

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUYENTE**

**TEMA 9: LÁMINA FLUYENTE**

**9.1. Introducción.**

Tanto los canales de concentración mineros (sluices) como los equipos que emplean una simple lámina fluyente (flowing film) son los equipos de concentración más antiguos que se conocen, pero aún hoy se siguen empleando en una amplia variedad de situaciones debido a su elevada eficiencia y sus bajos costes de operación. Estos equipos se emplean en la concentración de minerales de elevada densidad relativa (titanio, oro, tungsteno, etc).

**Consideraciones Teóricas de la Lámina Fluyente.**

El comportamiento de las partículas sólidas en una suspensión va a depender en gran medida de la densidad de la pulpa y del tamaño de dichas partículas. En una verdadera suspensión, como aquellas donde se manejan partículas pequeñas, el comportamiento de las partículas dentro de una lámina fluyente va a venir dado por dos efectos:

- El desplazamiento lateral de las partículas dentro del fluido, que está determinado por el tiempo que emplean las partículas en atravesar la lámina fluida y alcanzar la superficie del fondo.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUYENTE

- La resistencia que ofrecen cada una de las partículas depositadas en el fondo a desplazarse más allá del lugar de sedimentación.

En el momento en que las partículas penetran en la lámina fluyente, su comportamiento inicial estará relacionado con el tamaño y densidad relativa de la partícula y la viscosidad de la lámina. El resultado global de todo ello será que las partículas más pequeñas se desplazarán más lejos que las partículas más grandes. El comportamiento de las partículas sobre el fondo va a depender también de si sólo existe sobre él una sola capa de partículas, que es el caso más habitual, o si se ha formado una capa de partículas sedimentadas entre las cuales percolarán las partículas de mayor densidad.

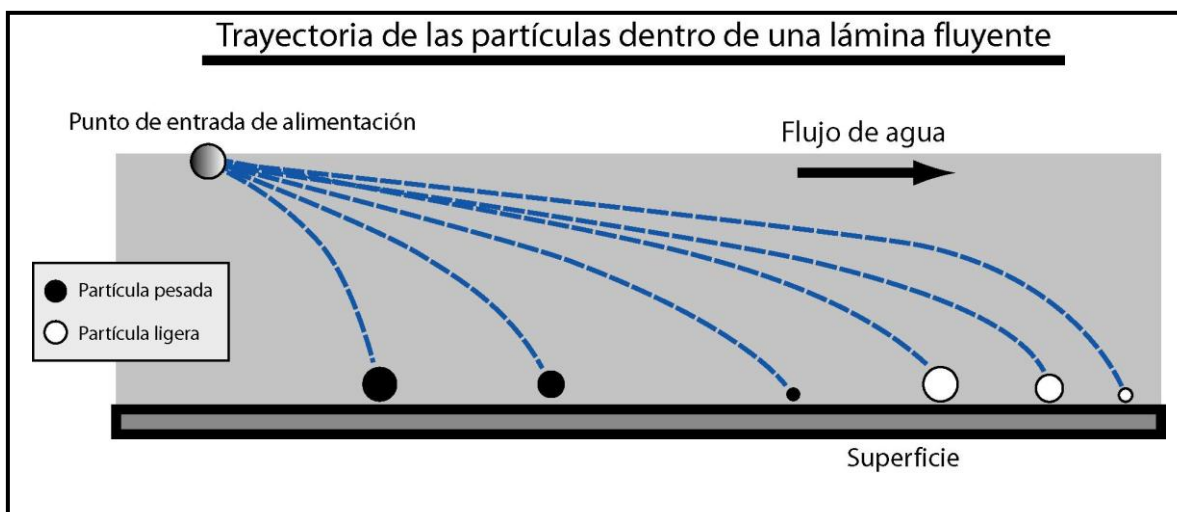


Fig.9.1: Influencia de la lámina fluyente sobre el desplazamiento de las partículas.

Una lámina de agua que fluye sobre una superficie plana, se puede descomponer en laminillas de diferente velocidad de flujo; la laminilla próxima a la superficie del fondo tendrá velocidad cero e irá aumentando la velocidad de las mismas conforme nos alejamos de dicha superficie. Por dicha razón una partícula que se encuentra en

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

suspensión se ve afectada por diferentes velocidades de flujo con lo que tenderá a volcar, sin embargo las partículas depositadas en el fondo estarán sometidas a un movimiento de rodadura o deslizamiento, o incluso en algunos casos un movimiento de saltación por parte del flujo.

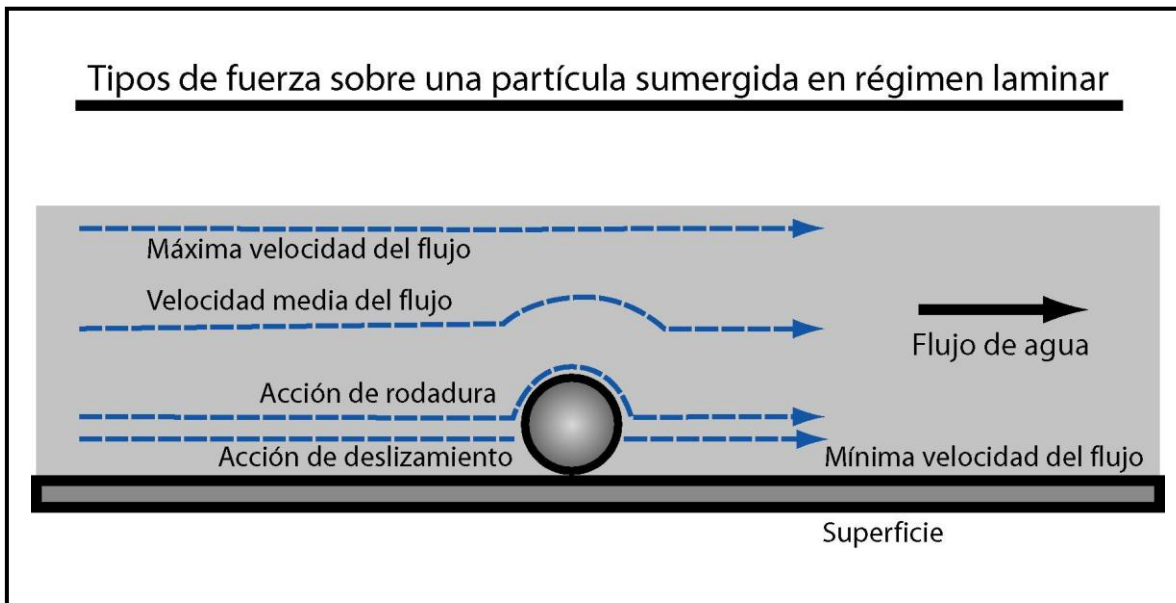


Fig.9.2: Acciones sobre una partícula sumergida en régimen laminar.

Durante la acción de rodadura o deslizamiento, a través de un flujo sin remolinos, las partículas mayores sufrirán esas acciones en una mayor proporción que las pequeñas y por consiguiente se desplazarán a más velocidad. Como es lógico, entre partículas de igual diámetro pero diferente densidad relativa, avanzarán más rápidamente las partículas más ligeras.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUYENTE

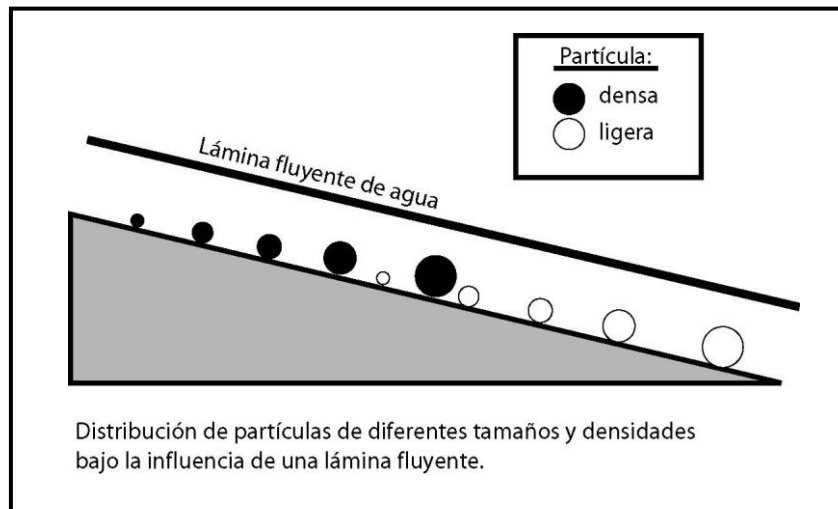


Fig.9.3: Distribución de partículas por lámina fluyente.

Cuando suceda que la partícula es tan grande que sobresale de la lámina fluyente, entonces la acción del flujo será inferior que sobre aquellas partículas totalmente sumergidas y por lo tanto dicha partícula será llevada a una menor distancia.

A continuación describimos el funcionamiento, las aplicaciones más usuales, cómo llevan a cabo la separación de las partículas, etc. de algunos de los equipos más representativos en el proceso de minerales con lámina fluyente.

## 9.2. Mesa de Sacudidas (Shaking Tables).

Consiste básicamente en un tablero plano con una movimiento alternativo de atrás hacia delante y viceversa con el fin de separar las partículas finas pesadas de las partículas gruesas ligeras.

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

Las primeras mesas que surgieron eran movidas mecánicamente a través de un eje excéntrico que le imprimía a la mesa 75 sacudidas por minuto; estas mesas estaban suspendidas y se empleaban en la limpieza de carbón bituminoso (bumping tables), una mesa representativa fue la mesa Campbell, pero quedaron en desuso a favor de las actuales mesas de movimiento diferencial.

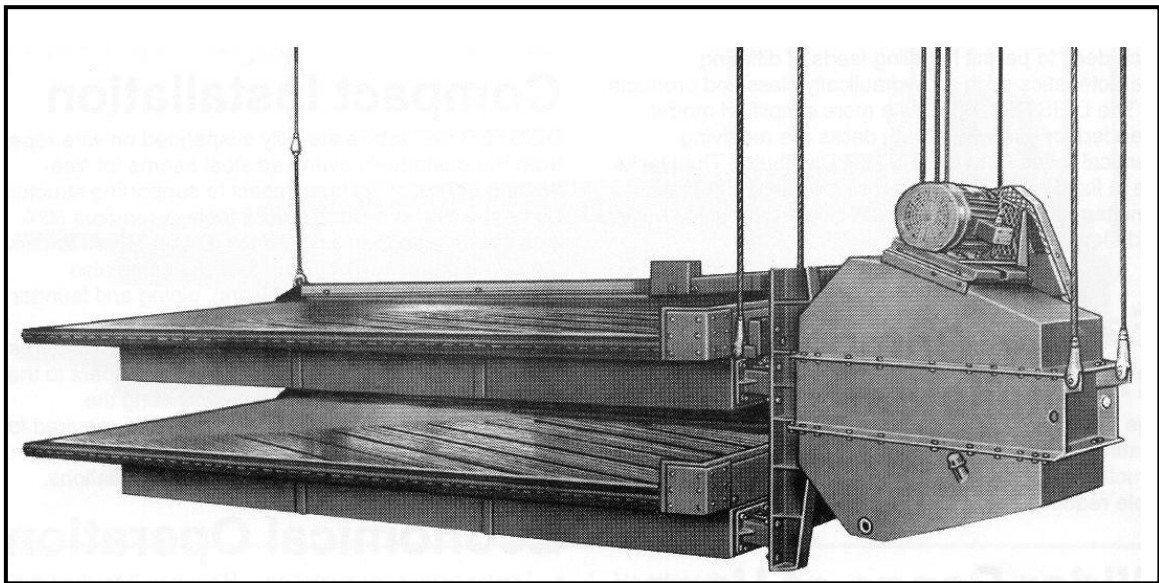


Fig.9.4: Mesas Deister 99 suspendidas por cables (Cortesía de LMC).

La primera mesa de movimiento diferencial fue desarrollada entre 1896 y 1898 por Arthur Wilfley. Esta mesa fue diseñada para la concentración de mineral pero cuando fue equipada con un tablero para la limpieza de carbones se la conocía como mesa Massco.

A partir de la aparición de la mesa Wilfley, han aparecido en el mercado otros modelos como son las mesas: Garfield, Butchart, Deister-Overstrom, SuperDuty, Campbell, Buss, Plat-O y Overstrom Universal.

La mesa múltiple suspendida de cables ha eliminado las características indeseables de la mesa única soportada

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

en el suelo, puesto que con el aumento de múltiples tableros verticalmente, la capacidad por unidad de superficie aumenta considerablemente y por otro lado con los cables se elimina la necesidad de construir cimentaciones robustas para soportar las vibraciones de las mesas.

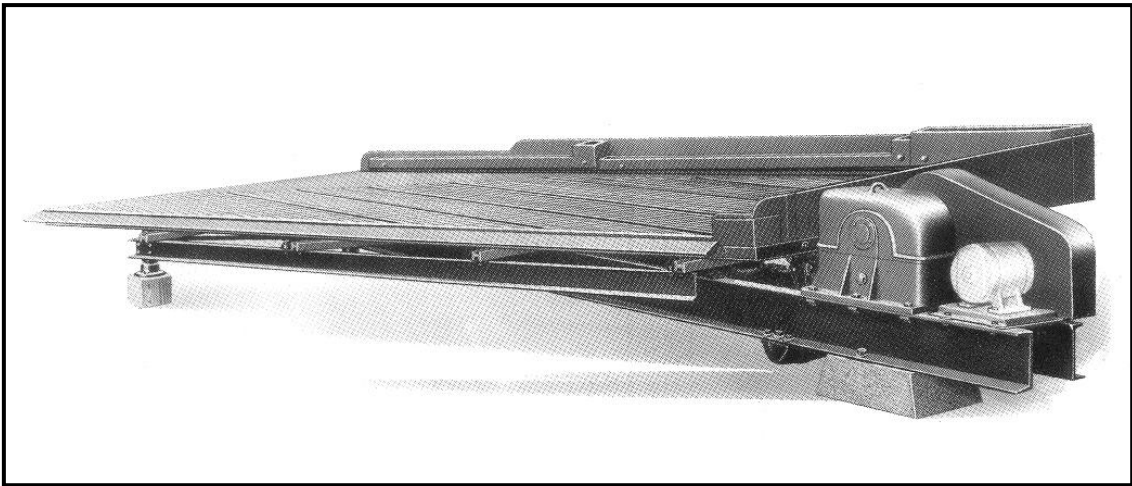


Fig.9.5: Mesa concentradora SuperDuty de Deister Concentrator (Cortesía de LMC).

Estas mesas tiene unos listones que actúan como resaltes de la superficie denominados “riffles”. Estos riffles comienzan con una altura de aproximadamente 9.53 mm y van descendiendo hasta una altura aproximada de 1.6 mm en la zona de concentrado final.

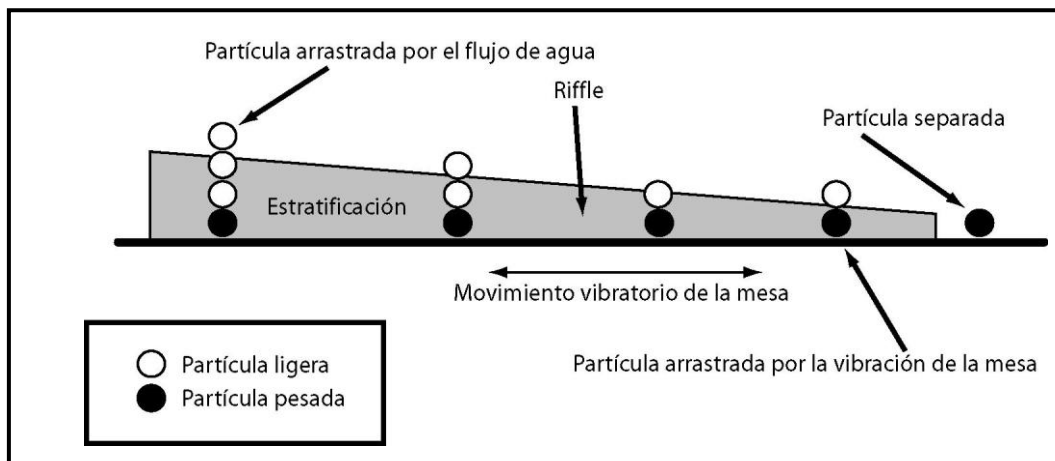


Fig.9.6: Principio de funcionamiento de un riffle.

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

A la mesa se la somete a un movimiento de retorno muy rápido, es decir el movimiento hacia el concentrado final es bastante lento para transportar a la pulpa con él, y el retorno es muy rápido de forma que la mesa es movida en relación a la pulpa que hay encima de ella. De esta forma se consigue llevar la pulpa hacia el final de la mesa. Al tiempo que la pulpa avanza hacia la zona de los concentrados finales, los riffles van disminuyendo en altura con lo que el flujo de agua transversal van eliminando las partículas ligeras de la parte superior de la estratificación mientras las pesadas, situadas en el fondo, se van desplazando hacia el concentrado final.

#### **Principio del Proceso de Separación con Mesas.**

La explicación más aceptada de forma general de la acción de una mesa de concentración es que cuando el mineral se ha distribuido sobre la mesa, en forma de abanico, gracias al **movimiento diferencial** (avance lento-retorno rápido) y al **flujo de agua transversal**, las partículas consiguen estratificarse en capas detrás de los resaltes de la mesa o riffles. La lámina de agua irá separando sucesivamente las partículas más ligeras de las capas superiores estratificadas.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

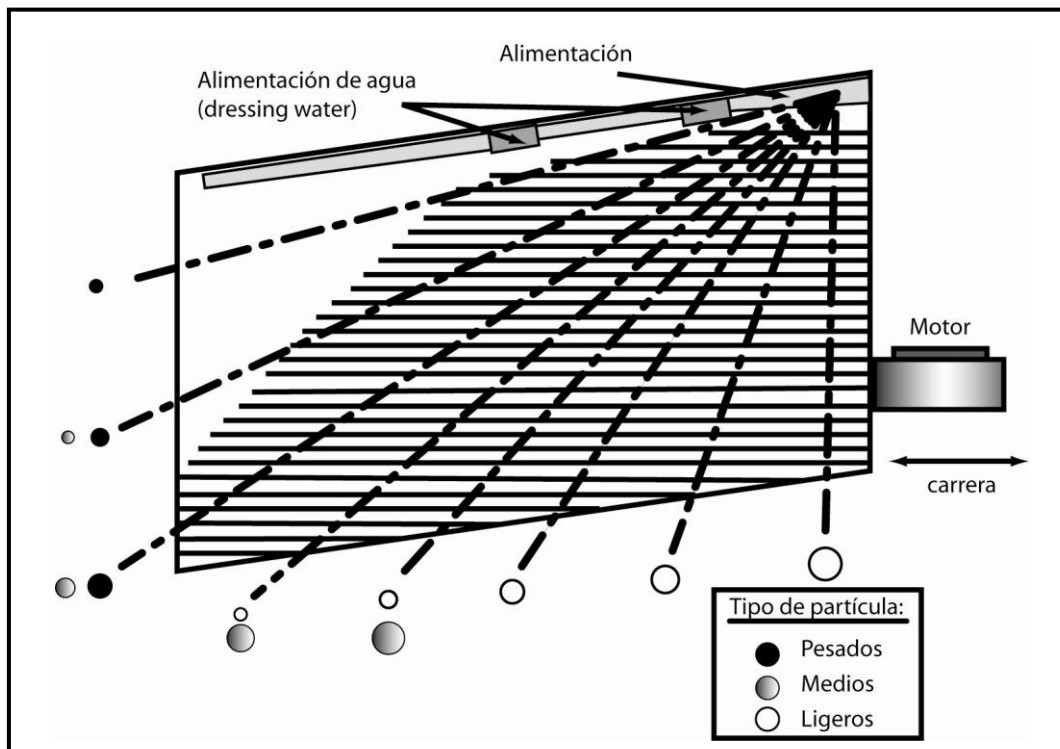


Fig.9.7: Distribución de las partículas sobre una mesa concentradora.

Este agua está formada por un lado por el agua contenida en la pulpa de alimentación y por otro lado por el agua que se aporta independientemente (dressing water). La alimentación de pulpa y de agua se lleva a cabo a lo largo de la parte superior de la mesa. La capa de partículas que llega a la zona de acabados, probablemente no será más gruesa de una o dos partículas de mineral.

La estratificación casi perfecta de las partículas que se obtiene con la mesa (se da cuando tenemos una alimentación clasificada en un rango próximo, por ejemplo entre 9.5 mm y 0.355 mm; y hay poca cantidad de medios, es decir partículas con densidades próximas) es improbable que se lleve a cabo únicamente con las



### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

acciones del movimiento de la mesa y de la lámina de agua por lo que deben intervenir otras acciones.

Según Bird y Davis, postulan que sólo una parte del flujo de agua va a circular por la parte superior de la capa de mineral, el resto circulará a través de los intersticios creados por las partículas. Dichos intersticios son mayores en la parte alta de la capa de mineral que en la zona inferior de la misma; por lo que las corrientes serán más rápidas arriba que abajo, llevando a cabo una acción de clasificación de partículas por tamaños según la distintas capas. Estas corrientes transportarán a mayor velocidad, entre riffle y riffle, las partículas finas ligeras que aquellas pesadas del mismo diámetro.

**Estratificación y Sedimentación Obstaculizada:** Aunque la estratificación, debida a la acción casi horizontal de la mesa y al flujo de agua en un plano paralelo a la misma, no es suficiente para explicar completamente la separación tan precisa que se alcanza con una mesa; es sin embargo el principio fundamental de la mesa, al igual que la sedimentación obstaculizada es el principio fundamental del jig. Aunque estos principios son de características diametralmente opuestas, una mesa probablemente emplea el principio de sedimentación obstaculizada en una pequeña extensión. Los efectos de cada uno de estos fenómenos sobre las distintas partículas que se encuentran sobre la mesa son:

Estratificación: Deposita las partículas gruesas arriba y las partículas pequeñas abajo con igual densidad. Fácil

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

estratificación de las partículas pequeñas pesadas; difícil por sedimentación obstaculizada.

Sedimentación Obstaculizada: Deposita las partículas gruesas abajo y las partículas pequeñas arriba con igual densidad. Fácil separación de las partículas grandes pesadas por sedimentación obstaculizada, difícil por estratificación.

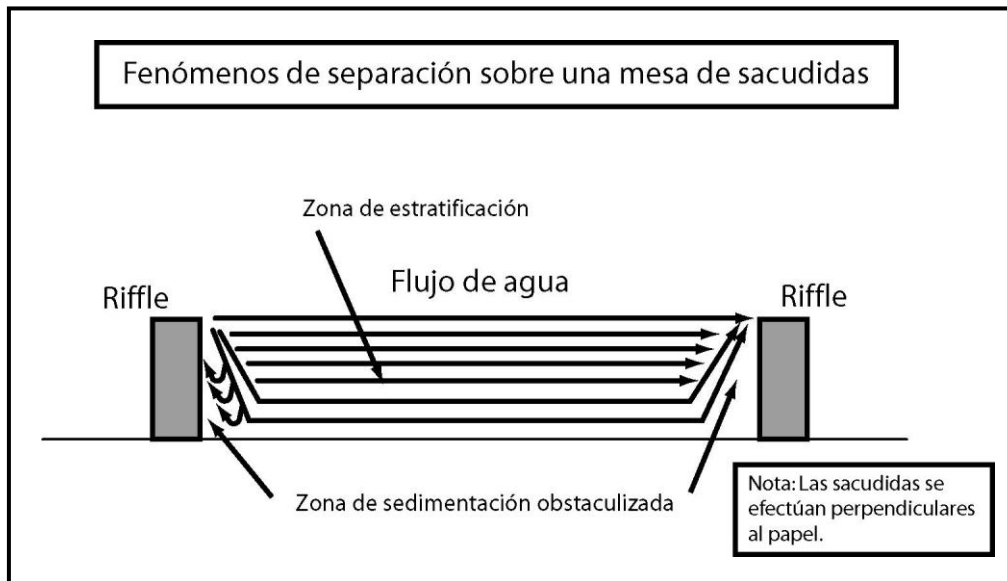


Fig.9.8: Estratificación y sedimentación obstaculizada entre riffles.

La sedimentación obstaculizada podría añadir la función fundamental de llevar las partículas finas y ligeras a la parte superior de la capa mineral. Las partículas grandes y ligeras son llevadas a la zona superior por la estratificación.

#### Sistemas de Accionamiento.

Los principales mecanismos de accionamiento de las mesas son:

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

Sistema Wilfley: En el que el movimiento es transmitido a través de un sistema pitman de biela-excéntrica a unas placas de articulación.

Sistema Plat-O: El movimiento se realiza por un rodillo excéntrico sobre una quicionera móvil alrededor de un eje, la cual comunicará su movimiento a una pieza vertical que estará unida al bastidor de la mesa.

Sistema 88 de Deister Concentrator: El movimiento es transmitido a la mesa a través de una serie de contrapesos excéntricos que rotan a diferente velocidad y unidos por engranajes. Este sistema equipa a mesas que están suspendidas del techo.

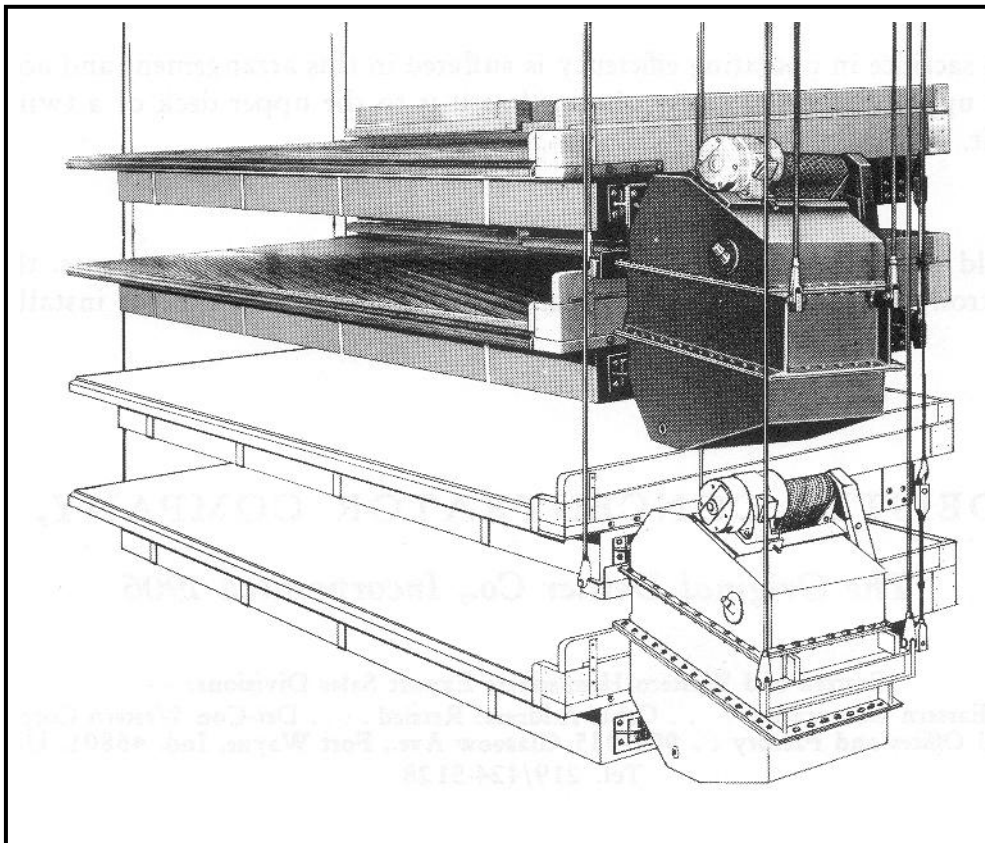


Fig.9.9: Mesas Concenco 88 para lavado de carbón (Cortesía de LMC).

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

##### Tipos de Mesas.

Hay diferentes tipos de mesas, las cuales se van a diferenciar en la forma de la misma, el tipo de estriado, dirección del estriado, etc. Algunas de las más conocidas son la mesa Wilfley, la mesa Butchard, la mesa Deister-Overstrom, la mesa Plat-O, mesa SuperDuty, mesa Concenco 88, mesa Deister 999, etc.

La mesas más antiguas estaban revestidas con linóleo y los listones o riffles eran de madera, más recientemente los riffles son de caucho y están pegados al revestimiento de la mesa, el cual también es de caucho. Actualmente se tiende a mesas construidas en una sola pieza (incluidos los riffles) de poliuretano, evitándose los problemas de pérdida o combado de los listones así como su mayor impermeabilidad y resistencia a la abrasión.

##### Factores de Operación.

Los factores que hay que vigilar, para que el proceso de concentración se desarrolle adecuadamente (tabling) son:

- **Movimiento vibrante horizontal:**
  - Carrera lenta hacia adelante y carrera rápida hacia atrás.
  - 250-300 golpes por minuto.
  - longitud del recorrido de 10 – 25 mm.
- **Flujo de agua:**
  - 75 % agua de la alimentación, 25 % agua de lavado (dressing water).
- **Pendiente de la mesa:**

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

- La mesa está inclinada ligeramente hacia la zona de rechazo (concentrado de mineral).
- la mesa está ligeramente elevada a lo largo de la línea de movimiento desde el extremo de la alimentación hasta el extremo del concentrado.

#### ● **Riffles:**

- Su altura y espaciado son variables importantes.
- Obstaculizan el avance de las partículas pesadas.

Las mesas para el concentrado de mesas se emplean en el tratamiento de minerales de estaño, hierro, tungsteno, tantalio, mica, bario, titanio, zirconio, oro, plata, uranio, etc. Sin embargo su mayor empleo se encuentra en el lavado de carbones.

### **9.3. Espirales Humphreys (Spirals).**

Los concentradores de espiral emplean la lámina fluyente como medio de separación gravimétrica de partículas de diferente densidad. No deben confundirse con los clasificadores de espiral (Spiral classifier) que normalmente separan partículas de diferente tamaño.

Un concentrador de espiral, también conocido como *espiral Humphreys*, consiste básicamente en una o más arquetas (troughs) de sección semicircular que describen una trayectoria helicoidal vertical alrededor de una columna central que sirve de soporte. Para aumentar la

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

capacidad por unidad de superficie de planta, las espirales pueden estar compuestas por uno, dos o tres canales helicoidales alrededor de una columna común. Las espirales Humphreys pueden estar construidas en configuraciones de tres, cinco, siete o más vueltas.



Fig.9.10: Bancada de espirales Humphreys LC3000 (Cortesía de Carpcó)

Las espirales comenzaron a emplearse en 1943 en la industria mineral para el tratamiento de arenas ricas en cromo y posteriormente se ha empleado para la concentración de oro, plata, estaño, ilmenita, rutilo, circón, monacita, hierro, barita, fluoespato y fosfato. También ha tenido una importante introducción en el lavado de carbones (eliminación de cenizas y pirita) desde su primera aplicación en 1947 en la Hudson Coal Company.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

Para tener una primera estimación del grado de éxito que se puede obtener con la espiral, se puede recurrir a la siguiente expresión:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{partícula\ pesada}}{\rho_{partícula\ ligera}} \quad (9.1)$$

Donde  $\Delta\rho$  = Diferencia de densidad,  $\rho$  = densidad relativa de la partícula. Según el valor de  $\Delta\rho$  tendremos la siguiente tabla:

Tabla 9.1: Tipo de separación según el valor de  $\Delta\rho$ .

Valor de $\Delta\rho$	Separación
2.0	Excelente
1.5	Buena
1.1	Pobre

#### Principio de Funcionamiento.

La pulpa (slurry) es introducida en la parte superior de la espiral, sobre el canal semicircular, a través de un distribuidor de alimentación (feed box) e inmediatamente la pulpa es sometida a una fuerza centrífuga generada gracias a la geometría de la espiral. Las partículas más ligeras son llevadas más rápidamente por el empuje de la lámina fluyente, alcanzando una mayor velocidad tangencial que facilitará su ascenso hacia la periferia de la artesa mientras que las partículas más pesadas serán dirigidas hacia la zona próxima de la columna central, como consecuencia de su menor velocidad tangencial

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

facilitada por una menor velocidad del flujo de agua debido a la fricción con la superficie (según Mitchell). Según Taggart el movimiento helicoidal que adquiere la pulpa en su bajada, hará que las partículas mas pesadas se dirijan a la zona interna por saltación mientras que las partículas más ligeras se dirigirán a la zona externa por suspensión.

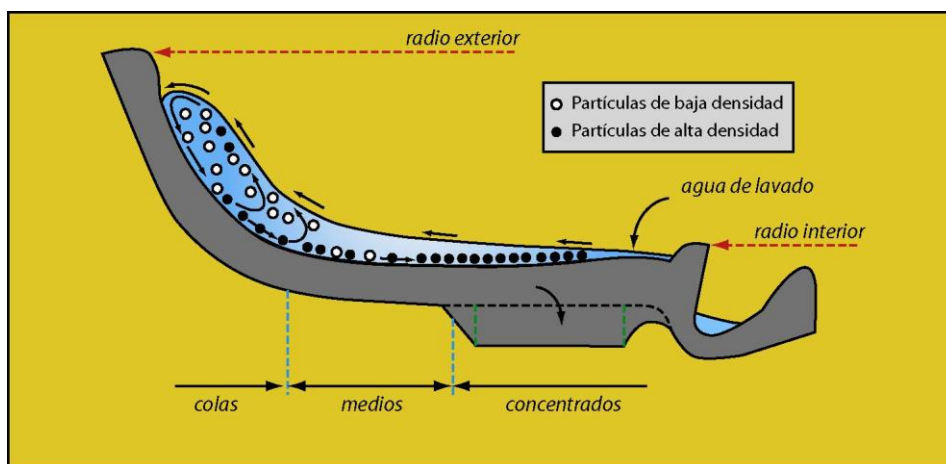


Fig.9.11: Sección transversal de la artesa de una espiral y distribución de las partículas sobre ella.

Carpco (fabricante que comercializa las espirales Humphreys desde 1988) presenta la siguientes regiones sobre la sección transversal de la artesa:

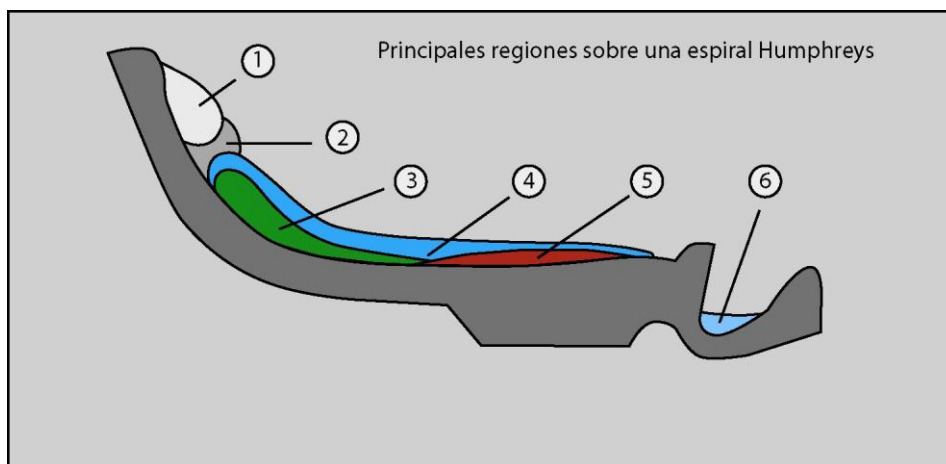


Fig.9.12: Regiones de trabajo sobre una sección transversal.



### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

**Región 1:** Esta región de agua elevada consiste principalmente de agua y partículas finas, la mayor parte de las cuales han quedado atrapadas aquí desde el alimentador. El agua presenta aquí un movimiento anti-horario. En esta región no hay separación debido a la baja densidad de pulpa y a la alta velocidad de la pulpa que impiden cualquier sedimentación de las partículas densas.

**Región 2:** Esta franja es la región con la máxima velocidad del agua, y representa por tanto la máxima fuerza centrífuga del agua, moviéndose el agua hacia abajo e interrumpiendo cualquier movimiento entre las regiones 1 y 3.

**Región 3:** Esta región es considerada la región superior con una velocidad muy alta de pulpa. El agua en esta región se mueve en sentido horario y la mayor parte de la separación tiene lugar en ella. Las partículas más densas sedimentan en el fondo de la artesa y caminan hacia la región 5. Al mismo tiempo, las partículas menos densas son suspendidas en la alta velocidad del agua y son llevadas a la región 2.

**Región 4:** Esta pequeña región es donde las regiones 3 y 5 se solapan. Sirve como punto de referencia para los operadores de espirales.

**Región 5:** Es la región donde se concentran las partículas de mayor densidad. Las partículas menos densas de esta región se dirigen hacia la parte alta de la capa de pulpa y entonces son llevadas lejos por el agua que fluye sobre la superficie de la capa de pulpa. Este lavado se mejora con la introducción de agua de lavado a través de la región 6.

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

**Región 6:** Sobre los modelos de espiral tipo “washwater”, se añade un agua adicional para lavar las partículas menos densas antes de que las partículas densas sean recolectadas en el orificio de concentrados.

#### **Parámetros de operación.**

Las espirales pueden manejar un rango de tamaños tan amplio como 3 mm y 75  $\mu\text{m}$  (1.2 mm y 150  $\mu\text{m}$  para el carbón). Pero para óptimas separaciones se aconseja la clasificación hidráulica de la alimentación.

La capacidad de tratamiento por artesa helicoidal (start) puede variar entre 1 y 4 t/h de mineral. En tratamiento de carbón se pueden llegar a alcanzar 5 t/h.

La pulpa de alimentación puede contener un porcentaje de sólidos en peso comprendido entre 15 y 45 % (25 - 40 % en carbón)

#### **Diseño de los equipos.**

La artesa semicircular presenta unos orificios donde es recogido el concentrado; estos orificios están situados en la zona más próxima a la columna central. La columna central actuará como colector de las partículas más pesadas. Hay algunos modelos que suplementariamente añaden agua, denominada agua de lavado (wash water), que se agrega en el borde interior y facilitará el alejamiento de las partículas ligeras hacia la periferia.

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

También existen equipos donde la recolección de las partículas es recogida en la parte inferior (splitter box) de la espiral a través de unos separadores (splitters).



Fig.9.13: Espirales para mineral de hierro HC1800 (Cortesía de Carpcó)

Las espirales eran fabricadas en un principio de hierro fundido e incluso de hormigón; lo que resultaba en equipos pesados, de elevado coste y con una baja capacidad por unidad de superficie de planta. En la actualidad se construyen de fibra de vidrio con revestimiento de poliuretano o caucho lo que permite solapar varios canales en una misma columna incrementando de este modo sus capacidades por unidad de superficie.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

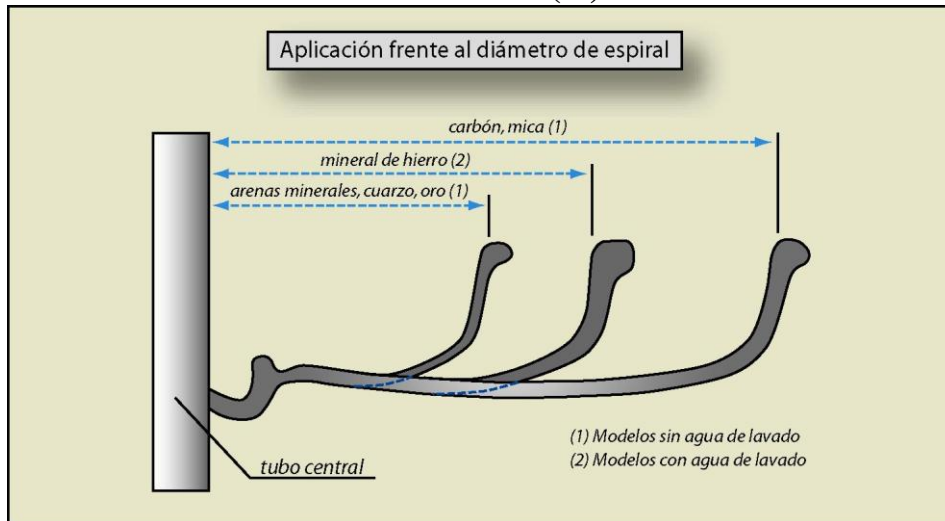


Fig.9.14: Diferentes diseños de artesa y su aplicación.

## 9.4. Canales de puntas (Pinched Sluices).

Son los equipos más simples y antiguos empleados en la concentración gravimétrica, sobre todo arenas auríferas extraídas con monitores u otro medio como son las dragas.

Los primeros equipos eran simples canales (sluices) de madera o artesas de 30 cm a 3 m de ancho, de 15 cm a 1.2 m de profundidad. Sobre el fondo de estos equipos se disponían todo tipo de obstáculos para atrapar las partículas pesadas como eran listones de madera, piedras, etc. Los resaltes o listones construidos de madera, u otro material, constituyen lo que se denomina “riffles”. Las paredes de dichos canales eran paralelas y había que parar el proceso para la recuperación de los minerales valiosos. Actualmente estos canales conocidos como “palongs” se emplean en sudeste asiático para la recuperación de casiterita, ilmenita, monazita y circón de las arenas aluviales extraídas por dragas.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

Los canales de puntas son simples canalones en los que las paredes sufren un estrechamiento conforme la lámina fluyente alcanza el extremos final y donde la capa de partículas, convenientemente estratificada, es separada con la instalación estratégica de cortadores de flujo (splitters), esto permitirá una descarga de concentrado continua. Para una eficiente concentración de las partículas pesadas, se suelen poner los canalones en cascada para que las partículas tengan la posibilidad de estratificarse y recuperar los minerales valiosos de las colas.

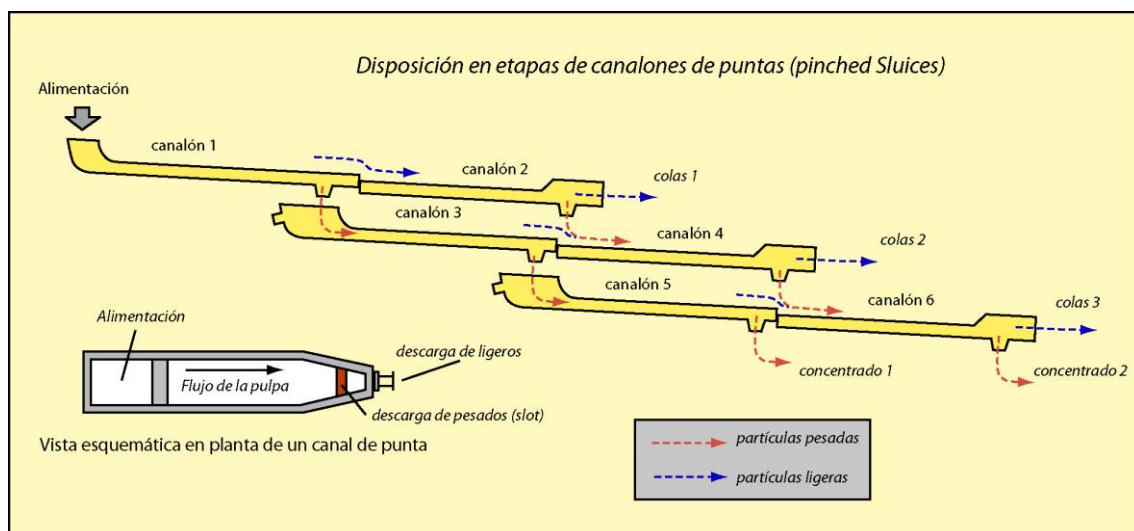


Fig.9.15: Canalones de punta en cascada.

## 9.5. Conos Reichert (Cones).

El concentrador de cono Reichert es un concentrador gravimétrico de alta capacidad y bajo coste desarrollado a principios de 1960 (Australia) para dar respuesta a las necesidades de los depósitos de arenas minerales en la recuperación eficiente de minerales de titanio y circón.

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

Estos equipos no tienen partes móviles y por tanto los costes energéticos y de mantenimiento son bajos. Los primeros conos estaban limitados en cuanto a la flexibilidad de las operaciones de concentración.



Fig.9.16: Conos Reichert. (Cortesía de MD Mineral).

Con el tiempo han introducido mejoras en su diseño como son la incorporación de materiales antidesgaste, como son los revestimientos de plástico o caucho, y separadores de flujo (splitters) que permiten una mayor

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

flexibilidad en el control de la corriente de pulpa. Tanto los conos como los canales (sluices) son de fibra de vidrio.

El empleo del cono Reichert se ha extendido para aplicarse en el tratamiento de otras arenas minerales procedentes de depósitos aluviales o de placeres. Por ejemplo se emplea para el beneficio de minerales de hierro, estaño y tungsteno, oro y arenas silíceas (cuarzos). También se emplea para la recuperación (scavenging) de trazas de minerales pesados de alto valor que se encuentran en las colas de los circuitos de flotación.

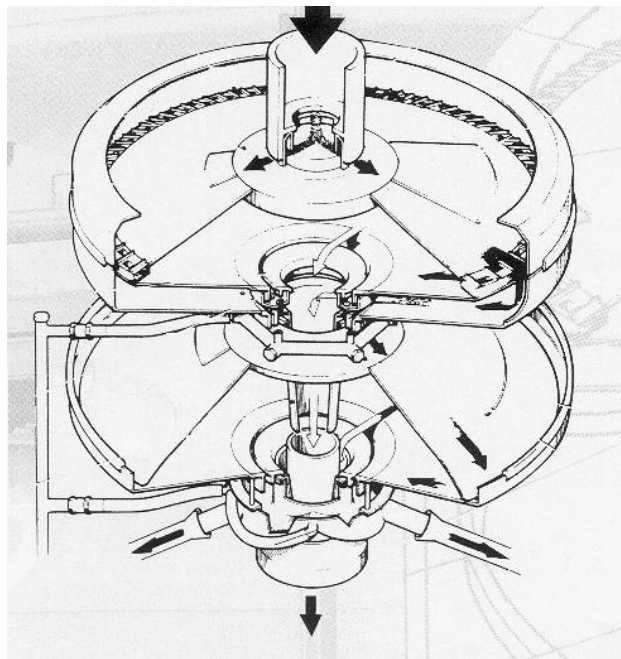


Fig.9.17: Disposición de los conos Reichert (Cortesía de MD Mineral).

Estos equipos consisten en varias secciones de cono apiladas para facilitar el proceso de enriquecimiento en varias etapas con una sola unidad. Estas unidades estarán formadas por uno o varios conos dobles (D) y conos simples (S) con su correspondiente adaptador cónico para distribuir.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

##### Mecanismo de separación.

Estos equipos están diseñados para el tratamiento de partículas de mineral con tamaños inferiores a los 2 mm y la recuperación de partículas pesadas de tamaños pequeños que pueden llegar hasta las 30  $\mu\text{m}$ .

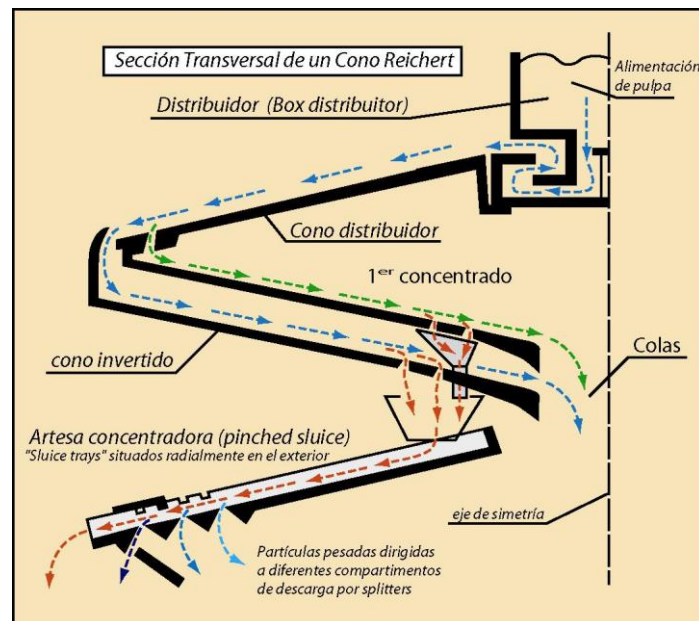


Fig.9.18: Principio de funcionamiento de un cono doble.

La alimentación de la pulpa con elevada densidad (60-65 % en sólidos) se introducen a través del distribuidor superior, el cual distribuye la pulpa de forma suave sobre la superficie de un cono distribuidor, el cual actuará de la misma forma sobre la lámina fluyente que los canales ahusados (pinched sluices) pero sin el efecto indeseable de los bordes laterales; estos conos poseen en sus periferias unos colectores periféricos que separan del flujo las partículas pesadas (concentrado) de las partículas ligeras



### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

(colas). Finalmente el concentrado se introduce en unos canales exteriores donde, a través de cortadores de flujo (splitters), se consigue seleccionar la descarga final de los conos que se dirige hacia los compartimentos del colector (Collector box).

El mecanismo de separación que se produce en estos equipos es una combinación de sedimentación obstaculizada, precolación intergranular y lámina fluyente resultando en un capa de partículas fluyente y estratificada en la cual las partículas finas densas se concentran en el fondo de la corriente de pulpa y son recogidas por los colectores periféricos (annular slot).

#### **Diseño de los equipos.**

Los conos Reichert se suministran con diámetros de 2 m y 3.5 m. Estos últimos dan una mejor eficiencia en la recuperación pues la longitud de estratificación es mayor, lo que va a redundar en una disminución de las etapas de cono necesarias.

Las capacidades de los conos de 2 m de diámetro varían entre 50 y 90 t/h de sólidos.

Los equipos se ensamblan con diferentes configuraciones de conos (platos dobles o simples) en función de los requerimientos, así tenemos configuraciones 3DS, 4DS, 2DSS DS, etc.

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

## **9.6. El concentrador Bartles-Mozley.**

Este equipo es un desarrollo avanzado de las mesas basculantes (tilting frame) categoría a la que también pertenece el equipo Denver-Buckman, pero este último carece de movimiento vibratorio. En esta categoría de equipos las partículas pesadas son sedimentadas sobre la superficie de las bandejas, la cual posee algún tipo de textura para facilitar la retención de los minerales valiosos. Su recuperación se lleva a cabo una vez que la etapa de alimentación se ha detenido de ahí que sean equipos de proceso intermitente y no continuo.

El concentrador Bartles-Mozley se emplea en la separación gravimétrica fina, concretamente para la recuperación de partículas pesadas comprendidas entre 5 y 70  $\mu\text{m}$ , aunque es más eficiente en el rango de 10 a 50  $\mu\text{m}$ . Las partículas más grandes que ha tratado han sido superiores a 150  $\mu\text{m}$ .

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

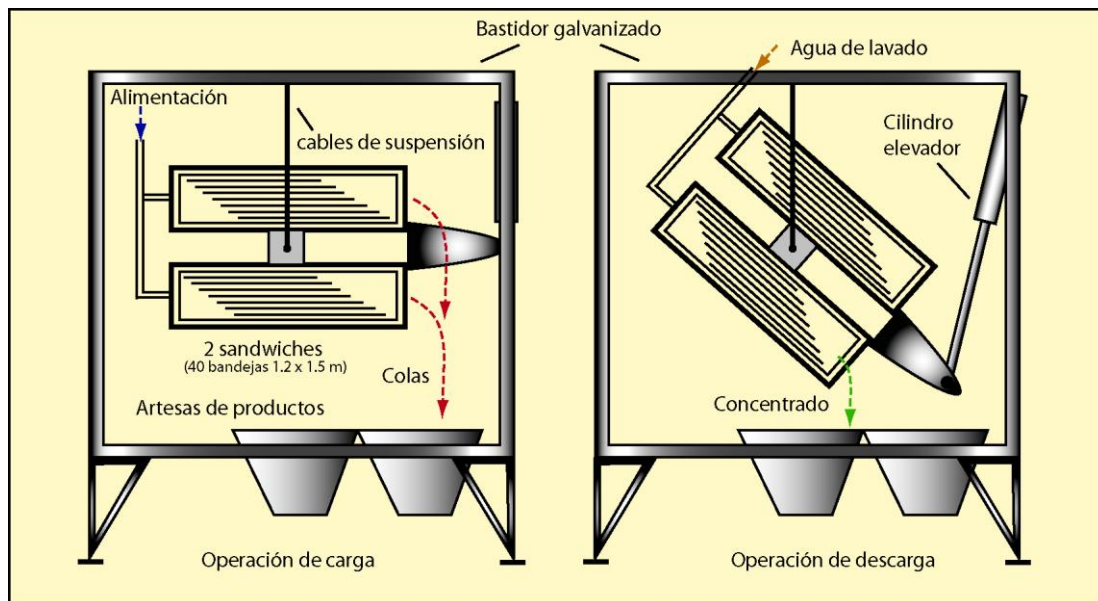


Fig.9.19: Funcionamiento de un concentrador Bartles-Mozley.

El equipo que se basa en la técnica de lámina fluyente consiste básicamente en un bastidor de acero galvanizado el cual soporta dos bancadas de 20 bandejas cada una, de 1.2 x 1.5 m cada bandeja. Las bandejas son de fibra de vidrio con su superficie lisa.

Las bancadas o sandwiches están suspendidos por cables al bastidor y tienen una ligera inclinación de entre 1° y 4° hacia el recipiente de las colas.

El movimiento vibratorio se lleva a cabo por un peso excéntrico emplazado entre las dos bancadas que gira entre 150 y 200 rpm movido por un motor eléctrico de 200 W.

La pulpa (entre 5 y 15 % de sólidos) es introducida a todas las bandejas a través de un sistema de tubería de plástico alimentándolas a través de cuatro puntos a lo

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

largo de su ancho. La alimentación fluirá sobre las bandejas durante 15 minutos, estamos en la operación de carga. Seguidamente se interrumpe la alimentación y las bancadas se inclinan 45° para iniciar la operación de descarga que trata de extraer el concentrado depositado sobre las bandejas por medio del agua de lavado; esta operación dura 20 segundos y al final de la misma el sistema vuelve automáticamente a iniciar el ciclo

Este equipo se desarrolló inicialmente para el aprovechamiento de la casiterita fina de las menas de estaño. Sin embargo, debido a su alta eficiencia se han extendido sus actuaciones como son la recuperación de mineral fino de los depósitos antiguos de colas y la recuperación de estaño de las colas de plomo, zinc y cobre provenientes de los procesos de flotación.

Como cualquier equipos de concentración gravimétrica, comienza a contarse con él en la recuperación de otros minerales como la molibdenita, mica, monazita, rutilo, scheelita y circón; y el aprovechamiento de los óxidos minerales y desechos metalúrgicos.

#### **9.7. El concentrador de banda Bartles.**

Este equipo se desarrolló para enriquecer los concentrados provenientes del equipo Bartles-Mozley, en la gama granulométrica de 5 a 100  $\mu\text{m}$ . Es un desarrollo avanzado de una categoría de equipos, ya en desuso, que

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

se conocen en la lengua anglosajona como “vanners” los cuales han sido descritos muy bien por Taggart.

Este equipo es un separador de banda sin fin de PVC de 2.4 m de ancho. la superficie de la banda está inclinada hacia los laterales desde una pequeña elevación central que recorre a la banda longitudinalmente. Esta banda se ve sometida a un movimiento vibratorio producido por unas masas excéntricas.

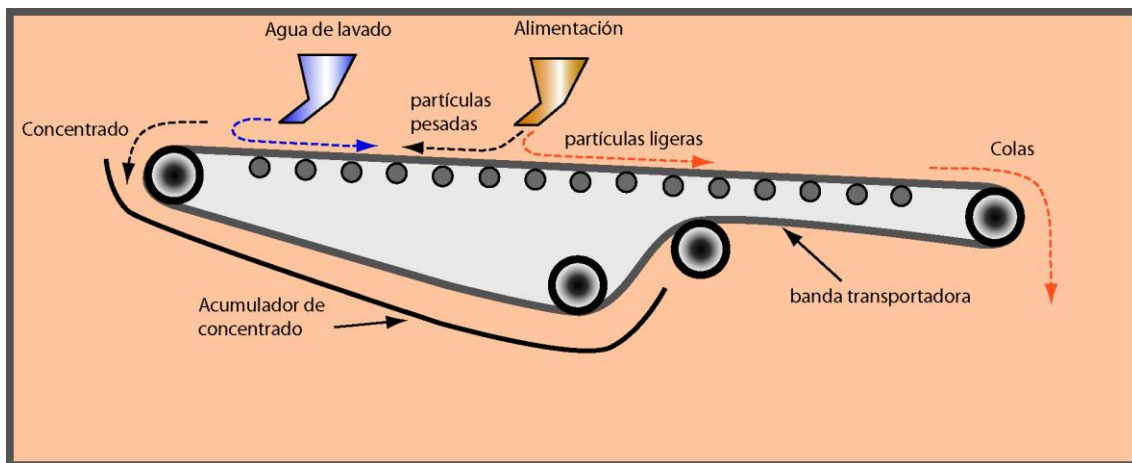


Fig.9.20: Corte esquemático de un separador de banda Bartles.

La pulpa de alimentación se introduce a lo largo de la mitad de la longitud de la elevación central. Las partículas pesadas sedimentarán sobre la banda y será retiradas a través de la polea guía mientras que las partículas ligeras, en suspensión sobre la lámina fluyente, serán retiradas por medio del agua de lavado.

## 9.8. Concentradores Centrífugos.

A partir de 1980 han ido apareciendo equipos de concentración gravimétrica que aprovechaban el efecto de

### **BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

#### **TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

la lámina fluyente junto con la acción centrífuga para recuperar aquellas partículas pesadas que son demasiado pequeñas para ser recuperadas con otros equipos de forma eficiente (p.e. - 6  $\mu\text{m}$ ).

#### **Equipos centrífugos de eje vertical (Bowls).**

Son equipos que llevan más de 90 años empleándose sobre la mayor parte de los principales equipos de dragado de arenas metalíferas aluviales para la etapa de limpieza (clean-up) de aquellos concentrados previamente tratados (rougher concentrates).

Estas máquinas consisten básicamente en un tazón troncocónico (bowl) con diámetros superiores a 91 cm, que giran (400 rpm) en torno a un eje vertical movidos por un motor situado en el fondo, esto le imprimirá a las partículas una fuerza igual a varias veces la fuerza de la gravedad (60 g). La superficie interior de estos equipos posee un riflado o nervios para obstaculizar el avance de las partículas de concentrado, que tienden a subir hacia arriba por el fondo de la lámina fluyente, mientras que las partículas ligeras o colas superarán los rifles reuniéndose en unas descargas periféricas superiores diseñadas para tal efecto. Los concentrados se recogerán a través del fondo con ayuda de inyección de agua de lavado una vez que la alimentación se ha interrumpido.

### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

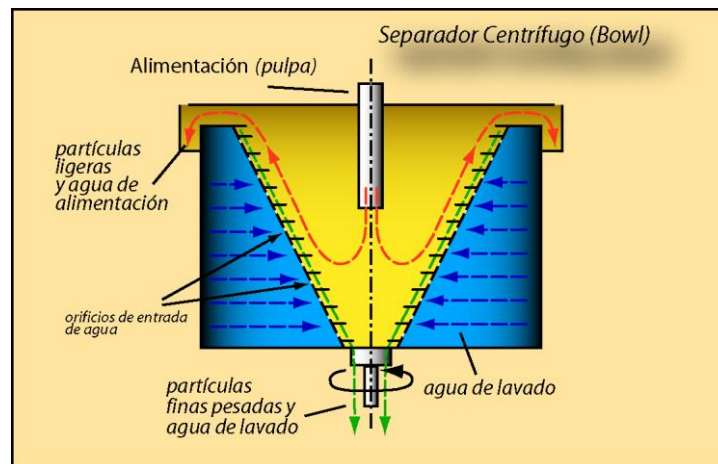


Fig.9.21: Principio de operación de un concentrador de tazón (bowl).

En los últimos años se han desarrollado estos equipos para permitir la separación de las partículas de concentrado sin interrumpir el proceso de alimentación (sin “washwater”) y sin detener el giro del equipo. Además se ha mejorado el diseño de los tazones así como el tipo de estriado o rifleado de la superficie interior de los mismos. Como es el caso de los concentradores Knelson. Otros equipos con esta tecnología son los concentradores Falcon.

Estos equipos se suelen emplear en la recuperación de partículas finas de oro aluvial, tratamiento de colas (scavering), limpieza de partículas finas de carbón, etc.

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

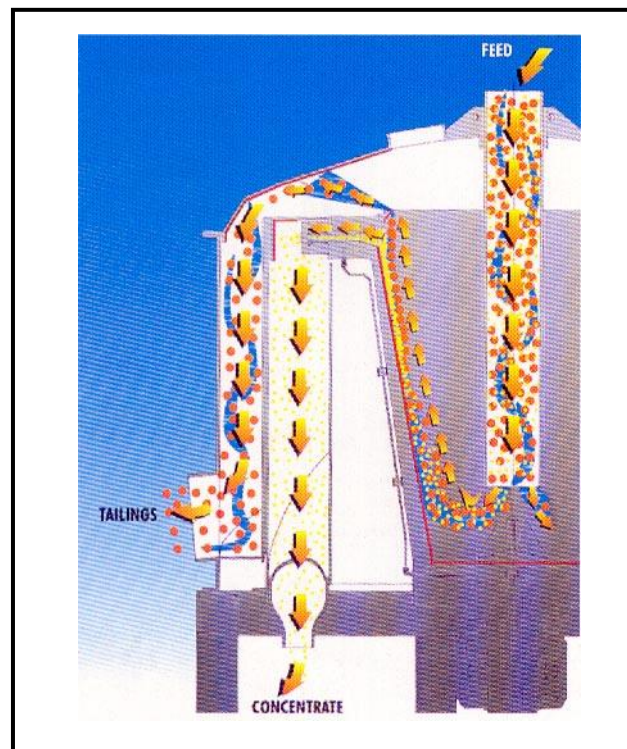


Fig.9.22: Concentrador continuo (Cortesía de Falcon).

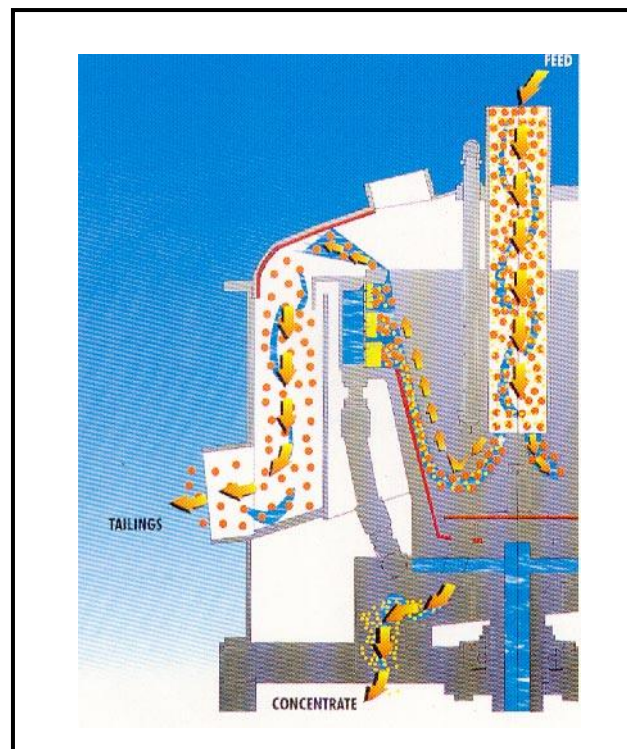


Fig.9.23: Concentrador discontinuo (Cortesía de Falcon)



### BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.

#### TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE

##### Multy-gravity separator (MGS) de Mozley.

Este equipo es básicamente un tambor con una ligera inclinación de  $0^{\circ}$  a  $9^{\circ}$  que gira de 100 a 280 rpm lo que le imprime a las partículas una fuerza centrífuga en torno a 15 g. En su interior dispone de 4 barras longitudinales equipadas con 9 rascadores pequeños cada una (65 mm) o scrapers, que rasparán ligeramente la superficie para desplazar las partículas pesadas del fondo hacia la descarga de concentrados.

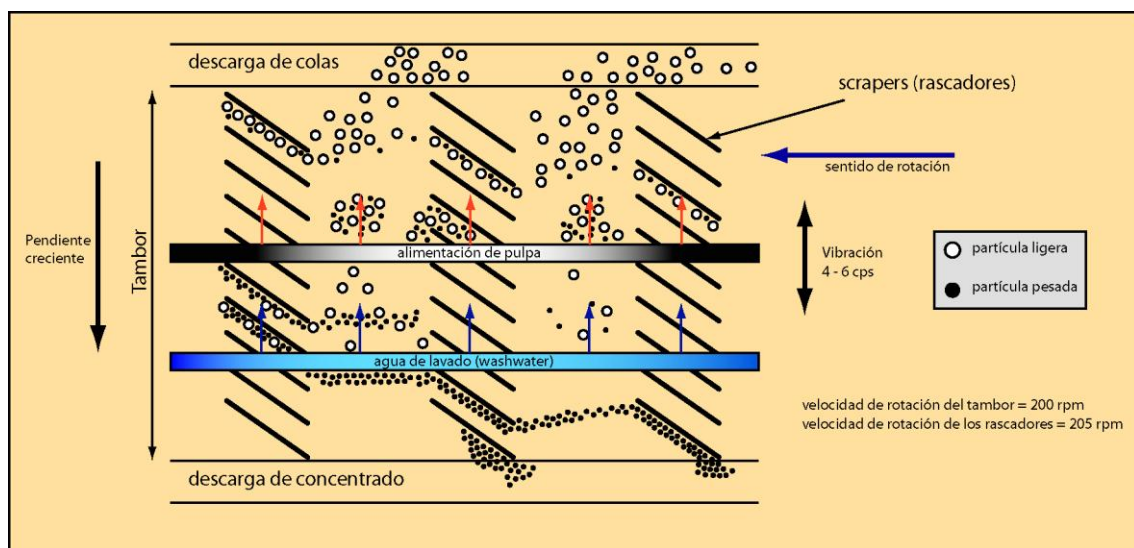


Fig.9.24: Principio de operación de un MGS.

Se añade agua de lavado cerca del extremo abierto del tambor. La acción de “arado” de los rascadores girará la capa de mineral facilitando la liberación de las partículas ligeras de ganga que serán arrastradas por el agua de lavado hacia la descarga de colas. A los tambores también se les imprime una vibración o sacudida de 4 a 6 cps para facilitar el transporte y separación de los pesados.

**BLOQUE 3: PROCESOS DE CONCENTRACIÓN.**

**TEMA 9: CONCENTRACIÓN POR GRAVEDAD (II). LÁMINA FLUENTE**

Mozley suministra equipos de varios tamaños desde el C900 para ensayos de laboratorio de 1634 x 858 mm hasta el MeGaSep de 9600 x 2900 mm.

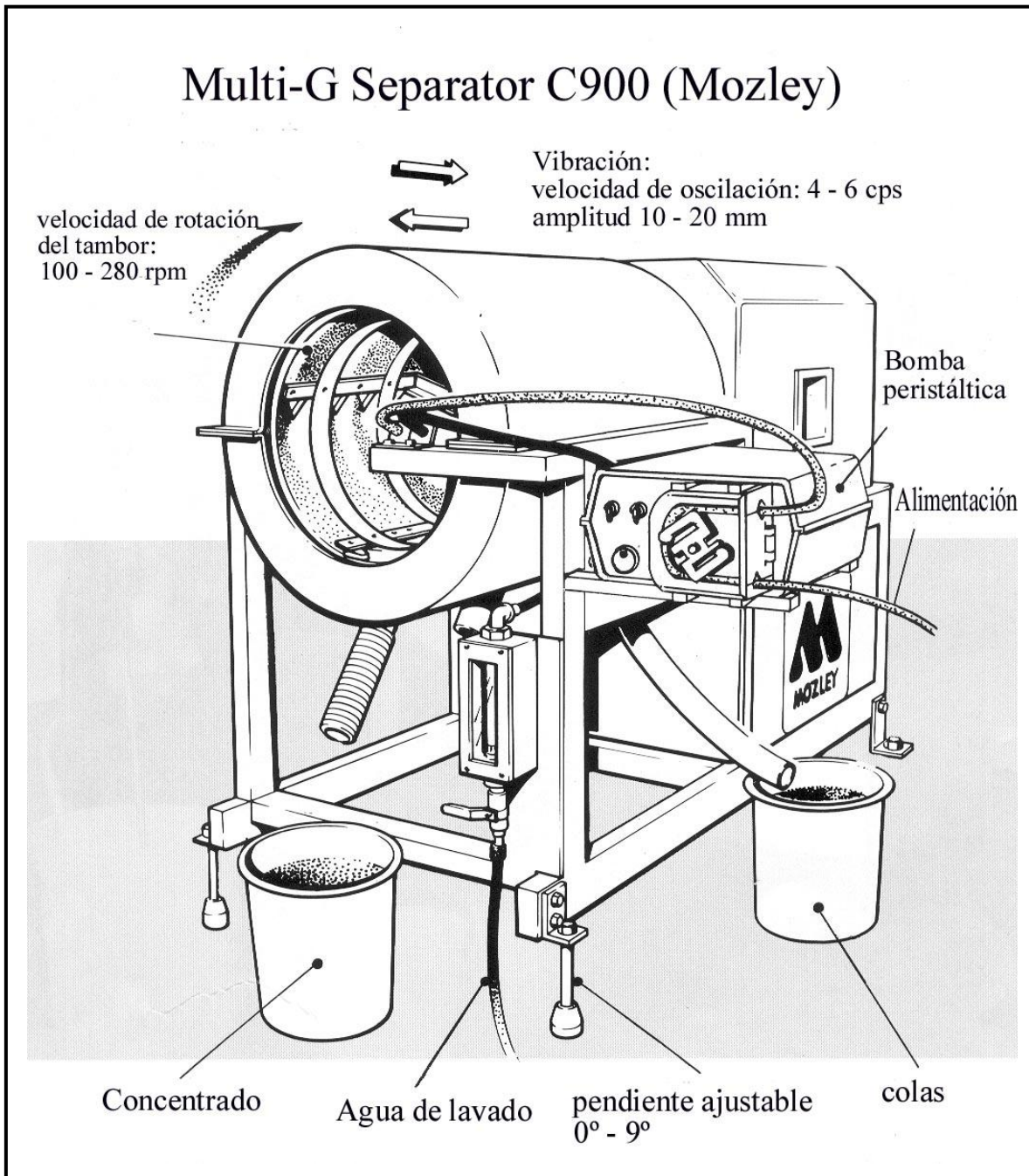


Fig.9.25: Multi-gravity separator C900 (Cortesía de Mozley).