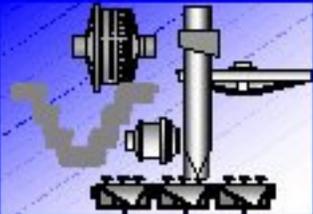
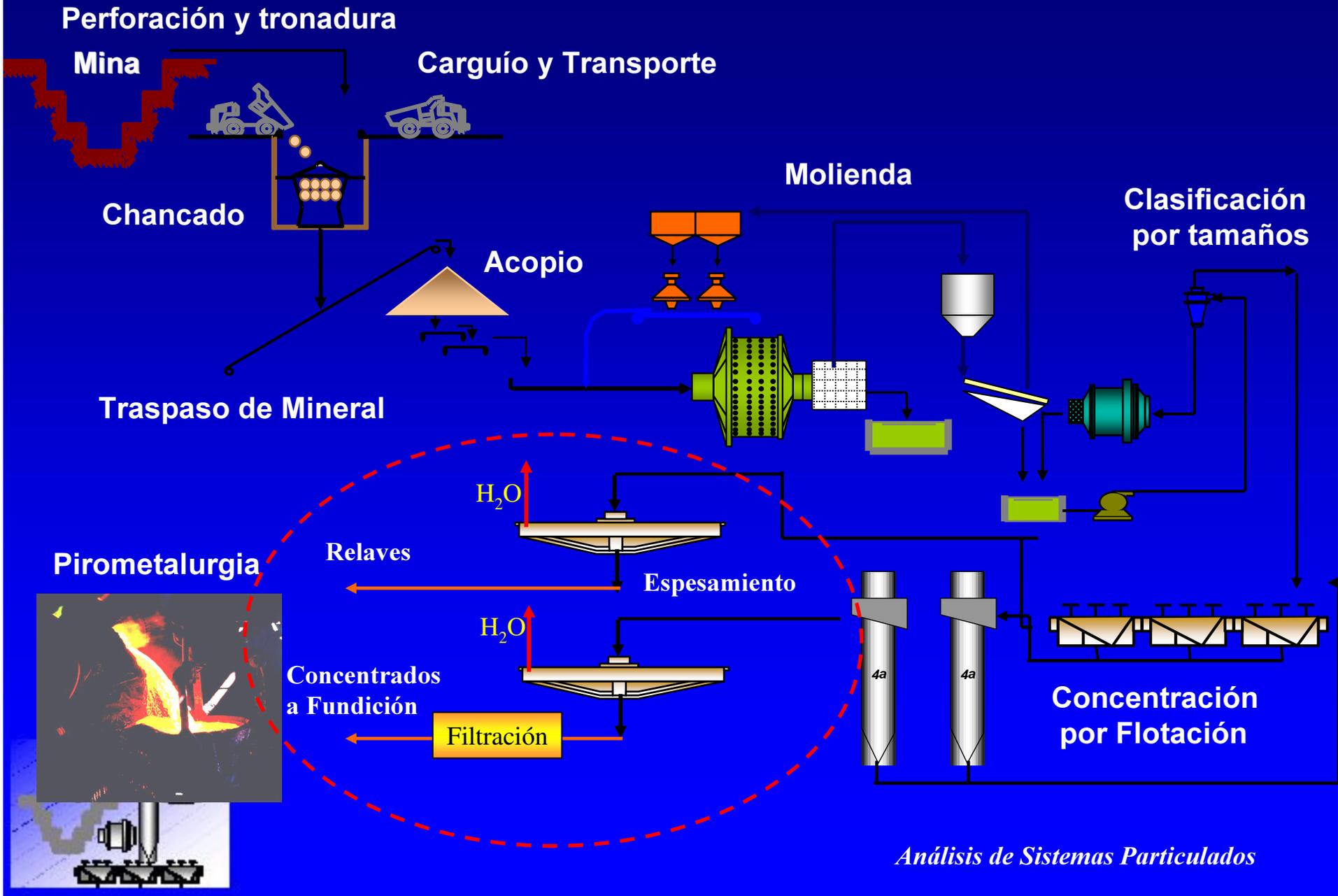




# *Separación Sólido - Líquido*



# Sulfuros de Cobre

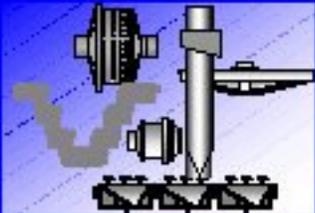


## *Separación Sólido - Líquido*

---

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.

En las etapas de separación sólido - líquido se separa de una alimentación formada por una suspensión de partículas de un sólido en un líquido, un líquido prácticamente exento de partículas y otro con sólidos en una concentración superior a la de la 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.



# *Separación Sólido - Líquido*

---

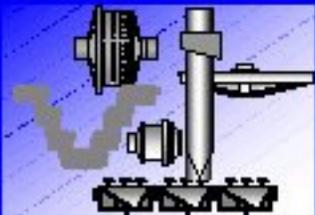
## ❖ *Métodos Principales de Separación Sólido - Líquido*

### ◆ **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 (polímeros orgánicos de cadena larga y alto peso molecular).

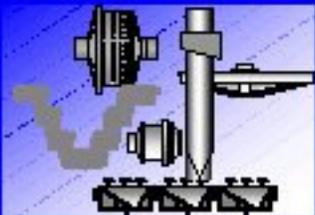
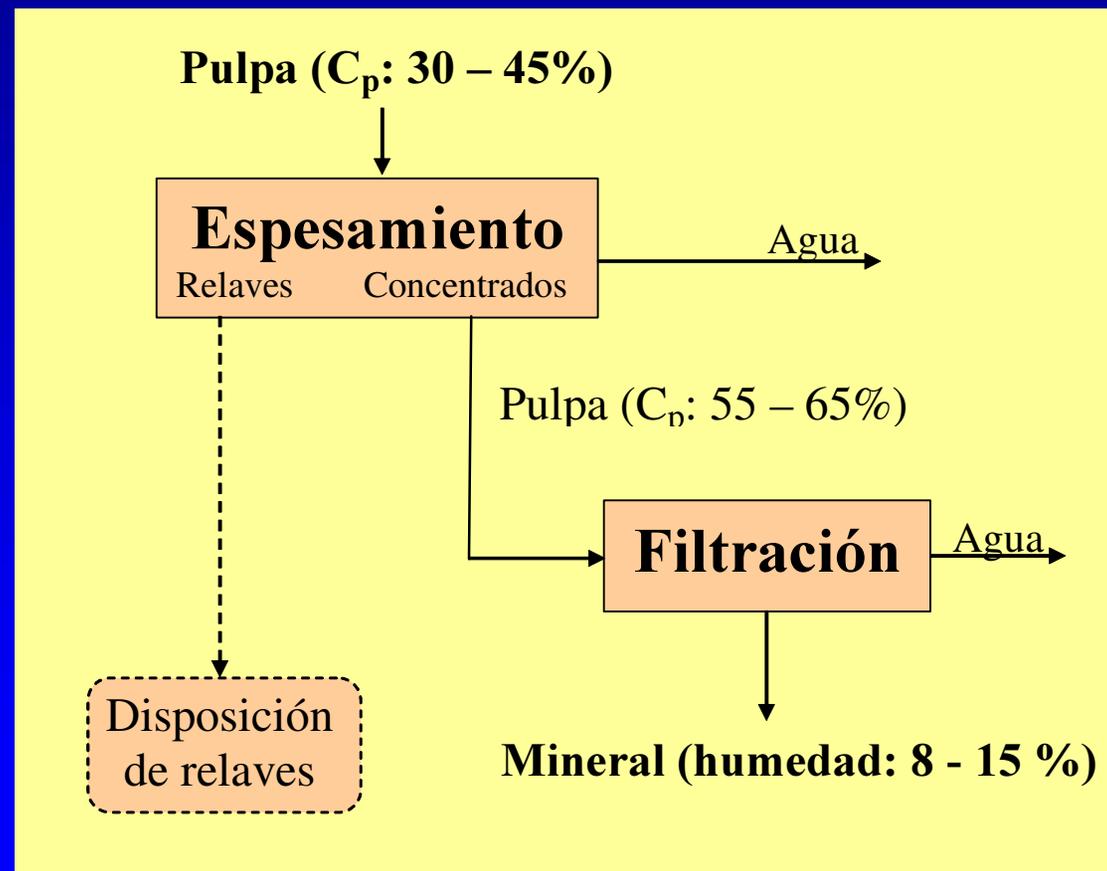
### ◆ **Filtración**

Utiliza un material poroso, a través del cual se hace fluir la suspensión. El flujo del líquido se puede extraer gracias a la presión fluidoestática del mismo, mediante succión o presión dada por un dispositivo mecánico adecuado.



## Separación Sólido - Líquido

La separación sólido - líquido, en el procesamiento de minerales, es normalmente una combinación de ambos métodos, en el orden que se aprecia en el siguiente esquema:



# *Separación Sólido - Líquido*

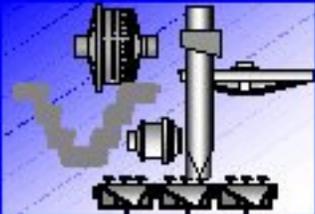
## ◆ *Factores que Influyen en la Separación Sólido – Líquido*

- **Distribución de tamaños de las partículas:**

Son importantes los tamaños menores a 200 mallas, por el hecho de que las partículas finas sedimentan más lentamente. El aumento del porcentaje bajo estos tamaños hace aumentar el área superficial requerida para las etapas de separación sólido - líquido, lo que genera que la productividad disminuya por área unitaria y el contenido de humedad aumente.

- **Forma de las partículas**

Cuando la forma de las partículas varía mucho de la esfericidad, ésta influye en el funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, la bentonita coloidal (tipo de arcilla) es difícil de filtrar, a pesar que no tiene problemas con la floculación, debido a su forma aplanada, lo que hace que las partículas se acomoden en forma de infinitas láminas que obstaculizan el paso del líquido y reducen la razón de filtración. En este caso la sedimentación también es lenta y se requieren unidades de mayor tamaño (área).



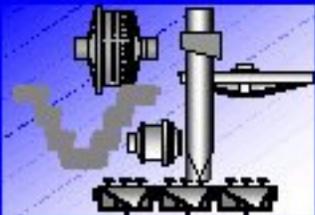
## *Separación Sólido - Líquido*

- **Superficie química de las partículas**

Este factor es importante cuando se utilizan flocculantes en filtración o en sedimentación, debido a que la superficie química de las partículas indica el tipo de flocculante a utilizar: aniónico, catiónico y no iónico. Esto influye directamente en los costos de operación y en el sistema de flocculación a emplear.

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

Influye fuertemente en las operaciones de filtración y sedimentación. Por ejemplo, en el caso de la sedimentación su efecto depende del uso o no uso de flocculantes. Si no se utiliza flocculante en la operación, un  $C_p$  alto es más favorable porque trae como consecuencia una productividad mayor por unidad de área, a una misma concentración de sólidos en la descarga. En cambio, un  $C_p$  alto, si se utiliza flocculante en la operación, en muchos casos afecta negativamente la estructura de los flóculos, lo que puede producir una baja productividad por unidad de área. Ejemplos de este efecto se han encontrado en la industria del carbón.



## *Separación Sólido - Líquido*

---

- **Concentración de sólidos coloidales**

Los sólidos coloidales corresponden a partículas de tamaños menores a 10 micrones. Estas partículas 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 necesario utilizar flocculantes para ayudar a las etapas de sedimentación y filtración.

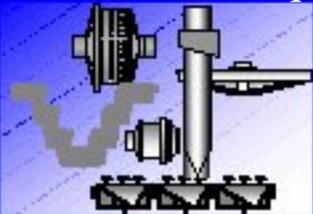
- **Otros factores**

- **Viscosidad del líquido**

Un aumento de ésta disminuye la razón de separación sólido - líquido. Es válido en sedimentación y filtración y se refleja en un mayor contenido de humedad del sólido final.

- **Temperatura**

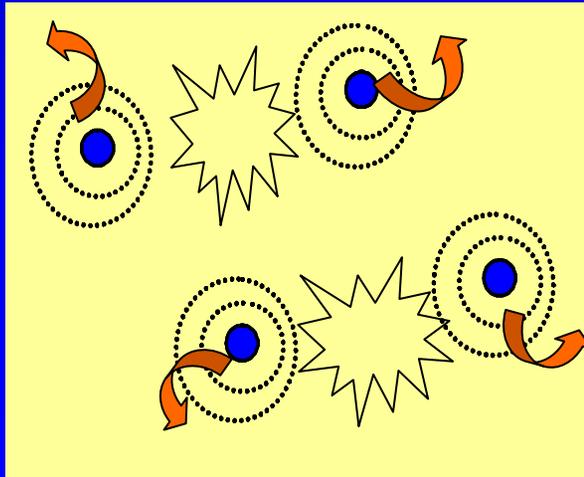
Este factor está ligado a la viscosidad. Un aumento de temperatura implica una disminución de la viscosidad y un aumento en la razón de separación sólido - líquido.



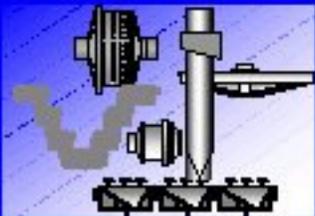
# Floculación

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**.

Todas las partículas ejercen fuerzas de atracción mutuas, conocidas como fuerzas de **Vander Waals – London**, las cuales solamente son efectivas en una escala muy pequeña. Lo anterior generalmente es anulado debido a la presencia de una atmósfera cargada eléctricamente alrededor de cada partícula, que genera fuerzas de repulsión entre cada una de las partículas que se aproximan.



Por lo tanto, en cualquier sistema en particular, existe un balance entre las fuerzas de atracción y las de repulsión eléctrica presentes en la interfase sólido – líquido.



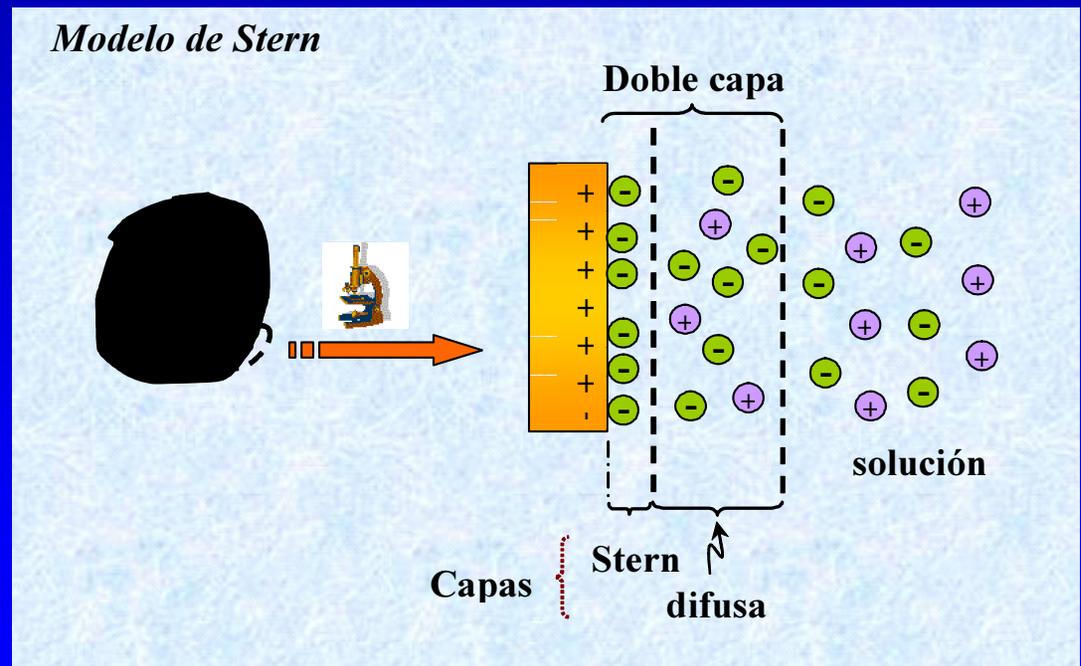
# Floculación

## ❖ Doble capa eléctrica

En una partícula mineral en contacto con un líquido, se desarrolla una carga eléctrica superficial que es compensada por una distribución equivalente de carga en la fase acuosa (capa Stern). Entre esta capa y el seno del líquido se forma una capa difusa de contraiones. Ambas capas en conjunto forman la denominada **doble capa eléctrica**, que influye directamente en la adsorción de los reactivos sobre la superficie de los minerales.

El signo de la carga de la superficie del sólido depende del pH. En general se observa que la superficie del sólido tiene carga:

- Negativa para suspensiones acuosas de  $\text{pH} > 4$
- Positiva para suspensiones acuosas de  $\text{pH} < 4$



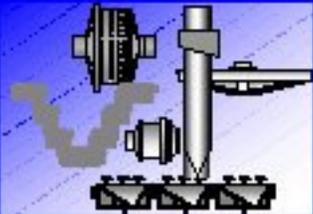
# *Floculación*

---

## ➤ *Potencial Superficial, $E$*

Aunque la carga superficial no se puede medir, es posible determinar la diferencia de potencial entre la superficie y la solución, lo que se denomina **potencial superficial o potencial electroquímico**, “ $E$ ”.

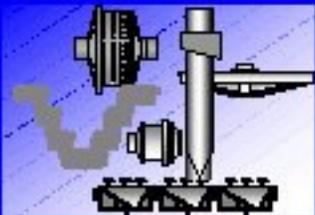
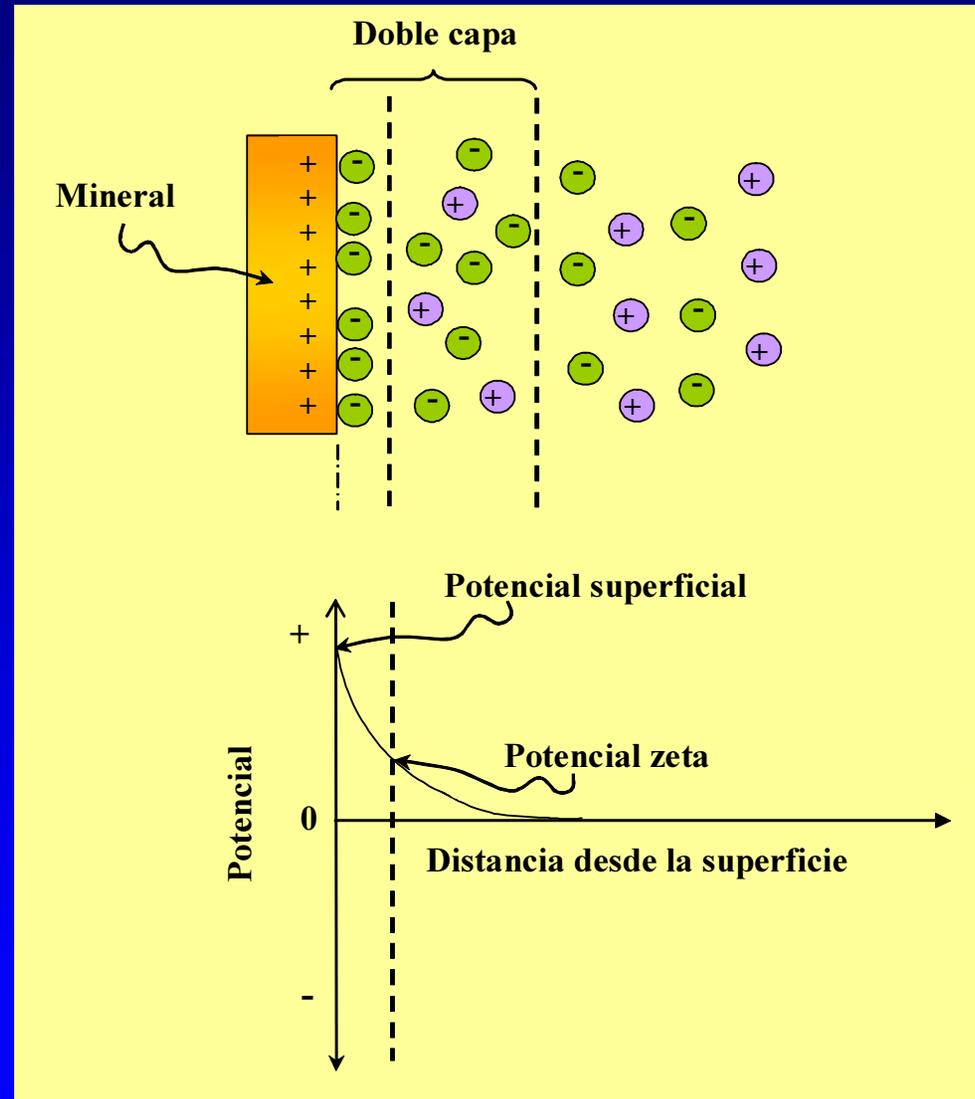
El pH al cual la carga superficial es cero, se denomina *Punto Cero de Carga*, **PCC**.



# Floculación

## ➤ *Potencial Electrocinético o Potencial Zeta, $\xi$*

Cuando existe un movimiento relativo entre el sólido y el líquido, los iones que forman la capa Stern quedan firmemente asociados con la superficie del sólido, mientras que los iones de la capa difusa quedan o se mueven con el líquido. Esto genera un plano de corte entre ambas capas, generando un potencial eléctrico entre las dos superficies, denominado **potencial electrocinético o potencial zeta, “ $\xi$ ”**.

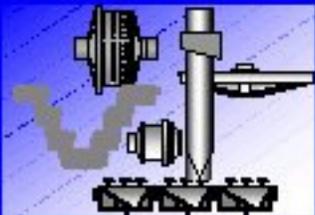
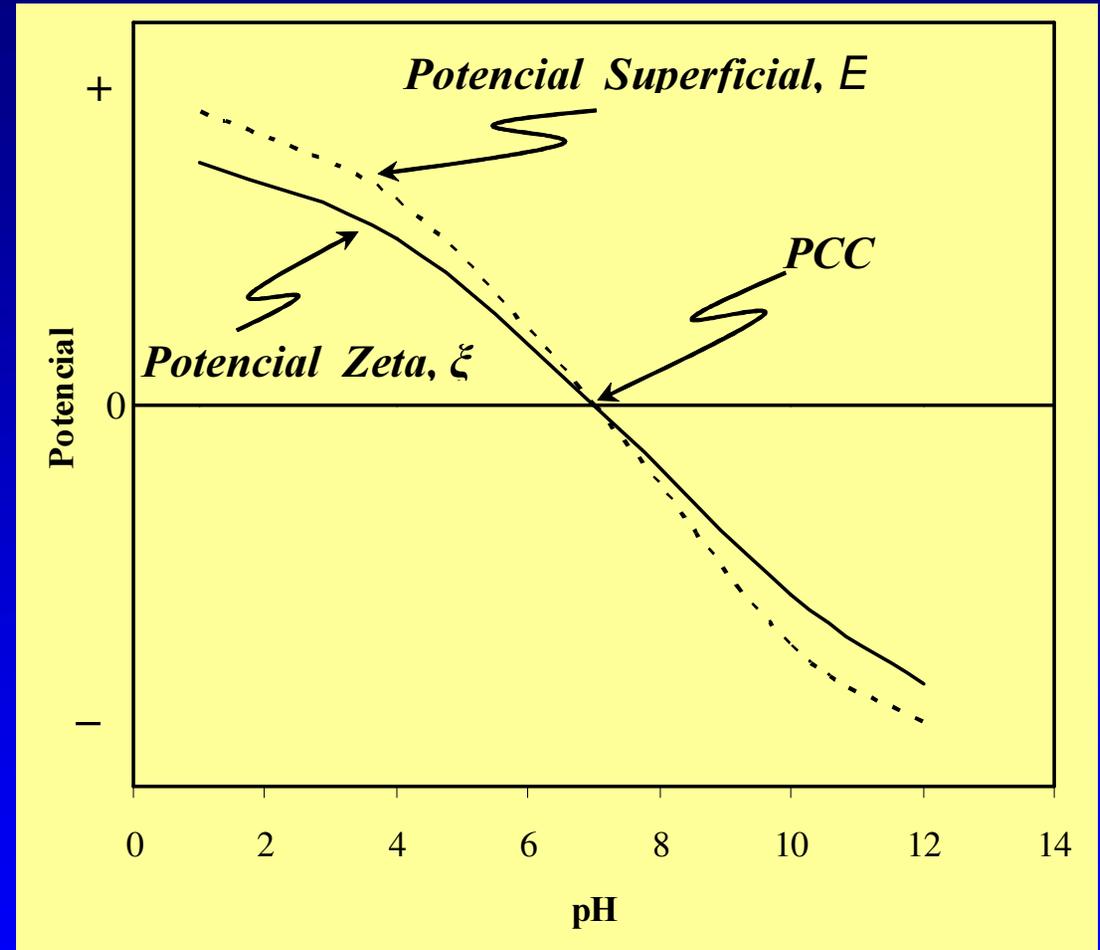


# Floculación

El pH al cual el potencial superficial es cero, se denomina **Punto Cero de Carga (PCC)**.

Aquel al cual el potencial zeta es igual a cero, se denomina punto isoeléctrico (IEP).

En los óxidos y silicatos estos puntos son iguales.



# *Floculación*

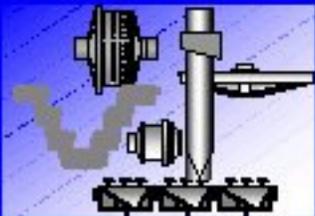
*La unión de partículas finas en suspensiones puede inducirse de tres maneras:*

- (1)- Reduciendo la carga superficial
- (2)- Reduciendo la doble capa eléctrica
- (3)- Conexión polielectrolítica

Tanto 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, punto cero de carga (PCC).

El pH para el cual la carga superficial es cero, es característico de cada mineral. Lo que ocurre cuando el pH se acerca al punto isoeléctrico o al PCC es que tanto la carga superficial como la doble capa eléctrica disminuyen, lo que trae como efecto una menor repulsión entre las partículas y facilita la unión de éstas por coagulación. Iones como  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Al}^{+++}$  y  $\text{Ca}^{++}$ , comprimen la doble capa y reducen la carga superficial produciendo coagulación.

El punto (3) se consigue con la adición de reactivos llamados floculantes.



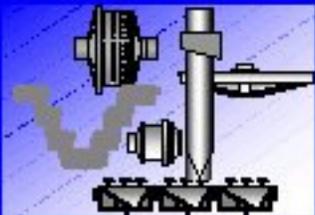
# Floculación

## ◆ *Coagulación*

Hace que las partículas coloidales extremadamente finas se adhieran más directamente unas a otras formando una partícula más grande lo que facilita su sedimentación.



Para producir esto se utilizan *coagulantes*, que son electrolitos que tienen una carga opuesta a la de las partículas; de este modo neutralizan la carga cuando se dispersan en el sistema, permitiendo que las partículas entren en contacto y se adhieran como resultado de las fuerzas moleculares.

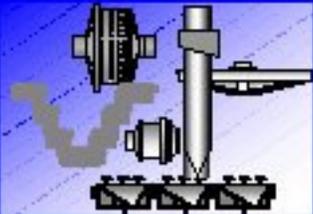


## *Floculación*

---

Los coagulantes más utilizados son sales inorgánicas tales como  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  y  $\text{Ca}^{+2}$ , también se utilizan la cal y el ácido sulfúrico, dependiendo de la carga superficial de las partículas.

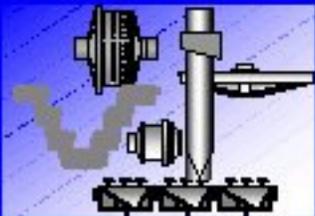
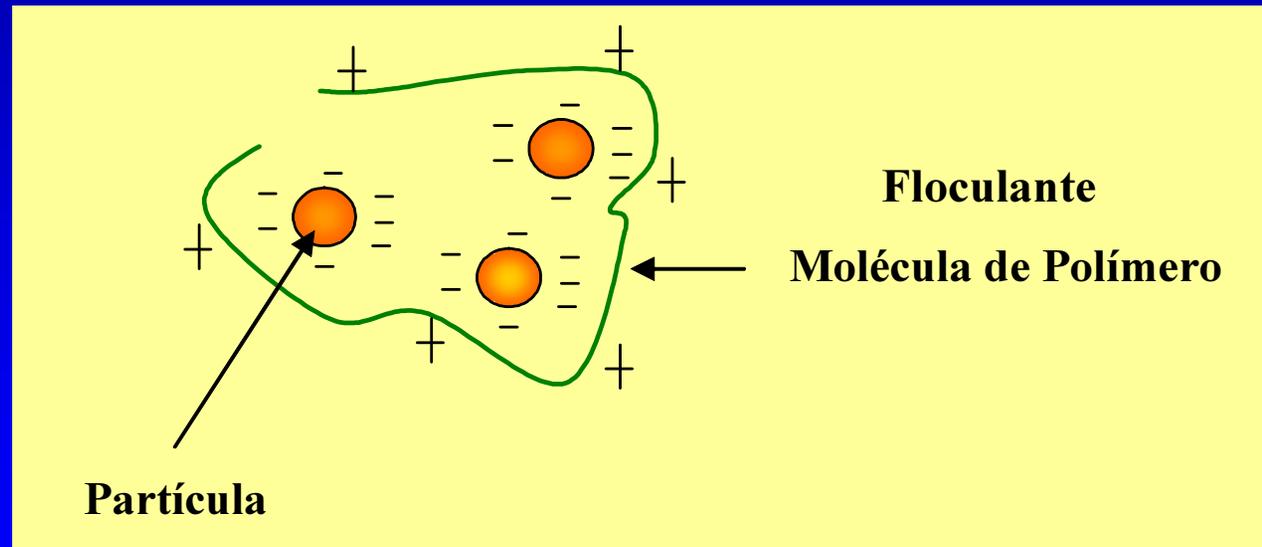
La coagulación más pronunciada se presenta cuando las partículas tienen carga cero en relación al medio de suspensión, esto ocurre cuando el *Potencial Zeta es cero*.



# Floculación

## ❖ Floculación

Es la formación de aglomerados mucho más abiertos que aquellos que resultan de la coagulación, para ello se utilizan reactivos llamados floculantes.



# *Floculación*

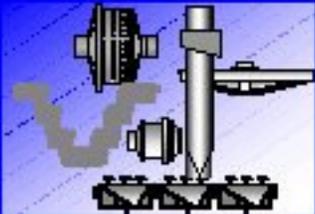
---

## ➤ *Floculantes:*

Son reactivos que se usan para formar puentes o uniones entre partículas, de tal manera de formar una partícula más grande. Son polímeros orgánicos de cadena larga y alto peso molecular solubles en agua.

Los polímeros floculantes se pueden clasificar según su:

- Naturaleza: Sintéticos (policrilamidas) o Naturales (almidón, goma, etc.).
- Carga: Catiónicos ( $\text{NH}_3^+$ ), Aniónicos ( $\text{COOH}^-$ ), No iónicos (poli óxido de etileno).
- Carácter Hidrófobo (poli óxido de etileno, alcohol polivinílico) o Hidrofílico (mayoría).



# Floculación

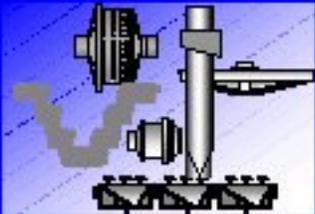
## Mecanismos de Adsorción:

Los polímeros floculantes se adsorben en la interfase mineral / solución vía:

- Puentes de hidrógeno (unión de átomos de hidrógeno del polímero con oxígeno presenta en la superficie de la partícula).
- Interacción hidrófoba
- Atracción electrostática

## Agregación – Floculación:

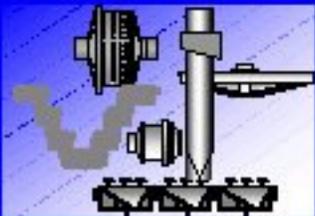
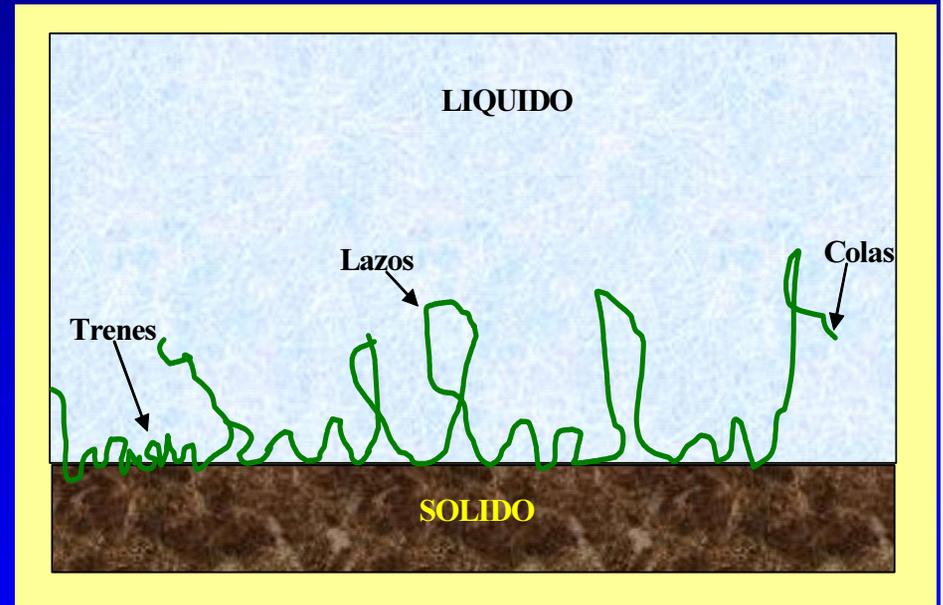
- Mecanismos “patch” (sitio/región) vía interacción (adsorción) electrostática localizada.
- Mecanismo de puentes poliméricos, donde una molécula polimérica puede ser adsorbida en la superficie de dos o más partículas.
- Aprisionamiento de las partículas en redes poliméricas.



# Floculación

La cinética de formación de flóculos sigue las siguientes etapas:

- Difusión de las moléculas poliméricas bajo condiciones hidrodinámicas turbulentas, seguida de adsorción de éstas en la interfase mineral / solución, formando lazos (loops), colas (tails) y trenes (trains).
- Formación de puentes poliméricos por adsorción de los lazos y colas.
- Formación de flóculos – crecimiento bajo agitación lenta.

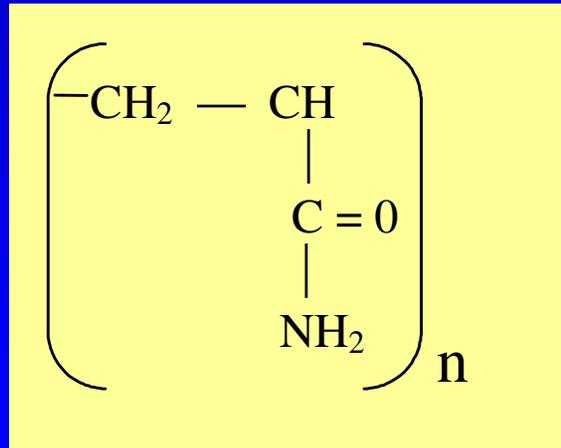


# Floculación

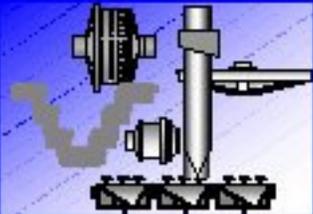
## Floculantes Poliméricos

Son reactivos orgánicos con moléculas de cadena larga y peso molecular de 106 g o más.  
Pueden ser:

- Naturales: polisacáridos (almidón, gelatina, cola animal, etc.).
- Sintéticos: provenientes de derivados del petróleo (policrilamidas de alto peso molecular). Estos son de mejor calidad que los naturales y se pueden fabricar de pesos moleculares mucho mayores que los encontrados en la naturaleza.

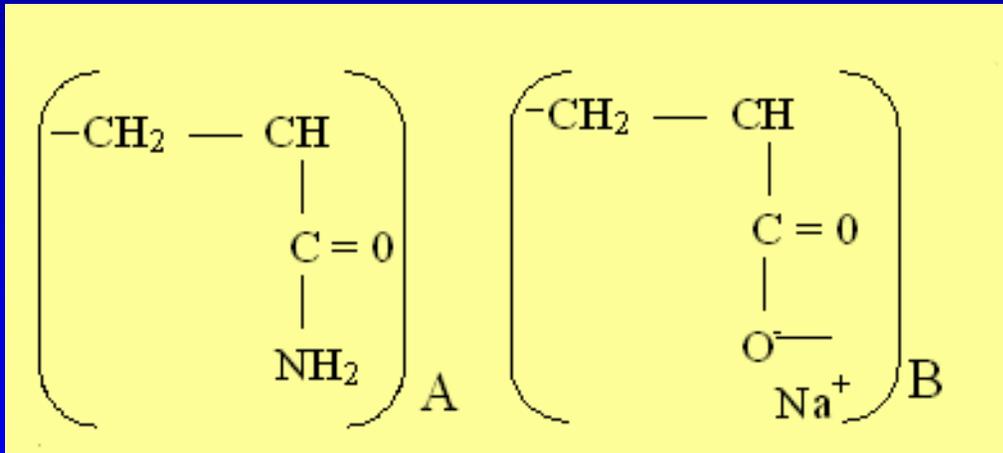


**Policrilamida Pura**  
(propiedades neutras)

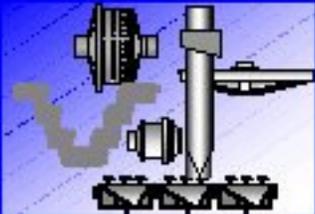


# Floculación

“n” está relacionado con la densidad de la carga (porcentaje de segmentos de monómeros acrílicos que tienen carga). La densidad de carga se puede controlar durante la fabricación del polímero entre los límites 0 – 100%.



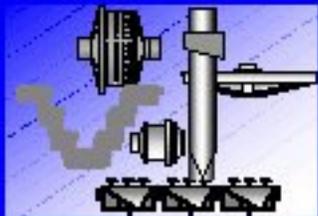
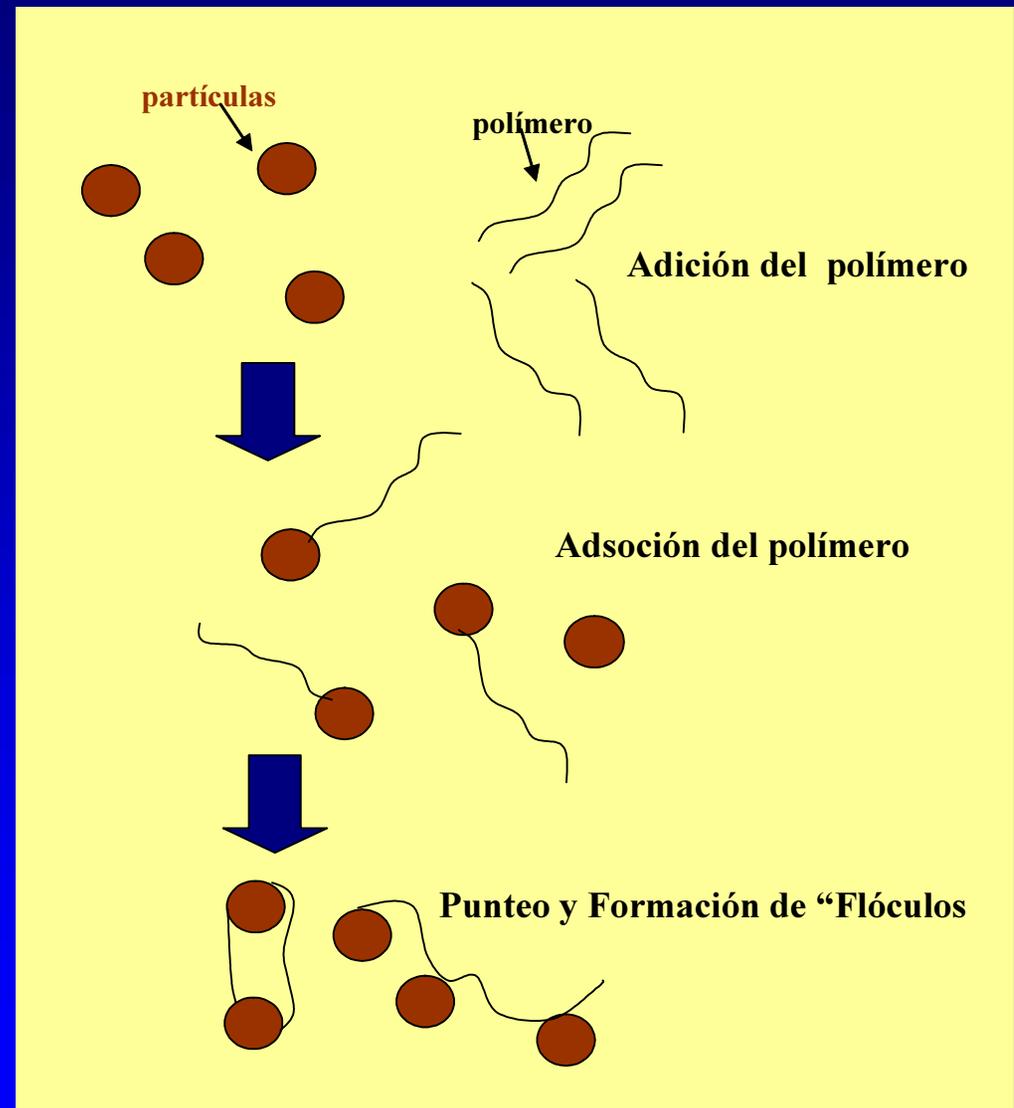
**Co-polímeros de Acrilamida**  
con grupos acrilatos que le dan  
carácter aniónico al floculante  
A: 0 a 99%, B: (100 – A)%



# Floculación

## Foculación por puentes:

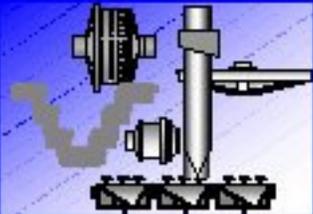
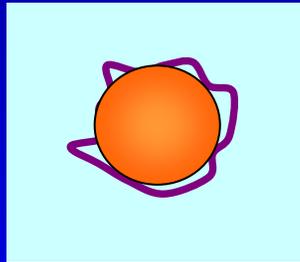
Se produce por la adsorción de una cantidad muy pequeña de polímero de cadena larga sobre varias partículas simultáneamente, produciendo puentes de hidrógeno entre el polímero y iones de oxígeno presentes en la superficie de partículas contiguas en el flóculo. Produce flóculos fuertes.



# *Floculación*

---

Si se agregan mayores concentraciones de floculante que las necesarias para la floculación, el floculante se adsorbe completamente en una partícula dejando poca oportunidad para adsorberse en otras partículas, por lo cual no se produce un efecto de agregación de partículas.



# *Floculación*

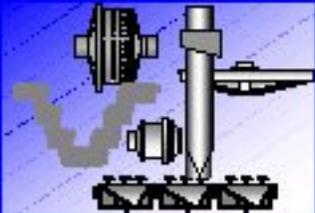
---

## **Tipos de Floculantes y su Adsorción sobre las Partículas**

### ➤ *Catiónicos:*

Predomina la neutralización de las cargas superficiales de las partículas sobre la formación de puentes, semejante a la coagulación. Esta agregación recibe el nombre de floculación electrostática.

Son usados principalmente para espesamiento de desperdicios de carbón, lamas de minerales de hierro y concentrados de minerales. Las dosificaciones normales van de 25 a 250 g/t. También son excelentes agentes clarificadores de agua extraída de la mina, se usan dosificaciones típicas de 5 a 50 g/t.



# *Floculación*

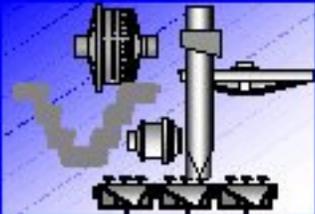
---

## ➤ *Aniónicos:*

Son los más utilizados en la industria minera, la adsorción se produce por enlaces covalentes o por reacción química en la superficie de la partícula, también por enlaces de hidrógeno. Esta agregación recibe el nombre de floculación por enlace de sal.

Son usados principalmente para espesamiento de pulpas de minerales y concentrados, tales como colas de carbón, concentrados y colas de cobre, plomo y zinc, lamas de fosfatos, etc.. Las dosificaciones normales van de 2,5 a 50 g/t.

También se usan como ayudas para la filtración en vacío o a presión de desperdicios de carbón o concentrados de minerales. Las dosificaciones van de 50 a 500 g/t. Otro uso es en la centrifugación.



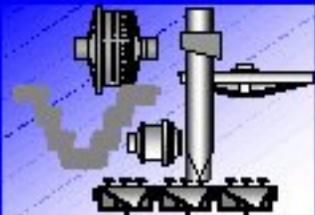
# *Floculación*

---

## ➤ *No-iónicos:*

La adsorción se produce sólo por enlaces de hidrógeno entre los átomos de oxígeno asociados con los iones de metales hidratados en la superficie de la partícula y átomos amido hidrógenos sobre el polímero.

Son usados principalmente para espesamiento de pulpas de minerales y concentrados, especialmente en lamas de mineral de hierro y colas de flotación de oro. Son particularmente efectivos en medio ácido, ejm. en soluciones provenientes de la lixiviación del uranio. Las dosificaciones típicas van de 1 a 50 g/t.



# Floculación

## *Factores que afectan la floculación:*

### ➤ *Dilución de la Pulpa:*

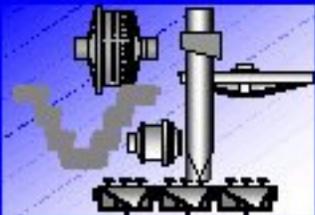
Los floculantes son mucho más efectivos en pulpas con % sólidos  $C_p$ : 20 - 30% y no con  $C_p$  superiores, en estos casos la distribución del floculante es difícil de alcanzar.

### ➤ *Dilución del Floculante:*

Antes de ser usados en el circuito los floculantes son usualmente diluidos hasta 0,01 - 0,05% o menor.

### ➤ *Adición del floculante en la pulpa:*

Cuando sea posible es preferible que se agregue en varios puntos con un control adecuado de la dosis.

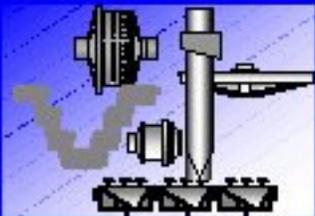


# Floculación

*Coagulación versus floculación: Principales diferencias*

Diferencias	Coagulación	Floculación
Costo = US\$/kg (aproximado)	0.10-0.50	3.0
Mecanismo de agregación	Compresión de la doble capa eléctrica (zeta = +/- 10 mv)	Puentes poliméricas entre partículas (fundamentalmente).
Toxicidad	Media (Al, Fe); Baja (Ca, Mg)	Media para baja (alta capacidad de adsorción)
Concentración requerida	100-800 mg/L	0.2-10 mg/L
Resistencia de los agregados	Baja: se rompen bajo turbulencia y se vuelven a formar en condiciones tranquilas	Elevada: algunos inclusive son formados bajo turbulencia
Cinética de sedimentación	Media (~ 0.5 cm/s)	Alta (>1 cm/s)
Humedad asociada	Alta	Media para baja (mayor compresión e hidrofobicidad)
Hidrofobicidad	Baja, los coágulos son hidrófilos	Los flóculos pueden ser hidrófobos
Filtración	Baja, los coágulos pueden obstruir poros	Buena, floculantes son empleados también como auxiliares de filtración.
Flotabilidad	Buena con burbujas pequeñas; baja cinética y resistencia de las unidades burbuja-partícula	Buena, si los polímeros no son muy hidrófilos y con microburbujas. Flóculos resistentes que generan producto flotados con bajo % de humedad

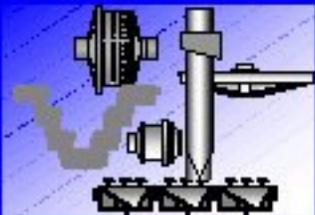
[Rubio, 2000]



# Floculación

Consumos de Floculantes en Plantas de Procesamiento de Minerales en Chile:

REACTIVO	CONSUMO [g/t]
<u>Flotación Colectiva Cu - Mo:</u> * Floculantes	7
<u>Flotación Moly:</u> * Floculantes	85



# *Espesamiento*

---

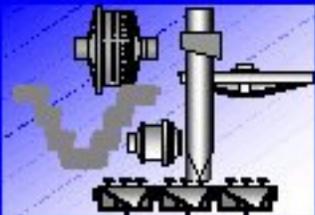
## ❖ *Sedimentación de Sistemas Particulados*

Se denomina *sedimentación* al asentamiento o hundimiento de una partícula, o una suspensión de partículas, en un fluido por efecto de una fuerza externa como: la fuerza de gravedad, la fuerza centrífuga, etc..

La ecuación de sedimentación de una esfera fue propuesta por Stokes en 1851 y puede considerarse el punto de partida de los estudios de sedimentación.

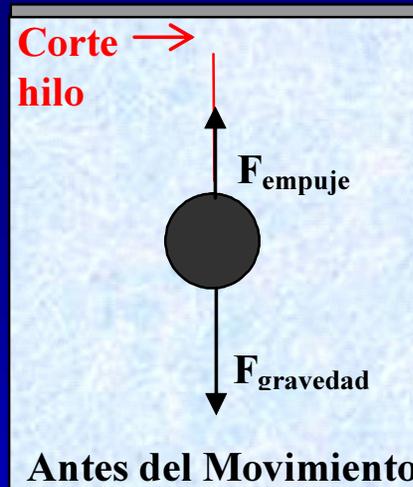
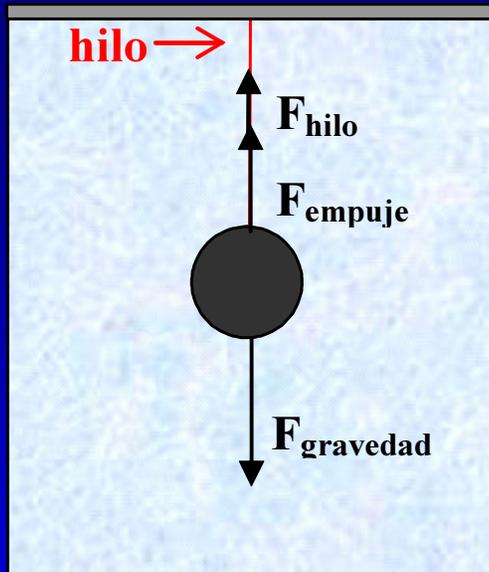
## ◆ *Ecuación de Stokes*

La sedimentación libre de las partículas corresponde al hundimiento de partículas en un volumen de fluido que es grande con respecto al volumen total de partículas ( $C_p < 15\%$ ). Considerando sedimentación libre, para deducir la ecuación de Stokes utilizaremos una partícula esférica de diámetro  $d$  y densidad  $\rho_p$  inmersa en un fluido de densidad  $\rho_f$  y suspendida mediante un hilo. La esfera, de densidad mayor que el fluido está en equilibrio y el balance de fuerzas sobre ella debe ser cero:



# Espesamiento

[F. Concha, 2001]

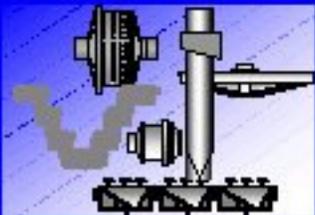
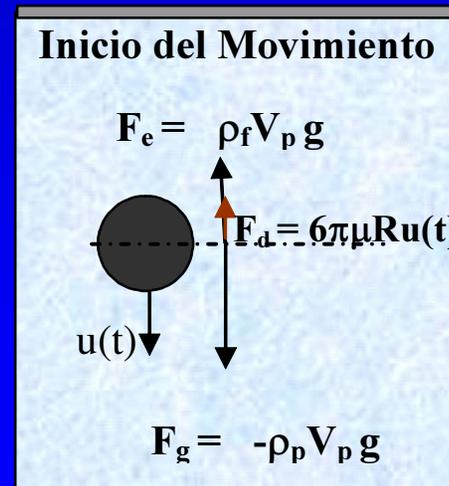


$$0 = F_{\text{hilo}} + F_{\text{gravedad}} + F_{\text{empuje}}$$

$$0 = F_{\text{hilo}} - \rho_p V_p g + \rho_f V_p g$$

$$F_{\text{hilo}} = (\rho_p - \rho_f) V_p g = \Delta\rho V_p g$$

$R$  = radio de la partícula [cm]  
 $u(t)$  = velocidad de la partícula [cm/s]  
 $\mu$  = viscosidad dinámica [dinas s/cm<sup>2</sup>]



## Espesamiento

Instante antes del movimiento:

$$m a(t=0) = \Delta\rho V_p g$$

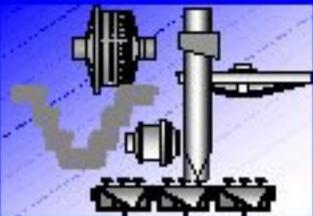
$$a(t=0) = \frac{\Delta\rho g}{\rho_p}$$

Inicio del movimiento:

Una vez que la partícula se pone en movimiento aparece la **Fuerza de arrastre** entre el sólido y el fluido que se opone al movimiento y que es proporcional a la velocidad relativa entre el sólido y el fluido, y como este último está inmóvil, es la velocidad que adquiere la partícula.

$$m a(t) = F_{\text{gravedad}} + F_{\text{empuje}} + F_{\text{arrastre}}$$

$$\rho_p V_p a(t) = \Delta\rho V_p g - 6\pi\mu R u(t)$$



## *Espesamiento*

$$a(t) = \frac{\Delta\rho}{\rho_p} g - \frac{9\mu}{2\rho_p R^2} u(t)$$

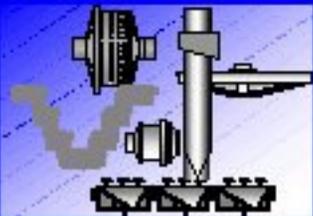
Debido al aumento de la velocidad “u” con el tiempo, el segundo término de la última ecuación crece mientras que el primero permanece constante, llegando un momento en que ambos se hacen iguales, por lo tanto, la aceleración se anula. La velocidad a la cual se anula la aceleración se denomina **velocidad terminal** “ $u_\infty$ ” y es una característica de la partícula y del fluido. Luego la ecuación de Stokes es:

$$u_\infty = \frac{1}{18} \frac{\Delta\rho d^2 g}{\mu}$$

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido [dinas s/cm<sup>2</sup>]

$\Delta\rho$  = diferencia de densidad ( $\rho_s - \rho_f$ ) [g/cm<sup>3</sup>]

$d$  = diámetro de Stokes de la partícula [cm]



# Espesamiento

## *Dinámica de la Sedimentación*

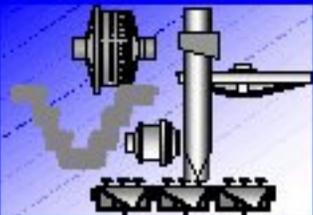
La velocidad terminal en función del tiempo se expresa como:

$$u(t) = \frac{1}{18} \frac{\Delta\rho}{\mu} d^2 g \left( 1 - \exp\left( - \frac{18\mu}{\rho_p d^2} t \right) \right)$$

El término entre paréntesis dentro del exponencial se denomina *número de Stokes*.

Considerando el Reynolds de partículas:

$$\text{Re}_p = \frac{d_p u_\infty \rho_f}{\mu} = \frac{d_p u_\infty}{\nu}$$



# Espesamiento

La velocidades de sedimentación,  $u$ , se pueden expresar según el régimen de flujo:

## \* Régimen de Stokes

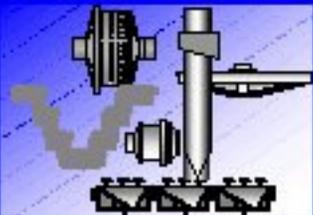
- Partículas pequeñas de diámetro  $d < 0,05$  mm.
- Reynolds de partícula,  $Re_p < 1$ .
- Coeficiente de arrastre,  $C_d = 24/Re$ .

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

## \* Régimen de Newton

- Partículas de diámetros  $d > 1$  mm.
- Reynolds de partícula,  $10^3 < Re_p < 10^5$ .
- Coeficiente de arrastre,  $C_d = 0,44$ .

$$u = \left( \frac{4 g d (\rho_s - \rho_f)}{3 \rho_f C_d} \right)^{0,5} = \left( \frac{3 g d (\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \right)^{0,5}$$



# *Espesamiento*

---

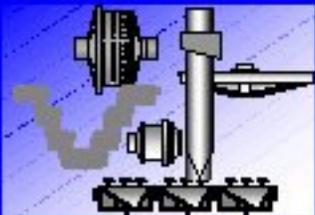
## ◆ *Separación por gravedad o Espesamiento*

La sedimentación permite la separación sólido - líquido entre dos situaciones extremas, como son:

- Baja concentración de sólidos en la alimentación: en este caso a la operación de separación sólido - líquido se le llama *Clarificación*.
- Alta concentración de sólidos en la alimentación: en este caso a la operación de separación sólido - líquido se le llama *Espesamiento*.

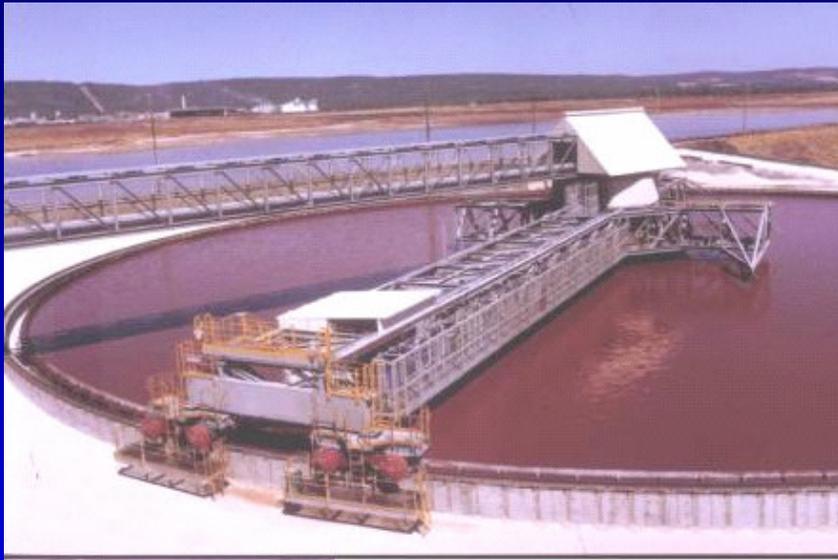
La sedimentación de una suspensión de partículas sólidas deja un líquido clarificado y una pulpa espesa que, en la mayoría de las ocasiones, requiere de una etapa posterior de filtración.

Las partículas muy finas, de sólo algunos micrones de diámetro, sedimentan por gravedad con extrema lentitud y conviene por lo tanto, usar flocculantes o efectuar una sedimentación centrífuga.

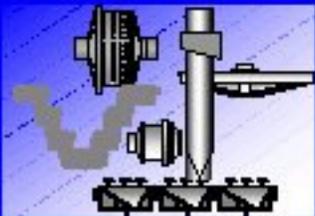


# *Espesamiento*

---



## Espesadores



# *Espesamiento*

---

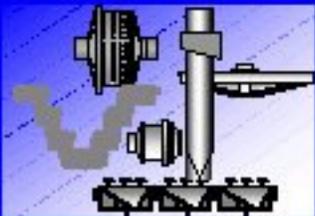
La separación por gravedad o *Espesamiento*, es la técnica de separación sólido - líquido más utilizada, tanto en el procesamiento de minerales como en hidrometalurgia, debido a que es un proceso de alta capacidad y de costo relativamente bajo. La separación se realiza en equipos llamados *Espesadores*.

## **Espesadores**

Son estanques de gran diámetro y de poca profundidad relativa, desde los cuales se separa el líquido claro en su parte superior y la pulpa con alta concentración de sólidos en el fondo. Estos equipos se pueden utilizar en forma batch o en continuo, siendo esta última forma de uso la más común.

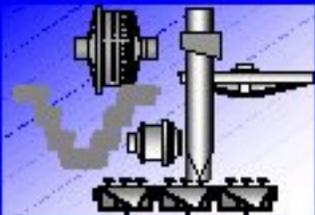
Los espesadores utilizados en forma continua son estanques cilíndricos de diámetros entre **2 y 180** metros y de profundidad de **1 a 7** metros. La pulpa se alimenta a un cilindro de pequeño diámetro, pozo a alimentación o feed well, ubicado en el centro del espesador, a una profundidad de 1 metro (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.



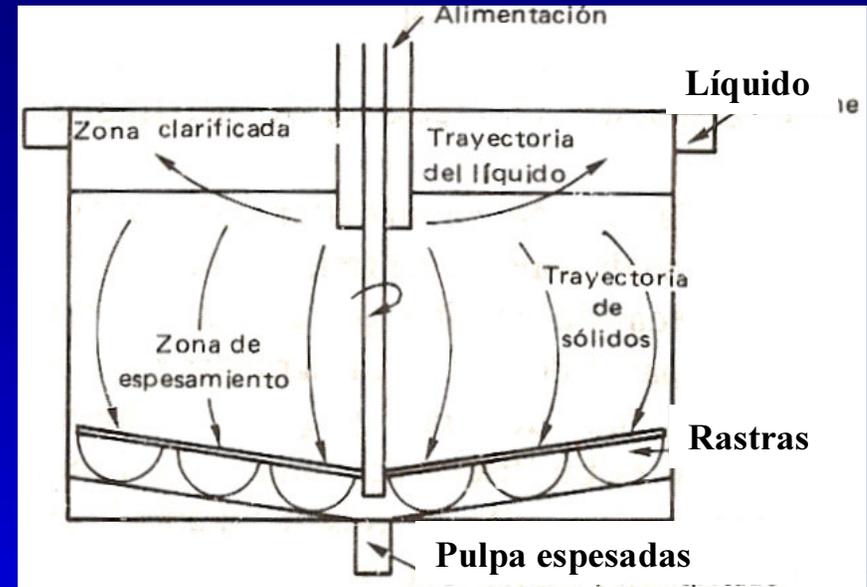
# *Espesamiento*

El líquido claro derrama por un canal periférico, la evacuación debe realizarse a baja velocidad para evitar arrastre de partículas finas (flujo aprox. de 0,1 m<sup>3</sup>/min de agua por metro lineal de canaleta). El sólido que sedimenta sobre el fondo del estanque se saca como una pulpa espesa a través de una salida central.



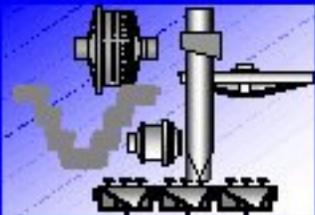
## *Espesamiento*

El interior del estanque tiene uno o más brazos giratorios radiales (rastras), desde cada uno de ellos están suspendidas una serie de aspas acondicionadas para arrastrar los sólidos sedimentados hacia la salida central. En la mayoría de los espesadores estos brazos se elevan automáticamente si el momento de torsión 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 puede alcanzar por la sedimentación simple.

La velocidad del mecanismo de rastras en el perímetro, es normalmente de 8 m/min lo cual corresponde a rev/h para espesadores de 15 m de diámetro. El consumo de energía es muy bajo por ejemplo para un espesador de 60 m se requiere de un motor de 10 kW.



# *Espesamiento*

---

El sistema de impulsión depende del diámetro del espesador:

a) Espesadores relativamente chicos, diámetro menor a 45 m.

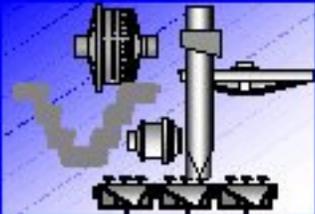
La cabeza de transmisión se sostiene, generalmente, sobre una estructura que atraviesa el espesador, con los brazos fijos a la flecha motriz (espesadores puente).

b) Espesadores de diámetros superiores a 45 m.

El mecanismo de impulsión se soporta sobre una columna central estacionaria de concreto o acero. En la mayoría de los casos los brazos de las rastras están sujetos a una columna central que se conecta al mecanismo impulsor. Los sólidos espesados se descargan a través de un canal anular que rodea la columna central.

Los materiales de construcción de los espesadores pueden ser:

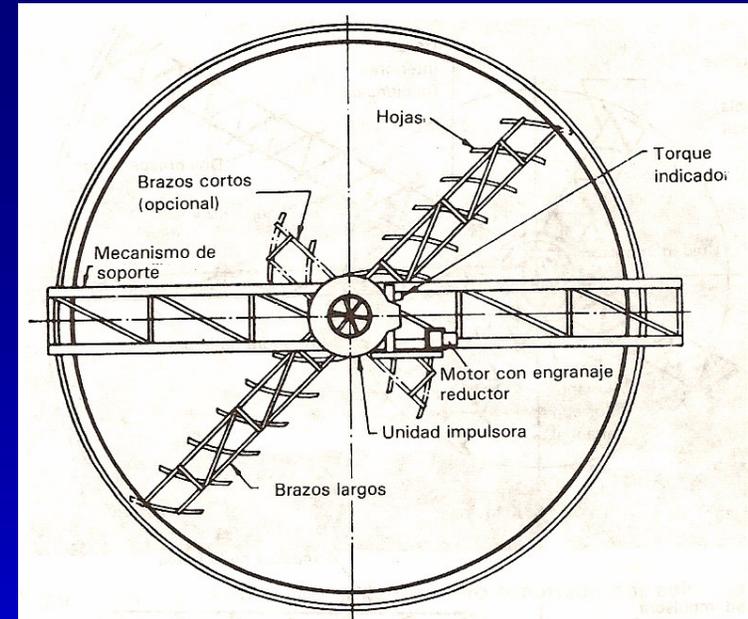
- Acero (diámetros < 25 m)
- Concreto
- Una combinación de ambos materiales.



# Espesamiento

[Wills, 1997]

➤ Espesador de diámetro < 45 m



Sistema motriz

Alimentación

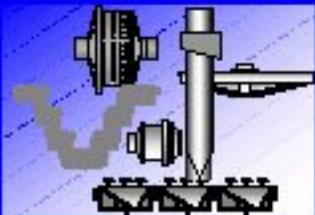
Pozo de alimentación

Rebose  
(líquido)

Rastras (hojas y brazos)

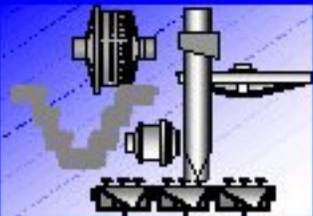
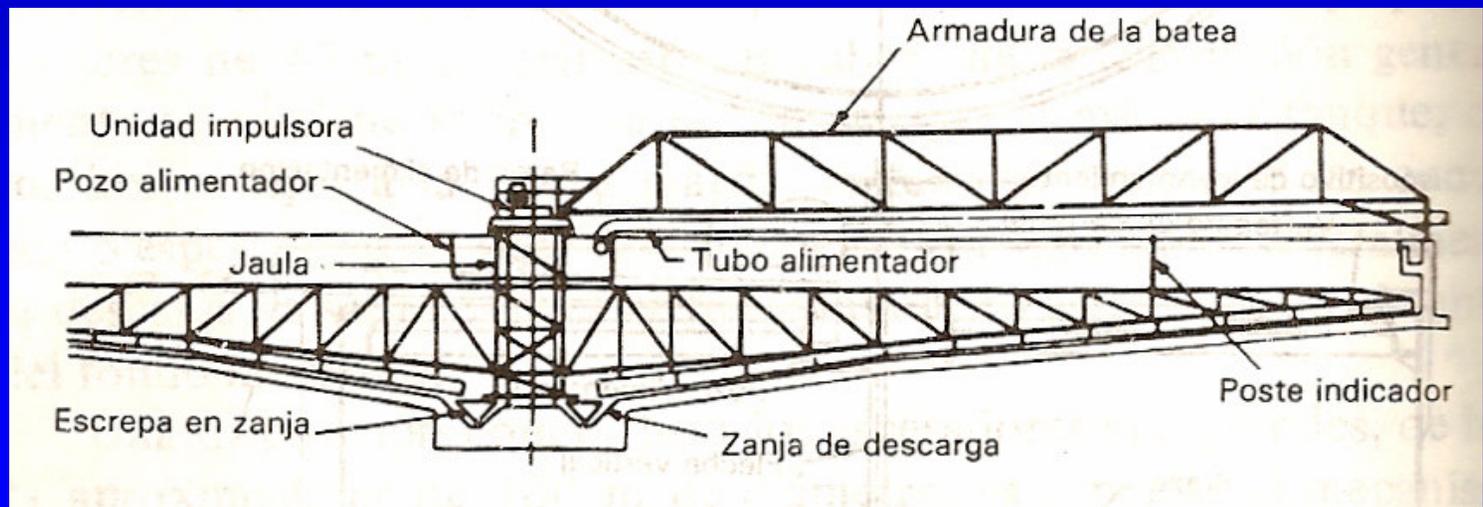
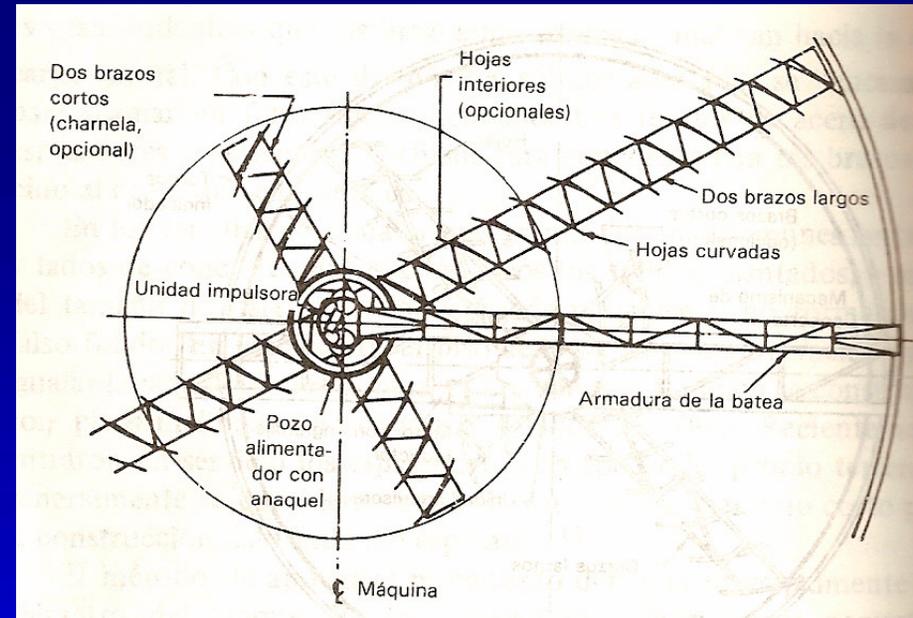
Descarga  
(pulpa más densa)

*Análisis de Sistemas Particulados*



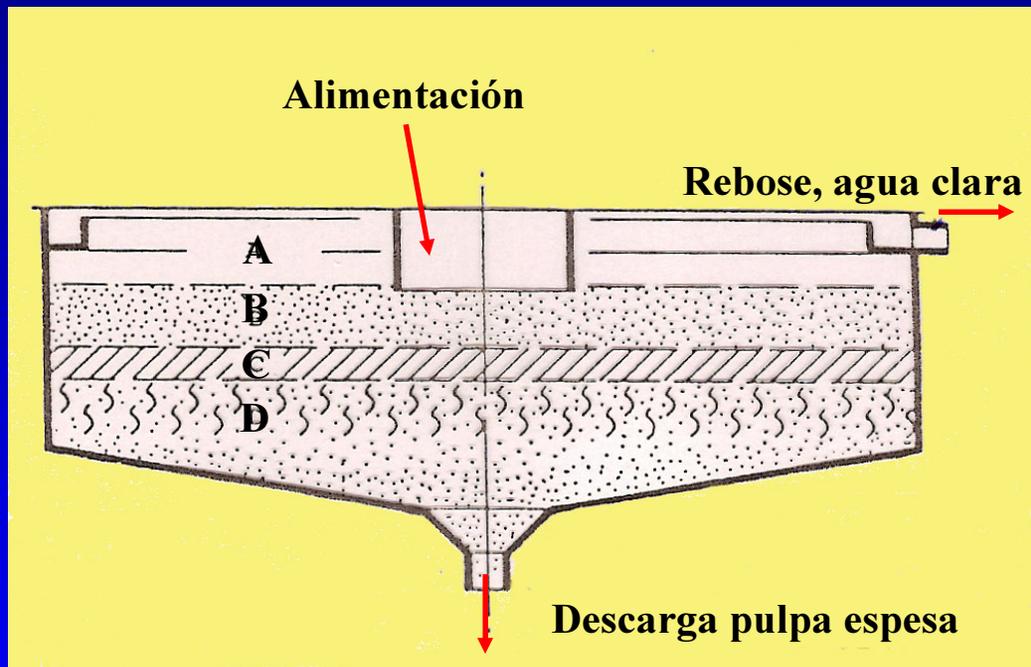
# Espesamiento

- Espesador de diámetro  $> 45$  m



# Espesamiento

## Zonas de Concentración en un Espesador:

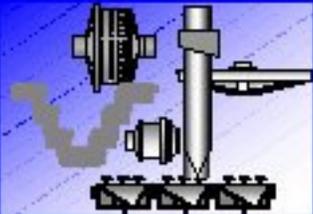


### Zonas:

A = Agua o solución limpia  
B = Pulpa de consistencia de alimentación

C = Pulpa en transición de B a D  
D = Pulpa en compresión

En la práctica las características que distinguen las zonas A, B, C y D no son muy definidas más allá del aumento en concentración de sólidos.



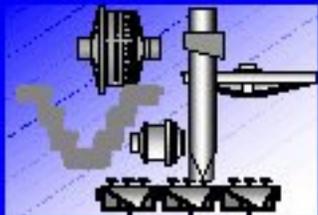
# *Espesamiento*

---

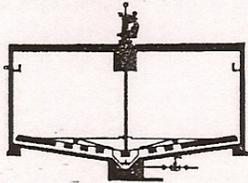
## Tipo de Espesadores

Manteniendo las características generales de construcción y sus componentes principales, podemos encontrar los siguientes tipos de espesadores:

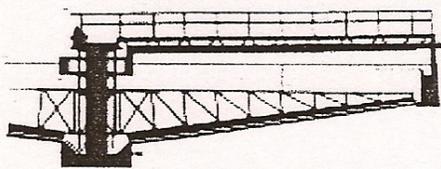
- **Convencionales**
- **Alta capacidad**
- **Alta densidad**



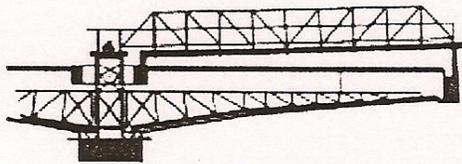
# Espesamiento



Standard  
Bridge-Support  
Thickener  
(Type A)

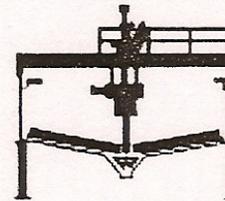


Standard  
Center-Pier  
Thickener  
(Type S)

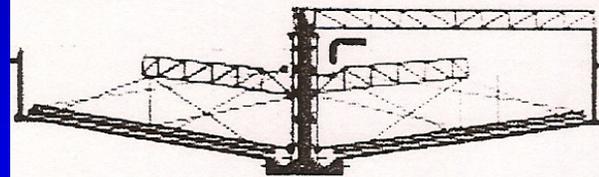


Caisson  
Center-Pier  
Thickener  
(Superthickener)

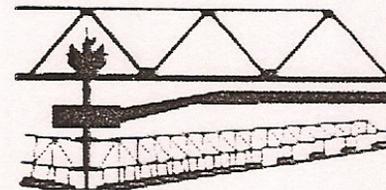
## Espesadores Dorr - Oliver



Hi-Rate  
Thickener



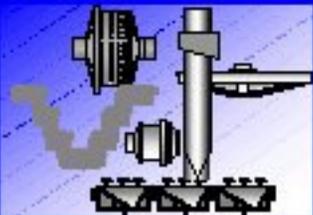
CableTorq  
Thickener



High-Density  
Sludge Thickener



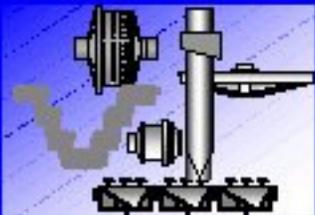
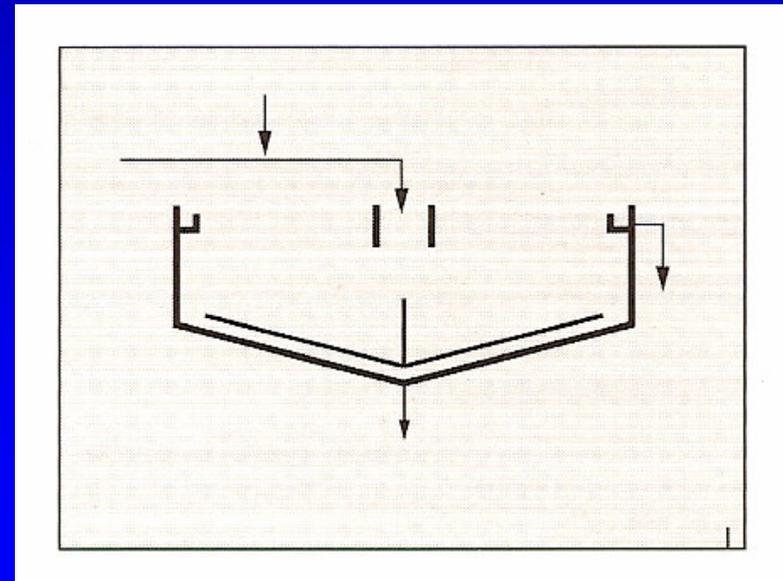
Paste Production  
Storage  
Mechanism



# Espesamiento

## ➤ Espesadores convencionales:

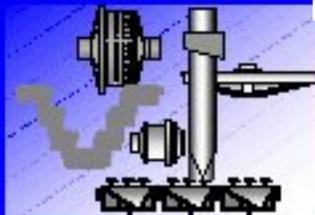
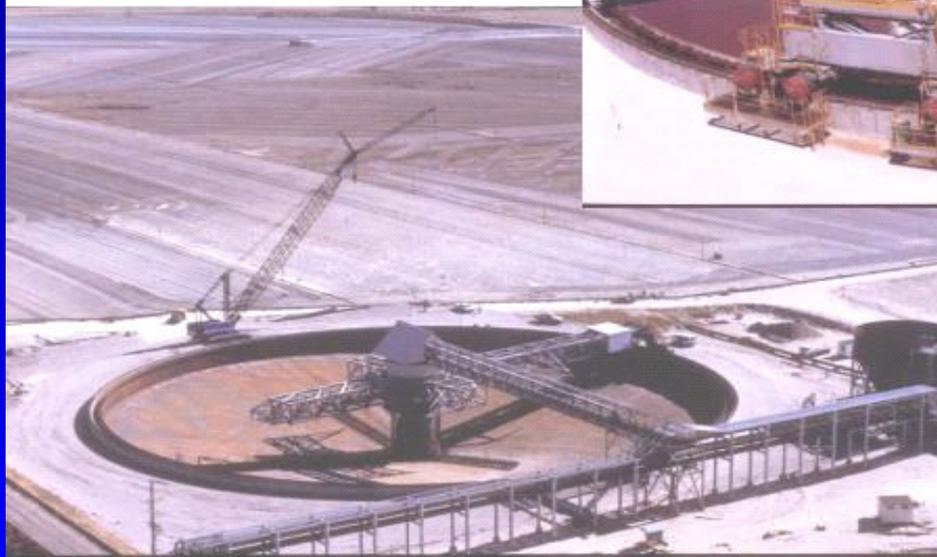
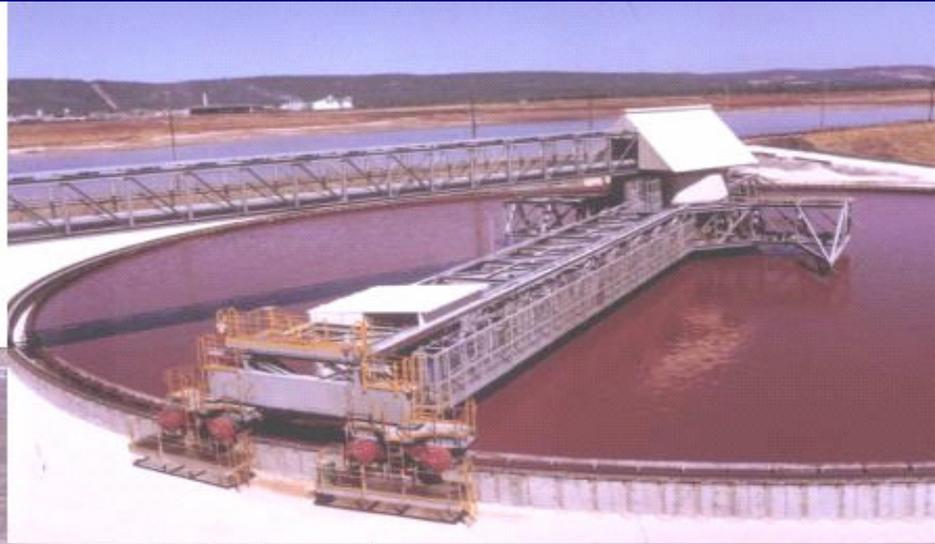
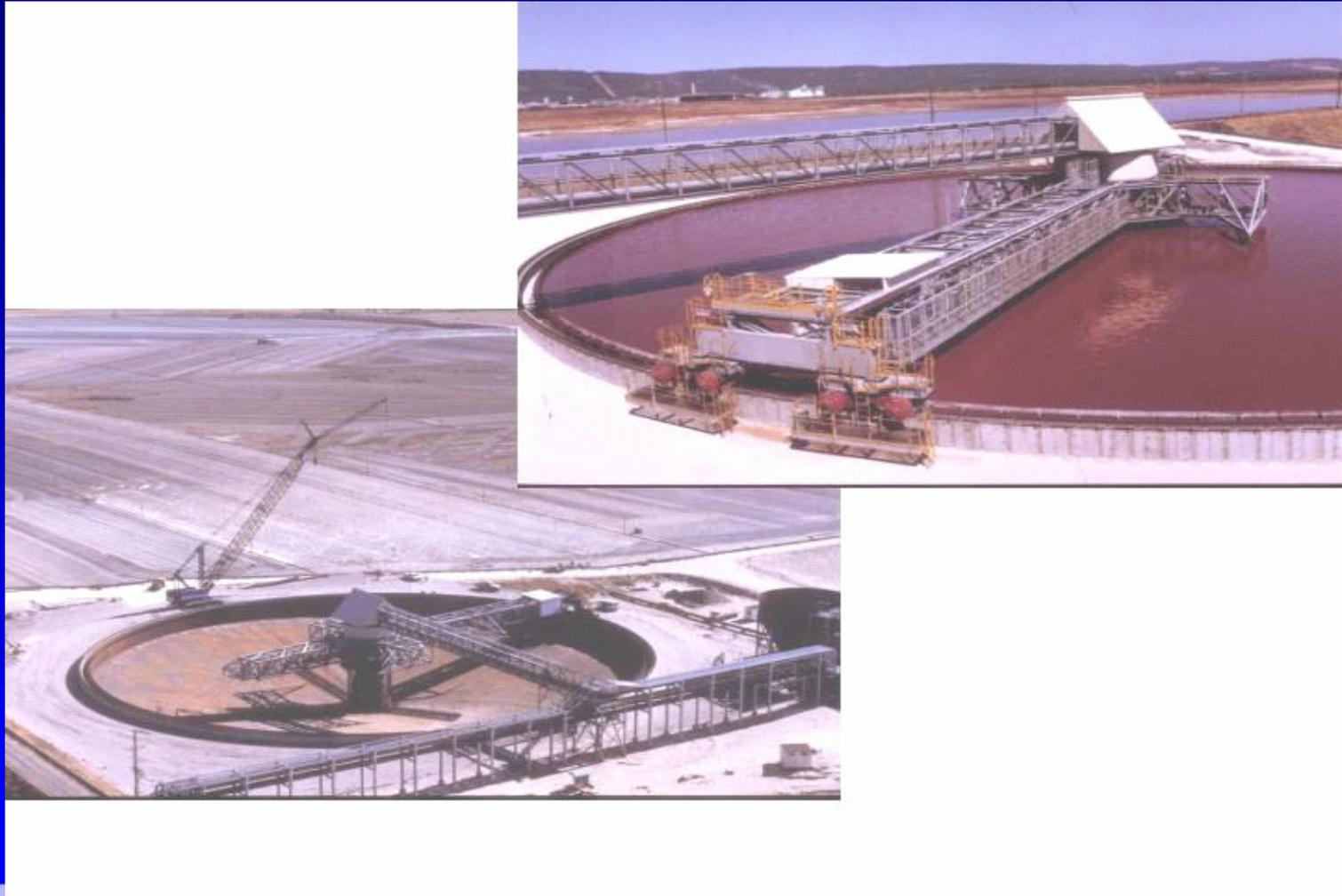
Se caracterizan porque requieren de grandes áreas de terreno dado que su productividad depende sobre todo del área del espesador, en estos equipos el pozo de alimentación (feed well) tiene una profundidad del orden de 1 m. El flujo de alimentación al entrar al espesador se mezcla con un poco de agua recuperada diluyéndola. La pulpa diluida sedimenta a velocidad constante formando diferentes zonas en el espesador: de agua clara (A), de pulpa de consistencia de alimentación (B) y sedimento (C → D).



# *Espesamiento*

---

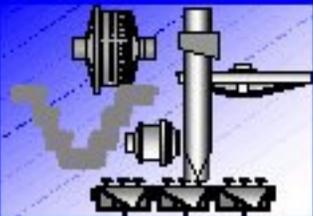
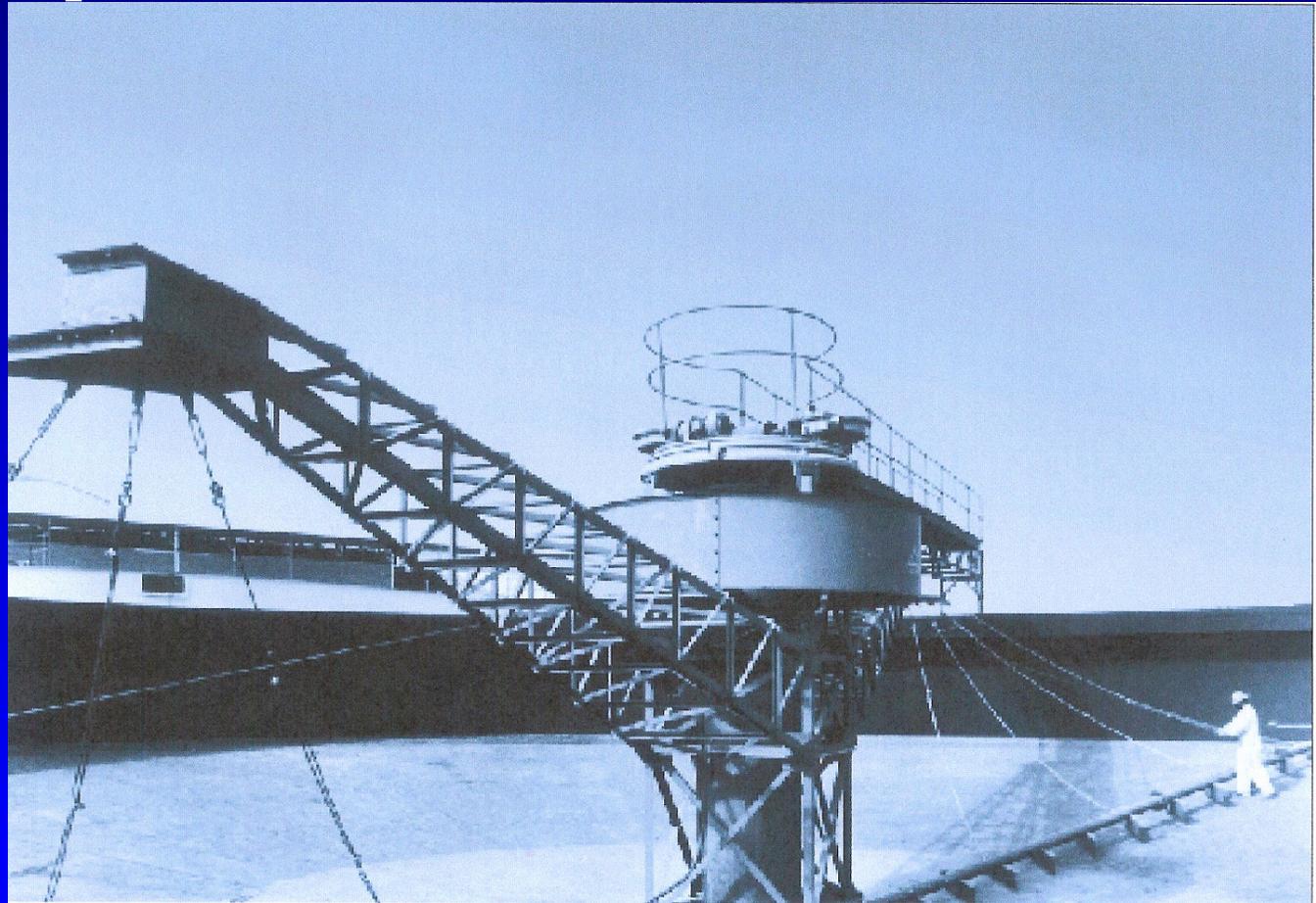
## Espesadores de tracción periférica



# *Espesamiento*

---

## *Espesador de cable DORR - OLIVER*

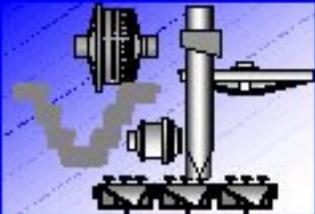


# *Espesamiento*

---

## ➤ Espesadores de Alta Capacidad

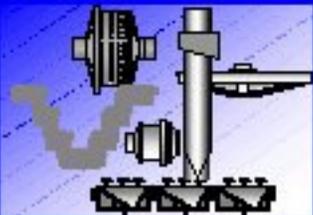
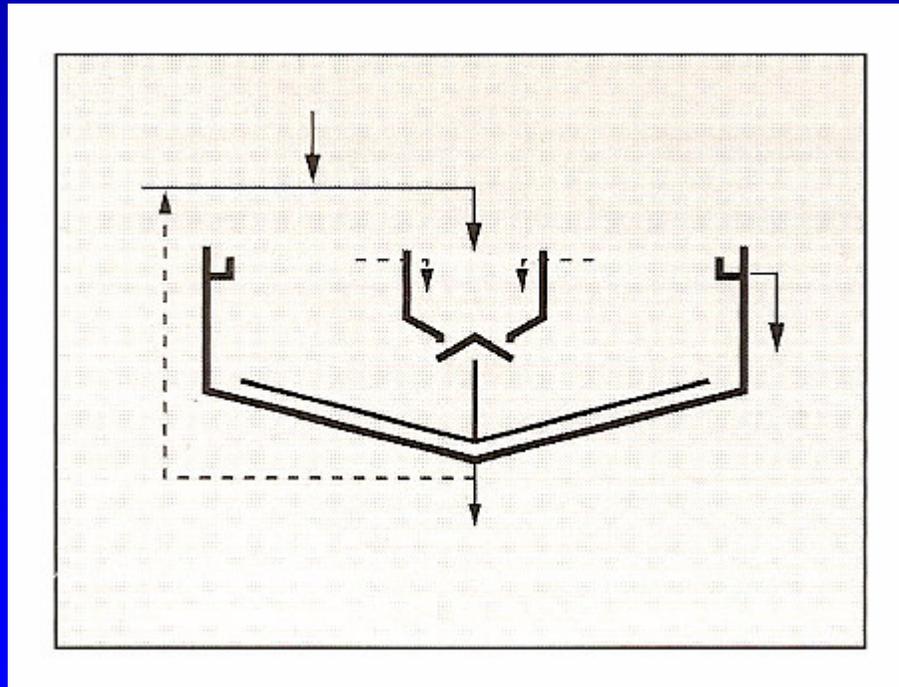
Se caracterizan por que tienen mayor capacidad que los espesadores convencionales, en estos equipos el pozo de alimentación es más profundo que en el espesador convencional, lo que permite la descarga de la pulpa de alimentación bajo el nivel del sedimento, evitando así el contacto directo entre el líquido que asciende y los sólidos que sedimentan. La alimentación entra en el mismo al lugar donde se agrega el floculante y lo dispersa rápidamente, logrando un mezclado gradual en su descenso, con una mejor acción del floculante. Al mezclarse la alimentación con el sedimento forman una pulpa de mayor concentración que la alimentación y, mayor o igual concentración que la concentración crítica (sedimentos entran en compresión). A esto se debe que no exista una zona de sedimentación, la que restringe la capacidad del espesador.



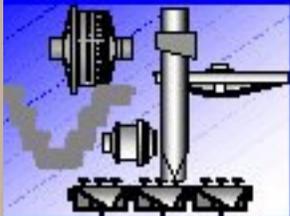
## *Espesamiento*

---

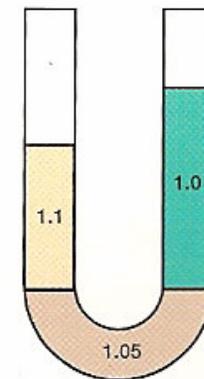
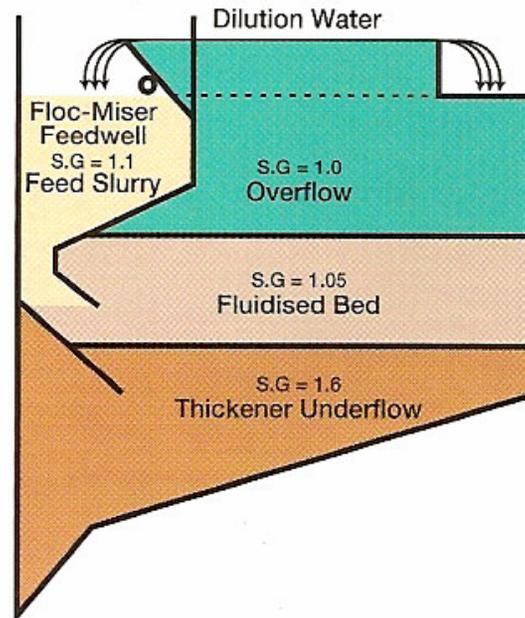
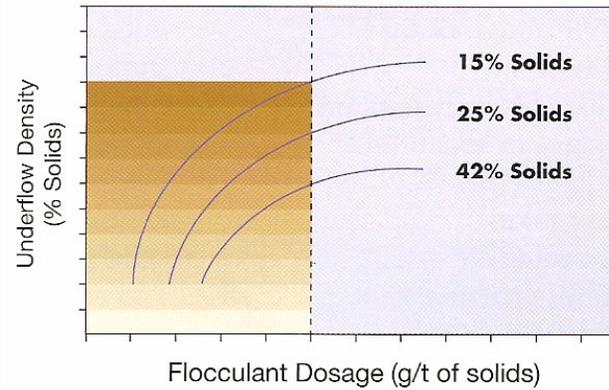
Parte de la descarga del espesador muchas veces se recicla para aumentar la concentración de la alimentación antes de producir la mezcla con el sedimento. Los espesadores de alta capacidad tienen tiempos de residencia menores (del orden de minutos) que los convencionales (del orden de horas), por lo que pueden tratar de 3 a 10 veces lo que un espesador convencional, sin embargo tiene la desventaja que son intrínsecamente inestables y por lo tanto difíciles de operar y controlar.



# Espesador de Alta Capacidad, Outokumpu

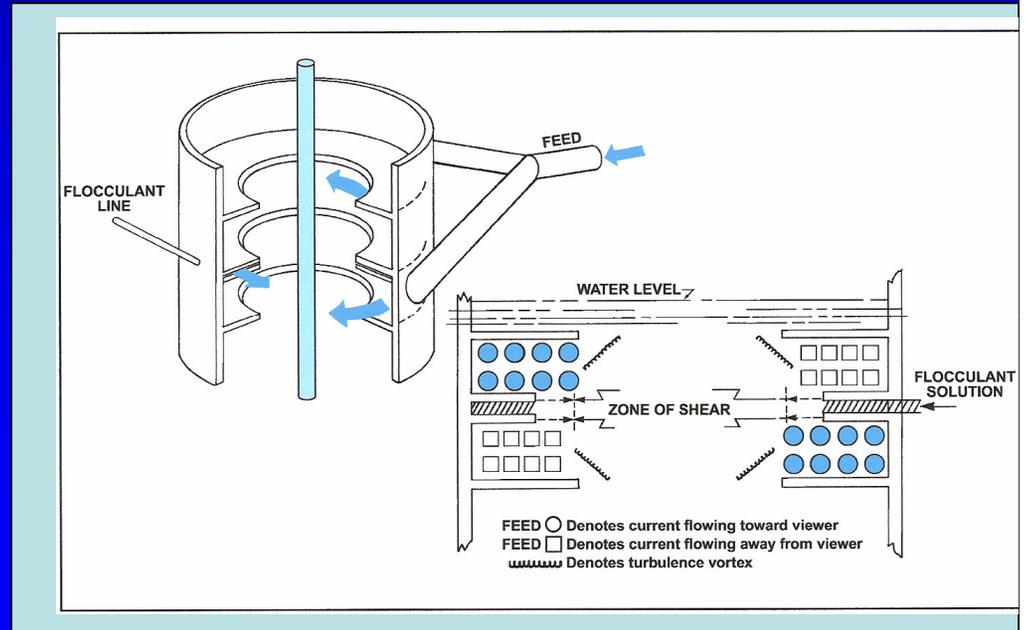
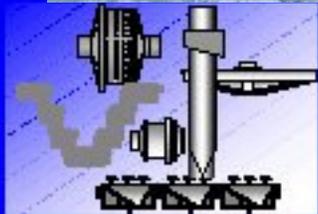
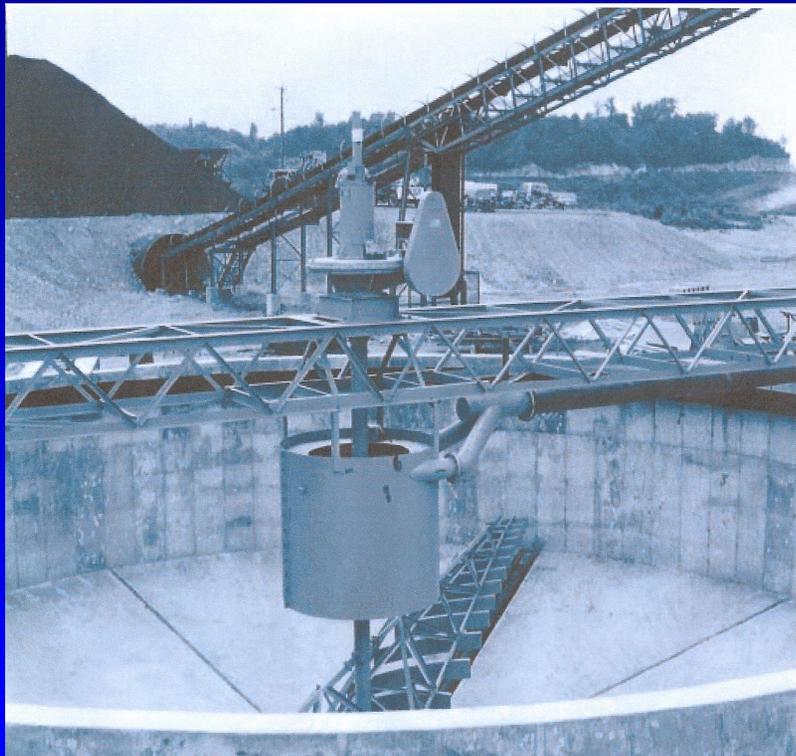


## TYPICAL PERFORMANCE DATA

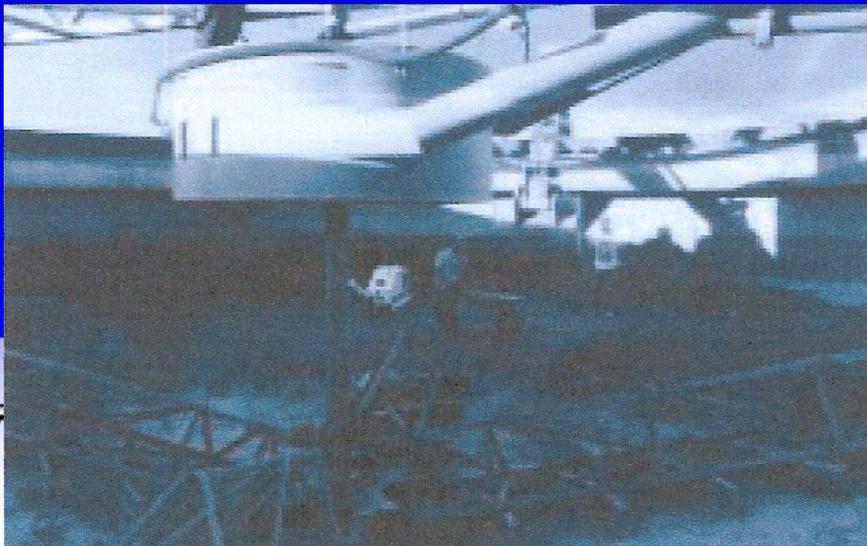
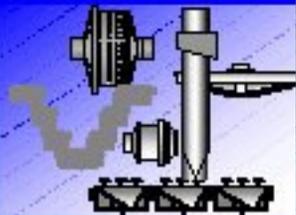
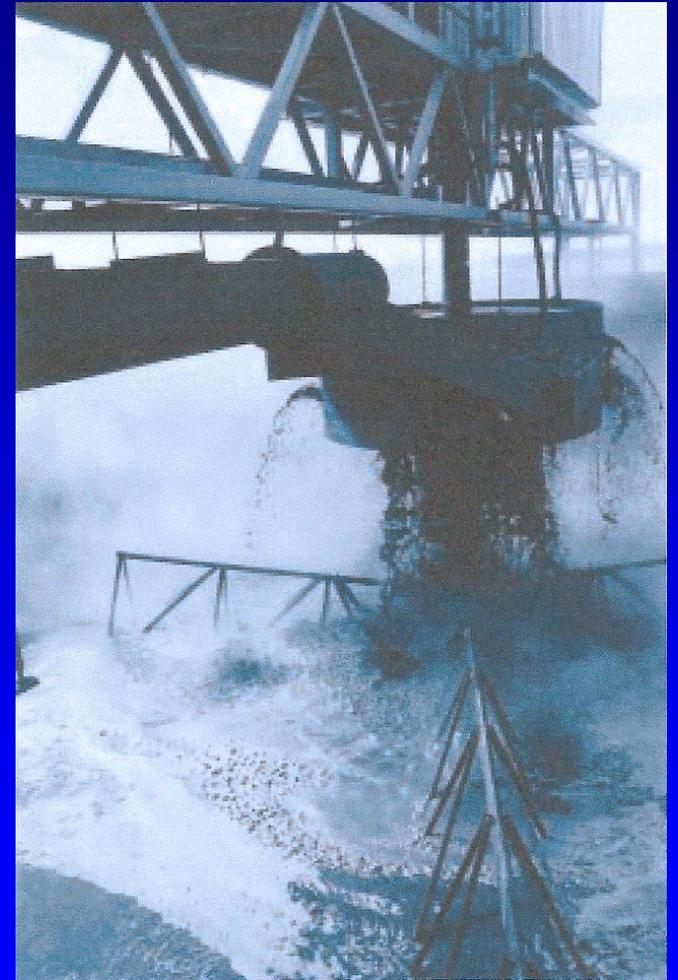
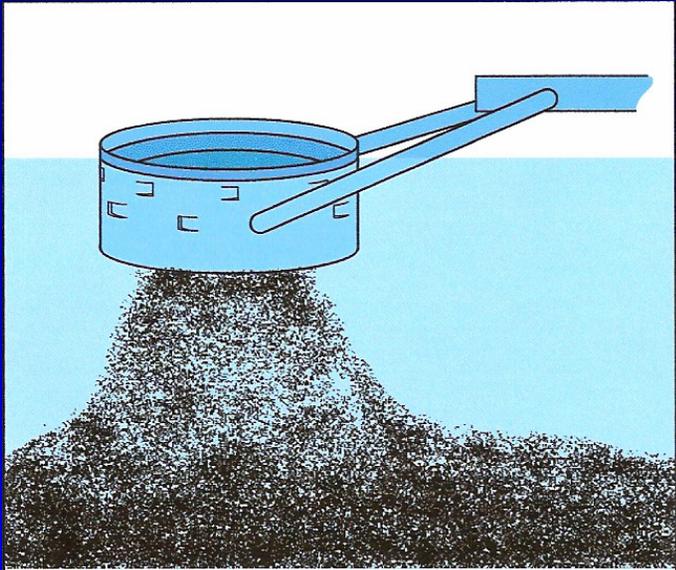


Typical SG values only

# Espesador de Alta Capacidad, Hi – Rate Dorr - Oliver



# Alimentación Espesador Alta Capacidad Dorr - Oliver



*Análisis de Sistemas Particulados*



Espesador Delkor:

Accionamientos hasta 4.000.000 Nm.

Sistemas de descenso y ascenso de rastra de accionamiento positivo.

Rastras de bajo perfil para reducir la carga de torque en el accionamiento.

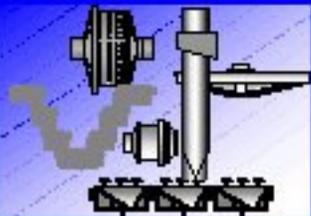
Dilución automática de alimentación.

Control de nivel de la cama.

Control de carga de la cama.

Sistemas de control automático del Espesador.

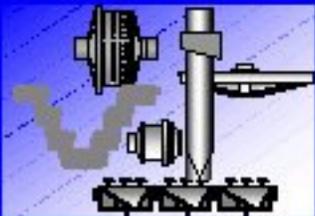
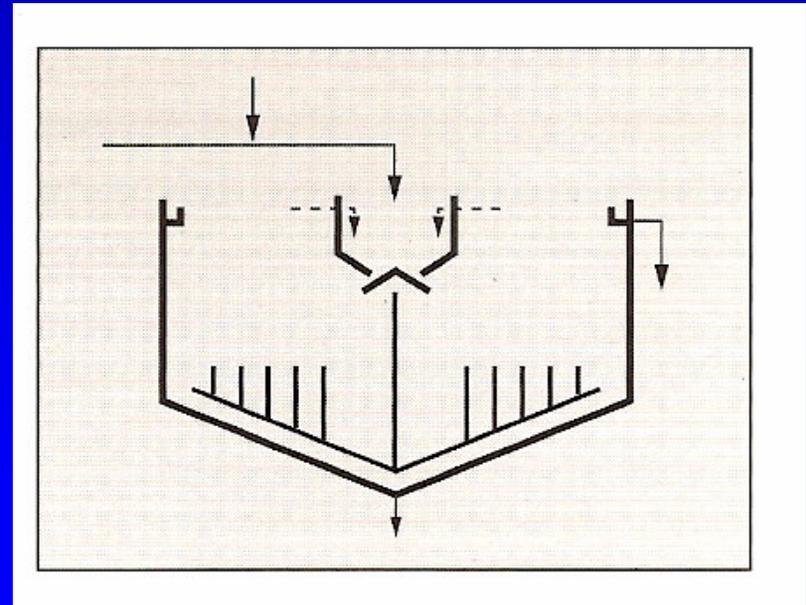
Sistema de Recuperación de espuma.

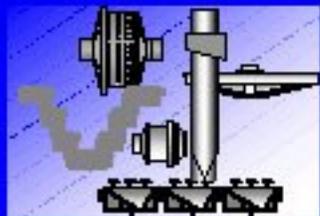
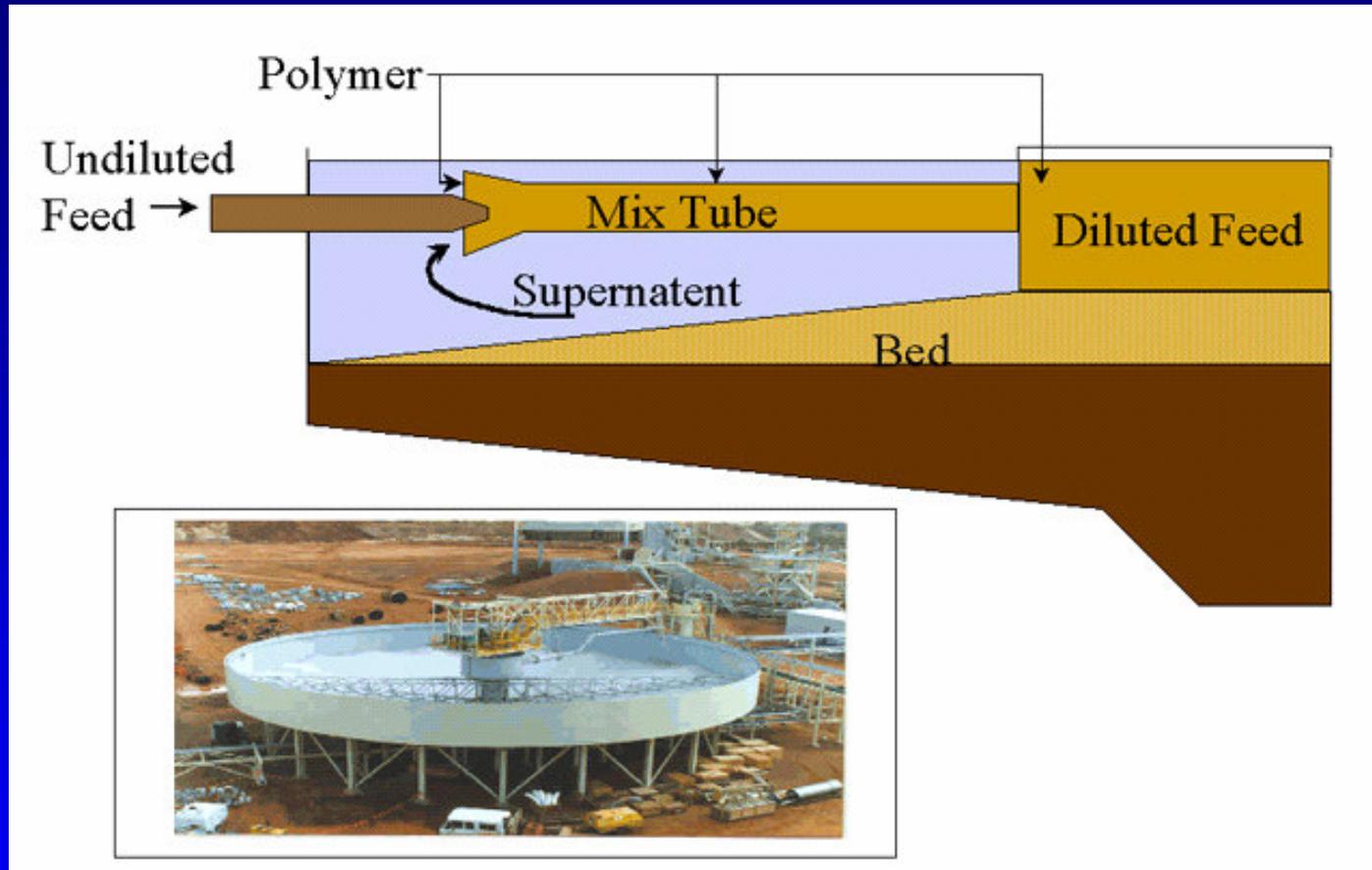


# Espesamiento

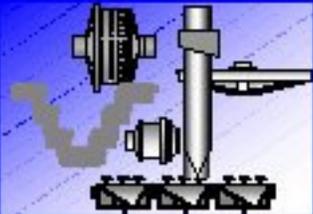
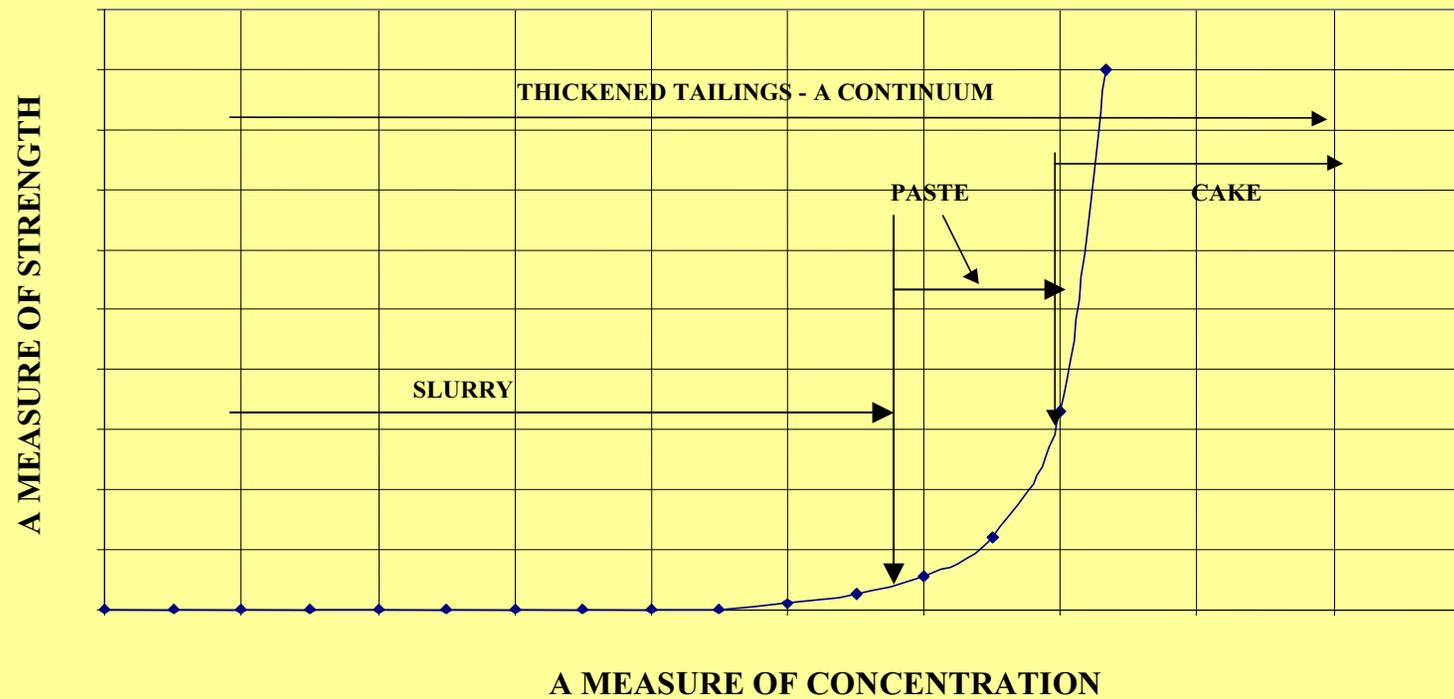
## ➤ Espesadores de Alta Densidad

Se caracteriza por su altura, corresponde a un espesor convencional o de alta capacidad pero de mucho mayor altura. La mayor altura genera un aumento de la presión sobre el sedimento, obteniendo como resultado concentraciones de sólido más altas en la descarga. En muchos casos, estos espesadores poseen un cono pequeño de modo de ayudar a evacuar la descarga.

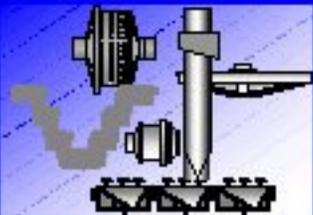




## *Relaves Espesados y Pastas*

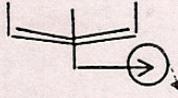


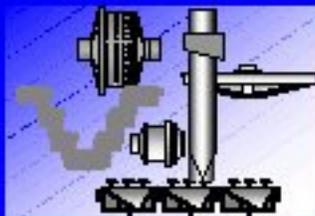
## *Descarga Relaves en Pasta*



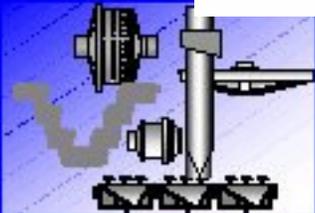
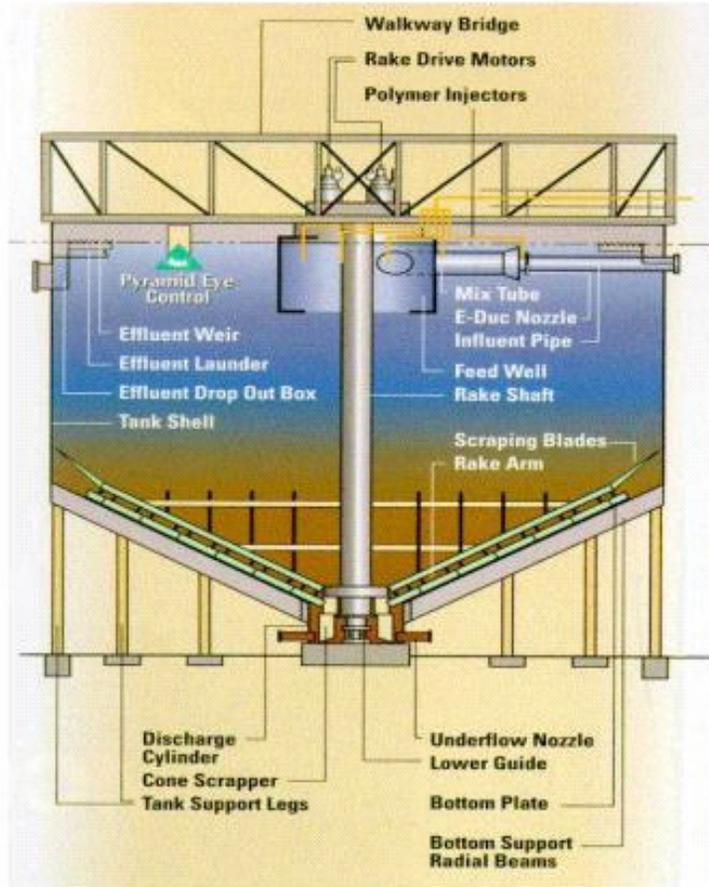
# Espesamiento

Como se vé un espesador de Pasta?

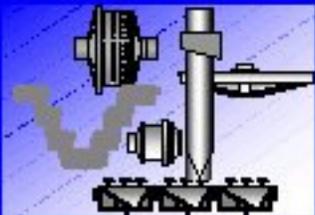
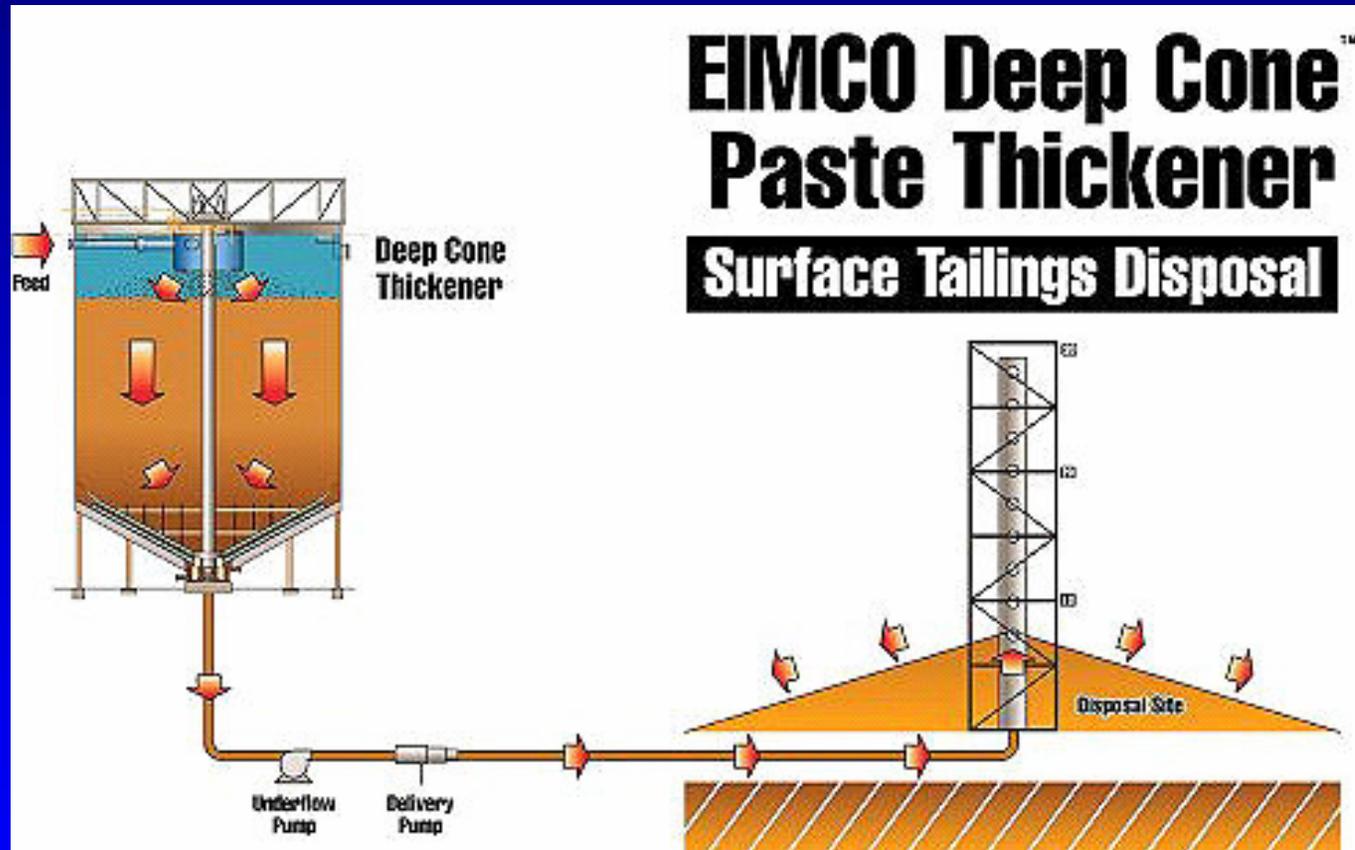
Geometría		Profundidad típica de cama de sólidos	Tiempo de residencia de la cama de sólido	Diámetro Max. aprox.	K Factor	Descarga pasta?	Descarga relativa % sólidos
	Espesador de pulpa; convencional y de alta capacidad (hi-rate)	1 m	Medio	120 m	<25	No	1=más bajo
	Espesador de cono profundo (60°) para pasta sin rastrillos	2-6 m	Bajo	12 m	-	Si	2
	Espesador de cono profundo (60°) para pasta con rastrillos	2-6 m	Bajo	12 m	<25	Si	3
	Espesador para pasta con ángulo bajo de cono (~15°)	3 m	Alto	90 m	>100	Si	4
	Espesador para pasta tipo Alcan (30-45° cono)	8 m	Alto	30 m	>150	Si	5
	Filtro	-	-	-	-	Si	6=más alto



# Espesador de Pastas



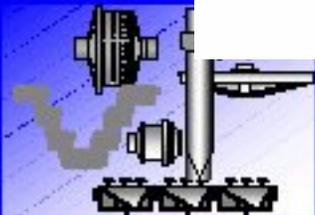
## *Relaves Espesados y Pastas*



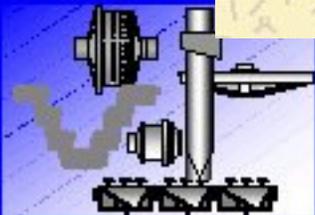
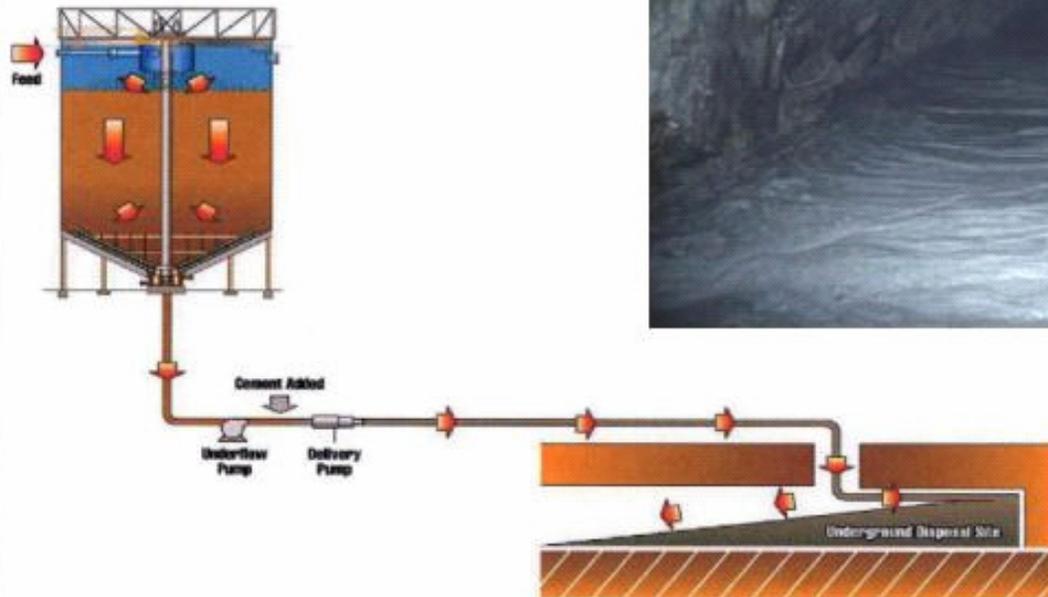
## Torre de Descarga



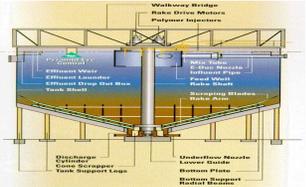
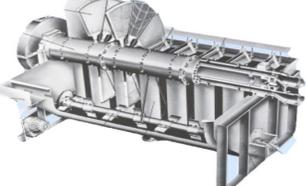
**Disposición de Relaves  
En Pasta**

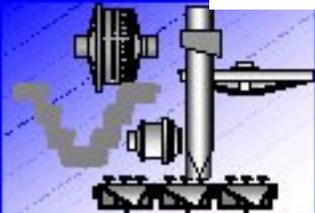


## Uso de Relaves en Pasta en relleno de minas



## Consistencia de los Relaves, Equipos de Desagüe y Costos

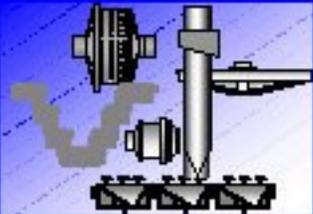
Consistencia de los Relaves	Equipo de Desagüe Requerido	Costo	
		Inversión (M US\$)	Operación US\$
Pulpa		Espesador Convencional	1.0 / 0.20
Pulpa de Alta Densidad		Espesador de Alta Densidad	1.5 / 0.25
Pasta de Cono Alto		Espesador de Cono Profundo	2.0 / 0.25
Pasta de Cono Bajo		Filtro	2.5 / 1.25



## *Diseño de espesadores*

Los métodos más utilizados para determinar el área unitaria de un espesador son:

- *Coe y Clevenger*
- *Talmadge y Fitch*
- *Wilhelm y Nadie*



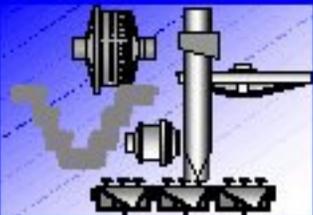
## Diseño de espesadores

### ➤ *Coe y Clevenger*

Fueron los primeros en desarrollar y aplicar la teoría de la sedimentación (1916). Su hipótesis era que el área unitaria requerida para un espesador (área por unidad de peso por unidad de tiempo, ejem. m<sup>2</sup>/t/d) sería función de la concentración de sólidos en la alimentación y en la descarga, expresadas como dilución,  $D_A$  y  $D_D$  respectivamente, de la densidad del líquido,  $\rho_L$  y de la velocidad de sedimentación de los sólidos,  $v$ . Este método se emplea para determinar el área superficial cuando el material sedimenta con una interfase definida.

Haciendo un balance de materiales en el espesador se llega a la ecuación general para determinar el área unitaria ( $\hat{A}$ ):

$$\hat{A} = \frac{A}{G_{SA}} = \frac{D_A - D_D}{v \rho_L}$$

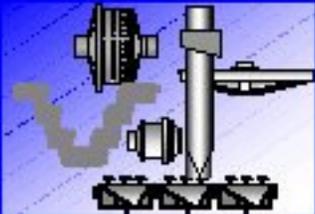


## *Diseño de espesadores*

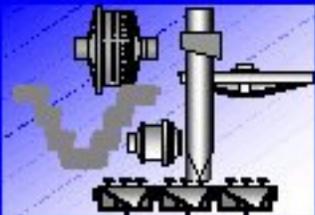
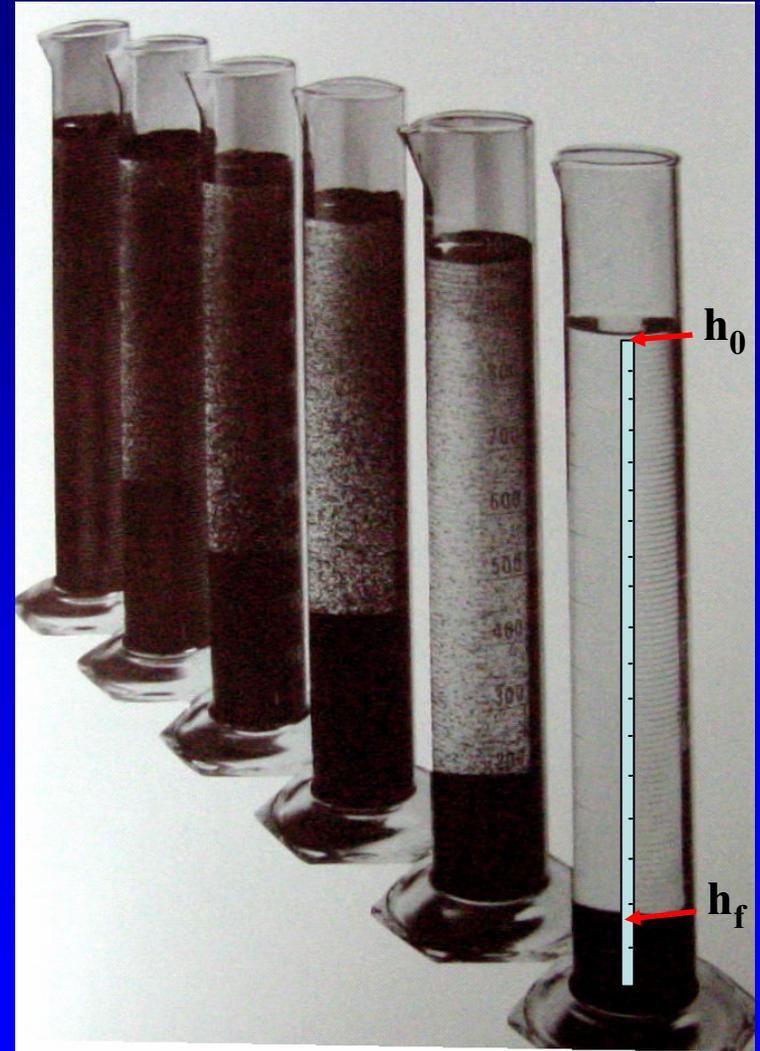
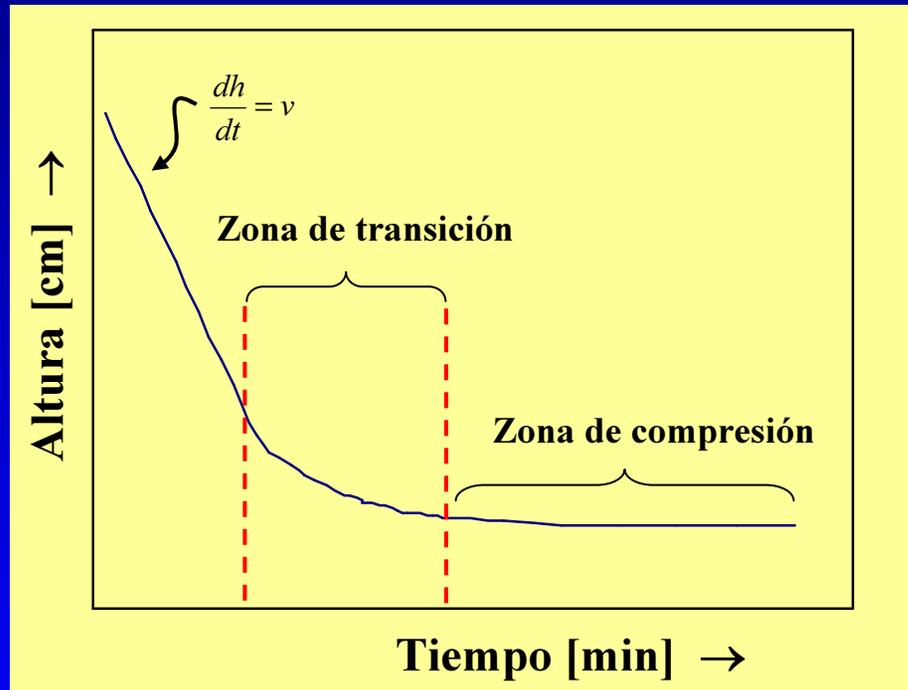
Este método requiere de múltiples pruebas de laboratorio intermitentes a diferentes densidades de pulpa que van desde la de alimentación hasta la de descarga. Para cada dilución de alimentación se determina un área unitaria. El área unitaria final corresponde al área unitaria máxima obtenida de las pruebas.

### **Pruebas de laboratorio**

Se realizan pruebas de sedimentación en probetas de 2 litros con diluciones que van de la dilución de la alimentación a la de descarga. Para determinar el área unitaria de cada dilución, se procede a registrar la altura (h) de la interfase con respecto al tiempo (t) de sedimentación. Con los datos de altura vs. tiempo, para cada dilución, se determina la velocidad de sedimentación, que corresponde a la pendiente de zona recta de la curva antes de la zona de transición (ver figura).



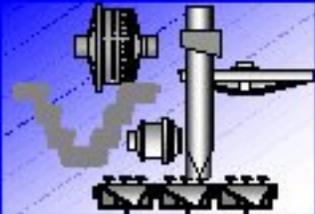
# Pruebas de sedimentación



## Diseño de espesadores

Con los valores de la dilución de alimentación y de descarga (valor de diseño) y el de la velocidad, se procede a calcular el área unitaria para cada prueba. El valor máximo de las áreas unitarias encontradas corresponderá al valor buscado  $\hat{A}$ .

Una vez que se establece el área unitaria requerida, es necesario aplicar un factor de seguridad, ya que el método de Coe y Clevenger tiende a subestimar el área del espesador.



## Diseño de espesadores

### ➤ Talmadge y Fitch

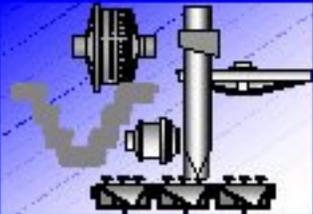
Este método fue desarrollado primero por Kynch y más tarde modificado por Talmadge y Fitch. En este método sólo se requiere de una prueba de sedimentación a diferencia del método de Coe y Clevenger. Según los autores el área unitaria está dada por la siguiente ecuación:

$$\hat{A} = \frac{t_U}{C_0 h_0}$$

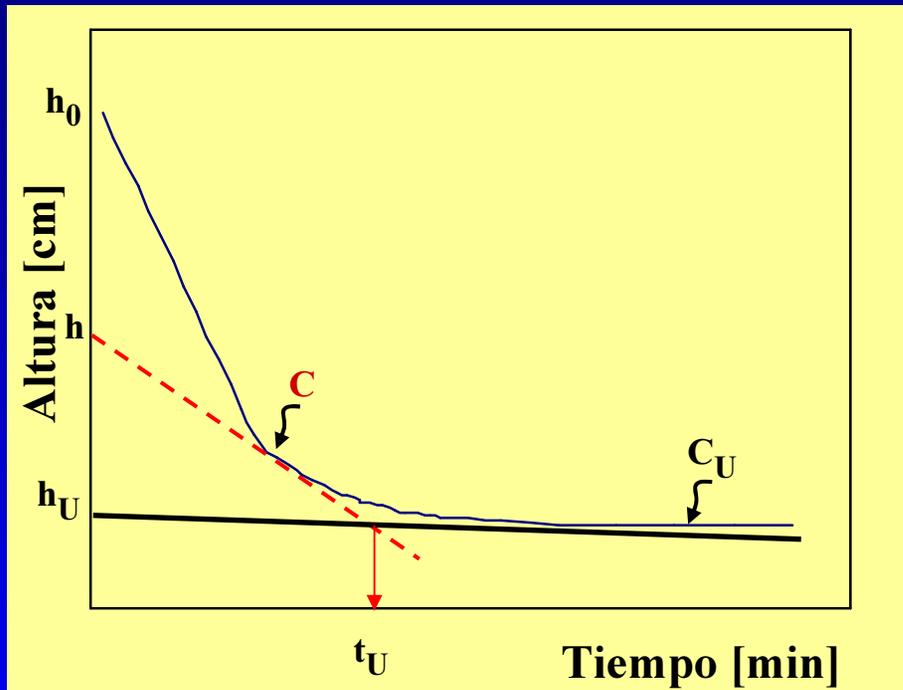
$t_U$  = Tiempo necesario para alcanzar la concentración de sólidos requerida en la descarga.

$C_0$  = Concentración de sólidos en la pulpa de alimentación al test de sedimentación, [t/unidad de volumen].

$h_0$  = Altura inicial de la pulpa alimentada al test de sedimentación.



## Diseño de espesadores

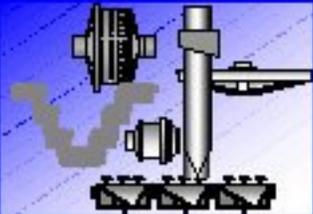


C = Corresponde al punto de compresión, punto donde ocurre el cambio de pendiente de la curva y donde la concentración de sólidos no alcanza todavía el valor del de la descarga.

$C_U$  = Concentración de sólidos, requerida en la descarga del espesador.

$h_U$  = Corresponde a la intersección con la ordenada de una tangente a la curva en el punto  $C_U$ . Este valor se puede calcular como:

$$h_U = \frac{c_0 h_0}{C_U}$$

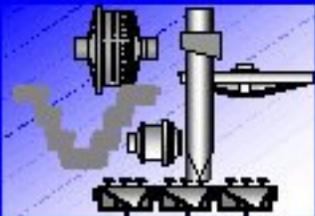
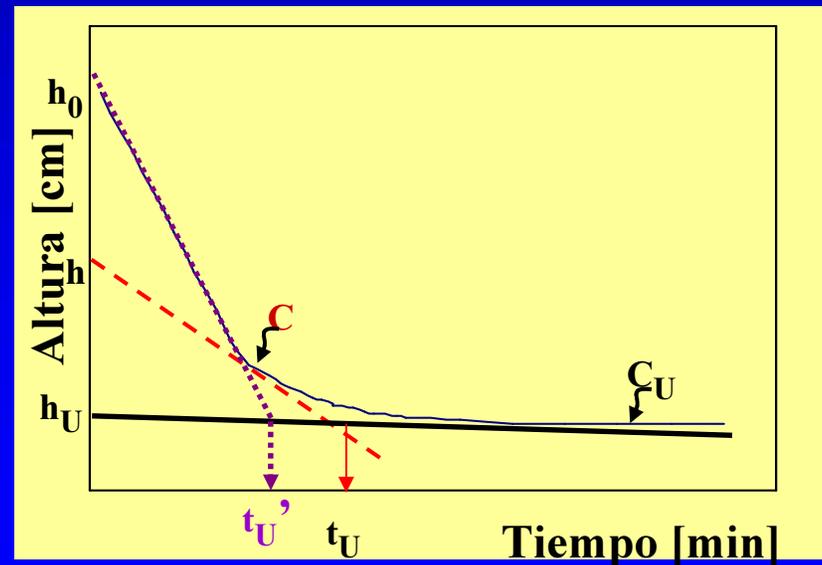


## Diseño de espesadores

De esta forma,  $t_U$  se determina, como se ilustra en la figura, a partir de la intersección entre las tangentes a la curva en C y en  $C_U$ .

La dificultad de este método recae en la determinación del punto de compresión el cual algunas veces no esta claro. Este método tiende a sobre estimar el área del espesador.

Correcciones a esta ecuación fueron realizadas por Olhtsmann, en ellas el tiempo de  $t_U$  se determina como se muestra en la figura.



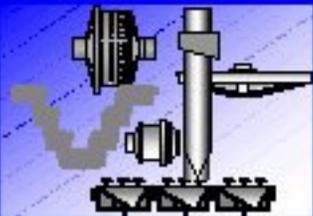
## Diseño de espesadores

### *Método de Wilhelm y Naide*

Este método fue desarrollado en 1979 y ha sido probado en planta piloto con buenas correlaciones.

Para la determinación del área unitaria se realiza el mismo tipo de pruebas descrita en los métodos anteriores. La ecuación del área unitaria es la siguiente:

$$\hat{A} = \frac{\left(\frac{b-1}{b}\right)^{b-1} C_U^{(b-1)}}{a b} \quad \text{m}^2 / \text{t} / \text{d}$$



## Diseño de espesadores

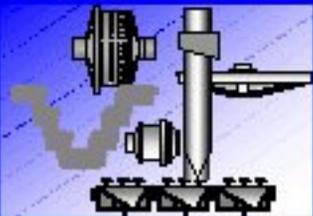
$C_U$  = Concentración de sólidos requerida en la descarga del espesador [t/m<sup>3</sup>].

a y b = Parámetros definidos por la siguiente ecuación:

$$v_i = a (C_i)^{-b}$$

$C_i$  = Concentración de sólidos en la interfase i [t/m<sup>3</sup>].

$v_i$  = Velocidad en la interfase en i [m/d].

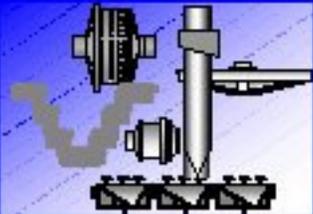


## Diseño de espesadores

### *Procedimiento:*

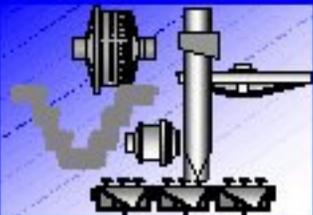
- Se recomienda realizar 3 pruebas a distintas concentraciones de la alimentación.
- Graficar Volumen en el eje Y (en lugar de altura) vs. Tiempo.
- Dividir el eje Y en 8 a 10 tramos iguales y dibujar las tangentes a la curva partiendo de los puntos de cada tramo (para cada prueba).
- Calcular la concentración para cada punto como:

$$C_i = \frac{\text{Masa total [g]}}{\text{Volumen [l]}}$$

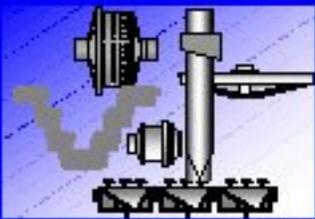
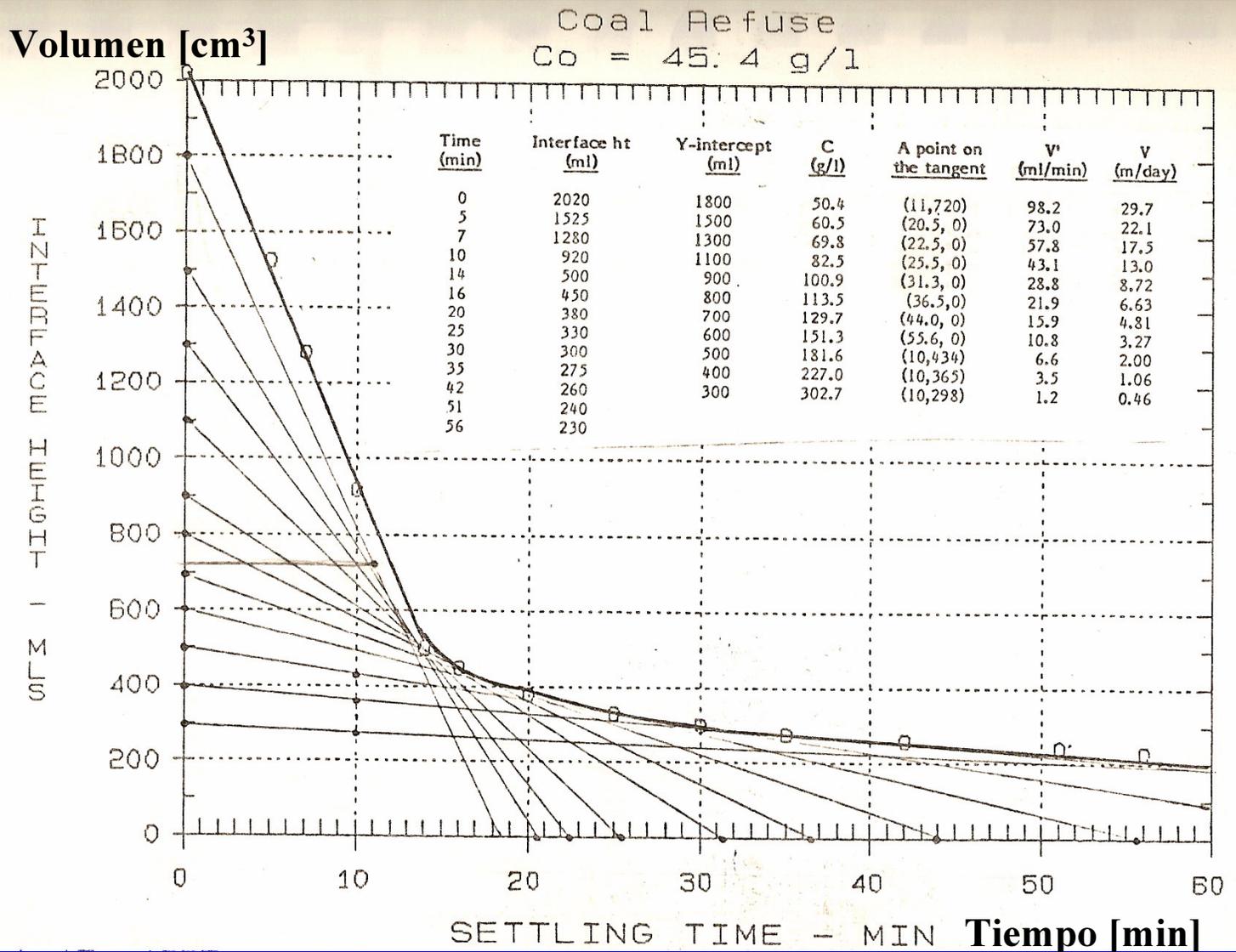


## Diseño de espesadores

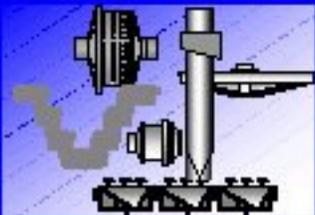
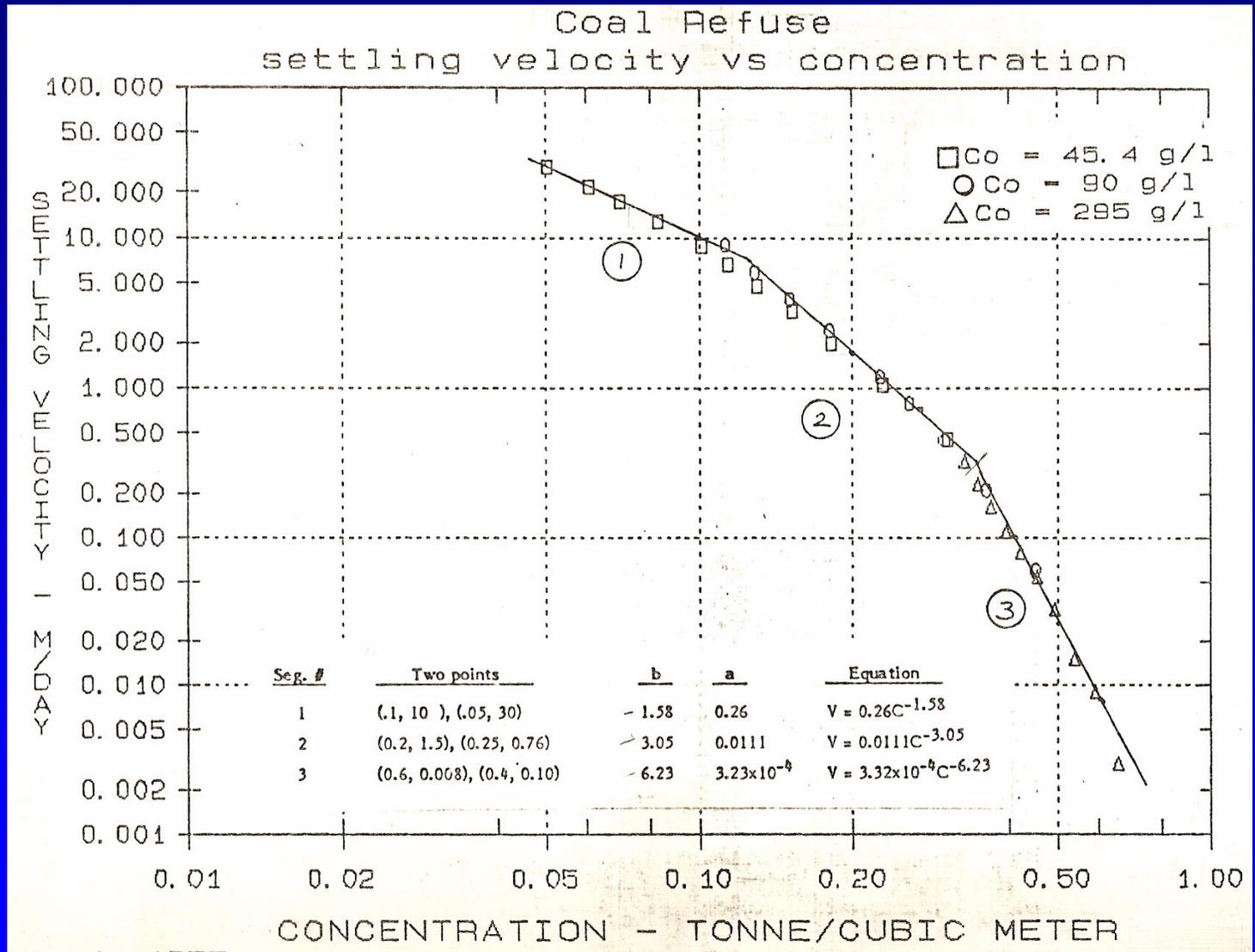
- Calcular la velocidad  $v_i$  para cada  $C_i$  como la pendiente de la tangente trazada.
- Graficar  $v_i$  vs  $C_i$  en escala Log-Log, para cada prueba.
- Determinar los parámetros “a” y “b” de la ecuación que relaciona la velocidad con la concentración para cada prueba. Donde “b” corresponde a la pendiente y “a” se despeja de la ecuación.
- Graficar Área Unitaria (ecuación de **Wilhelm y Nadie**) vs Concentración en el underflow (escala Log-Log) para las tres pruebas, cada recta se dibuja sólo hasta la intersección con la siguiente.
- Determinar del gráfico, para la concentración de descarga deseada, el área unitaria.



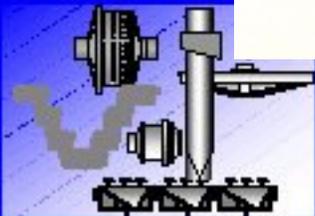
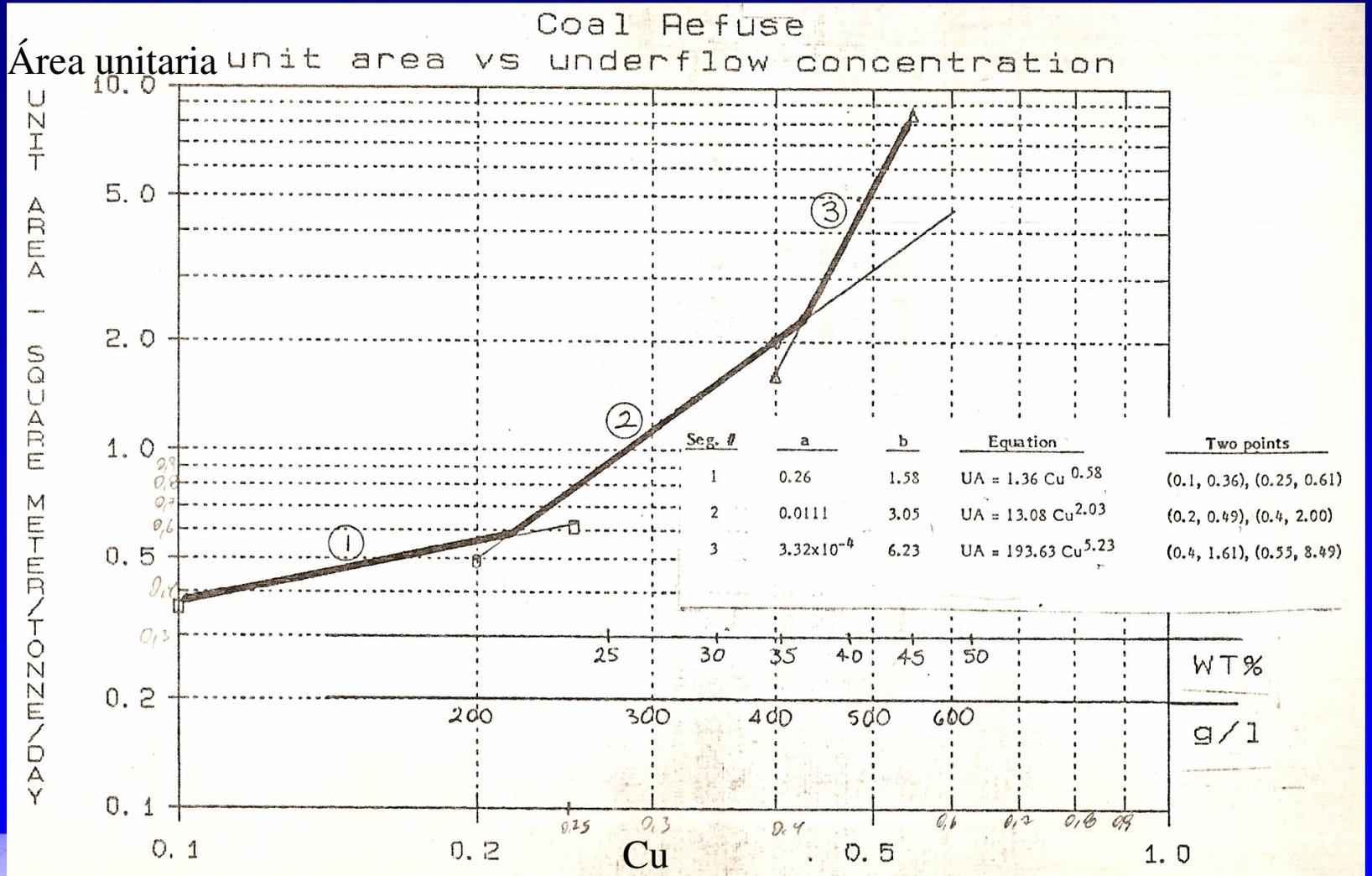
# Diseño de espesadores



# Diseño de espesadores



# Diseño de espesadores



## Diseño de espesadores

### Altura del Espesador

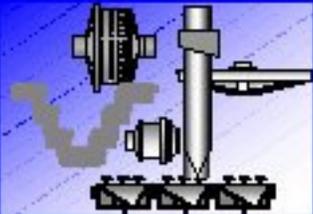
Para calcular la altura del espesador se debe encontrar la suma de los volúmenes ocupados por el sólido y el líquido. La ecuación general que permite el cálculo de la altura de compresión es:

$$H = \frac{G_{SA}}{A} \cdot t_C \left[ \frac{1}{\rho_S} + \frac{D_m}{\rho_L} \right]$$

$D_m$  = Dilución media.

$t_C$  = Tiempo de compresión.

Para determinar la altura final se deben agregar otras alturas, como ser, altura de la parte cónica, altura de la zona libre superior etc., lo que corresponde aproximadamente a un 75% de la altura de compresión. De esta manera la ecuación de la altura total del espesador sería:  $H_E = 1,75 H$



## Diseño de espesadores

Determinación de la altura de un espesador:

$$H_c = \left( \frac{1}{AU} \right) \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{(C_{Vi} (C_{Vi} (\rho_s - \rho_f) + \rho_f))}$$

$$H_c = \sum_{i=1}^n z_i$$

$H_c$  = altura de la zona de compresión [m]

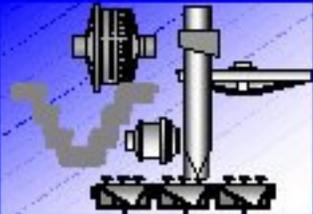
$\Delta t_i$  = intervalo de tiempo, división del eje x (tiempo) en el gráfico altura vs. tiempo de la prueba de sedimentación.

AU = área unitaria [ $m^2/t/d$ ]

$\rho_s$  = densidad del sólido [ $t/m^3$ ]

$\rho_f$  = densidad del fluido [ $t/m^3$ ]

$C_{Vi}$  = porcentaje de sólido en volumen al tiempo i

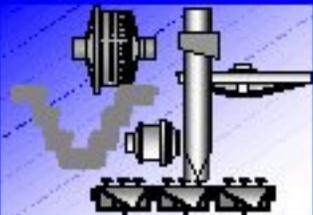


## Diseño de espesadores

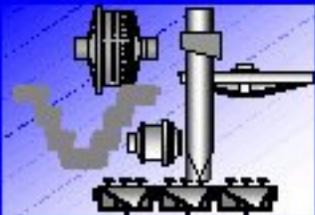
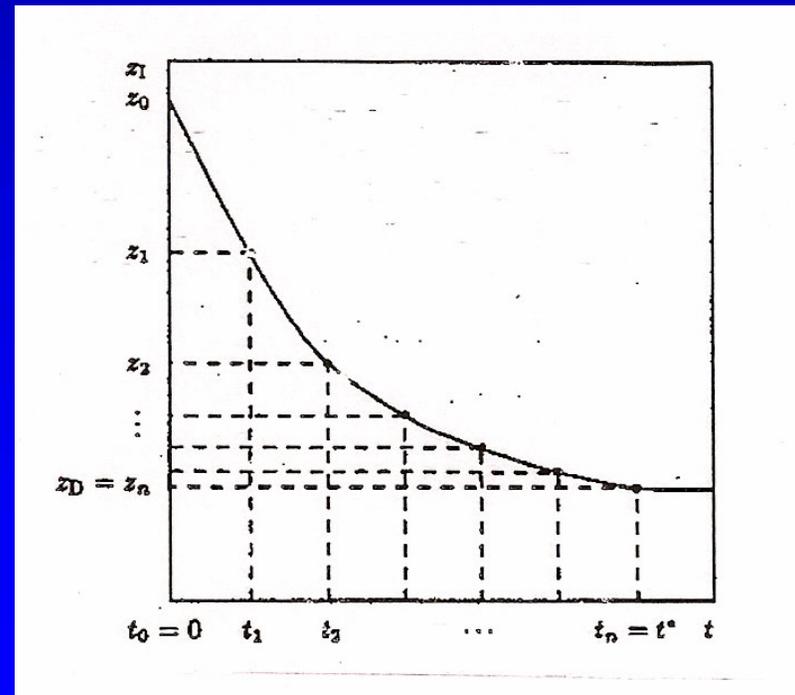
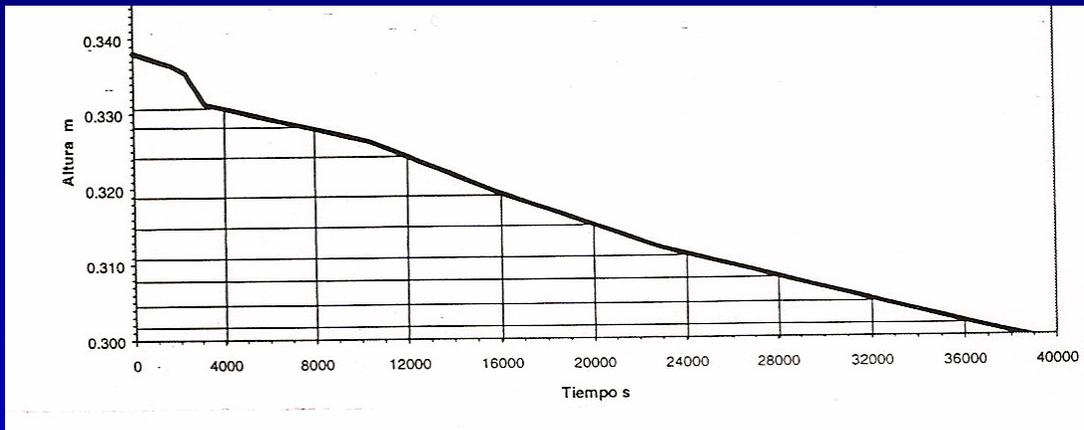
Coe y Clevenger recomiendan agregarle 1,5 m más a la altura de compresión, (para acomodar la alimentación y para la zona de agua clara).

Altura en Pruebas de Sedimentación $Z_i$ [m]	$C_{vi}$	$t_i$ [s]	Alturas parciales $z_i$ [m]
0,338	0,103	0	0
0,331	0,105	4000	0,208
0,328	0,106	8000	0,206
0,324	0,107.	12000	0,204
.	.	.	.
.	.	.	.
$Z_n$ .		<b>Hc (m) =</b>	<b><math>\sum z_i = 1,94</math></b>

Luego la altura del espesador será  $1,94 + 1,5 \cong 3,5$



# Diseño de espesadores



*Análisis de Sistemas Particulados*

## Diseño de espesadores

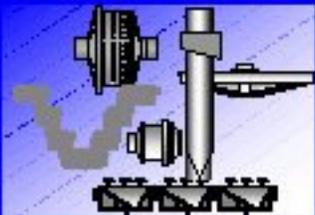
Factores que afectan el diseño de espesadores

- Cantidad de sólidos:

Se expresa normalmente en área de espesador por unidad de peso de sólido seco por día [m<sup>2</sup>/t/d]

$$\hat{A} = \frac{A}{G_{SA}}$$

mientras mayor sea la cantidad de sólidos mayor es el riesgo de obstrucción lo que hace necesario un mecanismo más robusto y un sistema de elevación del mismo.



## Diseño de espesadores

- Cantidad de material mayor a 60 mallas (250  $\mu\text{m}$ ) en la alimentación

Esto afecta a la inclinación del fondo del espesador, al accionamiento y a la fuerza del mecanismo de las rastras y al sistema de elevación de éstas.

- Peso específico de los sólidos

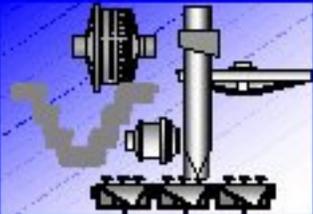
Mientras mayor sea, más robusto debe ser el accionamiento y el mecanismo de las rastras.

- Canal de rebose y pozo de alimentación

Deben estar diseñados para alojar mayor cantidad de material cuando otros espesadores están fuera de servicio.

- Otros

Condiciones de terreno, condiciones climáticas (protección del mecanismo y de la instrumentación).



## Diseño de espesadores

### Torque

El torque requerido es determinado por la fuerza necesaria para mover el mecanismo de rastras a través de la pulpa espesada. Este depende del área unitaria, de la densidad de la descarga (underflow), de las características del sólido como ser: forma de las partículas, densidad de los sólidos, granulometría (% -200# y % +65#), etc.

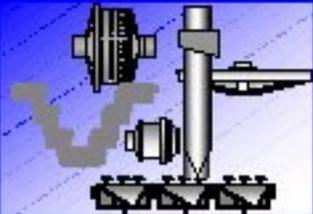
El torque, T, máximo requerido puede expresarse como:

$$T = 14,6 K D^2$$

D = diámetro del espesador [m]

14,6 = factor de conversión de unidades inglesas a métricas.

K = parámetro de la tabla adjunta



## Diseño de espesadores

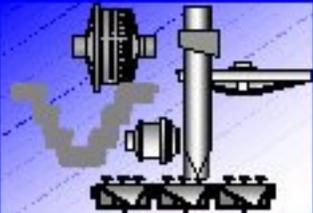
**Table 2—Factors affecting torque selection  
(from Ref.3)**

Duty	Light	Standard	Medium	Heavy	X-Heavy
Unit Area m <sup>2</sup> /mt/d	>60	10-60	2-20	0.3-10	<0.3
Underflow % solids	<5	5-25	20-50	25-60	60-70
Feed %-200 mesh	65-100	65-100	65-100	40-56	<40
Feed % +65 mesh(1)	0	1	2-3	3-5	<10
Solids SG	1.0-2.6	1.5-3.0	1.5-3.0	2.5-4.0	>4.0
K value (2) (3)	2-7	7-13	10-15	13-20	>20

(1) General guideline only.

(2) When a cable-operated design or lifting device is used, this value may be reduced by 30%.

(3) For outward raking units increase this value by 30%.



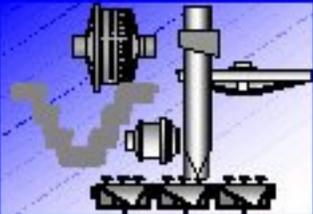
## Espesadores

### ❖ Funcionamiento y control de la operación de espesamiento

El principal problema en la operación de un espesador es la *Acumulación* (alimentación – descarga  $\neq 0$ ). Excesiva acumulación puede generar paradas y requerimientos de limpieza.

Problemas que puede generar la Acumulación:

- La pulpa comenzará a salir por el rebose (overflow).
- La descarga (underflow) puede resultar demasiado espesa para el bombeo.
- Se formarán “Islas” en el espesador y la densidad de la descarga llegará a hacerse próxima a la de alimentación.
- El mecanismo de rastras llegará a sobrecargarse y será parado por el control del accionamiento.



# Espesadores

## Control de la Operación:

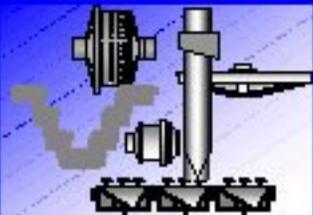
### ♣ Nivel de Pulpa:

Un aumento del nivel de pulpa es indicativo de acumulación, posiblemente debido a la floculación o insuficiente salida de los sólidos sedimentados.

Un aumento excesivo de floculante genera aumento de la viscosidad de la pulpa en la descarga lo que se traduce en pérdida de fluidez de ésta, por lo tanto no hay movimiento hacia la descarga y se forman “Islas”.

### ♣ Alimentación:

Características de la alimentación: Densidad de la pulpa y porcentaje de sólidos, distribución granulométrica (% +65# y % - 400#). Evitar al +65#.



## Espesadores

### ♣ Descarga (Underflow):

Características de la descarga: Densidad y porcentaje de sólidos, distribución granulométrica.

### ♣ Torque:

Aumento del Torque indica que puede ocurrir sobrecarga.

### ♣ Dosificación de Floculante:

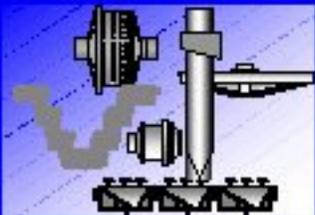
Aumento excesivo del floculante puede generar Islas.

### ♣ Posición de los Brazos:

Con respecto a la posición normal.

### ♣ pH del Líquido:

Cuando se requiere.



# Espesadores

## ❖ Acciones que Puede Realizar el Operador Ante Problemas en la Operación

### ◆ *El Torque Aumenta:*

#### **Posible causa:**

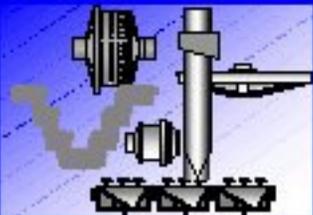
Aumento de la cantidad de sólidos gruesos en la pulpa (fondo del espesador).

#### **Como se nota:**

Subida del nivel de pulpa y aumento de la densidad de sólido en la descarga.

#### **Acción correctiva:**

- Evitar la entrada de gruesos (sí es posible).
- Aumentar la descarga del underflow (aumento de la velocidad de la bomba para evacuar más rápido).
- Levantar los brazos (rastras).



# Espesadores

## ◆ *El Torque Aumenta:*

### **Posible causa:**

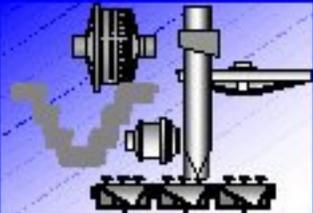
Formación de “Islas”.

### **Como se nota:**

Descenso de la densidad del underflow (descarga).

### **Acción correctiva:**

- Parar la alimentación para dar tiempo a la desaparición de “Islas”(sí es posible).
- Uso de lanzas con agua o aire a presión.
- Subida y bajada de los brazos periódicamente.



# Espesadores

## *La Densidad de Sólidos en el Underflow Disminuye:*

### **Posibles causas:**

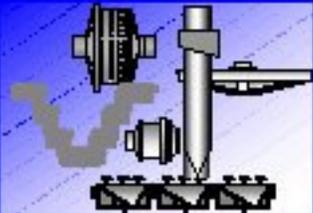
- a) Formación de “Islas”.
- b) Falta de Floculante (dosis adecuada).
- c) Falta de Tiempo de Sedimentación.
- d) Aumento del Flujo de Alimentación.

### **Como se nota:**

Porcentaje de sólidos en el underflow (descarga) disminuye.

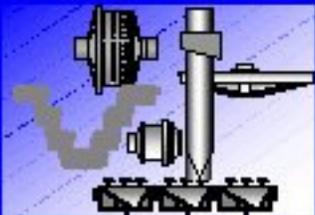
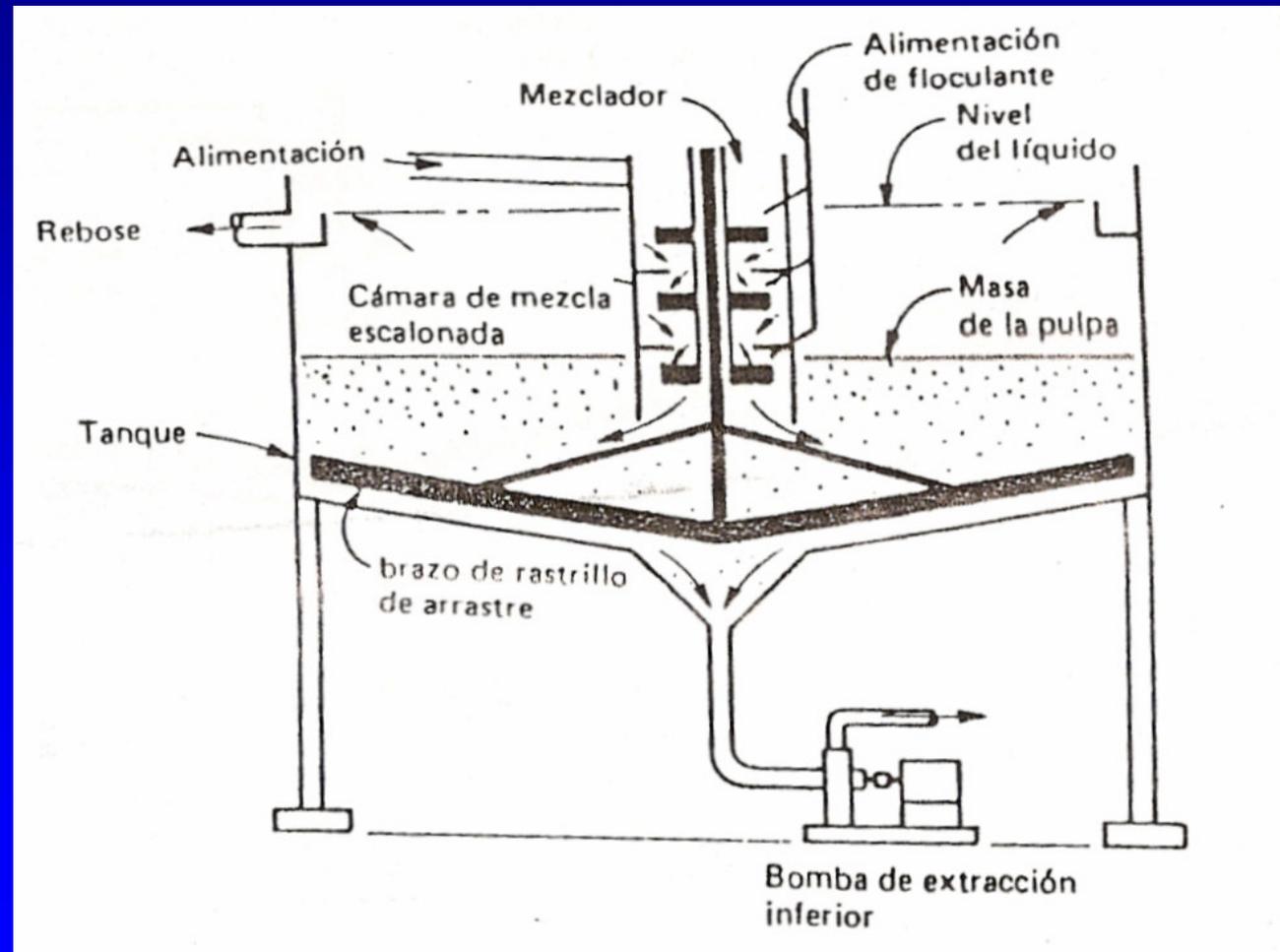
### **Acciones correctivas:**

- Disminuir el caudal de la descarga (disminuir la velocidad de la bomba) (c).
- Aumentar la dosis del floculante (b) y (c), (d) si es posible.
- Subida y bajada de los brazos periódicamente (a).

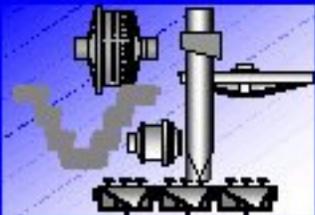
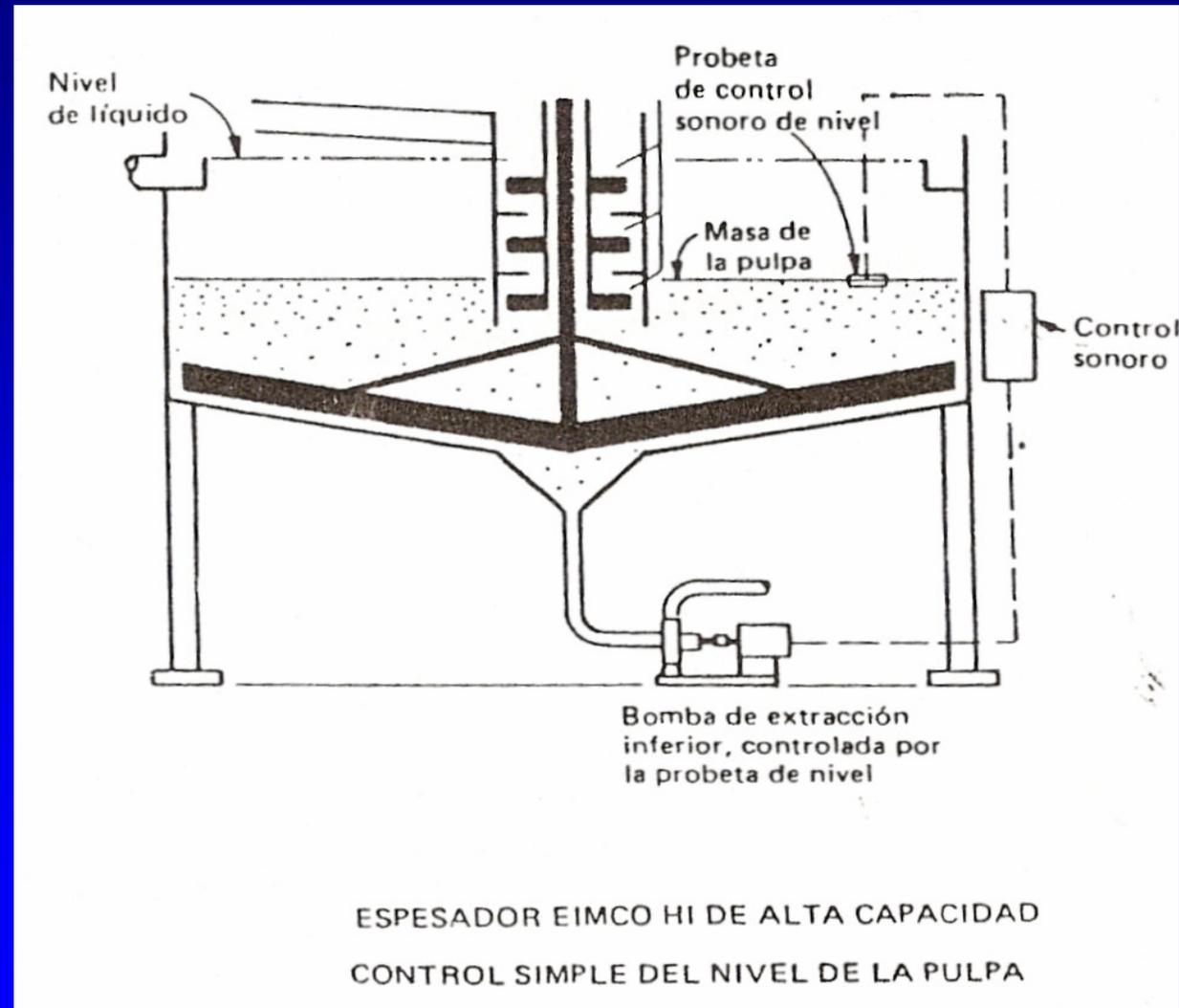


# Espesadores

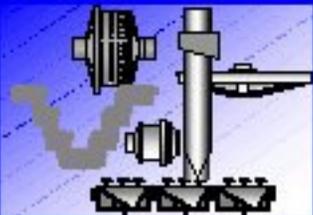
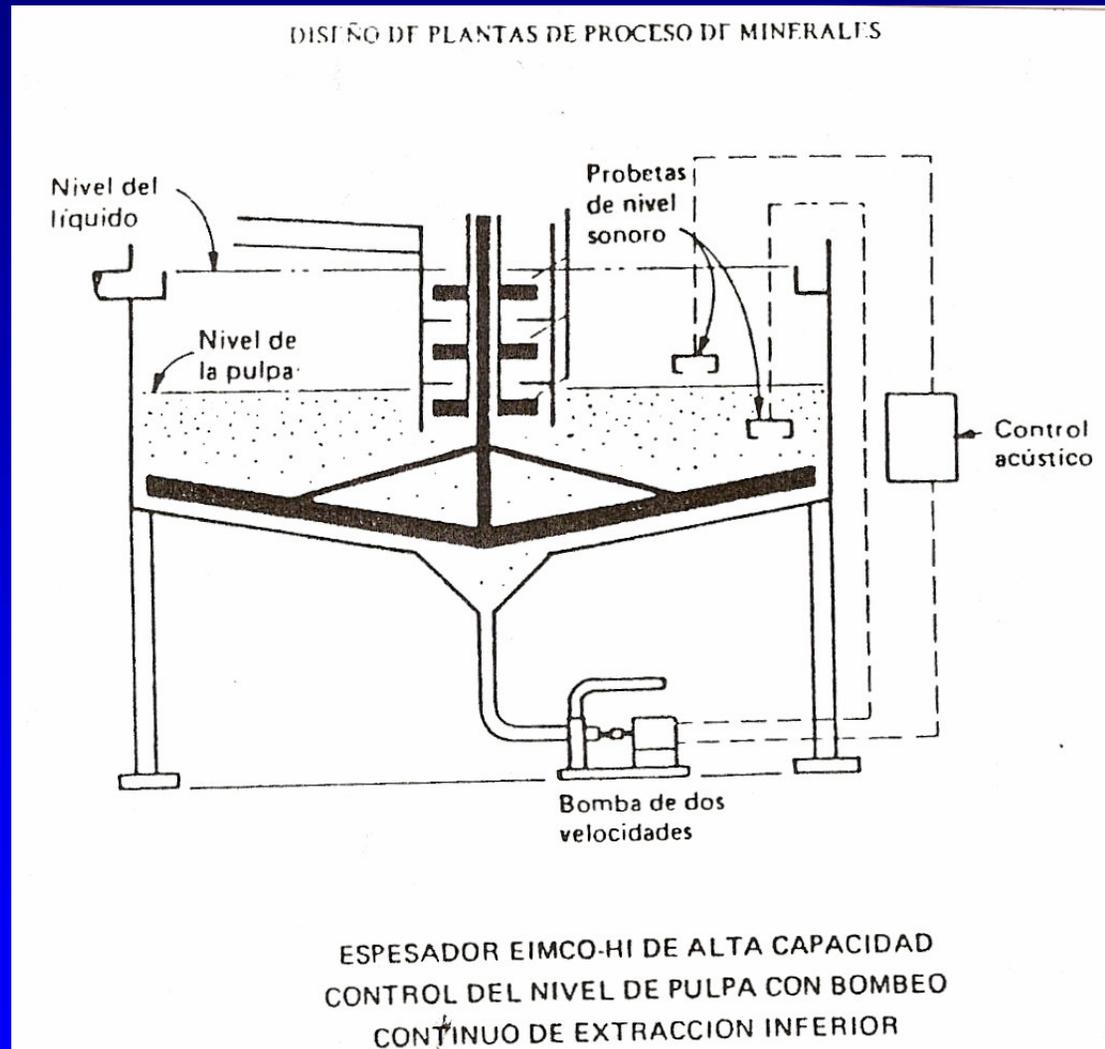
## ❖ Sistemas de control en Espesadores de Alta Capacidad



# Espesadores



# Espesadores



# Espesadores

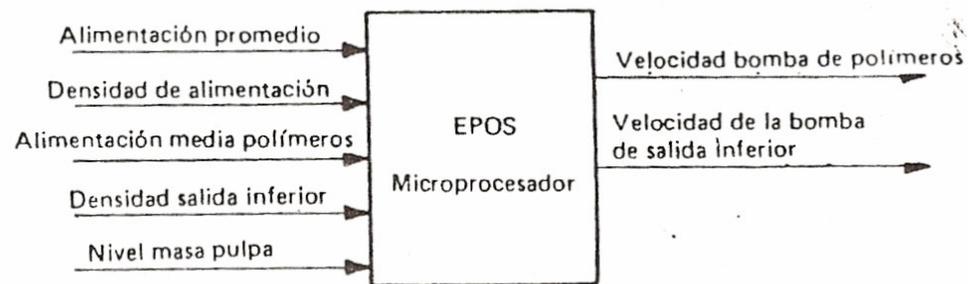
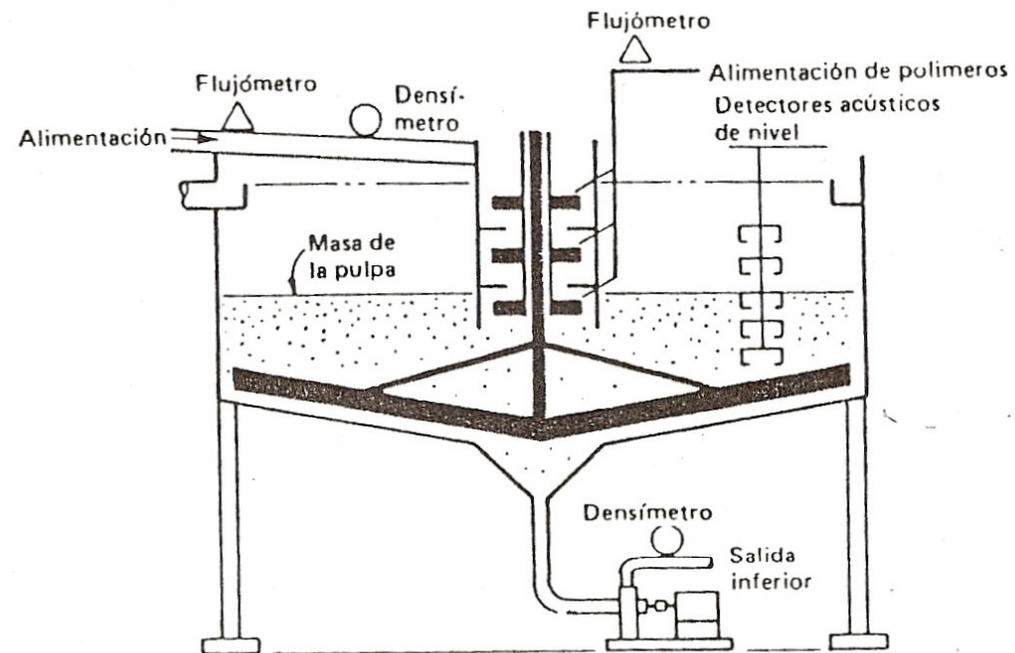


FIGURA 27.- ESPESADOR EIMCO-HI, DE ALTA CAPACIDAD, DOTADO DE CONTROL AUTOMÁTICO

