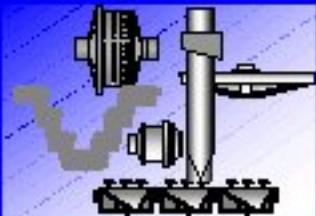


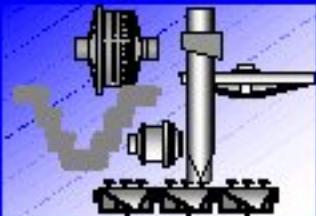


Separación sólido - líquido



Separación sólido - líquido

- En la industria minera el **agua es un bien escaso** y preciado. La mayor parte de los procesos utiliza cantidades sustanciales de agua, requiriéndose su recuperación mediante etapas de **separación sólido - líquido**. El agua que se recupera no se descarta y es, en su mayor parte, **recirculada** al proceso.
- Como resultado de la separación sólido - líquido se obtendrá un líquido prácticamente exento de partículas y un producto con sólidos en una concentración superior a la de la pulpa de alimentación. La separación total no es posible de obtener porque, si bien el líquido puede no tener partículas sólidas en suspensión, la corriente con sólidos retendrá líquido entre sus partículas (humedad).



Separación sólido - líquido

❖ **Etapas de separación sólido - líquido**

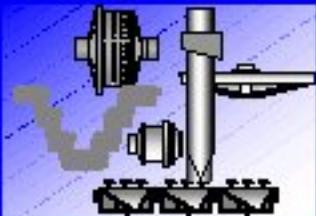
Aunque existen otros métodos alternativos (centrifugación) y/o complementarios (secado), dos son las etapas principales utilizadas en la separación sólido – líquido: el espesamiento y la filtración.

◆ **Espesamiento**

Su principio es la **sedimentación** de las partículas como base de la separación, la cual puede acelerarse con la adición de reactivos llamados **floculantes**.

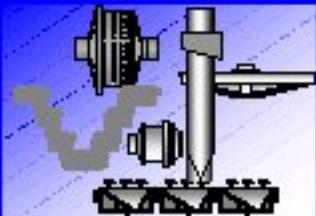
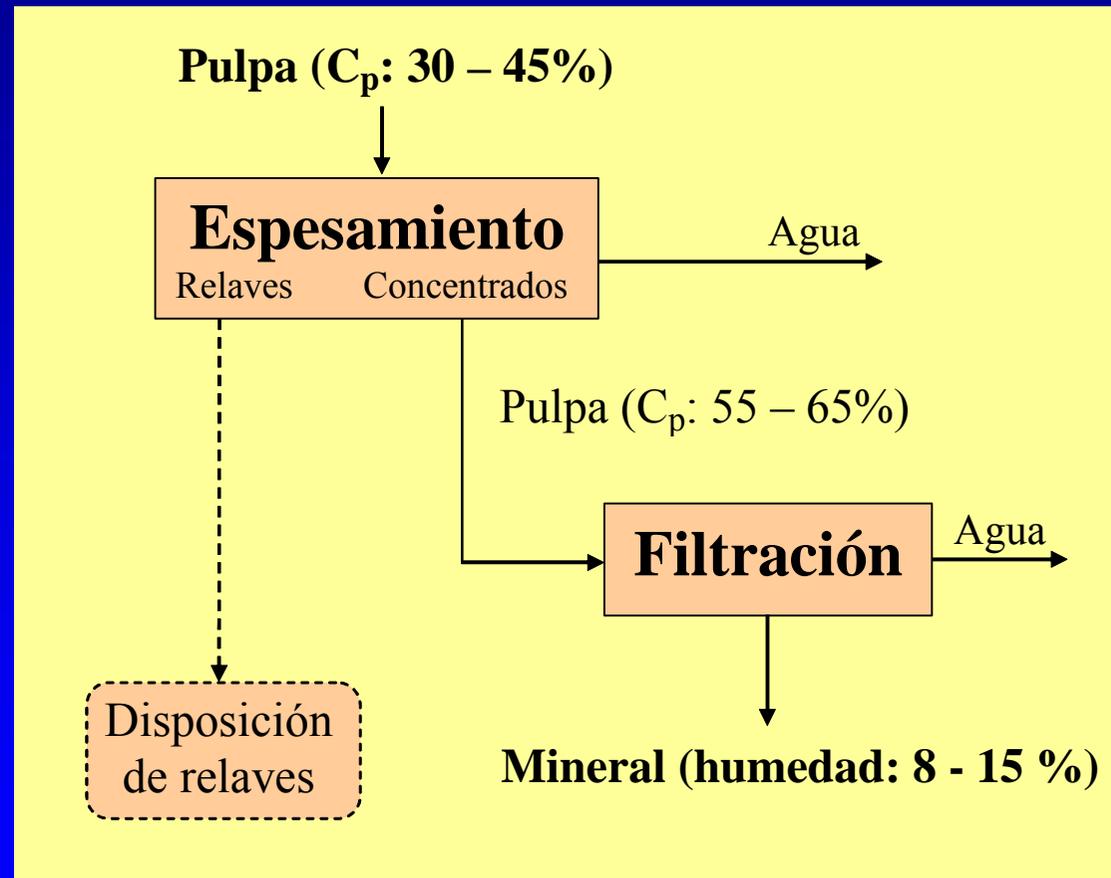
◆ **Filtración**

La pulpa se pone en **contacto con un material poroso**, a través del cual se hace fluir el líquido, el que se extrae gracias a la presión fluidoestática mediante succión o presión dada por un dispositivo mecánico adecuado.



Separación sólido - líquido

En el procesamiento de minerales se utiliza normalmente una combinación de ambos métodos, en el orden siguiente:



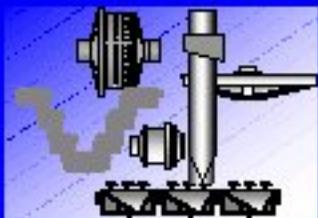
Separación sólido - líquido

Las partículas de tamaños muy finos sedimentan con mucha lentitud. Para aumentar la velocidad de sedimentación, es decir mejorar la separación sólido – líquido, se puede utilizar la **Coagulación** o la **Floculación**.

La unión de partículas finas en suspensiones puede inducirse de tres maneras:

- (1)- Reduciendo la carga superficial
- (2)- Reduciendo la doble capa eléctrica
- (3)- Por conexión polielectrolítica (floculación)

Los puntos (1) y (2) se consiguen cuando el pH se acerca al punto isoeléctrico, es decir cuando el Potencial Zeta = 0 o cuando el potencial superficial es cero (PCC). En estos casos tanto la carga superficial como la doble capa eléctrica disminuyen, aminorando la repulsión entre partículas y facilitando su **coagulación**. Para lograrlo se utilizan iones como Fe^{++} , Al^{+++} y Ca^{++} , que comprimen la doble capa y reducen la carga superficial.



El punto (3) se consigue con reactivos llamados **floculantes**.

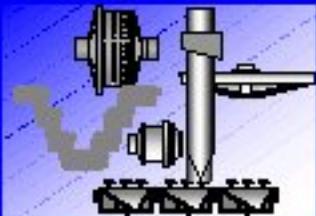
Separación sólido - líquido

❖ *Floculantes*

Polímeros orgánicos de cadena larga y alta masa molecular (> 100), solubles en agua, que al formar puentes o uniones entre partículas, forman una partícula de un mayor tamaño aparente.

Los polímeros floculantes se pueden clasificar según su:

- **Naturaleza:** naturales (polisacáridos: almidón, goma, etc.) o sintéticos derivados del petróleo (poliacrilamidas: se pueden fabricar de pesos moleculares mucho mayores que los naturales).
- **Carga:** catiónicos (NH_3^+), aniónicos (COOH^-), no iónicos (poli óxido de etileno).
- **Hidrofobicidad:** hidrófobo (poli óxido de etileno, alcohol polivinílico) o hidrofílico (la mayoría).



Separación sólido - líquido

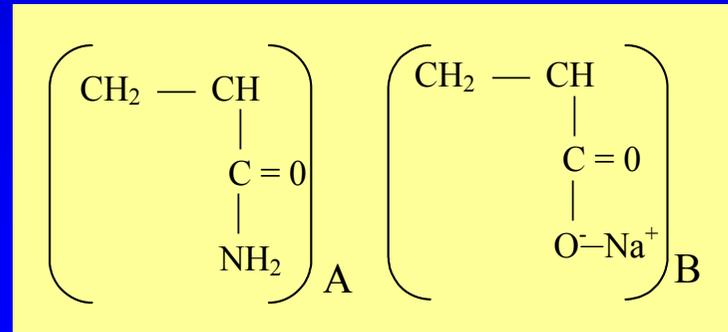
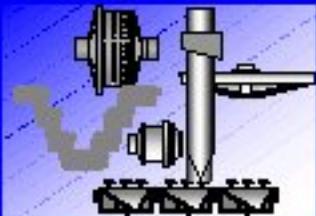
La mayoría de estos reactivos son aniónicos, siendo los más utilizados en la industria minera. Aquellos no iónicos y catiónicos ocupan una proporción menor del mercado.

- **Floculantes aniónicos**

Con estos floculantes la adsorción es fuerte ya que se produce por **interacción química** (enlaces covalentes, reacción química en la superficie de la partícula y/o por enlaces de hidrógeno). Estos reactivos son usados principalmente para espesamiento de concentrados y relaves de cobre, plomo y zinc, lamas de fosfatos, etc. (dosis: 2,5 - 50 g/t). También se usan como ayudas para la filtración en vacío o a presión de concentrados de minerales (dosis: 50 a 500 g/t).

Co-polímeros de Acrilamida

A: 0 a 99%, B: (100 - A)%



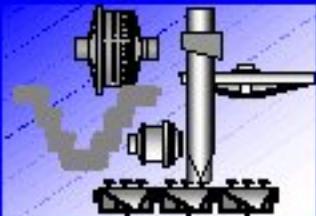
Separación sólido - líquido

- **Floculantes catiónicos**

Con estos floculantes predomina la neutralización de las cargas superficiales de las partículas sobre la formación de puentes, semejante a la coagulación, y que recibe el nombre de **floculación electrostática**. Estos reactivos son usados principalmente para espesamiento de lamas de minerales de hierro y concentrados de minerales (dosis: 25 - 250 g/t). También se usan como excelentes agentes clarificadores de agua extraída de la mina (dosis: 5 - 50 g/t).

- **Floculantes no iónicos**

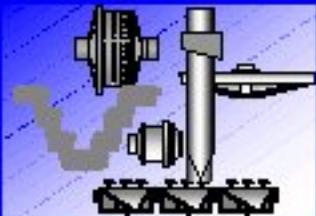
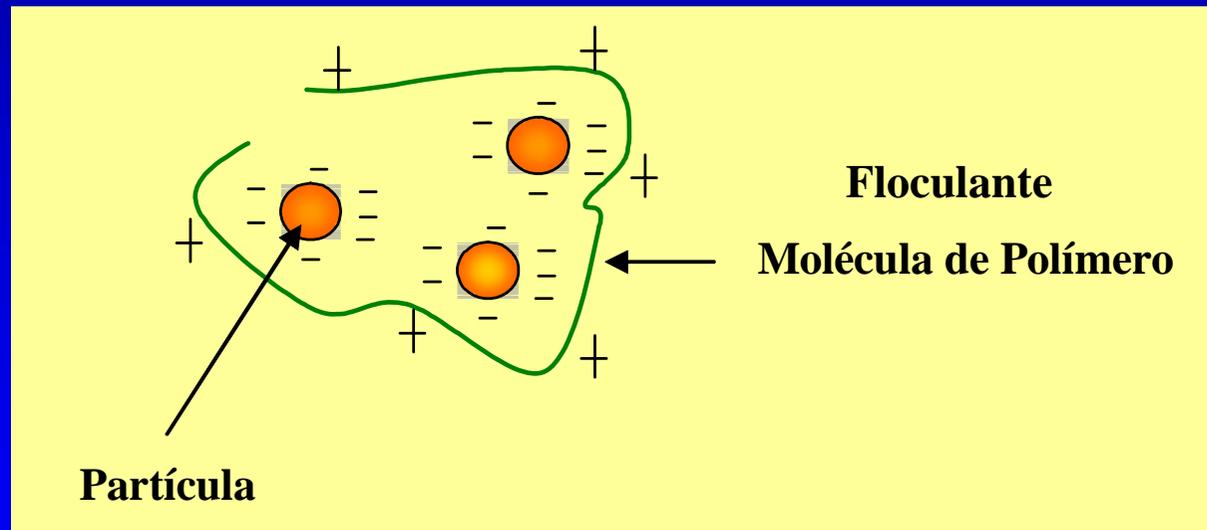
Con estos floculantes la adsorción se produce sólo por **enlaces de hidrógeno** entre átomos de oxígeno asociados con los iones de metales hidratados en la superficie de la partícula y átomos amido hidrógenos en el polímero (hidrógenos enlazados a nitrógeno). Se usan principalmente para espesamiento de lamas de mineral de hierro y relaves de flotación de oro (dosis: 1 - 50 g/t).



Separación sólido - líquido

❖ *Floculación*

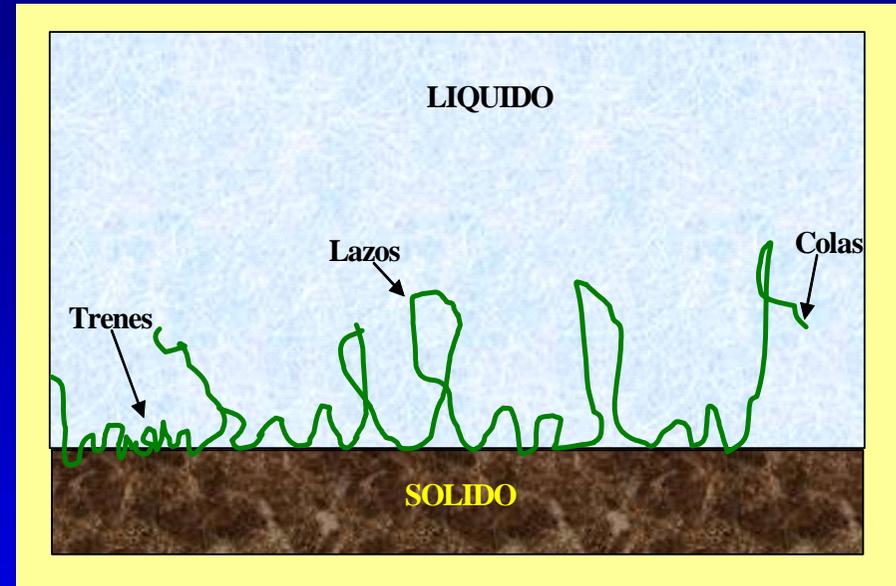
Formación de aglomerados de partículas usando floculantes, los que resultan mucho más abiertos y resistentes que aquellos obtenidos por coagulación.



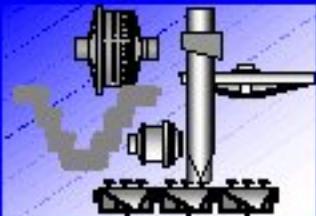
Separación sólido - líquido

Etapas en la formación de flóculos:

- Difusión de las moléculas poliméricas bajo condiciones hidrodinámicas turbulentas, seguida de adsorción en la interfase mineral / solución, formando lazos, colas y trenes.



- Formación de puentes poliméricos por adsorción de los lazos y colas.
- Formación de flóculos – crecimiento bajo agitación lenta.



Separación sólido - líquido

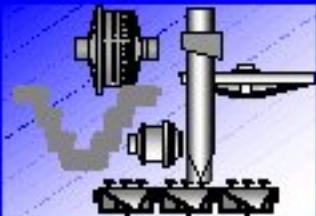
❖ Variables y perturbaciones

- **Distribución de tamaños de las partículas**

Es importante el porcentaje de mineral bajo 200 mallas (75 μm), ya que las **partículas finas sedimentan más lentamente**. Su aumento hace que la productividad disminuya y el contenido de humedad aumente (después de la filtración). En la filtración los finos dejan menos espacio entre las partículas, aumentando la resistencia al filtrado. También importa el porcentaje sobre 65 mallas (212 μm), pues afecta al espesamiento (torque, nivel del sedimento, etc.).

- **Forma de las partículas**

Partículas alejadas de la esfericidad afectan el funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, la bentonita coloidal (tipo de arcilla) es difícil de filtrar debido a su forma aplanada, esto hace que las partículas se acomoden en forma de infinitas láminas que obstaculizan el paso del líquido filtrado. En este caso la sedimentación también es lenta, a pesar que no tiene problemas con la floculación.



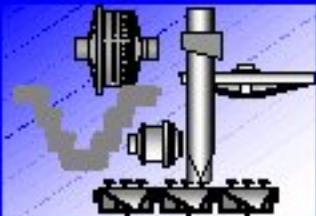
Separación sólido - líquido

- **Concentración de sólidos en peso en la alimentación (C_p)**

Influye fuertemente en las operaciones de filtración y sedimentación. Por ejemplo, en el caso de la sedimentación, de su valor depende el uso de floculantes. Un C_p alto es favorable si no se usan floculantes ya que trae como consecuencia una productividad mayor para una misma concentración de sólidos en la descarga. Al usar **floculante** en cambio, se debe tener un **C_p bajo** ya que una concentración de sólidos elevada afecta negativamente la formación de flóculos, reduciendo la productividad.

- **Concentración de coloides**

Los **sólidos coloidales** (partículas de tamaños menores a 10 micrones) poseen una gran superficie específica, por lo cual se dispersan en el líquido y no sedimentan. Si hay un significativo porcentaje de coloides presente, es **indispensable utilizar floculantes** para ayudar a las etapas de sedimentación y filtración.



Separación sólido - líquido

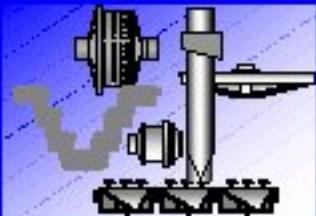
- Otros factores

- **Viscosidad del líquido**

Su aumento disminuye la razón de separación sólido – líquido, tanto en sedimentación como en filtración y aumenta la humedad del sólido final. La viscosidad es función de la temperatura y por ende este factor también es relevante.

- **Carga superficial de las partículas**

Este factor es importante cuando se utilizan floculantes en filtración o en sedimentación, debido a que determina el tipo de floculante a utilizar: aniónico, catiónico o no iónico. La naturaleza eléctrica de la superficie se ve modificada por el pH y el potencial de la pulpa y por lo tanto deben ser controlados.



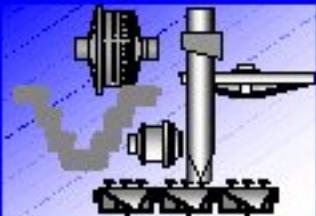
Separación sólido - líquido

- Ecuación de sedimentación de Stokes

Válida para partículas de tamaño pequeño ($< 50 \mu\text{m}$), sirve para visualizar la influencia de las distintas variables en la velocidad de sedimentación:

$$v_s = \frac{d^2(\rho_s - \rho_l)g}{18\mu}$$

v_s : velocidad de sedimentación.
 d : diámetro (tamaño) de partícula.
 ρ_s : densidad de sólido.
 ρ_l : densidad de líquido.
 g : aceleración de gravedad.
 μ : viscosidad del fluido.

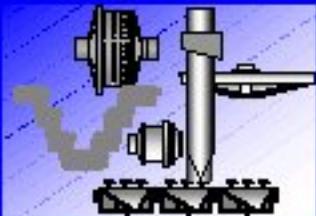


Separación sólido - líquido

❖ Espesamiento

La sedimentación de una suspensión de partículas sólidas deja un líquido clarificado y una pulpa espesa que, en el caso de los concentrados, requiere de una etapa posterior de filtración.

La separación por sedimentación o *Espesamiento*, es la técnica de separación sólido - líquido más usada en procesamiento de minerales, debido a que es un proceso de alta capacidad y de costo relativamente bajo.



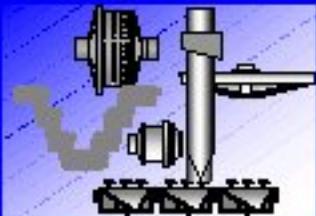
La separación se realiza en equipos llamados *Espesadores*.

Separación sólido - líquido

◆ Espesadores

Estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, donde se separa un líquido claro por rebose en su parte superior y una pulpa con alta concentración de sólidos por descarga en el fondo del estanque. Estos equipos se pueden utilizar en forma batch o en continuo, siendo esta última forma de uso la más común.

Los espesadores utilizados en forma continua son estanques cilindro - cónicos (principalmente cilíndricos) de **diámetros entre 5 y 200 metros y profundidades de 1 a 7 metros**. La pulpa se alimenta a un cilindro de pequeño diámetro, llamado **pozo de alimentación o feed well**, el que está ubicado en el centro del espesador a una profundidad de 1 metro (aprox.). Esta forma de alimentación permite una buena distribución de la alimentación, una mejor mezcla de la pulpa con el floculante y en muchos casos facilita la dilución de la alimentación cuando se requiere.

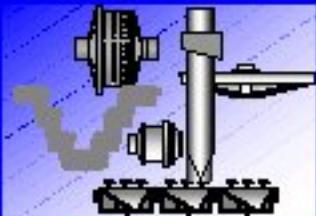


Separación sólido - líquido

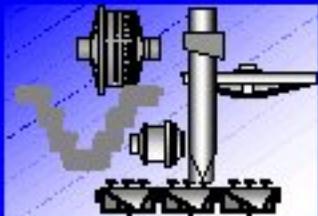
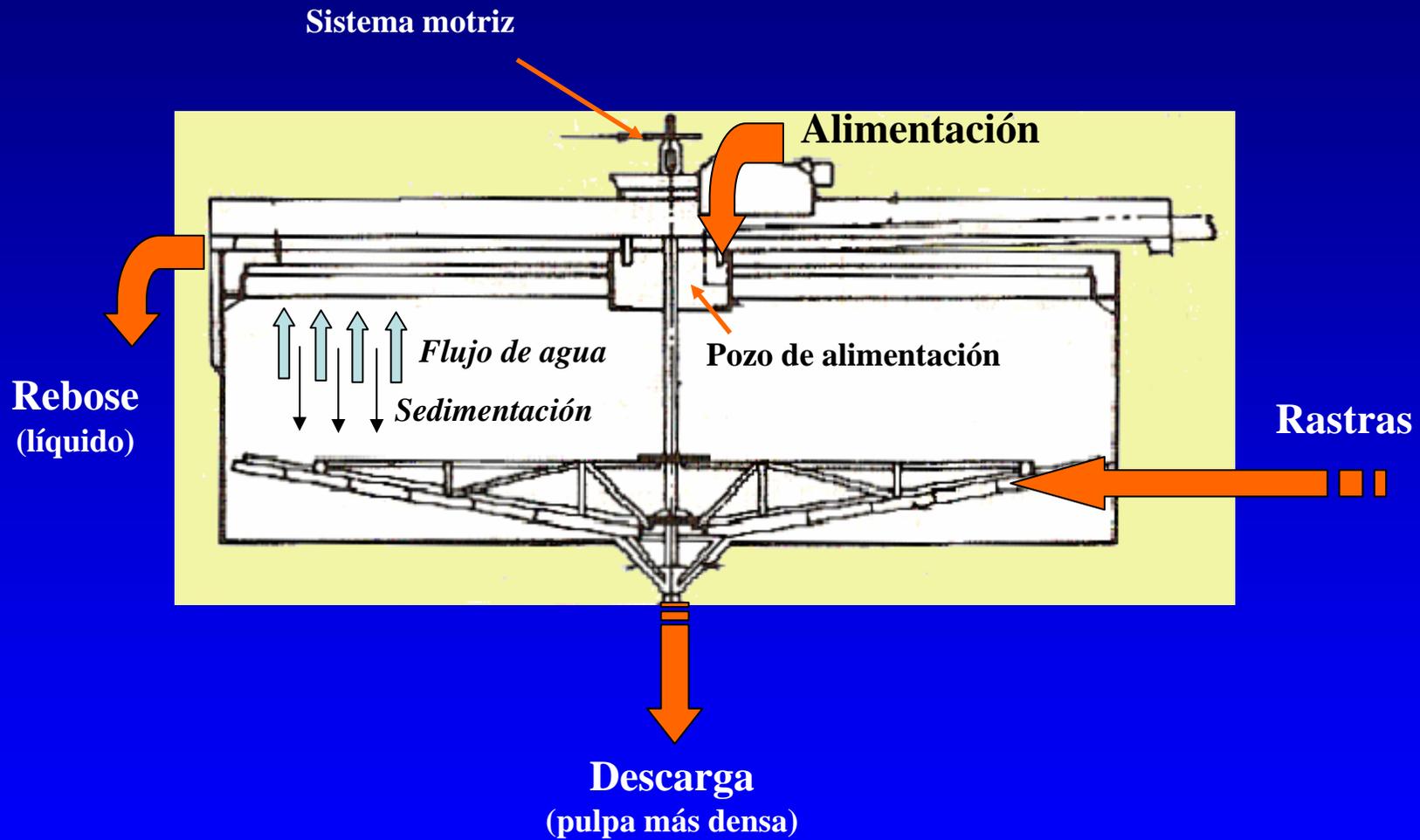
El líquido claro rebosa por un canal periférico y su evacuación debe realizarse a baja velocidad para evitar arrastre de partículas finas. **El sólido que sedimenta sobre el fondo** del estanque, se saca como una pulpa espesa a través de una **salida central**.

En el interior del estanque existe uno o más **brazos radiales (rastras)** que giran a baja velocidad (normalmente 8 m/min de velocidad perimetral) y su consumo de energía es muy bajo. De cada brazo están suspendidas una serie de aspas diseñadas para arrastrar los sólidos sedimentados hacia la salida central. En la mayoría de los espesadores estos brazos se elevan automáticamente si el torque excede un cierto valor, evitando de este modo el daño debido a la sobrecarga.

Las **rastras** también ayudan a la **compactación de las partículas sedimentadas** y producen una descarga más espesa que la que se alcanza por simple sedimentación.



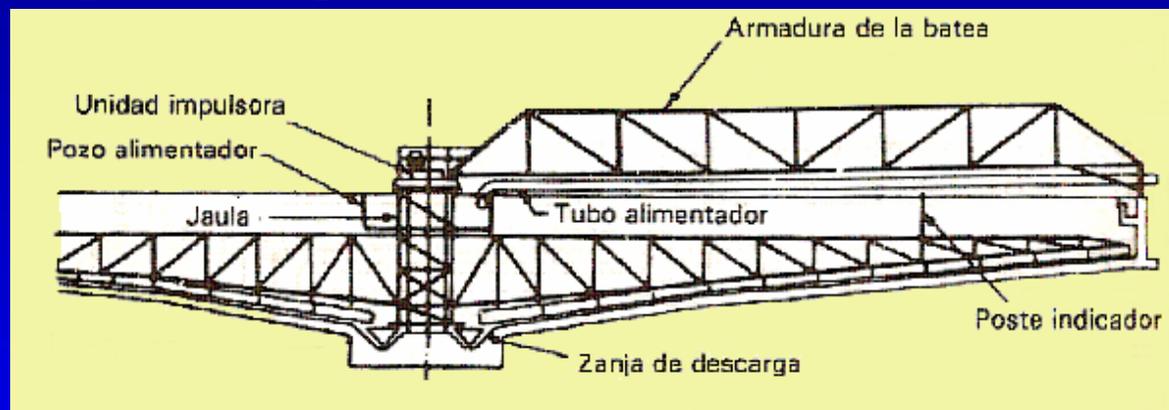
Separación sólido - líquido



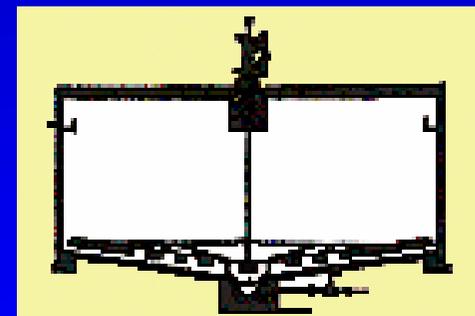
Separación sólido - líquido

Los diversos tipos de espesadores difieren según el método de soporte del mecanismo de las rastras, la forma de alimentación, la forma de las rastras, la adición de floculante, etc.

Espesador de pilar central

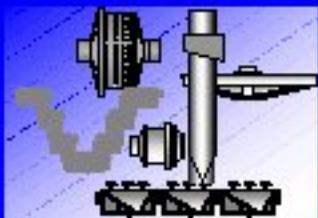


Espesador de puente



En general, se clasifican en espesadores:

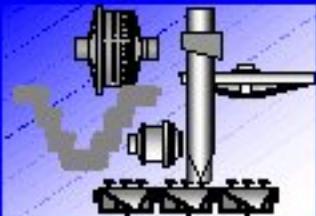
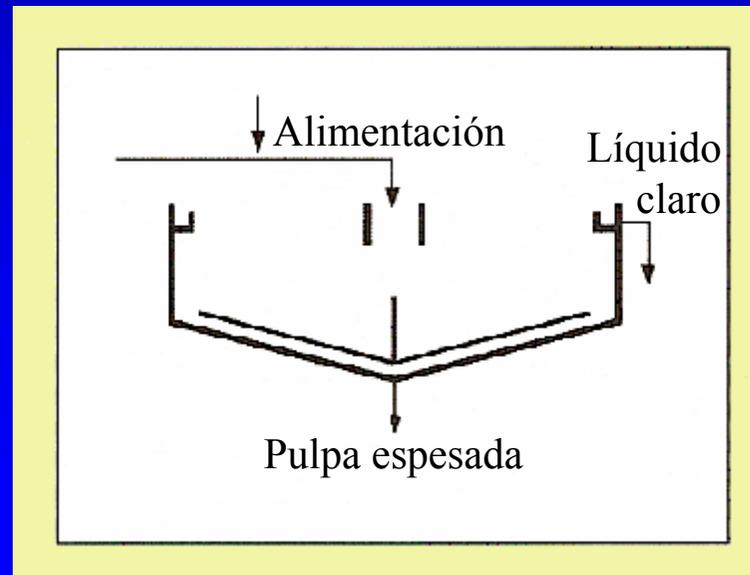
- **Convencionales**
- **De alta capacidad**
- **De alta densidad**



Separación sólido - líquido

➤ Espesadores convencionales

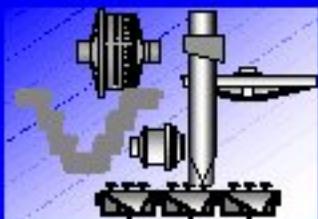
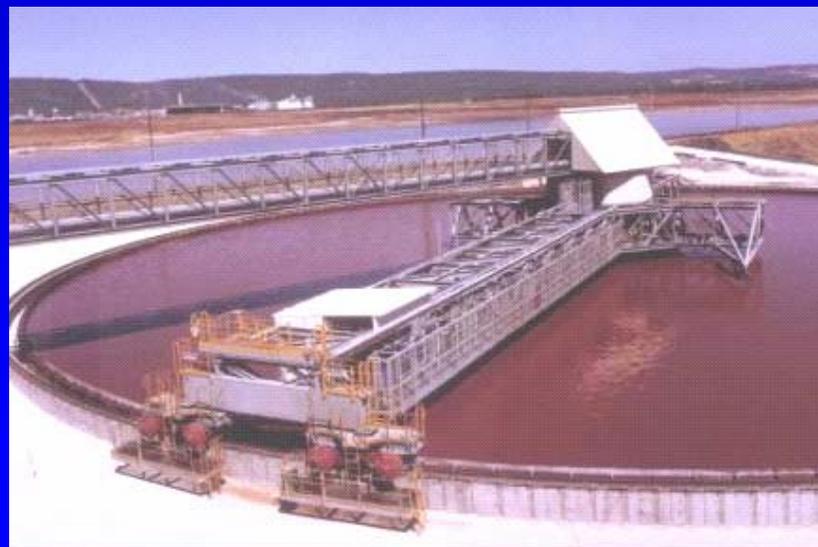
Requieren de grandes áreas de terreno dado que su **productividad depende sobre todo del área del espesador**. El pozo de alimentación (feed well) tiene una profundidad del orden de 1 m. La pulpa de alimentación al entrar al espesador se mezcla con un poco de agua recuperada diluyéndola y, ya diluida, sedimenta a velocidad constante formando deferentes zonas: agua clara, pulpa de consistencia de la alimentación y sedimento.



Separación sólido - líquido

Espesadores de tracción periférica

En este caso el soporte central del espesador sirve de **pivote** y la tracción de las rastras se realiza desde la **periferia** del estanque, en donde se monta un riel de acero como guía.

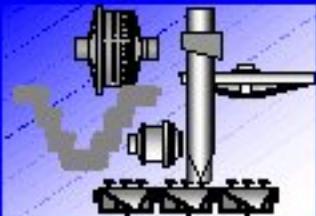


Separación sólido - líquido

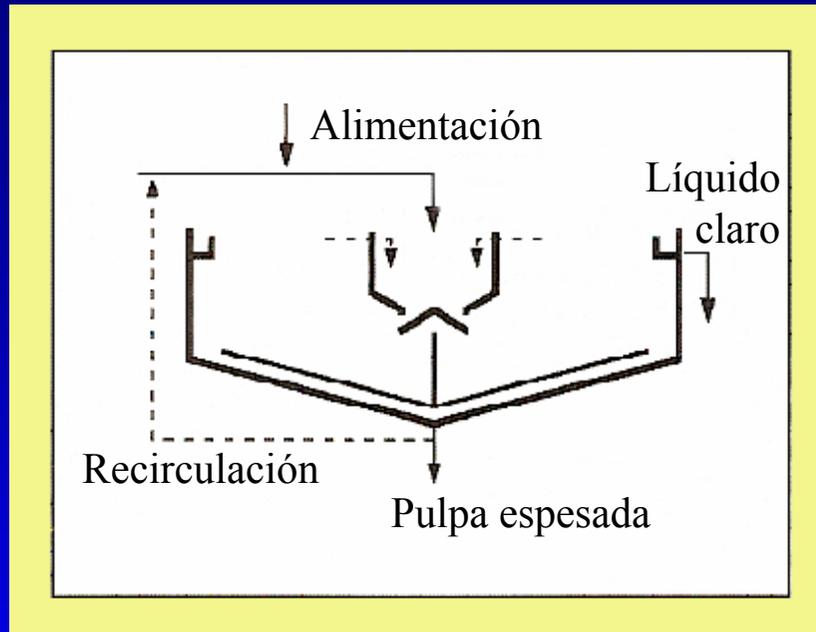
➤ Espesadores de alta capacidad

Tienen mayor capacidad que los espesadores convencionales y su **pozo de alimentación es más profundo**, lo que permite alimentar la pulpa bajo el nivel del sedimento, evitando así el contacto directo entre el líquido que asciende y los sólidos que sedimentan. La alimentación entra en el mismo lugar donde se agrega el floculante y lo dispersa rápidamente, logrando un mezclado gradual en su descenso.

Al mezclarse la alimentación con el sedimento aumenta su concentración, alcanzando un valor mayor o igual que el de la pulpa que entra en compresión. Con esto se evita la zona de sedimentación, que restringe la capacidad en los espesadores convencionales.

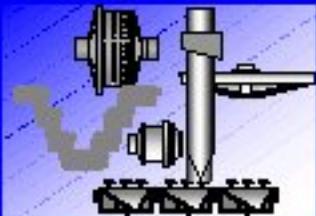


Separación sólido - líquido



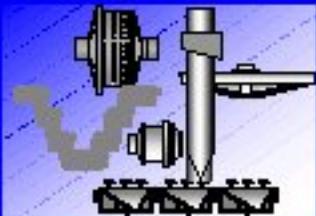
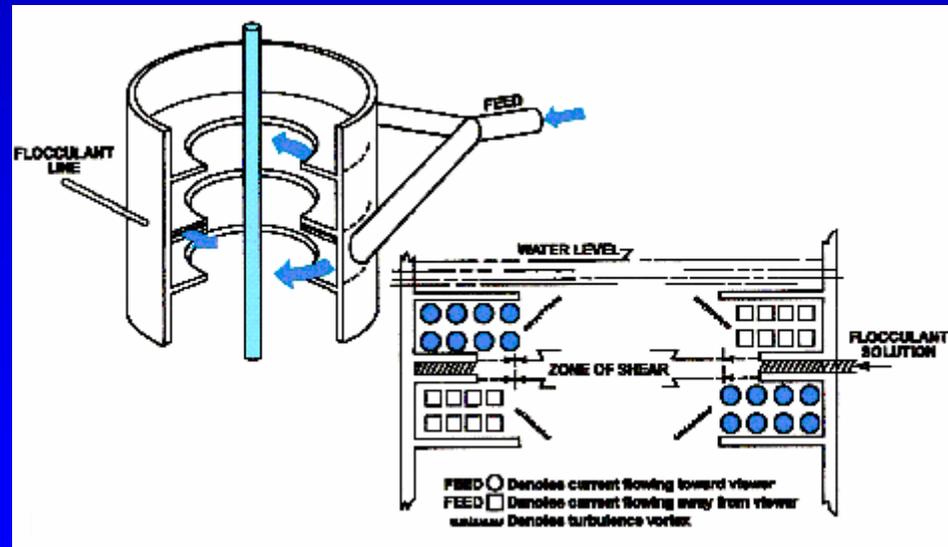
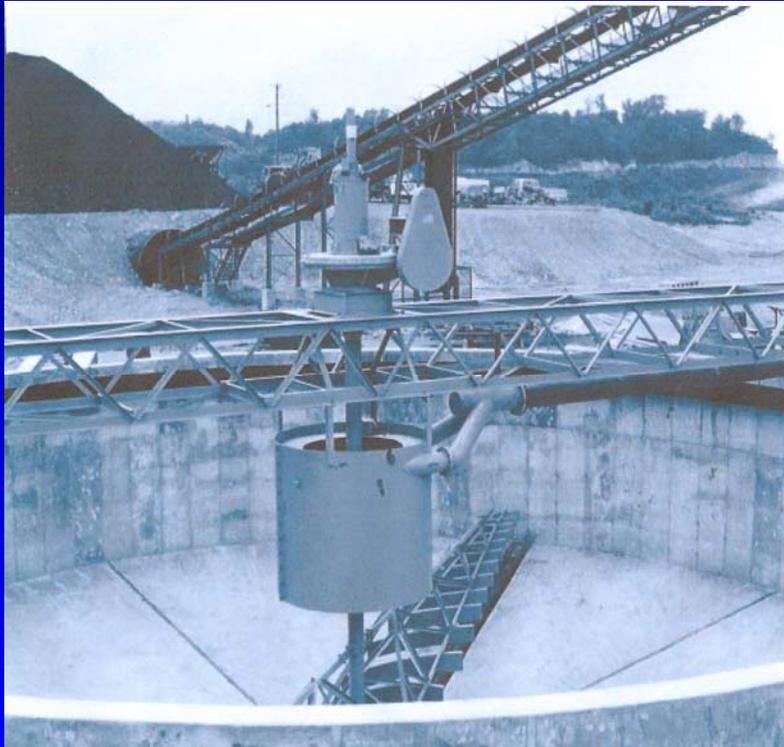
En ocasiones, parte de la descarga del espesador se recicla para aumentar la concentración de la alimentación antes de producir la mezcla con el sedimento.

Los espesadores de alta capacidad tienen tiempos de residencia menores (minutos) que los convencionales (horas), por lo que pueden tratar de 3 a 10 veces más que un espesador convencional. Sin embargo, tienen la desventaja que son **intrínsecamente inestables** y por lo tanto **difíciles de operar y controlar**.



Separación sólido - líquido

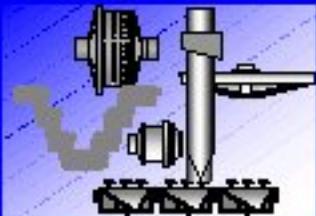
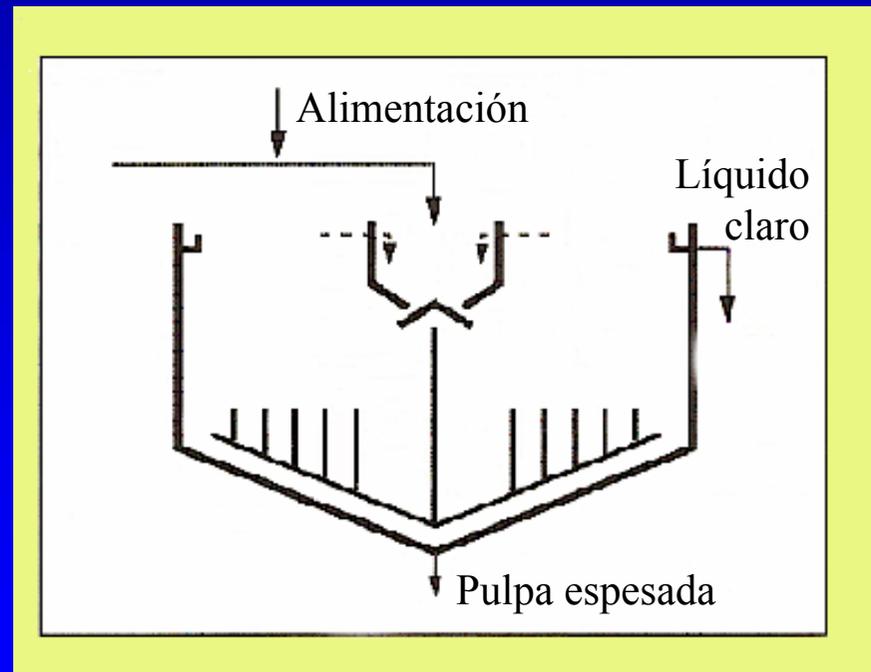
Espesadores de alta capacidad



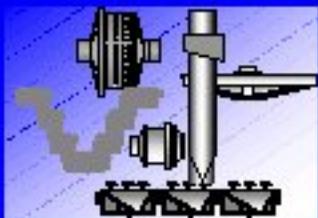
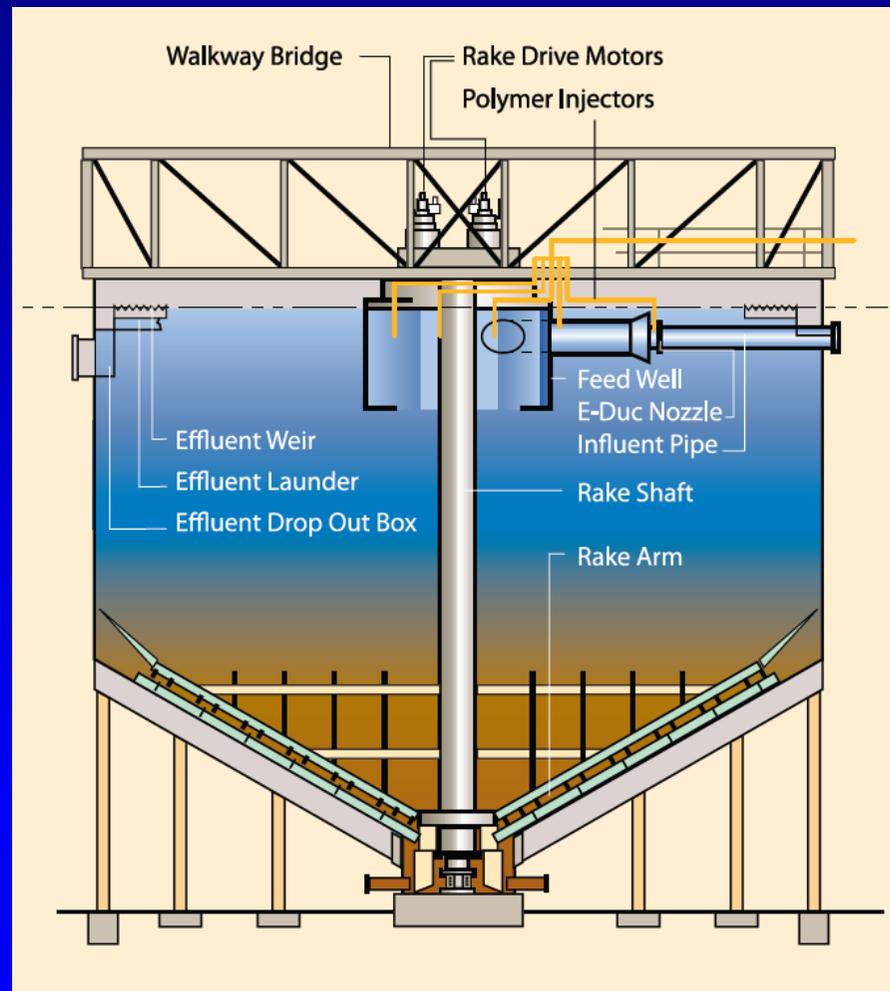
Separación sólido - líquido

➤ Espesadores de alta densidad

Se caracteriza por su **altura**. Corresponde a un espesor convencional o de alta capacidad pero de mucho mayor altura, la que genera un **aumento de la presión sobre el sedimento**, obteniendo como resultado concentraciones de sólido más altas en la descarga.

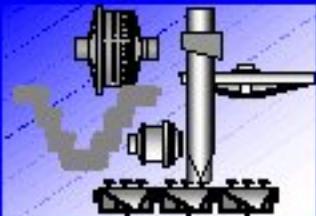


Separación sólido - líquido



Separación sólido - líquido

Relaves en Pasta



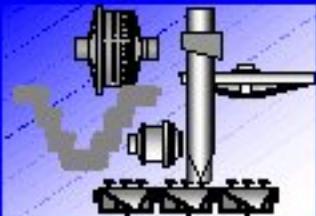
Separación sólido - líquido

Para la determinación del número y tamaño de espesadores requeridos en una cierta aplicación, se deben considerar los siguiente factores:

- ≈ Capacidad de tratamiento
- ≈ Concentración de sólidos en la alimentación
- ≈ Concentración de sólidos en la descarga
- ≈ Velocidad de sedimentación de los sólidos, v
- ≈ Densidades de sólido y líquido

La velocidad de sedimentación del mineral se mide mediante pruebas de laboratorio y con ellas se determina un parámetro de diseño denominado **área unitaria** (área de espesaje dividido por flujo de sólido de alimentación, $m^2/t/d$).

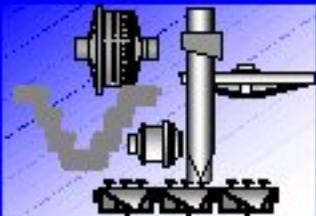
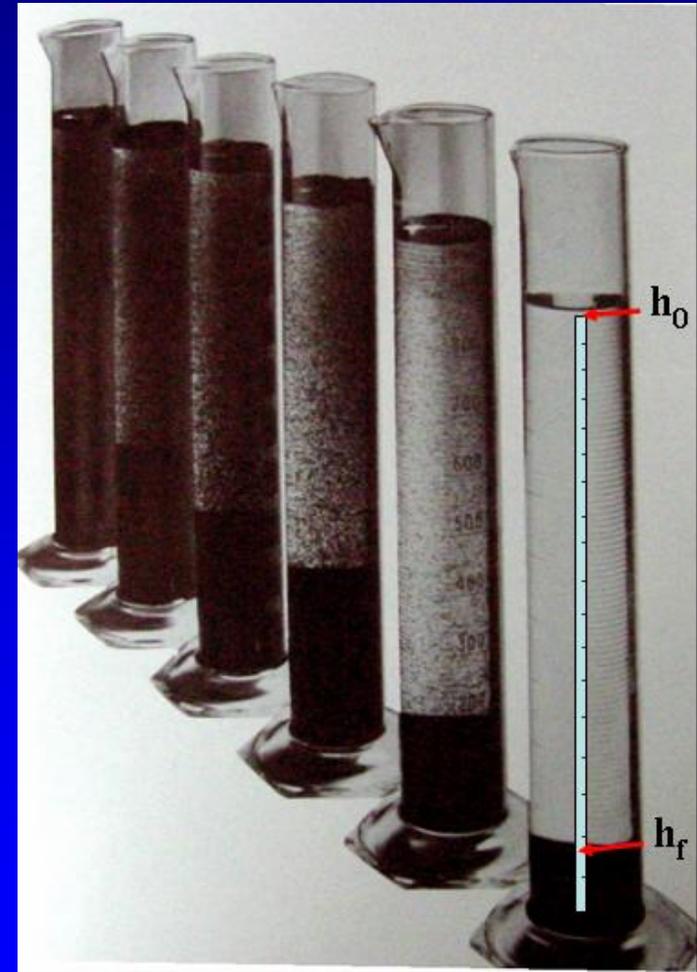
Tres procedimientos son los más usados para realizar este cálculo: *Coe & Clevenger*, *Talmadge & Fitch* y *Wilhelm & Naide*.



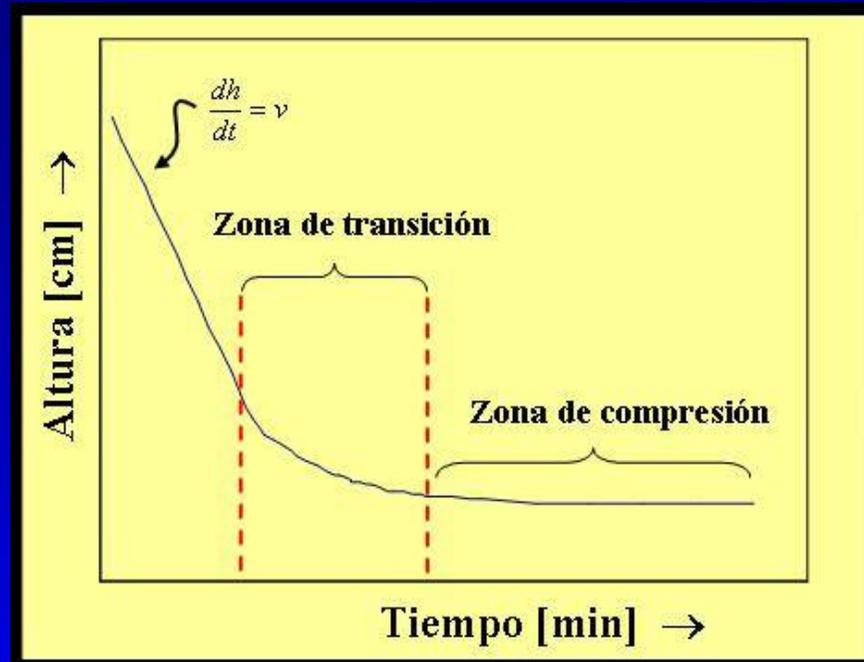
Separación sólido - líquido

◆ Ensayos de laboratorio

Se realizan pruebas de sedimentación en probetas de 2 litros a diferentes diluciones (*Coe & Clevenger*) o sólo en la que corresponderá a la alimentación en la planta (*Talmadge & Fitch*). Dependiendo del método y para definir la velocidad de sedimentación, se procede a registrar la altura (h) de la interfase o el volumen de pulpa bajo la interfase (*Wilhelm & Naide*) con respecto al tiempo (t) de sedimentación.

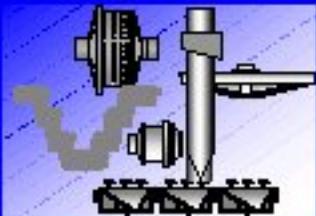


Separación sólido - líquido



Las pruebas de sedimentación se pueden realizar **con o sin** la adición de **floculantes**.

Con los resultados de las pruebas se calcula el **área unitaria** según establece cada método señalado.



Separación sólido - líquido

◆ Parámetros del espesamiento

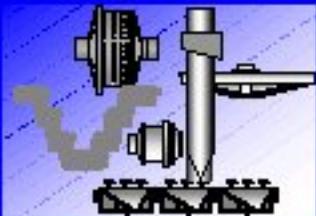
Concentración de sólidos en la descarga, C_{vU} [%]

Está **limitada por** los requerimientos de la **etapa posterior**: filtración de concentrados y transporte de relaves (recomendable ≤ 45 %).

Excesos de floculante pueden formar islas de sólidos (masas viscosas producidas en el fondo del espesador), provocando que disminuya el C_{vU} .

Turbidez del líquido del rebose, T_o [ppm]

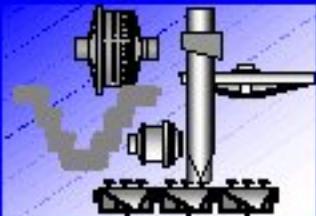
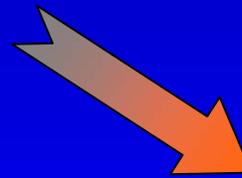
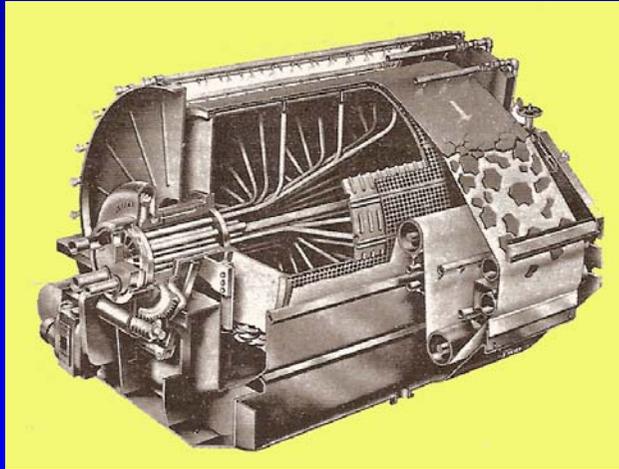
Está **limitada por** los requerimientos de las **etapas a las que se recircule el líquido**. Por ejemplo, el exceso de lamas afecta negativamente al proceso de flotación y también a la clasificación en molienda (recomendable ≤ 100 ppm).



Separación sólido - líquido

❖ Filtración

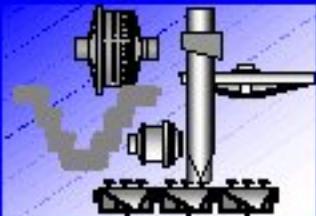
La filtración es un proceso que separa sólidos de líquidos, usando un **medio poroso** que retiene el sólido pero permite pasar el líquido. Posibilita esta separación la **diferencia de presión** que existe entre la alimentación y la cara posterior del medio filtrante.



Separación sólido - líquido

◆ Medio Filtrante

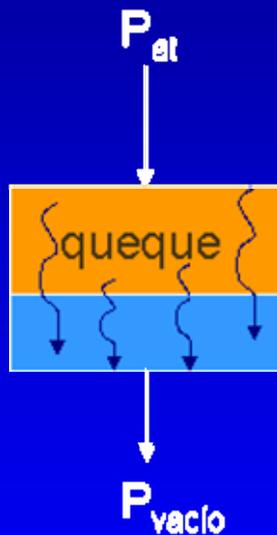
- Actúan como **soporte del queque**. Las capas iniciales del queque proporcionan el verdadero filtro.
- Se seleccionan, principalmente, por su capacidad para retener los sólidos sin que se presente obstrucción. Deben ser mecánicamente fuertes, resistentes a la corrosión y permeables al flujo del líquido filtrado.
- Se fabrican en: algodón, lana, lino, nylon, seda, fibra de vidrio, carbón poroso, rayón, cerámicos etc.. Las telas de algodón son las más comunes, principalmente por su bajo costo y la existencia de una amplia variedad de tejidos, usándose incluso para filtrar sólidos tan finos como 10 μm .



Separación sólido - líquido

◆ Filtros

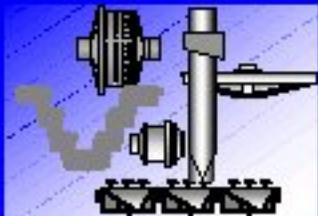
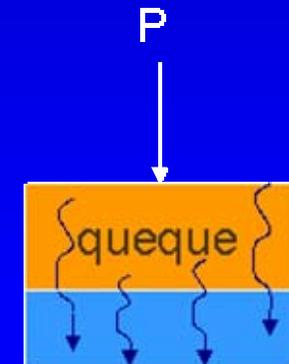
Existen diversos filtros que, en general, se agrupan en dos tipos: filtros de vacío y filtros de presión.



Filtros de vacío: se aplica vacío en la cara posterior del medio filtrante.



Filtros de presión: se aplica una presión positiva en la alimentación al filtro.

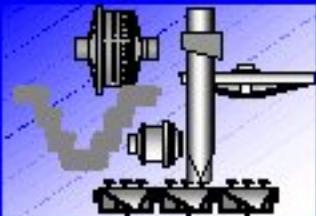


Separación sólido - líquido

Filtros de vacío:

En general su estructura considera un medio filtrante soportado sobre un sistema de drenaje, debajo del cual la presión se reduce al conectar un **sistema de vacío**. Los filtros pueden ser intermitentes o continuos, siendo estos últimos los de uso más común.

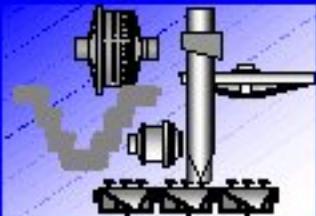
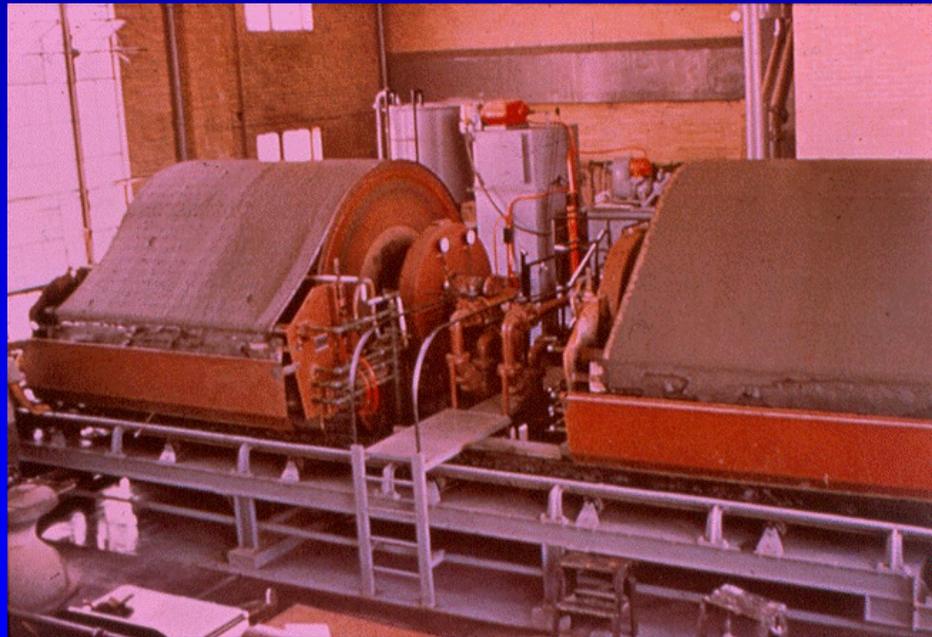
Dentro de los filtros de vacío continuos (filtros convencionales) están los filtros de **tambor**, de **disco** y los **horizontales de banda o correa**. Existe también el filtro **cerámico**, que es similar al de disco pero el vacío es generado gracias al principio de capilaridad.



Separación sólido - líquido

➤ Filtro de tambor

Está compuesto por tambor horizontal giratorio, el cual está parcialmente sumergido en un estanque al que se alimenta la pulpa. El tambor esta envuelto herméticamente en el medio filtrante y gira a bajas velocidades (0,1 - 3 rpm).



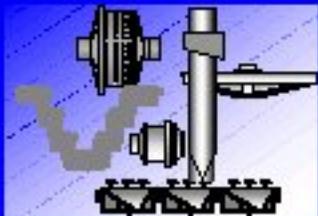
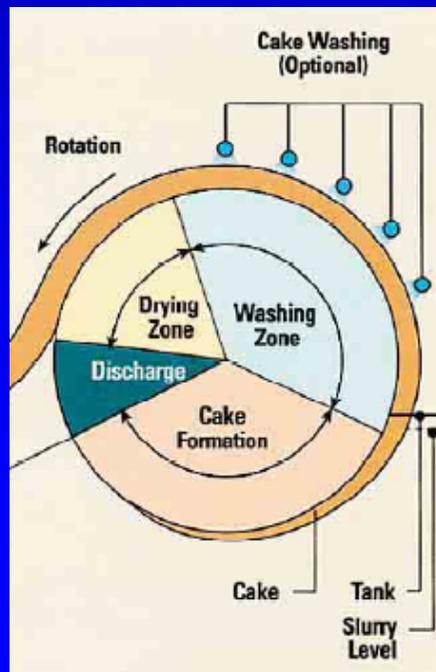
$\phi \times L$: 1,2 x 0,9 m a 3,7 x 6,1 m

Separación sólido - líquido

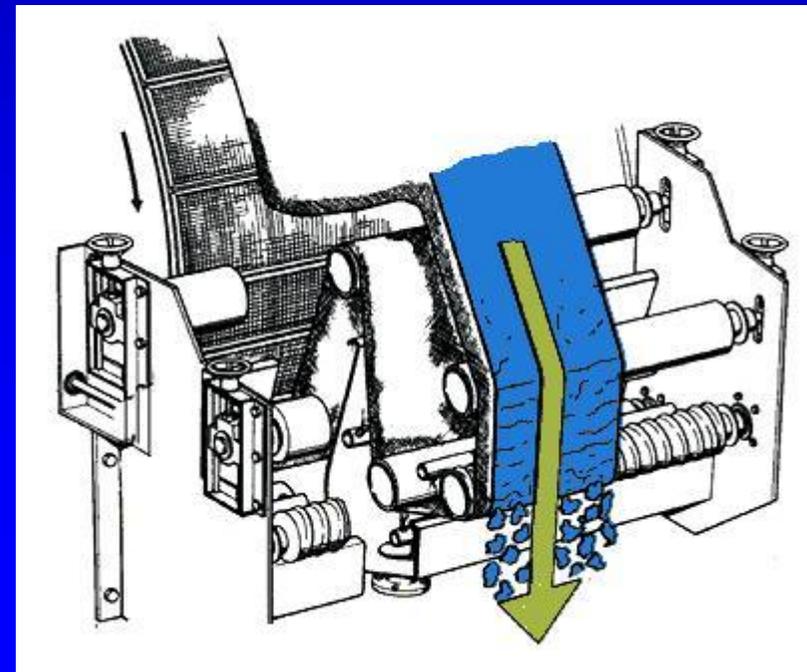
➤ Operación filtro de tambor

Mientras el tambor gira se aplica vacío desde su interior. El vacío produce la **formación** del queque, posteriormente, una vez que el queque ya no está en contacto con la pulpa, se produce el **secado**. El filtro además permite el **lavado** del queque (opcional) y limpieza de la tela. La **descarga** se produce por un cambio pronunciado en la dirección de la tela y fuerza de gravedad (figura), también hay descarga por raspado de la tela.

Ciclo de filtrado



Descarga del queque



Separación sólido - líquido

➤ Filtro de discos

Es similar a los filtros de tambor. El coque se forma sobre ambos lados de los discos. Los discos están compuestos de **secciones**, las cuales están conectados al **eje horizontal** de la máquina y al vacío.

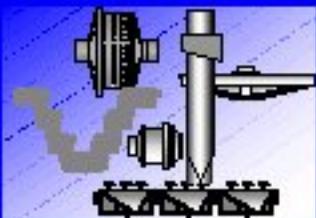


Hasta 15 discos, ϕ : 1,2 a 4,0 m

Secciones de discos



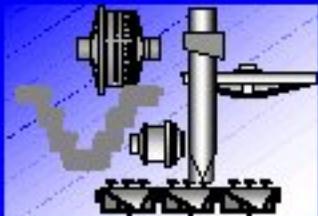
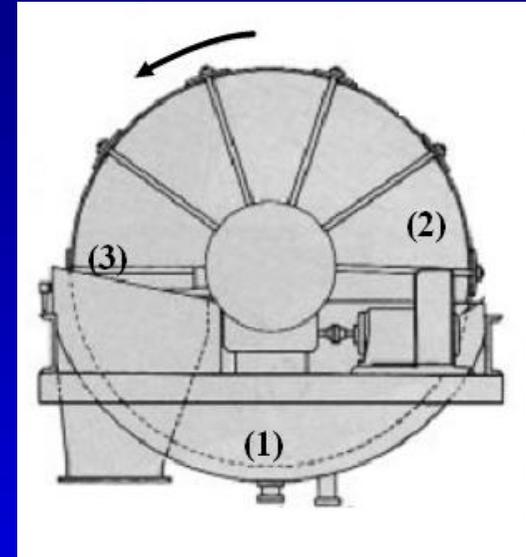
Eje horizontal del filtro



Separación sólido - líquido

➤ Operación filtro de discos

1. Los discos giran y al estar en contacto con la pulpa, captan el sólido (formación del queque) por efecto del vacío.
2. Cuando están en contacto con la atmósfera se mantiene el vacío (secado del queque). El lavado es opcional.
3. Para la **descarga** del queque se utiliza **soplado de aire y raspadores**.

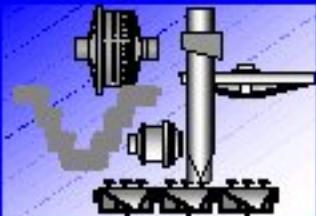


Separación sólido - líquido

➤ **Filtros horizontales de banda o correa**

Consisten en una superficie sin fin de drenaje hecha de caucho perforado, conectada al vacío, que soporta una banda separada hecha de una tela filtrante apropiada. La pulpa se alimenta por gravedad sobre el filtro y la filtración comienza inmediatamente, por efecto de la presión de la capa de pulpa y el vacío. En estos filtros es posible lavar el queque. En general se utiliza para sólidos gruesos o donde se requiere una alta eficiencia de lavado. Se puede alcanzar **humedades más bajas que con los filtros de disco y tambor.**

A x L: 1,2 x 9,8 m a 4 x 43 m



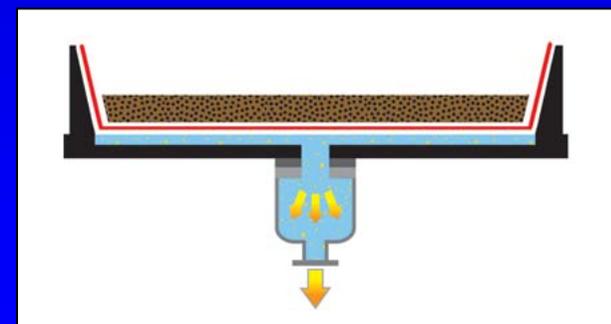
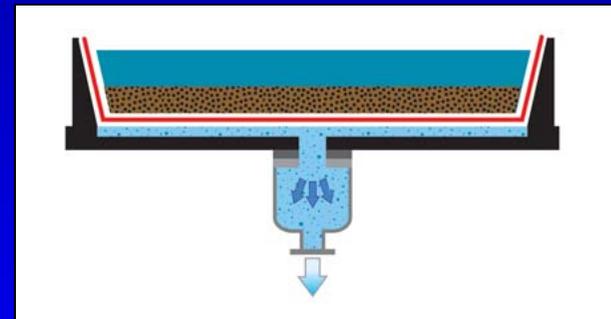
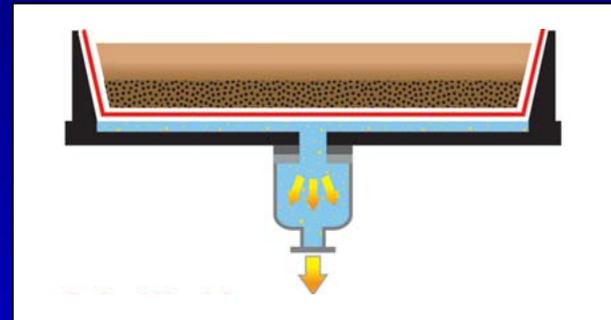
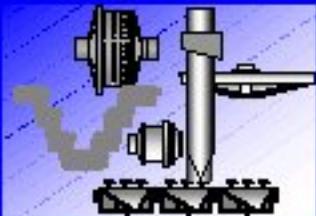
Separación sólido - líquido

➤ Operación filtros horizontales de banda o correa

1. La pulpa se alimenta sobre el filtro y la presión de vacío comienza a remover el líquido generando el queque.

2. El queque ya formado se puede lavar agregando agua mientras se mantiene el vacío.

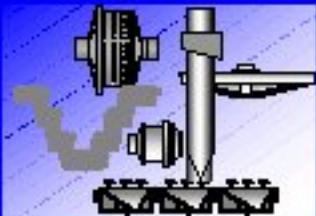
3. La presión de vacío produce el secado del queque antes de la descarga al final del filtro.



Separación sólido - líquido

➤ Filtros cerámicos

Son filtros de vacío similares a los de discos, que en lugar de tela filtrante utilizan un **material cerámico** de alúmina sinterizada como medio filtrante. Requieren menor vacío que los filtros de discos, ya que utilizan el **principio de la capilaridad**.

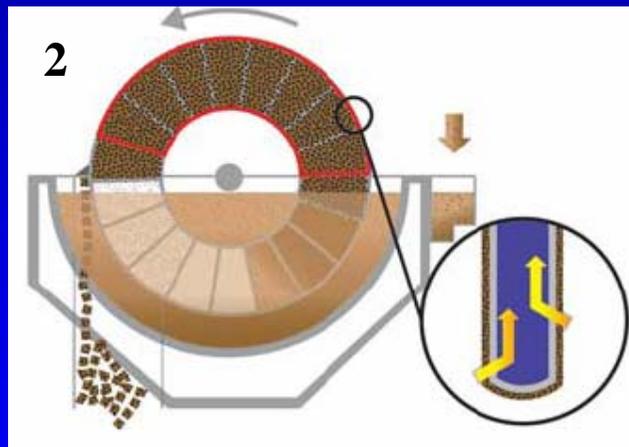
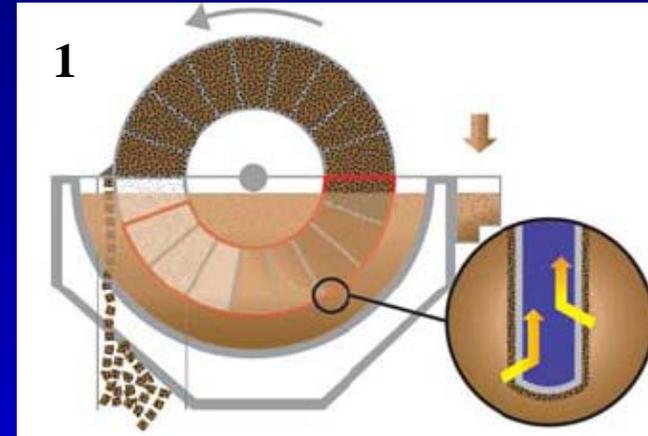


Hasta 15 discos
Area: 6 a 45 m²

Separación sólido - líquido

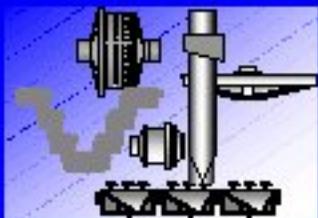
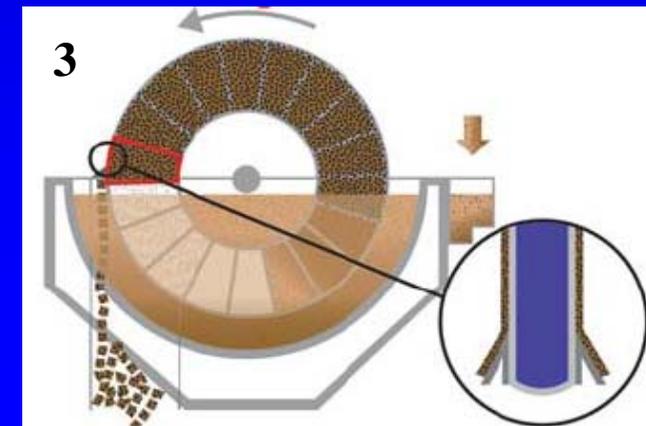
➤ Operación filtros cerámicos

1. El sólido se adhiere a la placa filtrante por acción capilar, produciéndose así la formación del queque.



2. La acción capilar sigue actuando cuando el queque ya no está en contacto con la pulpa, produciendo el secado del queque.

3. Finalizado el ciclo el filtro se raspa para descargar el queque teniendo cuidado de dejar una delgada capa de queque remanente para no dañar la superficie del filtro.

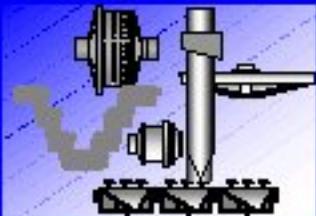


Separación sólido - líquido

Filtros de presión:

La filtración a presión tiene ventajas sobre la filtración al vacío debido a la virtual incompresibilidad de los sólidos. Se caracteriza por el **uso de presiones externas**, introducidas para forzar al líquido a salir de la pulpa.

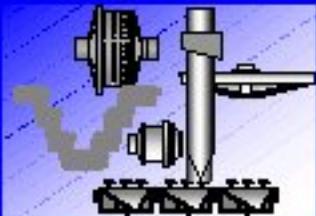
La presión de trabajo puede llegar a ser tan alta como 16 bar. Los filtros más comunes de este tipo son los de prensa de placas verticales y los de prensa de placas horizontales. La mayoría operan de manera intermitente. Existe también el filtro hiperbárico, que es similar al filtro de disco pero inserto en una cámara presurizada.



Separación sólido - líquido

➤ **Filtro de prensa de placas verticales**

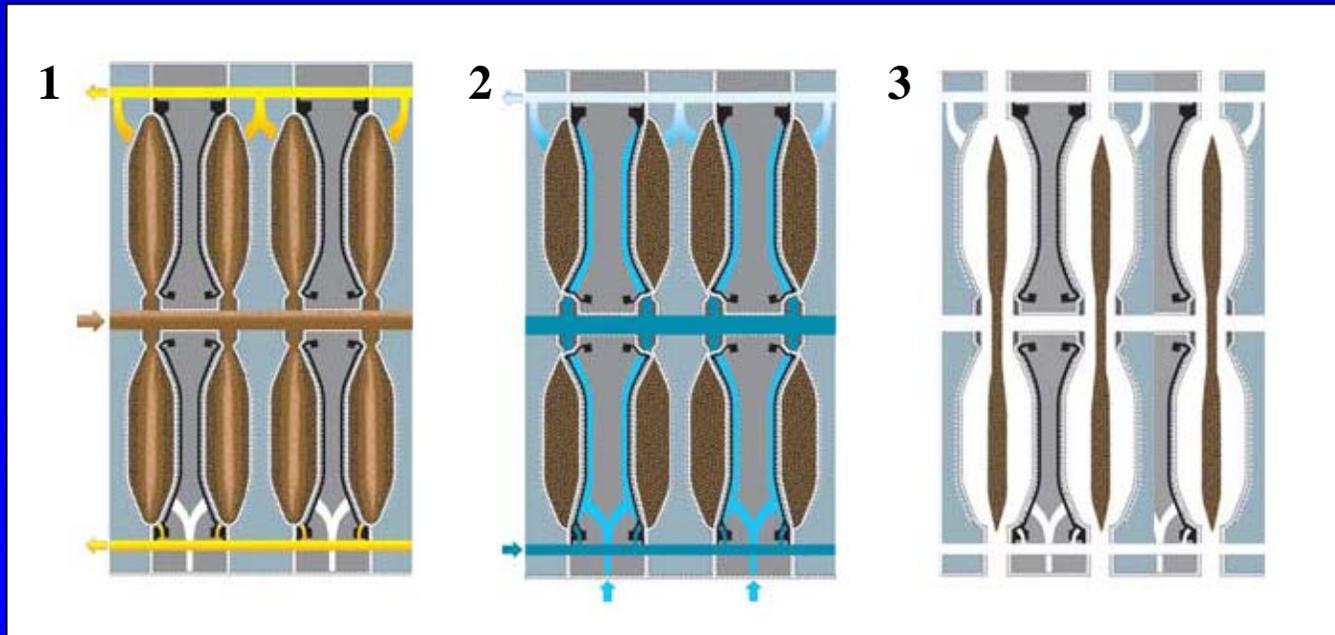
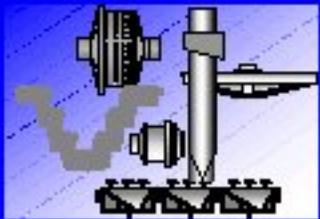
Las placas están montadas verticalmente entre barras laterales, conectadas a un cabezal fijo o alimentador y a un cabezal de cierre, comprimiéndose por medio de un sistema hidráulico. Las placas dejan cámaras entre ellas, están cubiertas de tela filtrante y poseen una superficie de drenaje para evacuar el líquido filtrado.



Separación sólido - líquido

➤ Operación filtro de prensa de placas verticales

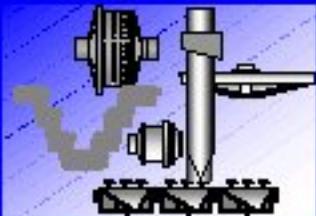
1. La pulpa se alimenta a presión en las cámaras. El líquido pasa la tela filtrante y drena por la superficie de las placas.
2. El queque se puede lavar agregando agua a través de una de las telas filtrantes.
3. Al dejar de salir líquido, se detiene la filtración y el queque es removido haciendo retroceder el pistón y separando cada una de las placas. Antes de comenzar un nuevo ciclo se lava las telas con agua.



Separación sólido - líquido

➤ Filtro de placas horizontales

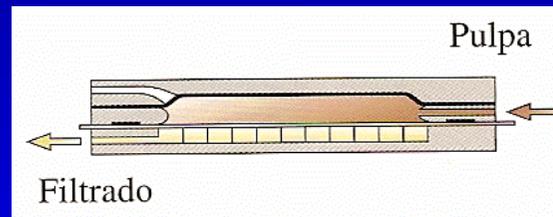
Tiene múltiples cámaras horizontales, por donde pasa una **tela filtrante** continua. Cada cámara tiene en su parte superior un **diafragma** y en su parte inferior un **sopORTE de drenaje**.



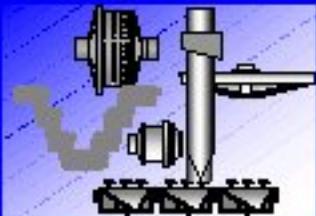
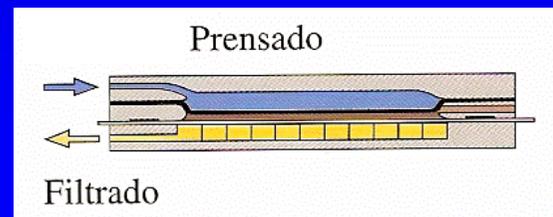
Separación sólido - líquido

➤ Operación filtro de placas horizontales

En una posición en que todas las cámaras se juntan entre sí (placas cerradas), se alimenta la pulpa a presión llenando la parte inferior de cada cámara.

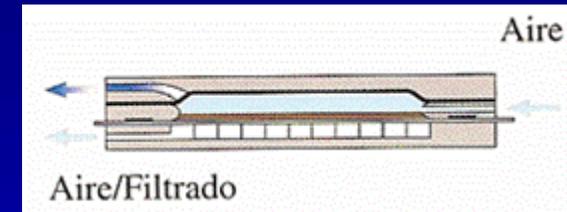


Se inyecta agua a presión en la parte superior, sobre el diafragma, presionando a éste sobre la pulpa, ayudando a la filtración y formación del queque.

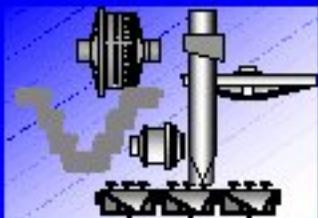
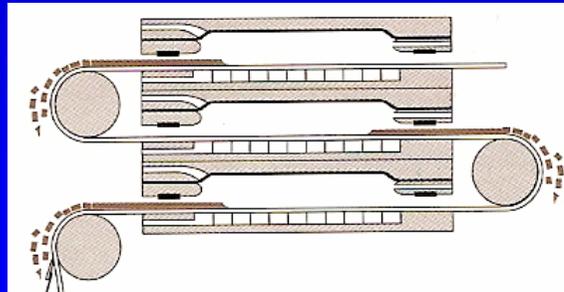


Separación sólido - líquido

En la zona inferior, en el espacio evacuado por el líquido de la pulpa ya filtrado, se inyecta aire a presión, el que presiona el diafragma hacia arriba evacuando el agua de la zona superior y secando al queque en la zona inferior, de este mismo modo se puede lavar el queque utilizando agua en vez de aire.



Terminada esta operación, en el filtro se expanden las cámaras, alejándose una de otra (placas abiertas), para luego iniciar el movimiento de la tela filtrante lo que provoca el desprendimiento del queque por los costados del filtro, dejando a éste listo para un nuevo ciclo.

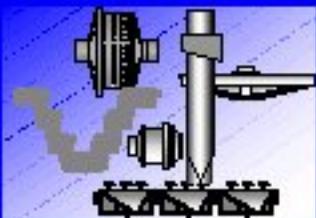
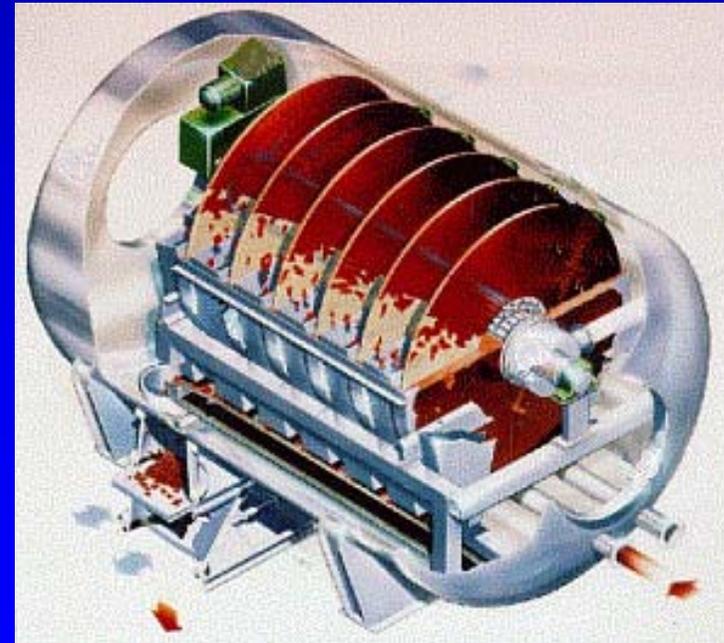
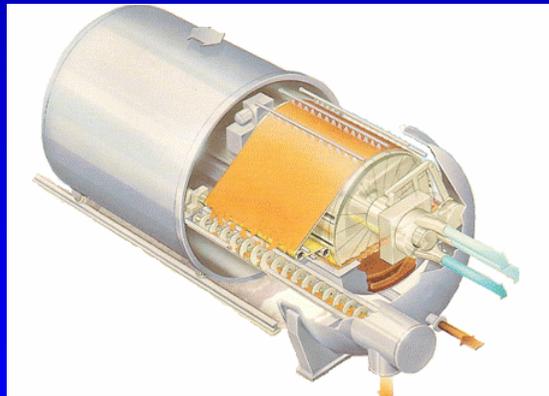


Tienen gran capacidad, generando queques más secos. Son intermitentes, automáticos y ocupan un espacio menor en planta. Son flexibles pues permiten agregar cámaras adicionales.

Separación sólido - líquido

➤ Filtros hiperbáricos

El equipo consiste en un filtro de discos, de tambor, de banda o cerámico; inmerso en una **cámara presurizada**, lo que permite aplicar una **mayor diferencia de presión** que la alcanzable en la filtración de vacío convencional, lo que a su vez permite obtener humedades más bajas (8% y menores) y rendimientos más altos. La descarga del queque constituye generalmente un problema por efecto de la presurización .

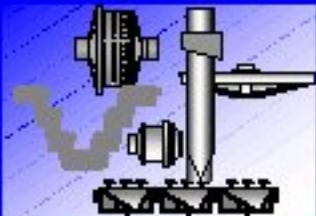


Separación sólido - líquido

Para la determinación del número y tamaño de filtros que se requieren en una cierta aplicación, es necesario considerar los siguiente factores:

- ≈ Capacidad de tratamiento (peso del sólido seco).
- ≈ Diferencia de presión.
- ≈ Área de la superficie de filtración.
- ≈ Viscosidad del líquido filtrado.
- ≈ Resistencia específica del queque (material filtrado), α .
- ≈ Resistencia del medio filtrante y de las capas iniciales del queque, R .
- ≈ Tiempos de: formación, secado y lavado (cuando corresponda).
- ≈ Permeabilidades relativas al agua y al aire de soplado

En las pruebas de laboratorio se determina un parámetro de diseño denominado **tasa de filtración** (kg/h/m^2) y los parámetros resistencia específica del queque, α , resistencia del medio filtrante, R , y permeabilidades relativas al agua y al aire de soplado.

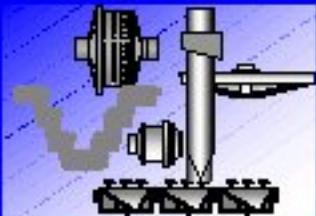
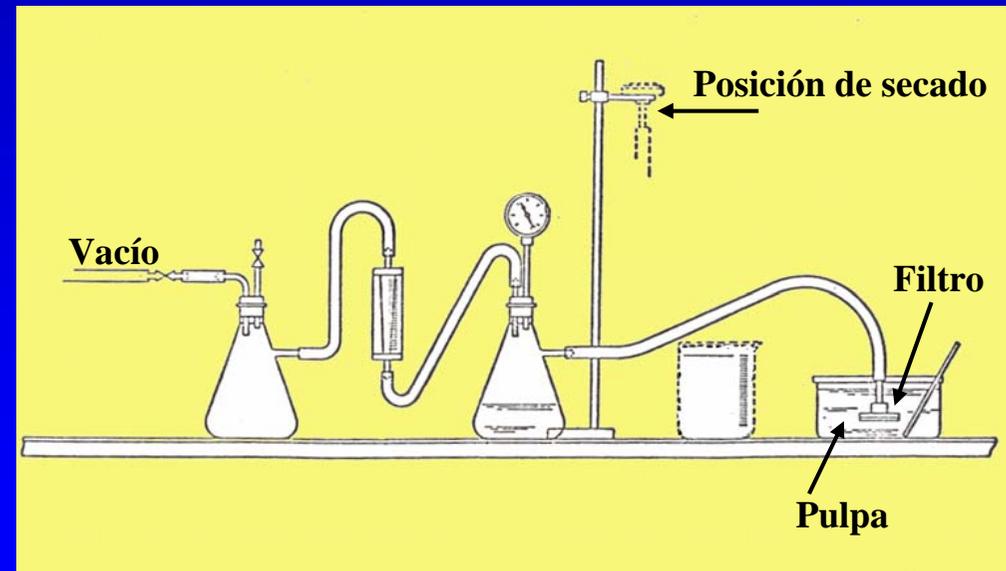


Separación sólido - líquido

◆ Ensayos de laboratorio

Para filtros de vacío, las pruebas se realizan en un set de filtración de laboratorio. El ciclo de filtración consta de 3 (ó 4) etapas: **formación** del queque (captación), **lavado** (opcional) y **secado** para luego finalizar con la **descarga**. El filtro, conectado al vacío, se sumerge en la pulpa, manteniéndose allí por el tiempo de formación. Tras esto se saca y se drena a la atmósfera por el tiempo de secado. Finalmente, el queque se descarga y pesa. El tiempo de secado se determina experimentalmente.

La tasa de filtración (kg/h/m^2) se obtiene dividiendo el peso del **queque seco** por unidad de **área** del filtro de laboratorio, por el **tiempo total del ciclo**.

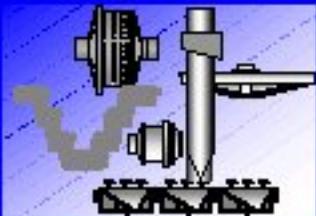


Separación sólido - líquido

Existe otro test que permite determinar, además de la tasa de filtración los parámetros de filtración (R y α). Este ensayo es aplicable tanto para filtros de vacío como para filtros a presión.

Para estas pruebas existen diversos instrumentos, todos con una estructura similar. Las pruebas se realizan en una celda a presión que permite aplicar una presión positiva de gas a la pulpa, la que puede variar desde 0 (filtros de vacío) a presiones mayores (filtros a presión), por lo que se puede simular cualquier proceso de filtración. El área de filtración es constante y se trabaja a temperatura controlada. El flujo de aire y la presión se regulan y miden durante el ensayo.

La tasa de filtración y los demás parámetros se obtienen por ajuste de modelos de filtración a los resultados experimentales.



Separación sólido - líquido

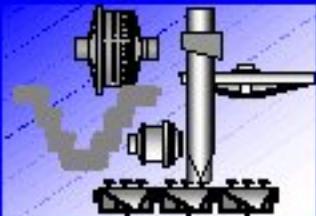
◆ Parámetros de la filtración

Humedad del queque, H [%]

Está limitada por los requerimientos de la etapa posterior: transporte y fundición de concentrados (recomendable $< 9\%$).

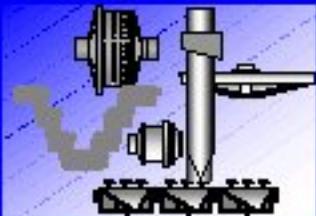
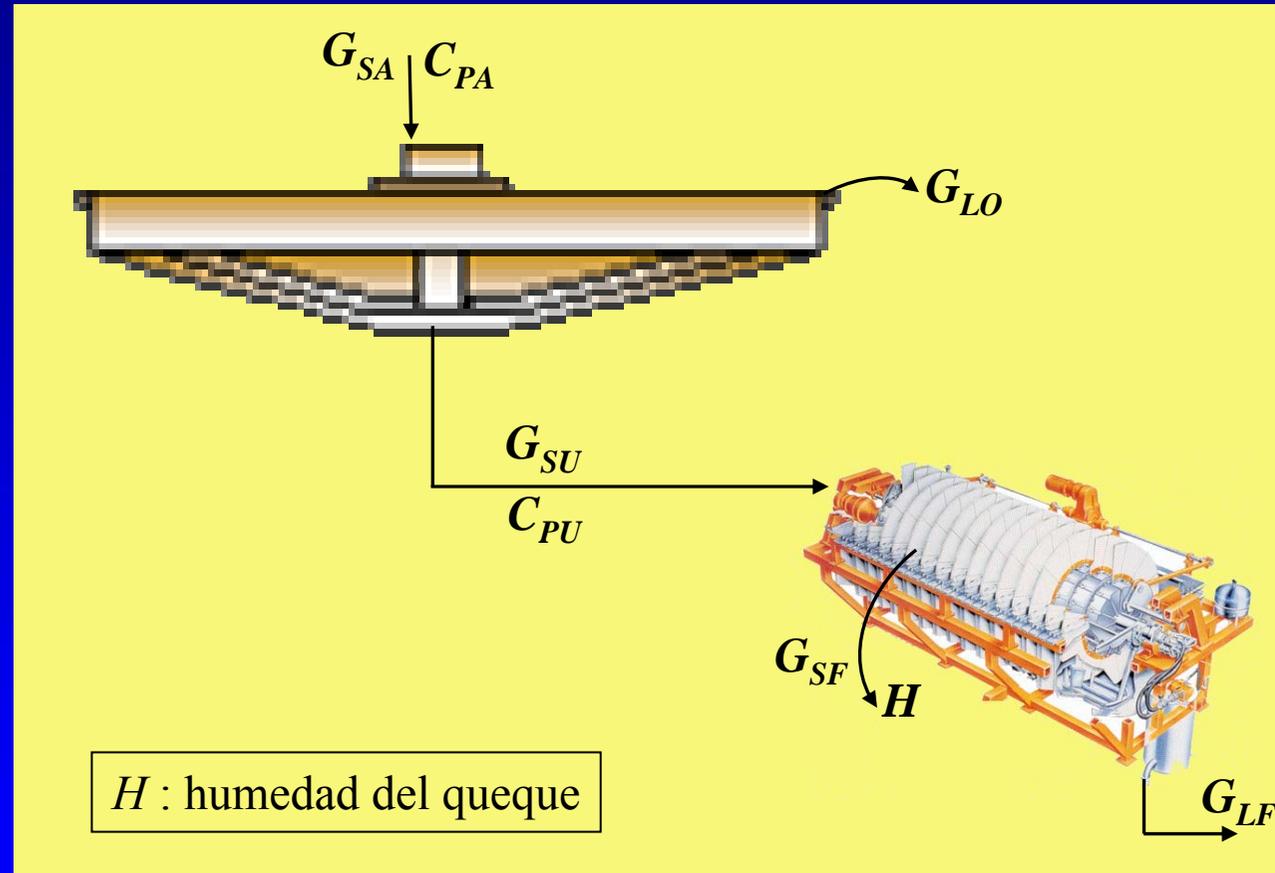
Sólidos en suspensión en el líquido de filtrado, S_F [ppm]

Está limitada principalmente por la pérdida de sólidos muy finos, por lo que es fundamental el tipo de tela filtrante usada y el uso o no de floculantes en esta etapa. La cantidad de sólidos en suspensión en el líquido de filtrado puede ser utilizada como un indicador de la calidad de la tela filtrante en el tiempo.

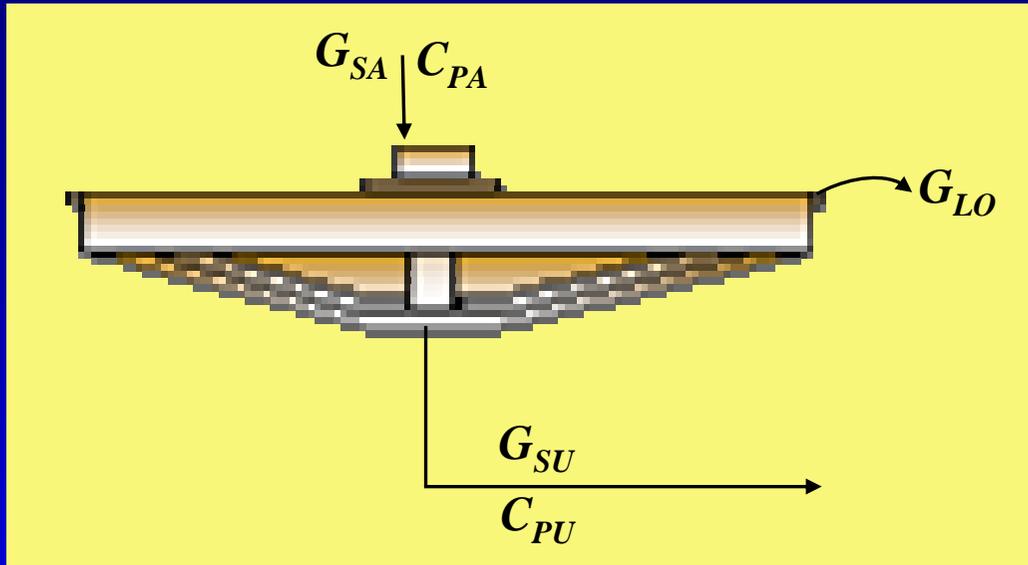


Separación S/L

❖ Balances en la separación sólido - líquido



Separación S/L

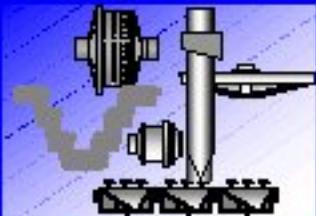


Balance de sólidos:

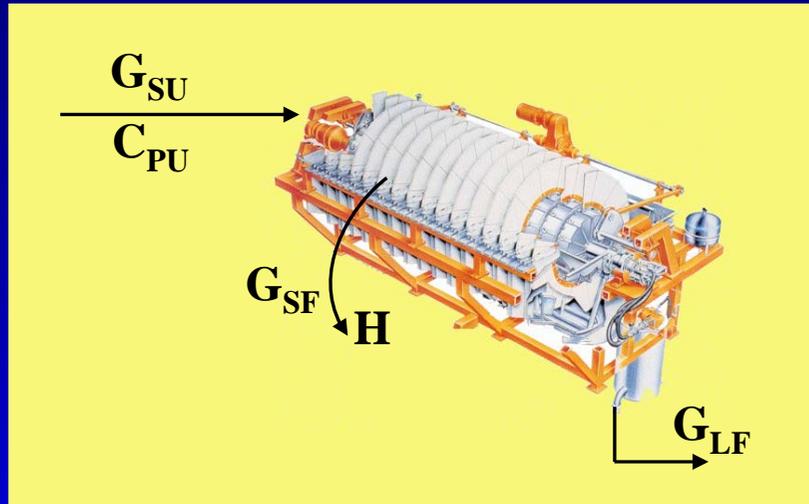
$$G_{SA} = G_{SU}$$

Balance de líquidos:

$$\frac{G_{SA}}{C_{PA}} (1 - C_{PA}) = \frac{G_{SU}}{C_{PU}} (1 - C_{PU}) + G_{LO}$$



Separación S/L



Balance de sólidos:

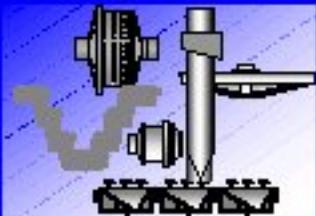
$$G_{SA} = G_{SF}$$

Humedad (en base húmeda):

$$H = \frac{G_L}{G_S + G_L}$$

Balance de líquidos:

$$\frac{G_{SU}}{C_{PU}} (1 - C_{PU}) = \frac{G_{SF} H}{(1 - H)} + G_{LF}$$



Indicadores del proceso

Recuperación de agua en concentrados, %:

$$R_{AGUA} = \frac{G_{LO} + G_{LF}}{G_{LO} + G_{LF} + \frac{G_{SF} H}{(1-H)}} \cdot 100$$

Valores normales en concentrados: 90 – 95 %

Se compara contra sí misma en estudios de tendencia

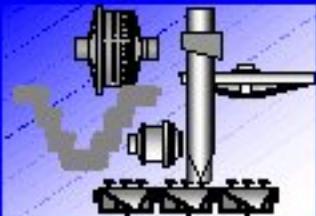
Humedad del queque: *H*

Valores normales:

Filtros convencionales: 12 – 18 %.

Filtros modernos: 8 – 10 %.

Se compara contra sí misma en tendencias



Indicadores del proceso

Recuperación de agua desde relaves, %:

$$R_{AGUA} = \left(1 - \frac{(1 - C_{PU})C_{PA}}{(1 - C_{PA})C_{PU}} \right) \cdot 100$$

Recordar que los relaves sólo pasan por una etapa de espesamiento y no filtración.

Valores normales: del orden del 55 %

Se compara contra sí misma en estudios de tendencia

