechos utilizados en el jig pueden ser de varios materiales y de formas diferentes. Ellos pueden ser de bolas de acero, de fierro, de mena o de material con densidad intermedia. Se deben tener los siguientes cuidados :
 1. El lecho no debe tener una alimentación de partículas de tamaño inferior a la de la criba y ni de tamaño próximo a la dimensión de la abertura de él. Para evitar que se tapen los hoyos, **el lecho debe tener un tamaño mínimo igual a dos veces la abertura de la criba.**
 2. Un lecho de dimensión de partículas grandes podrá no desplazarse cuando sufre el impulso ascendente, anulando el efecto de jigagen.
 3. La altura del lecho, cuando es muy pequeña, puede producir un efecto de turbulencia que perturba el movimiento alternado de impulsión y succión. De modo general, cuanto más fina es la alimentación, más densa es la capa del lecho.

LECHO CERRADO Y LECHO ABIERTO EN EL JIG



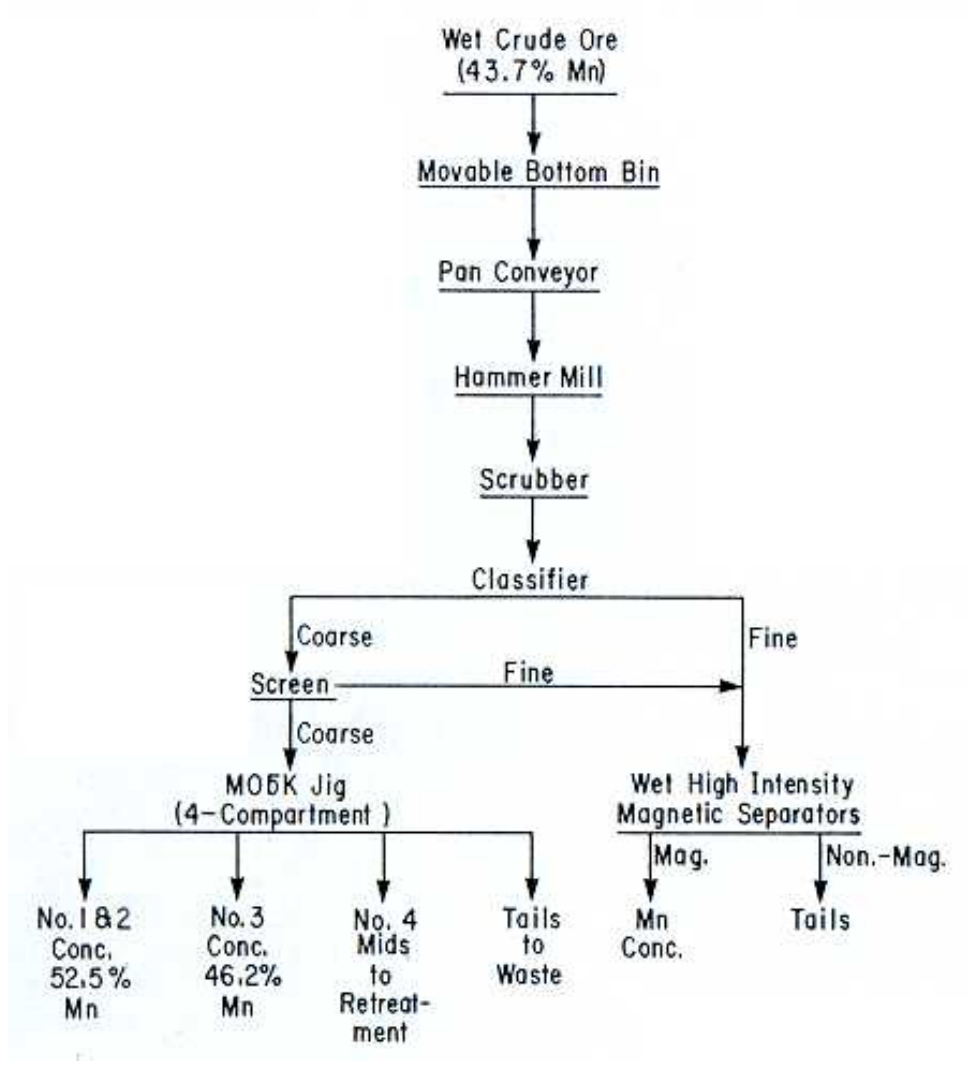
LA CRIBA DEL JIG

- **La abertura mínima de la criba debe ser igual a dos veces el tamaño de la partícula de la mena a ser concentrada, para evitar entupimiento de las aberturas.**
- **Se recomienda una abertura igual a tres veces el tamaño de la partícula mayor de la mena alimentada, entendida ésta como el tamaño de partícula cuyo porcentaje retenido acumulado sea 5%.**
- **Los materiales usados en las cribas son : acero, goma o poliuretano.**

APLICACIONES DEL JIG

- **La mayoría de los jigs actualmente empleados, actúan en el tratamiento de menas de aluvión o placer y en la preparación de carbón. Sin embargo los jigs también se aplica a diferentes menas metálicas (casiterita, scheelita, manganeso, plomo-zinc, fierro).**

CONCENTRACIÓN EN JIG DE UNA MENA DE MANGANESO



SEPARACIÓN EN CORRIENTES LONGITUDINALES

INTRODUCCIÓN

- **Corrientes longitudinales aplicadas a partículas en sedimentación producen al movimiento de caída un movimiento longitudinal. Durante la sedimentación, las partículas trazan trayectorias diferentes de acuerdo con el tiempo a que quedan expuestas a las corrientes longitudinales.**
- **Las partículas mayores y de mayor peso específico tienen mayor velocidad de caída, y sedimentan en primer lugar, próximo al punto de la alimentación. Las partículas menores y más livianas sufren mayor acción de transporte longitudinal, y son depositadas más lejos. Otras partículas son depositadas de acuerdo con sus velocidades de caída, que dependen de sus tamaños y pesos específicos. Partículas de tamaños y pesos específicos diferentes pueden depositarse en el mismo lugar, si obedecen lo señalado anteriormente.**

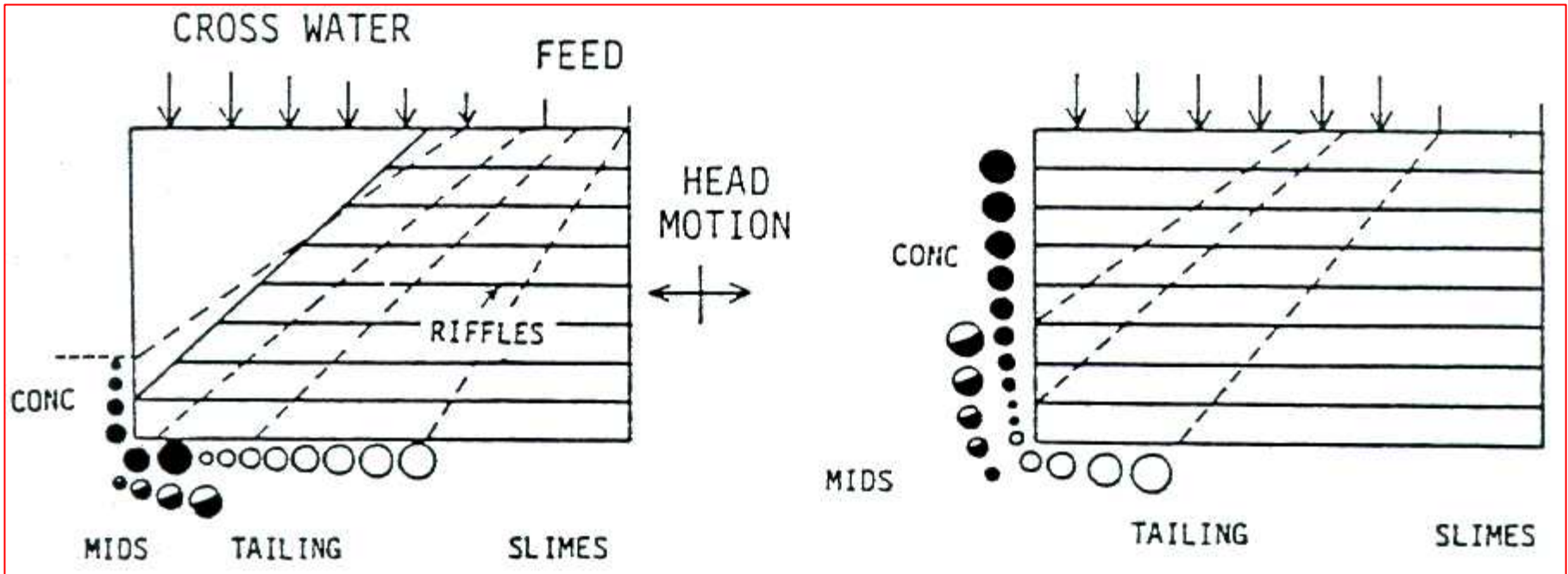
TIPOS DE ESCURRIMIENTOS LONGITUDINALES

- En la separación por corrientes longitudinales son observados dos tipos de escurrimientos: **el escurrimiento laminar y el escurrimiento en canaletas**. Entre los principales equipamientos en los cuales la concentración se realiza en régimen de escurrimiento laminar, se destacan las **mesas vibratorias, las espirales y los vanners**. Además de estos equipamientos, se puede citar, entre otros, la mesa de Bartles-Mozley. Esta mesa, se emplea para la concentración de minerales finos (entre 100 micrones a 5 micrones, pudiendo llegar, a 1 micrón) esta constituida de 40 superficies planas superpuestas y espaciadas entre sí, siendo la alimentación distribuida igualmente para cada plano. En la figura 4.1 se muestra la mesa de Bartles-Mozley. Por otra parte, la separación mediante régimen de escurrimiento en canaletas se presenta en **canaletas simples, canaletas estranguladas y cono Reichert**.

MESAS VIBRATORIAS

- Las mesas vibratorias son equipos de concentración que actúan a través de superficies con movimientos acelerados asimétricos, combinados muchas veces con el principio de escurrimiento laminar.
- La mesa Wilfley fue lanzada en 1895 y se constituyó en el principal modelo de mesa vibratoria. Después de constatarse su eficiencia su uso se propagó y surgieron nuevos modelos.
- La principal modificación de la mesa Wilfley fue el cubrimiento parcial del tablero con *riffles* paralelos al eje longitudinal, lo que permitió el tratamiento de alimentación gruesa y aumentó su capacidad. La mesa Wilfley dispone de un mecanismo que proporciona un movimiento de vibración lateral diferenciado en sentido transversal del flujo de la pulpa, que causa el desplazamiento de las partículas a lo largo de los *riffles*.

MESA VIBRATORIA PARCIAL Y TOTALMENTE RIFFLEADA



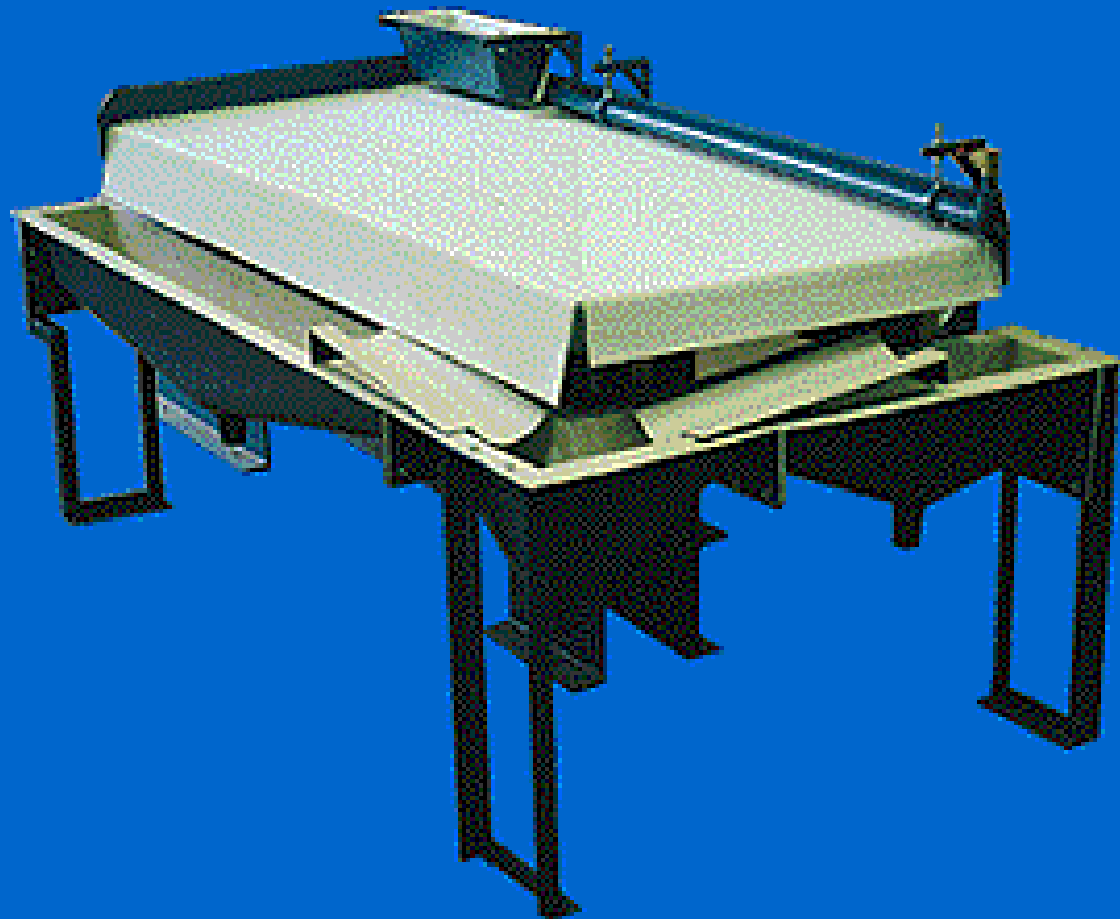
MESA CONCENTRADORA WILFLEY DE LABORATORIO

500 & 800



MESA CONCENTRADORA WILFLEY INDUSTRIAL

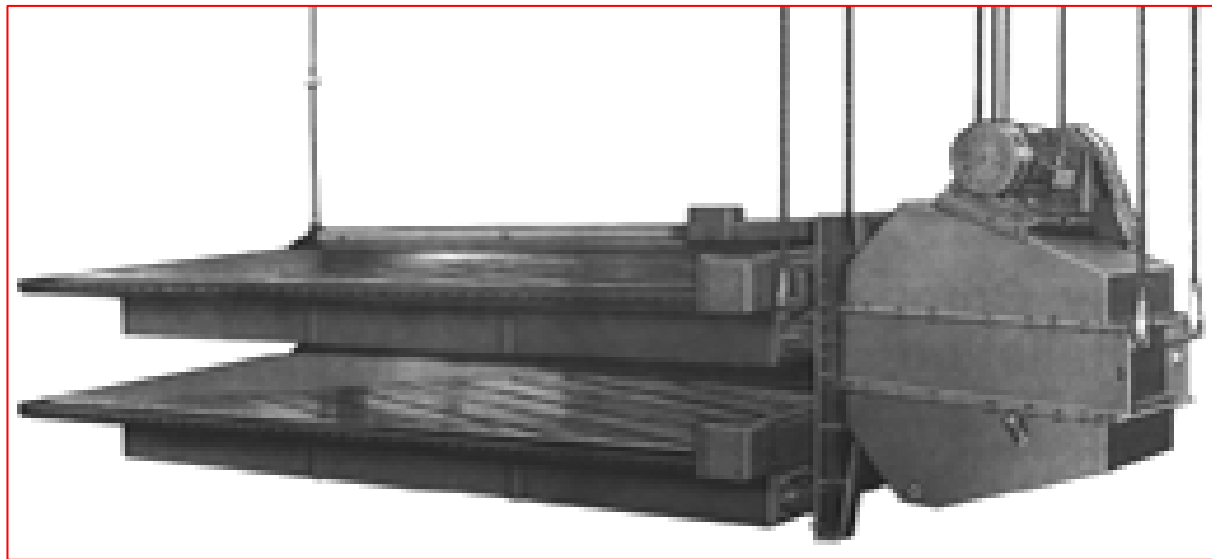
3000



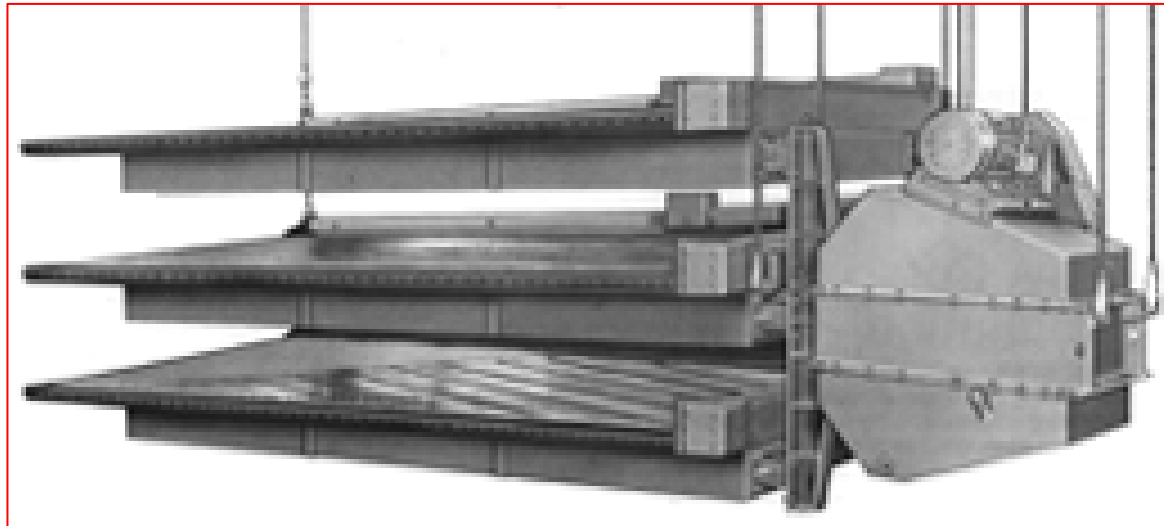
MESA CONCENTRADORA ESCALA PILOTO



MESA CONCENTRADORA DEISTER CON 2 DECKS



MESA CONCENTRADORA DEISTER CON 3 DECKS



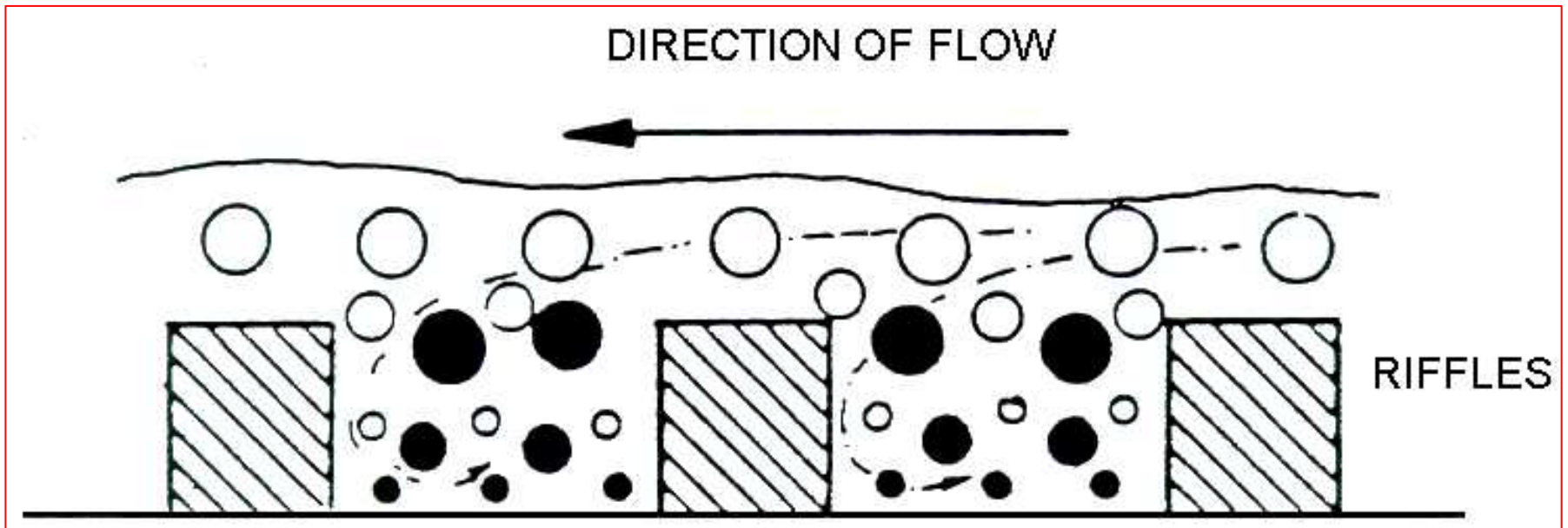


LOS RIFFLES DE LAS MESAS VIBRATORIAS

- Los *riffles* fueron introducidos con la siguiente finalidad :
 - a) Formar cavidades donde ocurre la formación de lecho y estratificación por acción semejante a la encontrada en el jig.
 - b) Ocultar las partículas pesadas para la transmisión de las vibraciones.
 - c) Exponer a las partículas grandes y livianas al flujo transversal de agua de lavado, después de la estratificación.
- Así, los *riffles* tienen la siguientes funciones :
 - a) Retener las partículas pesadas en el fondo.
 - b) Transmitir efectivamente la acción de estratificación del *deck* a la pulpa.
 - c) Tornar el flujo turbulento para producir la separación de las partículas entre ellos.

ESTRATIFICACIÓN VERTICAL DE LAS PARTÍCULAS ENTRE LOS RIFFLES

-



VARIABLES EN LA MESA VIBRATORIA

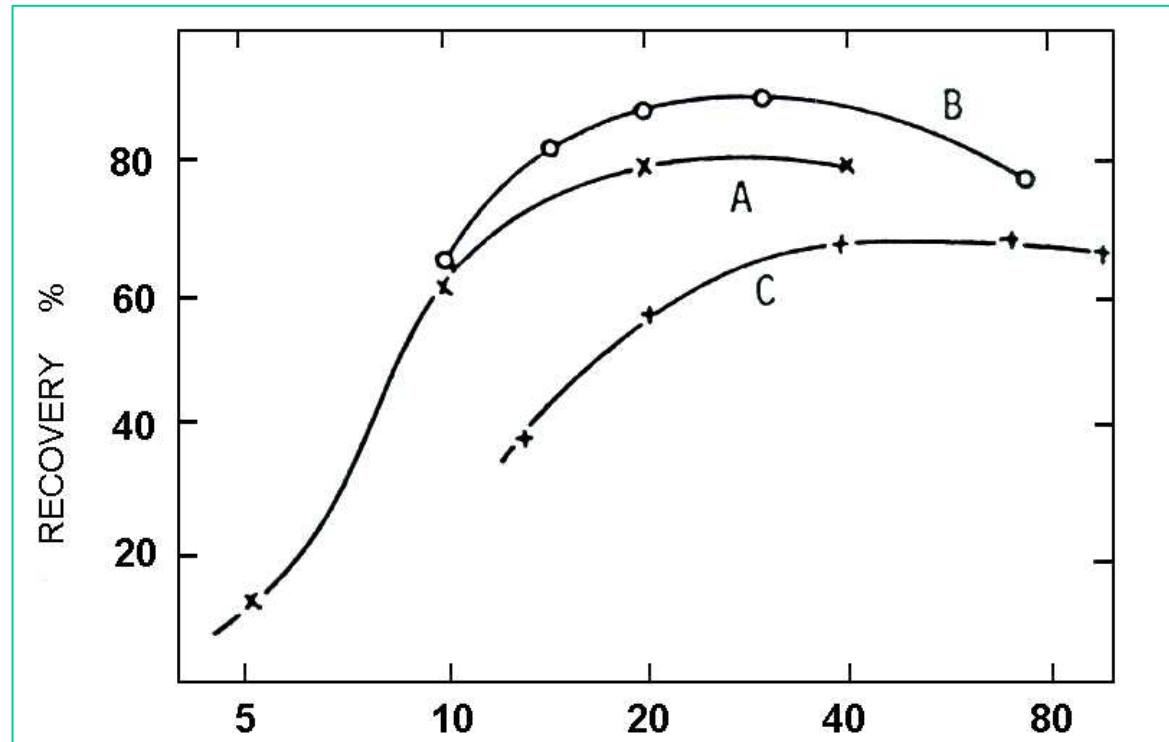
- **VARIABLES DE DISEÑO**
- **Forma de la mesa.**
- **Material de la superficie de la mesa.**
- **Forma de los *riffles*.**
- **Característica de los *riffles*.**
- **Aceleración y desaceleración.**
- **Ubicación de la alimentación.**
- **CONTROLES OPERACIONALES**
- **Inclinación de la mesa.**
- **Densidad de la pulpa en la alimentación.**
- **Agua de lavado.**
- **Posición de los cortadores de los productos.**

CARACTERÍSTICAS DE LA CONCENTRACIÓN EN MESAS VIBRATORIAS

- El revestimiento del *deck* podía ser de **linoleo, goma natural y sintética, uretano, metano impregnado de zircón, o fibra de vidrio.**
- El límite superior del tamaño de partículas minerales tratadas en las mesas vibratorias es de aproximadamente 2 a 3 mm (para carbón puede llegar hasta 15 mm), mientras que el tamaño mínimo de las partículas que se pueden concentrar en estos equipamientos es del orden de 75 micrones. Es necesario señalar que el tamaño mínimo de los materiales que se pueden tratar en una mesa es función del volumen de agua y del movimiento de la mesa, siendo esencial que las partículas sedimenten para que puedan ser recogidas en el concentrado.
- El porcentaje de sólido de la pulpa de alimentación debe ser suficientemente bajo para permitir la estratificación y dilatación entre los ***riffles***. **Densidades de pulpas máximas típicas son 25% de sólidos para arenas y 30% para materiales finos.**
- El aumento de la inclinación lateral reduce la necesidades de agua de lavado, sin embargo, estrecha los rangos de las diferentes fracciones, dificultando el corte, lo que puede ser aceptable en operaciones rougher y no en etapa cleaner.

RECUPERACIÓN (%) VS TAMAÑO (MICRONES) EN CONCENTRACIÓN EN MESAS VIBRATORIAS

- **A : CASITERITA**
- **B : WOLFRAMITA**
- **C : FIERRO**



CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN EN ETAPAS ROUGHER Y CLEANER

- **ETAPA ROUGHER** : más agua, más mena, más inclinación, golpes más largos, mesa con riffles completos.
- **ETAPA CLEANER** : menos agua, menos mena, menor inclinación, golpes más cortos, mesa con riffles parciales.
- **ALIMENTACIÓN FINA** : menos agua, menos alimentación, mayor velocidad, golpes más cortos, mesa con riffles bajos.
- **ALIMENTACIÓN GRUESA** : más agua, más alimentación, menor velocidad, golpes más largos, mesa con riffles altos.

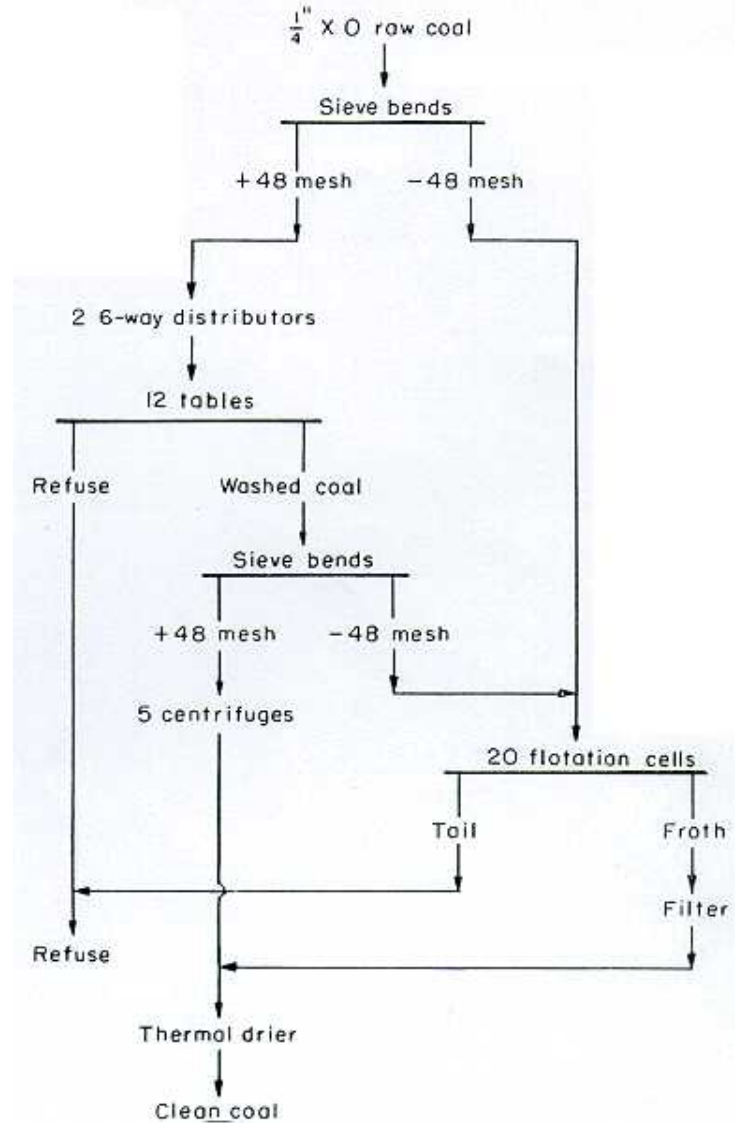
CAPACIDADES Y CONSUMOS DE LAS MESAS VIBRATORIAS

- **CAPACIDAD.**
- **La capacidad de la mesa vibratoria depende de la frecuencia, la inclinación, la cantidad de agua, las características de la mena, densidades y formas de las partículas, y de la granulometría de alimentación.**
- **La capacidad en general varía de 5 ton/día (materiales finos) hasta aproximadamente 50 ton/día (materiales gruesos).**
- **CONSUMOS DE AGUA Y ENERGÍA.**
- **Consumo de agua : 38 a 83 L/min (alimentación) y 11 a 45 L/min (lavado).**
- **Consumo de potencia media : 0,6 HP por mesa.**

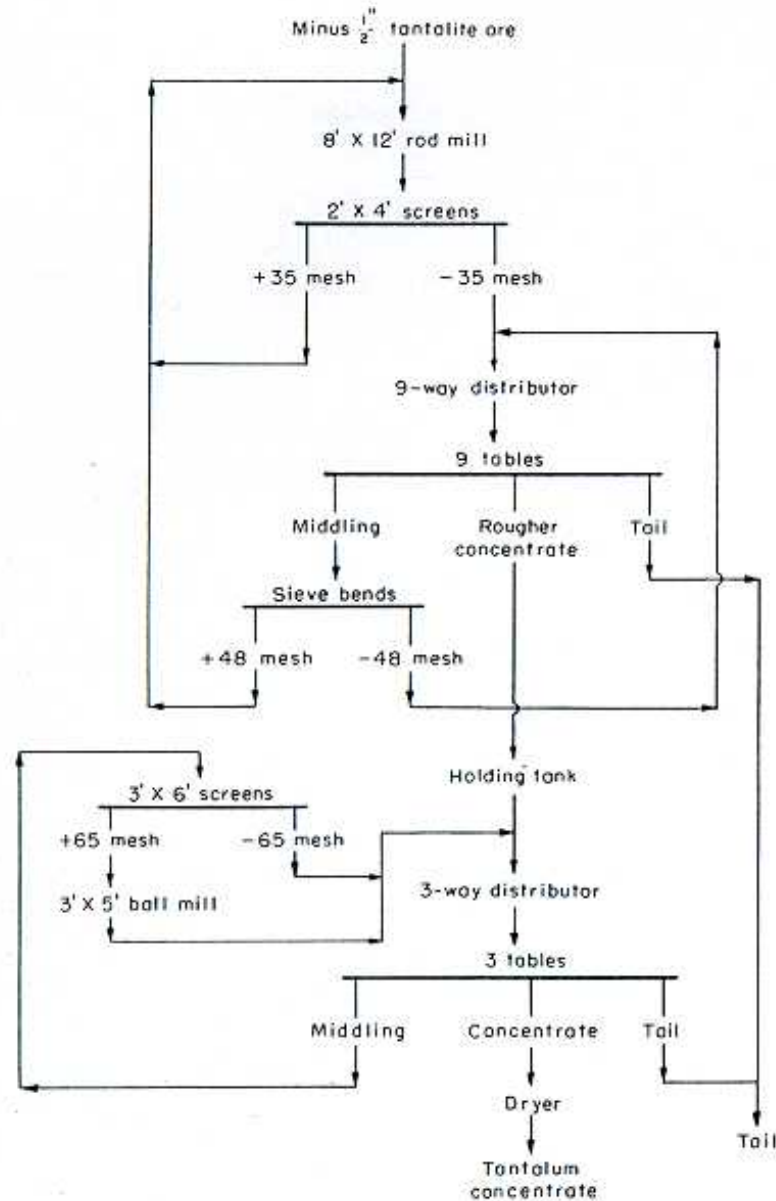
APLICACIONES DE LA MESA VIBRATORIA

- **Limpieza de carbón fino.**
- **Tratamiento de óxidos : casiterita, tungsteno, tantálio, zirconio, barita, cromo, minerales industriales y arenas, oro, plomo, zinc, escorias, desechos y residuos de fundiciones.**

CIRCUITO DE LAVADO DE CARBÓN

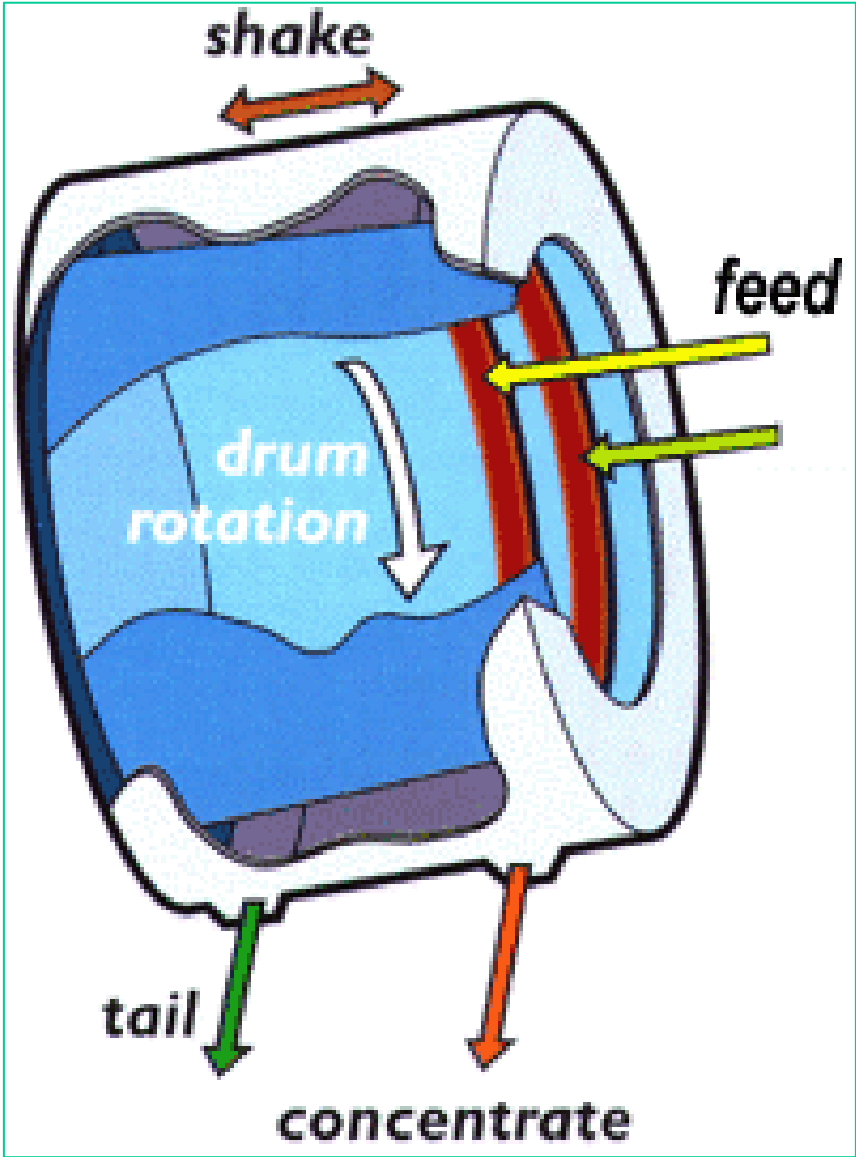


TRATAMIENTO DE UNA MENA DE TANTALIO



SEPARADOR DE GRAVEDAD MÚLTIPLE (MGS)

- Este separador gravimétrico de Richard Mozley Ltda se caracteriza porque es cilíndrico ya que el tablero se enrolla dentro de un tambor.
- El MGS produce una fuerza resultante de varias G.
- Un Separador de Gravedad Múltiple proporciona una producción equivalente a 12 mesas concentradoras.





CONCENTRACIÓN EN ESPIRALES: INTRODUCCIÓN

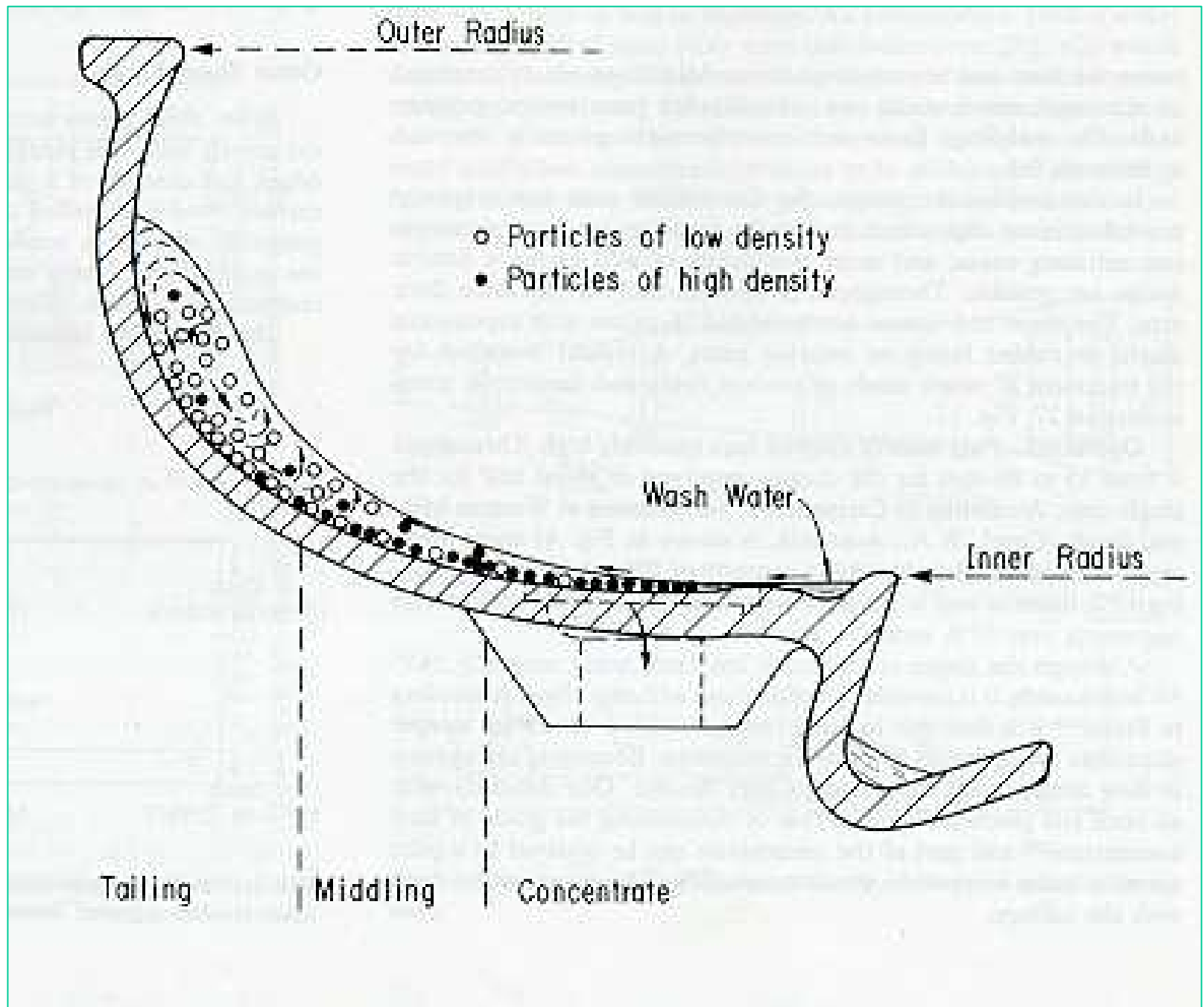
- **El primer tipo de espiral Humphrey fue introducido en 1945. El principio básico se ha mantenido hasta la actualidad, pero con evoluciones considerables en cuanto al diseño y técnicas de fabricación. Los materiales de construcción empleados han evolucionado desde la madera y hierro fundido hasta el poliéster reforzado con fibra de vidrio, pasando por aleaciones, hormigón, goma, etc.**
- **Actualmente, la mayoría de los fabricantes construyen en poliéster reforzado con fibra de vidrio, con recubrimientos de poliuretano o goma, y este relativamente sencillo proceso de fabricación ha sido uno de los motivos del rápido avance en el diseño de estos separadores. Los mayores avances en el diseño han incidido en el perfil y paso de la espiral. El campo de aplicación se ha expandido principalmente, debido al desarrollo de espirales en las cuales el paso y el perfil cambian a lo largo de su longitud.**

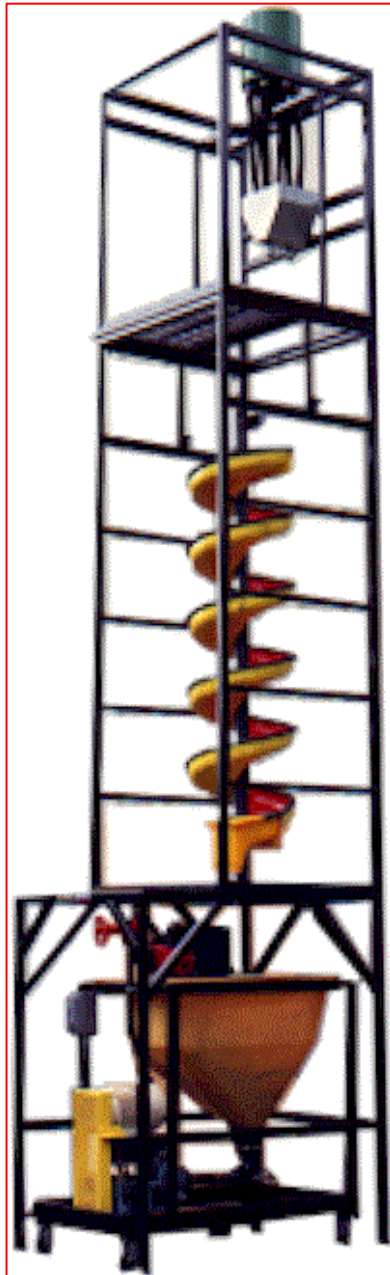
CONCENTRACIÓN EN ESPIRALES: INTRODUCCIÓN

- **Las espirales se dividen en dos tipos: espirales de múltiples retiradas y espirales de retiradas limitadas.**
- **La concentración en espirales puede realizarse por etapas, en general una etapa de desbaste es seguida de etapas de limpieza. En el caso de menas metálicas, normalmente se retira un relave final en la etapa de desbaste, mientras que, un pre-concentrado pasa a la etapa de limpieza.**

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPIRALES

- **La espiral consiste de un canal helicoidal cilíndrico con sección transversal semi circular modificada. En la parte superior existe una caja destinada a recibir la alimentación en forma de pulpa. A medida que ella se escurre, las partículas más pesadas se encuentran en una faja a lo largo del lado interno del flujo de la pulpa y son removidas por aberturas localizadas en la parte más baja de su sección transversal.**
- **En las espirales Humphrey existen dos aberturas para cada vuelta de la espiral. Estas aberturas están provistas de un dispositivo que permite guiar los minerales pesados para obtener la separación deseada, a través de una regulación conveniente. Cada abertura es conectada a un tubo colector central, a través de mangueras de tal forma que se juntan los materiales recogidos en las diferentes aberturas en un único producto. En el extremo inferior del canal existe una caja destinada a recoger los minerales livianos que no son recogidos por las aberturas.**





ESPIRALES DE MÚLTIPLES RETIRADAS

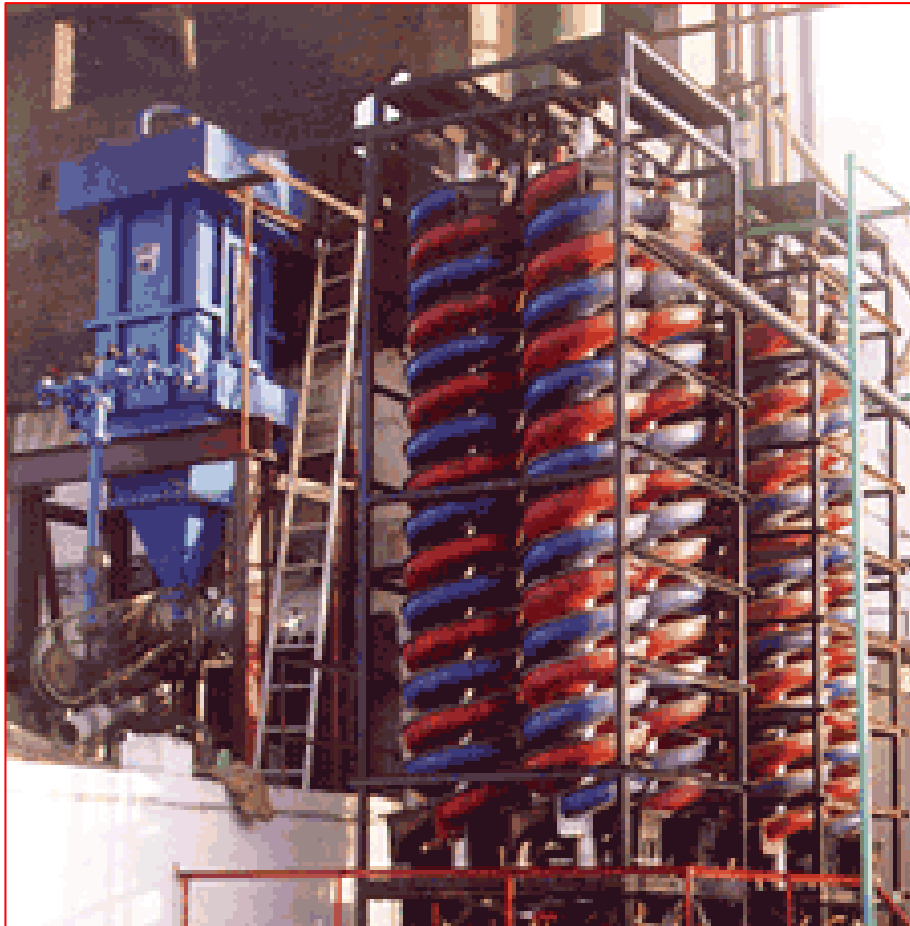
- **La espiral original Humphrey presenta cinco vueltas completas de hélice, la cual es un conducto helicoidal conectado a una columna central que sirve también para la descarga del concentrado. Se fabrican en segmentos de 120° (3 segmentos forman una vuelta). Se construyen en fierro fundido (con o sin revestimiento de goma) y en fibra de vidrio (con revestimiento de goma. Se entregan en hélices simples o dobles, en ese caso se acoplan en 180° en torno a la columna central.**

ESPIRAL HUMPHREY DE LABORATORIO



ESPIRALES DE RETIRADAS LIMITADAS

- **La tecnología se inclina a la construcción de espirales con menos puntos de retiradas del concentrado, varias con un único punto, en el fondo de la hélice. También el agua de lavado ha sido reducida e incluso en algunos casos ha sido eliminada.**
- **Estas espirales han sido fabricadas por la Reichert, Vickers, Xatal, Spargo, etc. En la Unión Soviética han sido proyectadas espirales de hasta 2 metros de diámetro.**



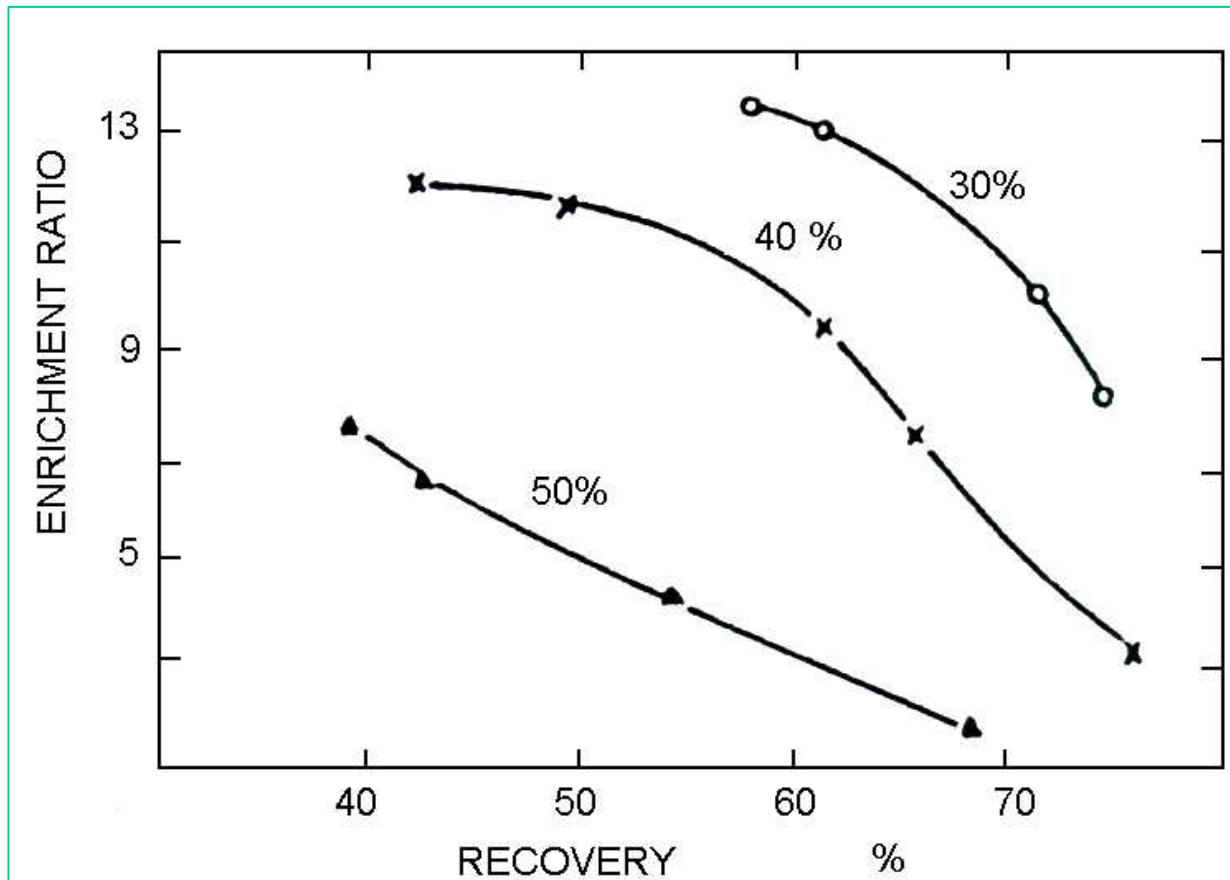
PLANTA MODULAR DE ESPIRALES



CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES DE LAS ESPIRALES

- **1. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS.**
- La capacidad de tratamiento de sólidos por espiral varía de 0,5 a 2,5 ton/h, la tasa más utilizada es de 1,5 ton/h. El flujo de pulpa de la alimentación depende de las características de la menas. Para materiales finos se aconseja flujos de 50 a 65 L/min, para materiales medios, 70 a 90 L/min y para materiales gruesos, en torno de 110 L/min.
- **2. CONSUMO DE AGUA.**
- El consumo de agua para cada espiral, incluyendo el agua de lavado varía de 50 a 110 L/min. Esta agua es normalmente recuperada y recirculada. En el caso de las espirales de retiradas limitadas, el agua de lavado ha sido reducida e incluso en ciertos casos ha sido eliminada.
- **3. PORCENTAJE DE SÓLIDOS.**
- El porcentaje de sólidos es de 20 a 30%, pulpas conteniendo sólidos de granulometría gruesa, pueden tener hasta 50% de sólidos.

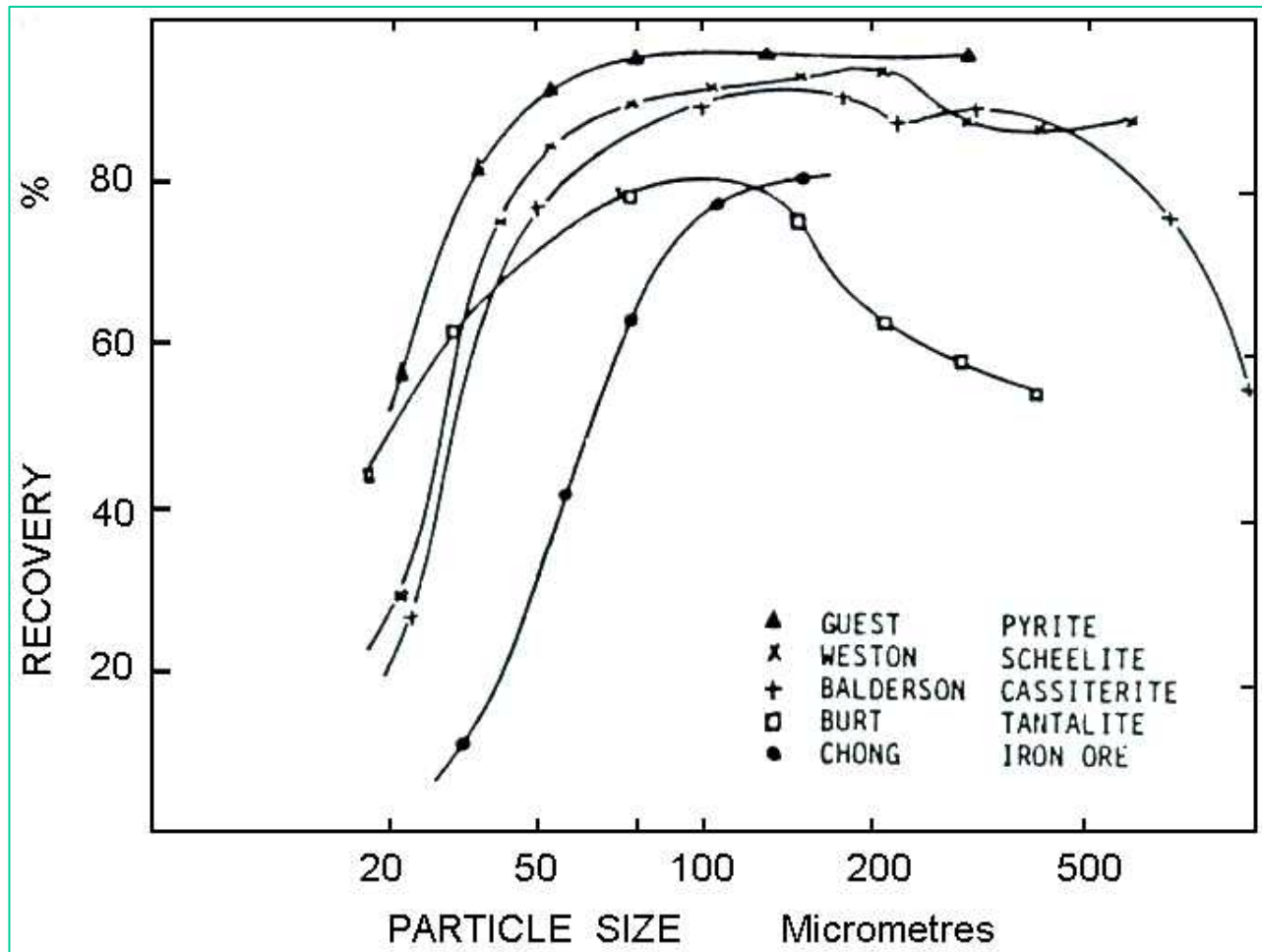
EFEECTO DEL PÓRCENTAJE DE SÓLIDOS EN EL RENDIMIENTO DE UNA ESPIRAL



CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES DE LAS ESPIRALES

- **4. GRANULOMETRÍA DE ALIMENTACIÓN.**
- **Los límites granulométricos de los minerales pesados contenidos en la pulpa pueden variar hasta 4 mallas. Cuanto más amplio es el rango granulométrico, menor será la eficiencia de concentración. La eficiencia de las espirales normalmente disminuye para granulometrías menores a 200 mallas.**
- **5. PESOS ESPECÍFICOS DE LOS MINERALES A SEPARAR.**
- **La diferencia de pesos específicos entre los minerales útiles y los minerales de ganga deben ser siempre mayores que 1,0 para obtener una concentración adecuada. La eficiencia de las espirales crece con el aumento de los pesos específicos de los minerales pesados.**
- **6. FORMA O TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS.**
- **Puede influir de tal forma a la concentración, que en ciertos casos, tratando minerales de pesos específicos muy próximos, puede obtenerse una buena concentración.**

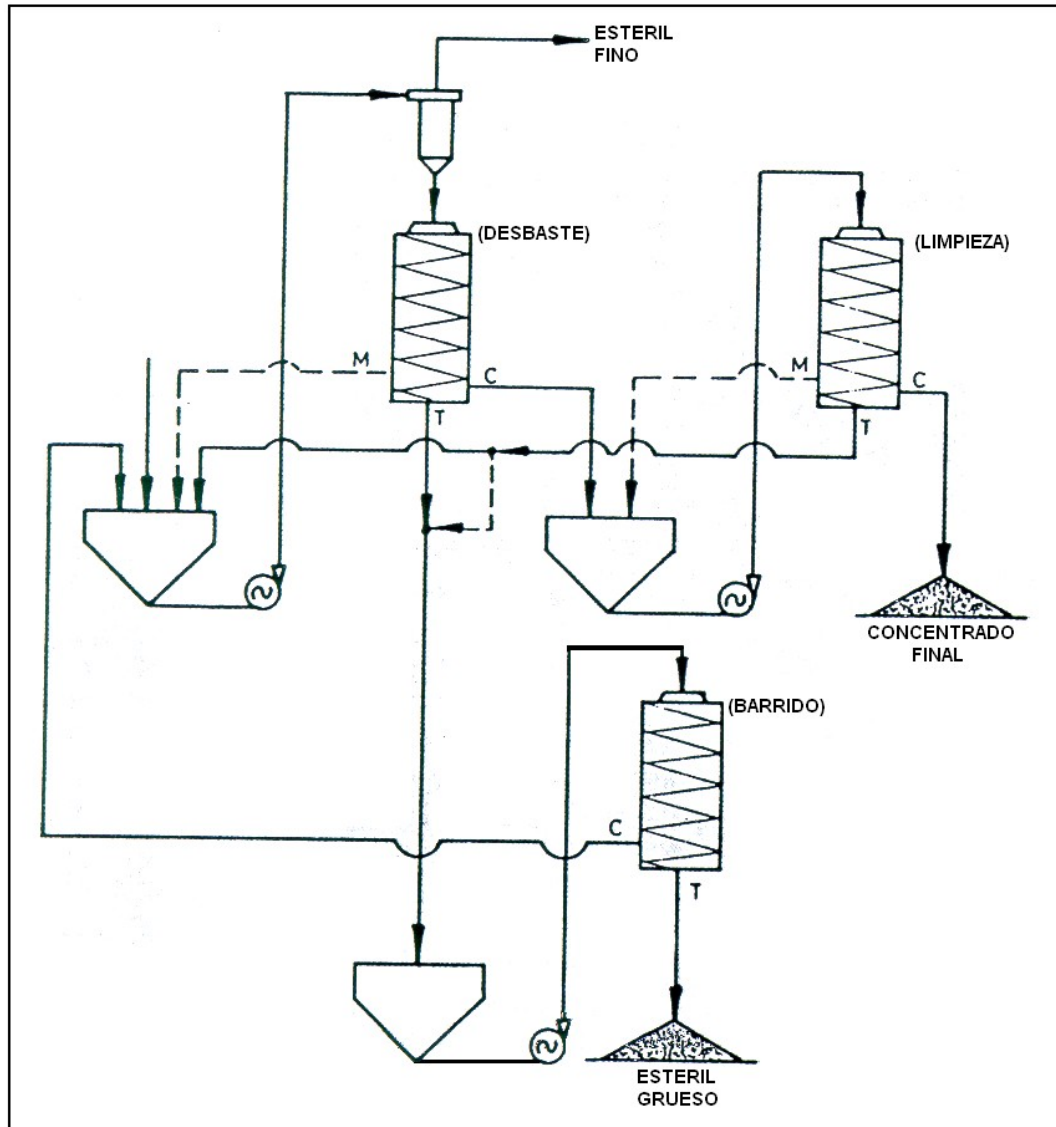
RECUPERACIÓN VS TAMAÑO EN CONCENTRACIÓN CO ESPIRALES



APLICACIONES DE LAS ESPIRALES

- **Las espirales se aplican de la siguiente forma :**
- **a) Producción de un concentrado y un relave en una sola etapa.**
- **b) Producción de un concentrado final y el relave se trata en otro proceso.**
- **c) Producción de un concentrado *bulk* de varios minerales pesados (la separación se realiza por otro proceso) y un relave final.**
- **d) Tratamiento del scavenger de otro proceso.**
- **e) En circuito cerrado de molienda, en la recuperación de minerales pesados ya liberados.**
- **Las principales aplicaciones de las espirales serían las siguientes :**
- **a) Tratamiento de menas de fierro.**
- **b) Tratamiento de arenas de playa.**
- **c) Tratamiento de cromita, tantalita, scheelita y oro.**
- **d) Tratamiento de carbón.**

CIRCUITO DE CONCENTRACIÓN CON ESPIRALES



CONCENTRACIÓN EN CANALETAS

- **El escurrimiento en canaletas se caracteriza por la existencia de una masa de partículas minerales suspendidas o arrastradas por una corriente de agua a lo largo de una canaleta y sujeta a las fuerzas de gravedad y a la presión de la corriente, produciéndose una estratificación por densidades.**
- **Este tipo de concentración no debe confundirse con el escurrimiento laminar, ya que en el caso de las canaletas, las fuerzas de atricción y los mecanismos de adherencia entre partículas y superficie de arrastre, características del escurrimiento laminar, no tienen efecto significativo en la estratificación.**
- **En las canaletas los volúmenes de agua usados son muy grandes y por consiguiente el régimen de escurrimiento es turbulento, muy diferente al régimen de lámina líquida observado en el escurrimiento laminar.**

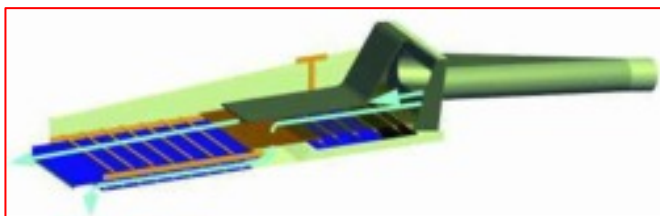
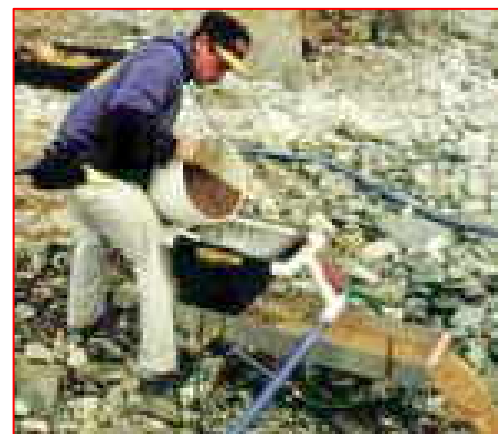
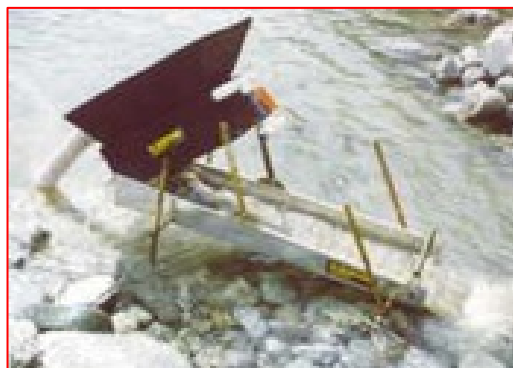
CANALETAS SIMPLES

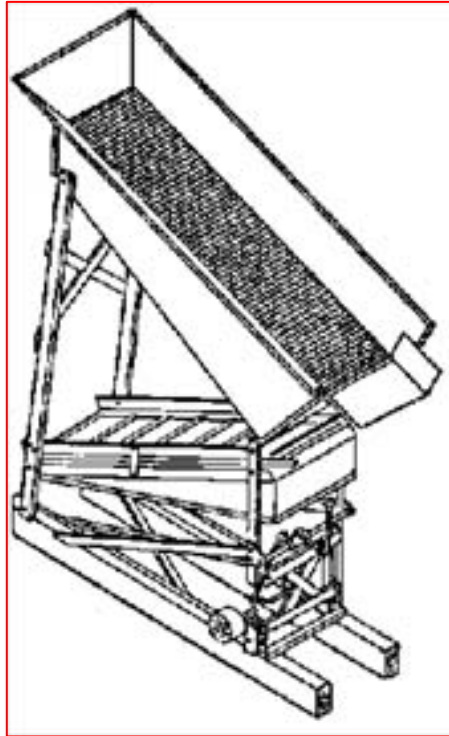
- Las canaletas simples (*sluices*) son seguramente los aparatos concentradores más primitivos que se conocen.
- Son utilizados principalmente para el tratamiento de minas aluvionares en las cuales el mineral valiosos se encuentra libre en granulometría fina y la diferencia de peso específico con el de la ganga es grande. Su aplicación principal es en la concentración de oro, platino y casiterita.
- Las canaletas simples son construidas de madera y presentan el piso irregular para aprisionar los minerales pesados. El piso irregular se obtiene gastando el fondo colocando tacos de madera, reglas, gradas, etc. Estos obstáculos se llaman *riffles* debido a su función de recoger de la corriente de agua los minerales pesados.

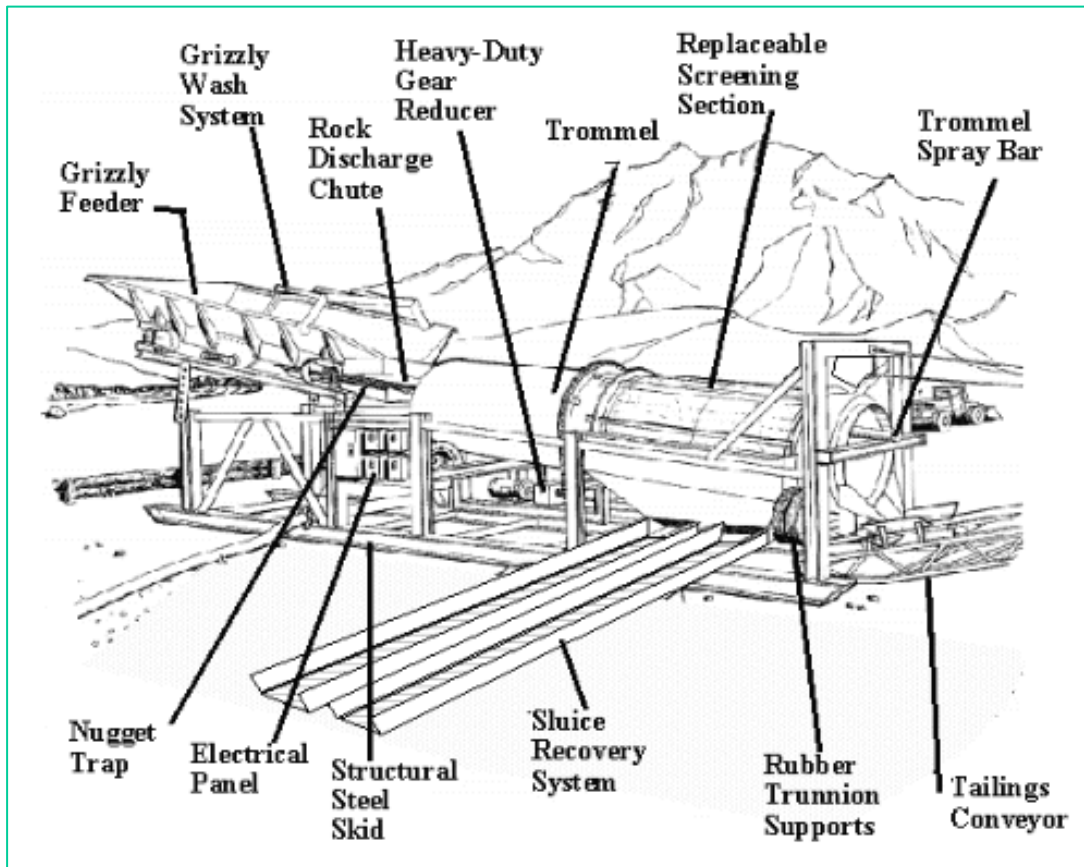
CANALETA TRABAJANDO EN UN RIO



CANALETAS (SLUICES)







CANALETAS SIMPLES

- En las canaletas simples la selección de la forma del *riffle* ideal depende de las necesidades de transporte, tamaño y cantidad de material valioso. Todas ellas son construidas en módulos que facilitan su instalación y su remoción.
- El tamaño de la canaleta es variable. Existen canaletas de 12 pulgadas hasta 10 pies de ancho, por 6 pulgadas hasta 4 pies de profundidad. Presentan una inclinación que depende principalmente de los Tamaños mayores que tenga la alimentación y de la cantidad de agua disponible. El largo de la canaleta generalmente varía de 50 a 150 metros. Este largo depende de la fineza y del peso específico de los minerales valiosos, así como, de la distancia que los minerales de ganga deben ser transportados.
- La operación de las canaletas es intermitente. Una vez terminado el tratamiento, los *riffles* son desmontados y se recoge el material pesado.

CANALETAS ESTRANGULADAS

- La canaleta estrangulada (*pinched sluice*) consiste en una canaleta inclinada con un ancho decreciente en la dirección del flujo. En el flujo descendente se establece un gradiente de velocidad y las partículas más finas y más pesadas se concentran en los niveles inferiores por una combinación de caída retardada y consolidación intersticial.
- Con la disminución del ancho, la espesura del lecho aumenta, mejorando la separación entre minerales pesados y livianos, a través de un cortador. Una única canaleta estrangulada es muy insuficiente, ya que la razón de concentración es baja. El éxito de la operación se debe a la operación con múltiples canaletas, en serie, si es posible fluyendo por gravedad.
- Estos equipos han sido proyectados para tratar minerales totalmente liberados, como es el caso de arenas de playa.

CANALETAS ESTRANGULADAS

- **Las canaletas estranguladas se construyen de metal liviano y forradas en goma para soportar el desgaste. Son aparatos simples, livianos, baratos y ocupan poco espacio.**
- **Las canaletas estranguladas en su forma elemental son de 2 a 3 pies de largo, estrechándose de 9 pulgadas de ancho en la parte superior, a 1 pulgada en la descarga. La pulpa de alimentación presenta un 50 a 55% de sólidos y es alimentada en la parte superior, estratificándose a medida que desciende por la canaleta.**
- **En el extremo de la descarga existe una placa formando un pequeño ángulo con la canaleta, destinada a hacer que la pulpa se desparrame antes de llegar a los cortadores. Estos cortadores interceptan el flujo al final y afuera de la canaleta, y lo dividen en los productos concentrado, middling y relave.**

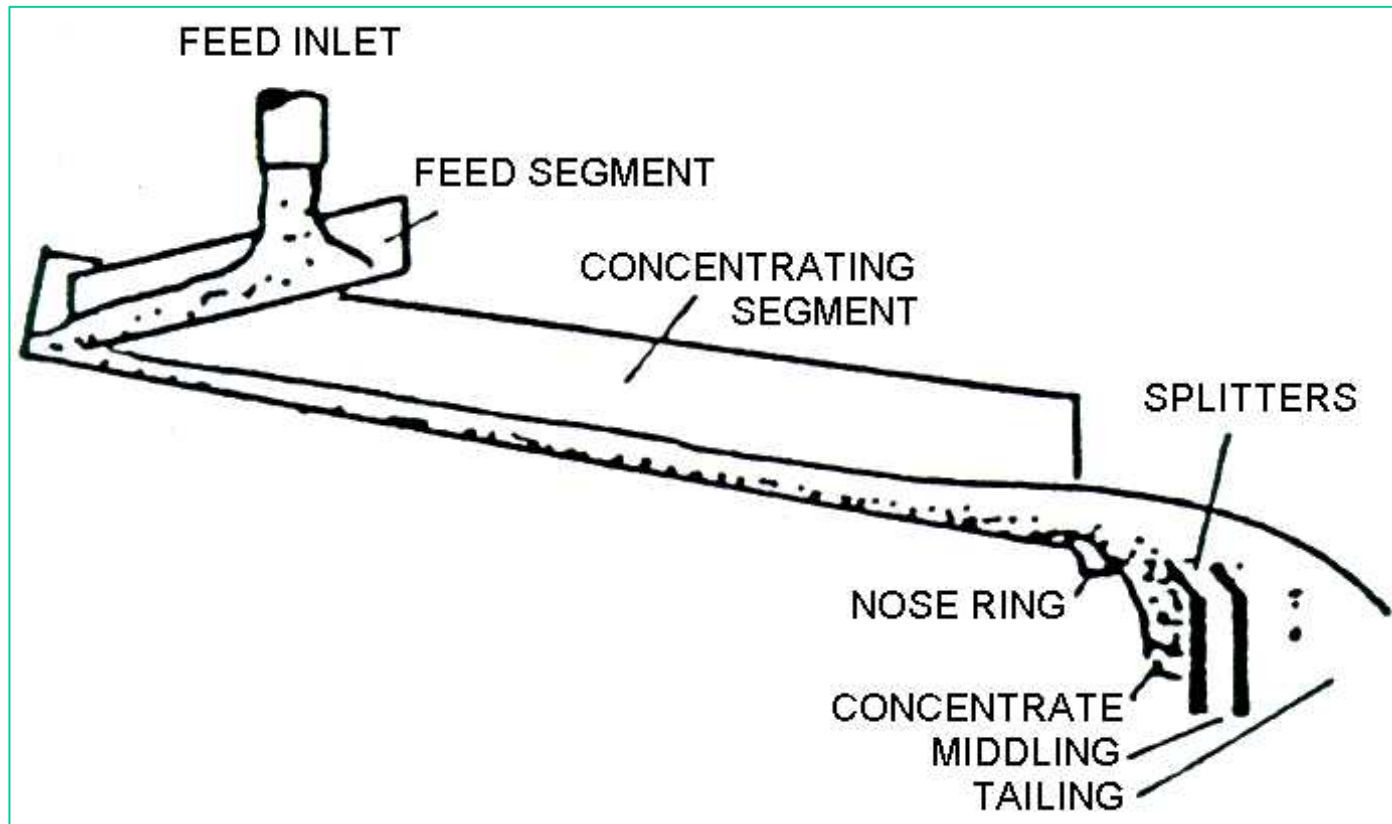
CANALETAS ESTRANGULADAS

- **En las canaletas estranguladas el rango granulométrico ideal para la alimentación es $-10 \# +200\#$. Las capacidades dependen de la granulometría del material a ser tratado, variando de 0,5 ton/ para arenas finas hasta 2,0 ton/h para arenas más gruesas.**
- **Las variables operacionales de las canaletas estranguladas son : la densidad de la pulpa de alimentación, la posición de los cortadores, la inclinación de la canaleta (en general entre 16° y 20° con la horizontal) y la orientación de la placa.**
- **Algunos concentradores son : el concentrador Canon y el concentrador Lamflo.**

CONCENTRADORES CANON

- **Consiste de 48 canaletas, arregladas en círculo, con la alimentación de cada canaleta en la periferia del círculo.**
- **Una aplicación interesante de este concentrador se desarrolló para fosfato, combinándose los principios de la canaleta estrangulada con los de la flotación convencional, incluyéndose reactivos de flotación y aire soplado al comienzo de la canaleta.**

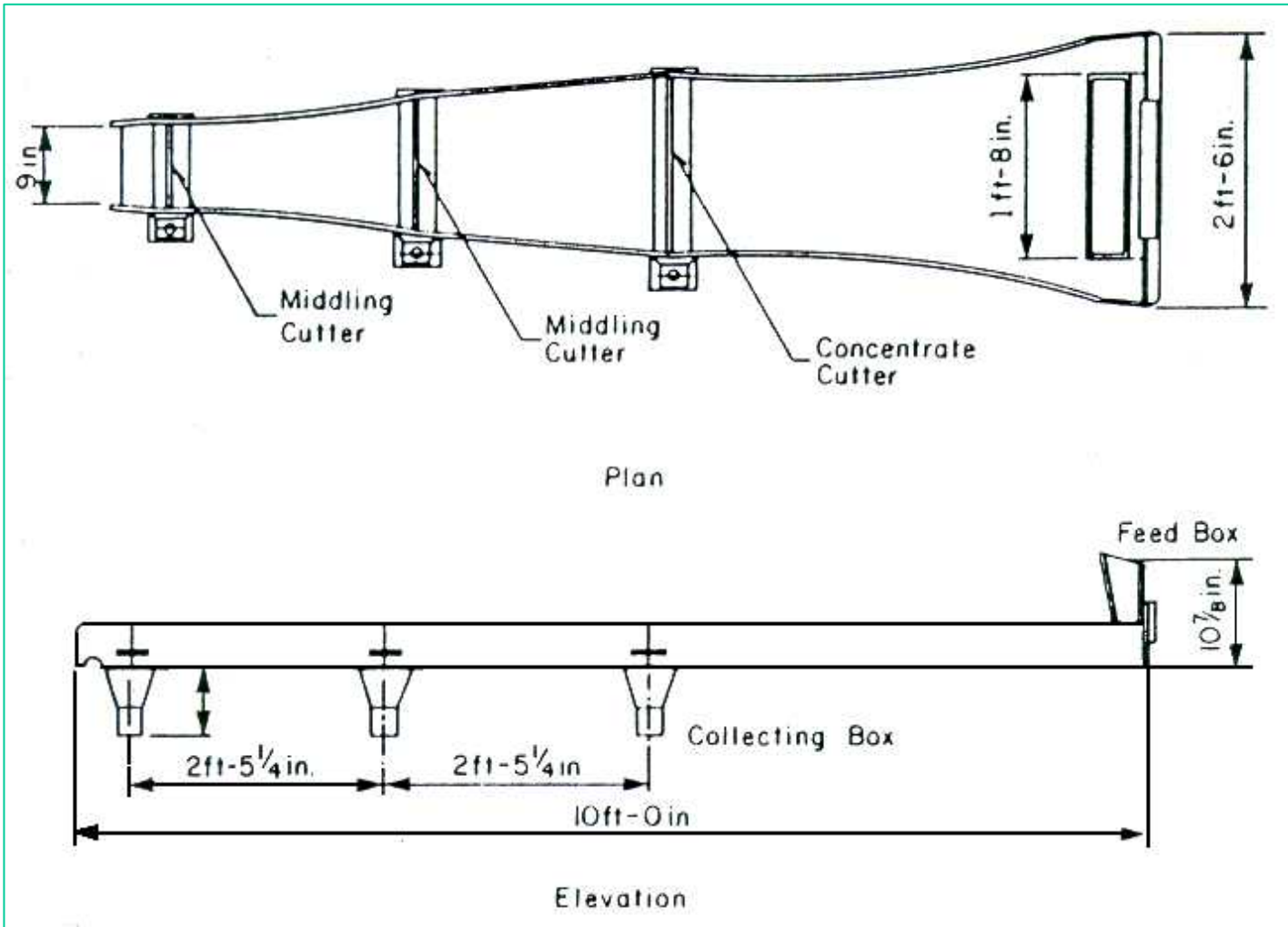
SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA DE LAS 48 CANALETAS DE UN CONCENTRADOR CANON



CONCENTRADOR LAMFLO

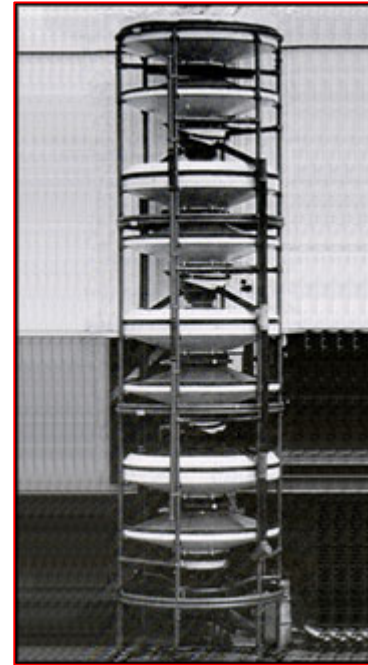
- **Este concentrador fue desarrollado por la Carpco Research and Engineering, Inc. Para el tratamiento de minerales pesados desde arenas de playa, también se usa en menas de fierro y purificación de carbón fino.**
- **El aparato está compuesto de tres canaletas teniendo paredes curvas la primera y tercera, mientras que, la canaleta del medio tiene paredes planas convergentes.**
- **Se construye de fibra de vidrio y mide 10 pies de largo, 30 pulgadas la parte ancha y 9 pulgadas la parte angosta.**
- **Algunas características son : a) 4 a 10 ton/h de sólidos y 50 a 60% de sólidos; b) inclinación normal 15% con la horizontal; c) acepta hasta 2 mm en la alimentación, sin embargo el tamaño máximo ideal es de 0,5 mm; d) los tamaños menores aceptados son de aproximadamente 0,04 mm, sin embargo, en casos excepcionales se pueden tratar materiales de hasta 0,02 mm.**

CONCENTRADOR LAMFLO

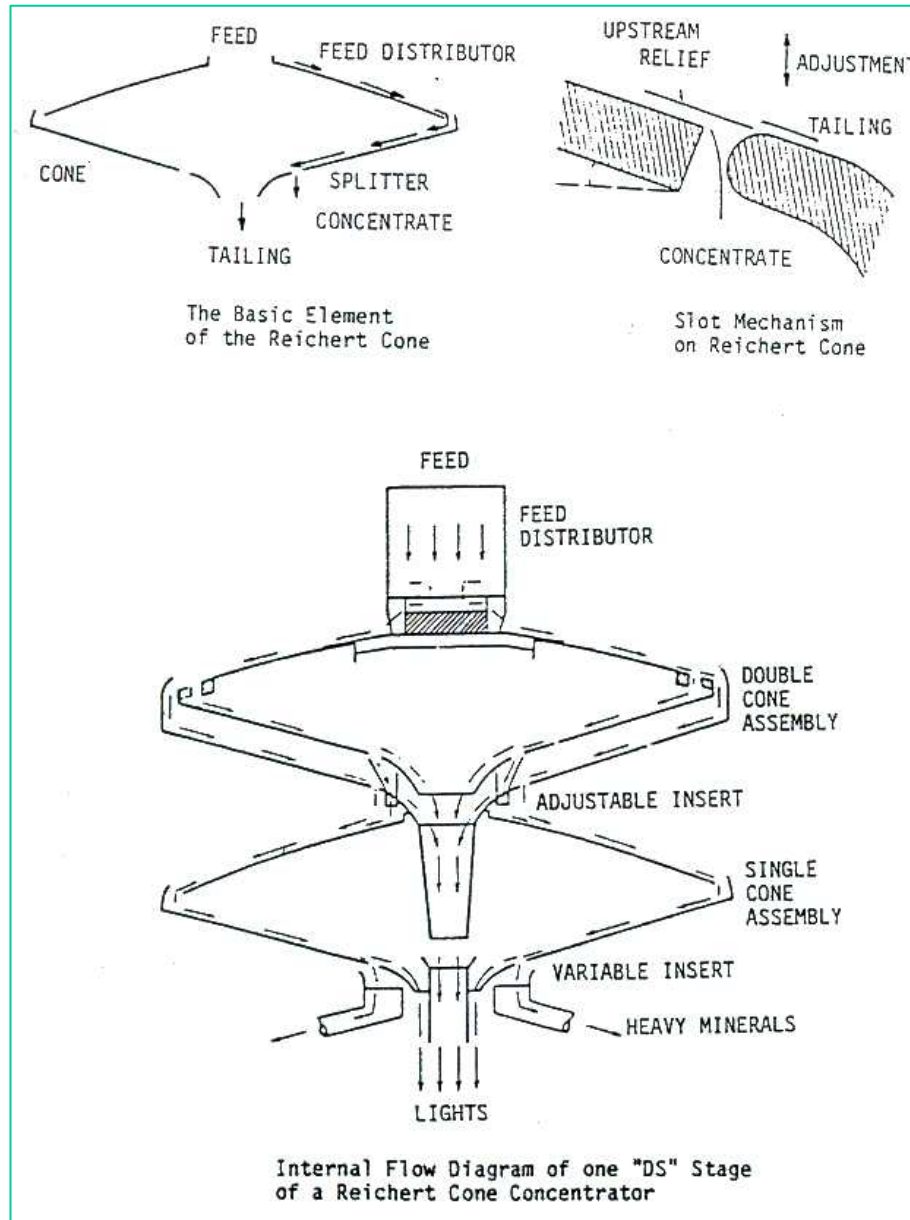


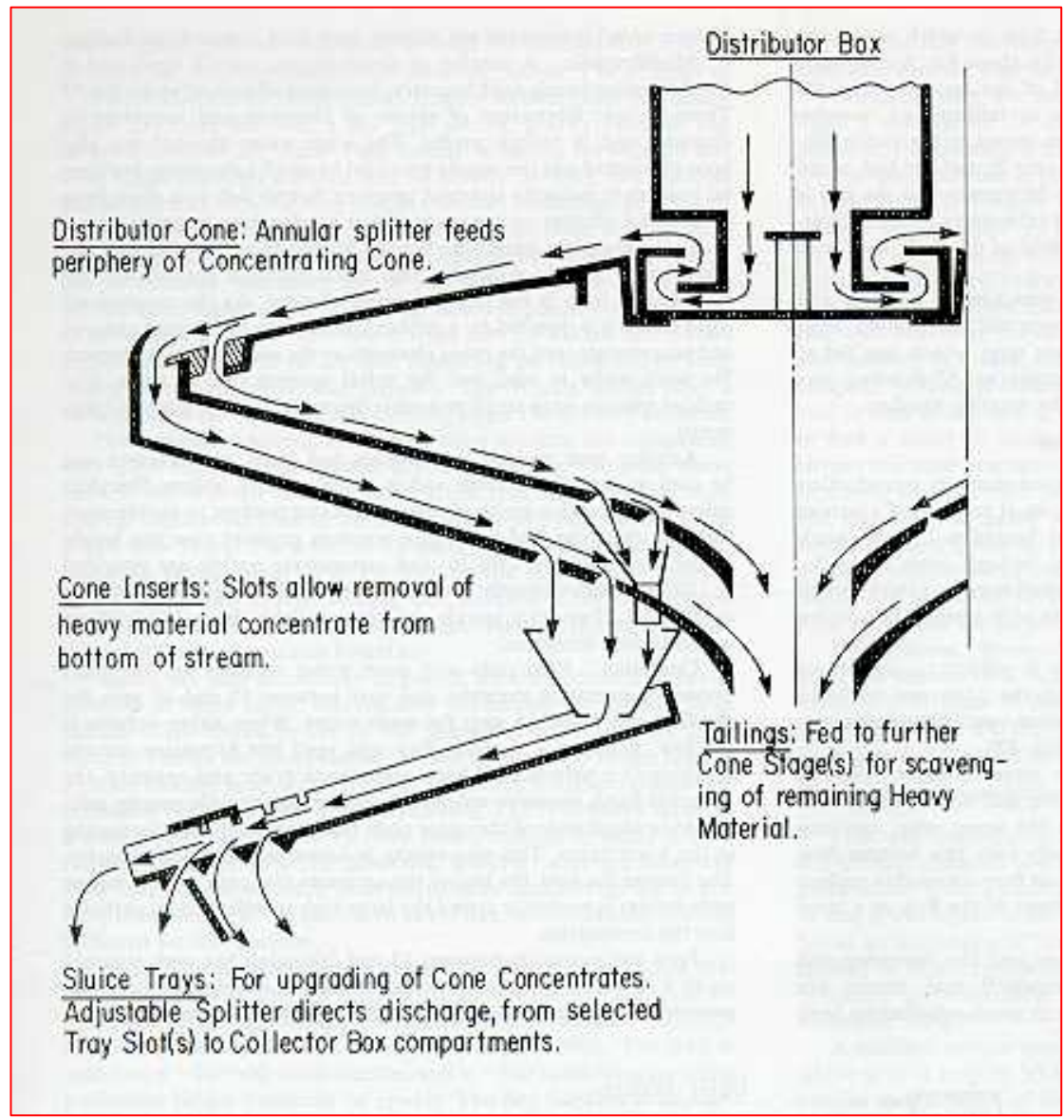
CONO REICHERT

- Es un equipo de concentración gravitacional diseñado para permitir altas capacidades. El principio del cono Reichert es similar al de las canaletas estranguladas, pero la pulpa no está influenciada por el efecto que se produce en las paredes de las canaletas.
- El cono Reichert se desarrolló en Australia a comienzos de 1960, principalmente para tratar arenas con contenidos de titanio.
- Los conos se construyen en fibra de vidrio y se montan en un arreglo circular que mide **más de 6 metros de alto**. Cada cono mide **2 metros de diámetro**.
- La pulpa de alimentación se distribuye alrededor de la periferia del cono. A medida que fluye hacia el centro del cono las partículas pesadas se separan y se depositan en el fondo de la película. Este concentrado es removido mediante una ranura anular que se ubica en el fondo del cono, la porción de la película que fluye sobre la ranura son las colas.



CARACTERÍSTICAS DE UN CONO REICHERT





Distributor Cone: Annular splitter feeds periphery of Concentrating Cone.

Cone Inserts: Slots allow removal of heavy material concentrate from bottom of stream.

Tailings: Fed to further Cone Stage(s) for scavenging of remaining Heavy Material.

Sluice Trays: For upgrading of Cone Concentrates. Adjustable Splitter directs discharge, from selected Tray Slot(s) to Collector Box compartments.

CONO REICHERT

- **El cono Reichert tiene una alta capacidad, operando normalmente en el rango de 65-90 ton/h, con casos excepcionales en el rango de 40 a 100 ton/h, con 55 a 70% de sólidos en peso en la pulpa de alimentación.**
- **El rango granulométrico aceptado por estos equipos va desde tamaños hasta 3 mm hasta materiales tan finos como 30 micrones, sin embargo, estos equipos son más eficientes en el rango de 100 a 600 micrones.**
- **La cantidad de agua consumida por los conos Reichert varía de 20 a 35 m³/h.**

ARREGLOS DE LOS CONOS REICHERT EN LOS CIRCUITOS

- **Varios arreglos de conos simples y conos dobles pueden ser usados. Generalmente los conos dobles operan en una etapa de desbaste y sus concentrados son sometidos a las etapas de limpieza en conos simples. Pueden también tratarse los concentrados de los conos simples, para su purificación final en canaletas estranguladas. Estas canaletas (en número de seis) son arregladas radialmente debajo de los últimos conos simples.**
- **Las aplicaciones de los conos Reichert serían las siguientes : a) concentraciones de minerales pesados de arenas de playa de baja ley, b) concentración de menas de fierro, c) pre-concentración de menas de estaño, d) recuperación de minerales pesados (uranio y zircón) de los relaves de flotación de menas de cobre.**

CONFIGURACIONES COMUNES DE CIRCUITOS CON CON REICHERT

