

UNIDAD II: SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN

INTRODUCCION

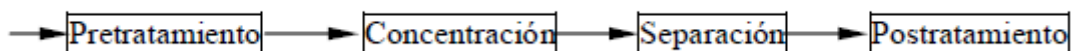
La separación sólido-líquido por métodos mecánicos forma parte de una gran área de técnicas de separación de fases sólidas, líquidas y gaseosas. A ella pertenece la eliminación de agua desde suspensiones en la industria, la recuperación de agua en procesos de la minería, la purificación de aguas domiciliarias, la eliminación de polvos, etc.

En los procesos de separación sólido-líquido que nos interesan, el componente líquido siempre se encuentra en fase continua mientras que el componente sólido puede estar en forma dispersa o discontinua. En una suspensión que se alimenta a un espesador, el sólido esta en forma dispersa en la etapa de sedimentación, pero se considera como fase continua en la etapa de consolidación. En el caso de filtración el sólido se encuentra disperso en la alimentación al filtro, pero en fase continua una vez que se formó la torta.

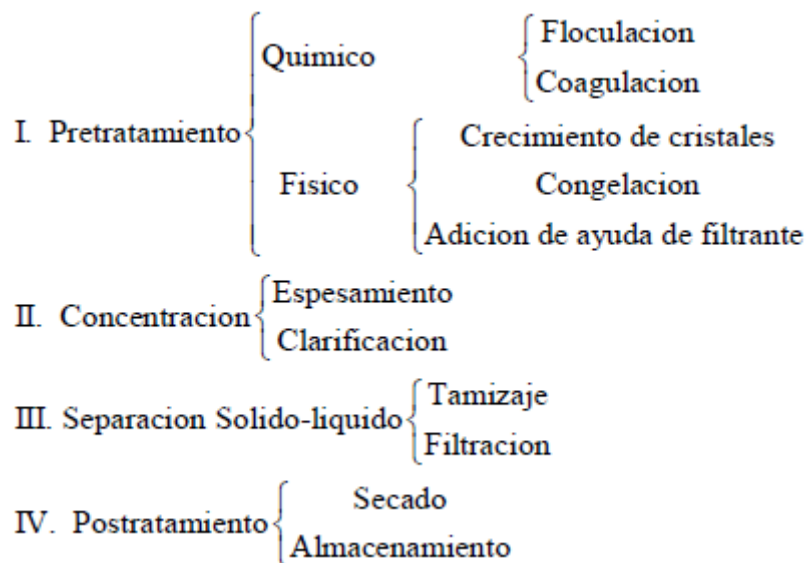
Dentro del contexto de la separación sólido-líquido, denominaremos Sistema Particulado toda mezcla de materiales en que el sólido esté formado de partículas, en estado disperso o continuo. Cuando las partículas forman una fase discreta, lo llamamos suspensión o dispersión y cuando están en forma continua, lo denominamos medio poroso. Asociado a sistemas dispersos estudiaremos la sedimentación y asociado a medios porosos, la filtración.

OPERACIONES DE SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO EN MINERÍA

La separación de mezclas de sólido-líquido requiere, generalmente, una secuencia de operaciones como las indicadas:



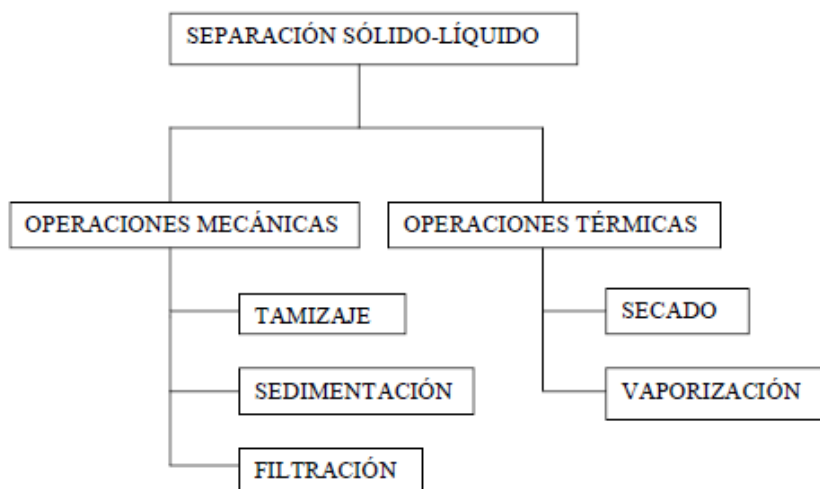
Cada una de estas etapas puede ser realizada de diversas maneras. El esquema que sigue muestra algunas formas de llevarlas a cabo:



MECANISMOS DE LA SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

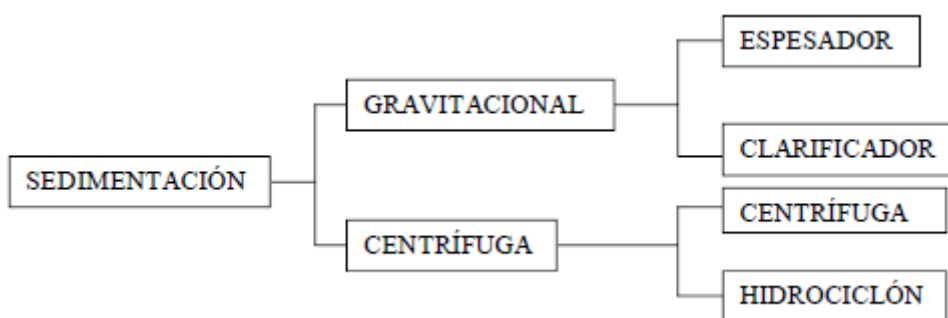
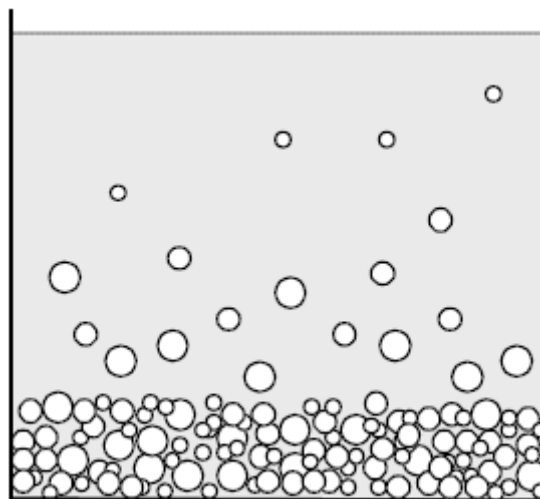
Pueden ser mecánicos y/o térmicos. La figura muestra estos métodos y las operaciones o procesos a los que da origen.

Las operaciones térmicas de secado y vaporización pueden separar totalmente la mezcla de sólidos y líquidos, cosa que no logra ninguna de las operaciones mecánicas. Sin embargo, las operaciones térmicas raramente se utilizan por sí solas en empresas mineras debido a su alto consumo de energía. Cuando se las utiliza, ellas van precedidas de las operaciones mecánicas mencionadas y las complementan para disminuir la humedad residual de la fase sólida. Donde sí se utiliza el secado y la vaporización es en el laboratorio para la determinación de la concentración de una suspensión o la humedad de una torta de filtración.



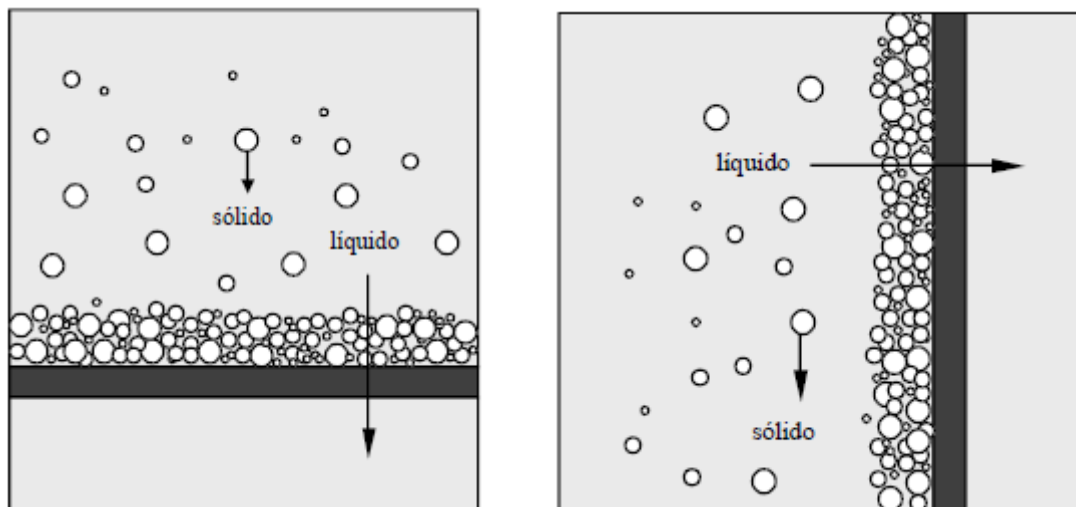
Las operaciones mecánicas de separación sólido-líquido se basan en tres mecanismos, la sedimentación, la consolidación y el flujo en medios porosos.

Se denomina sedimentación al proceso de asentamiento de un material sólido o líquido desde un fluido, generalmente agua o aire, desde un estado de suspensión. La figura muestra en forma esquemática la sedimentación de esferas sólidas en un líquido. La eficiencia de la separación depende principalmente de la magnitud del campo de fuerza de cuerpo aplicada, gravitacional o centrífuga, de la diferencia de densidades entre las partículas sólida y líquida, del tamaño de las partículas y de la viscosidad del líquido. La cantidad de líquido de una suspensión que es capaz de separar la sedimentación es toda aquella que no llena los poros del sedimento formado. La figura muestra un esquema de partículas en sedimentación gravitatoria y las formas de aplicar fuerzas de cuerpo, o fuerzas externas.



Cuando el agua retenida en el sedimento es más que la deseada, se debe recurrir a la filtración. Se denomina filtración al proceso de formar una torta soportada por un medio filtrante, eliminando líquido denominado filtrado. Cuando todo el líquido de la suspensión ha pasado por la torta y los poros de esta están llenos de líquido, esto es, la torta está saturada, la formación de la torta ha terminado. Para eliminar más líquido, se sopla aire a través de la torta, él que desplaza al líquido disminuyendo su humedad. La

fuerza impulsora de la filtración es un gradiente de presión. Este gradiente puede ser la presión hidrostática del líquido a filtrar o un gradiente de presión exterior impuesto por una bomba. Las variables más importantes en la filtración son la porosidad y la permeabilidad de la torta, esto es la facilidad con que escurre el agua a través de él. La filtración puede ser ayudada o dificultada por la sedimentación. En general la suspensión a filtrar se impulsa hacia un recipiente y se hace pasar a través de un medio poroso denominado medio filtrante. Si el filtro es horizontal, la sedimentación de las partículas ayudaran a la filtración, en cambio si el filtro es vertical, las partículas sedimentarán en la dirección perpendicular a la dirección de la filtración.



SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

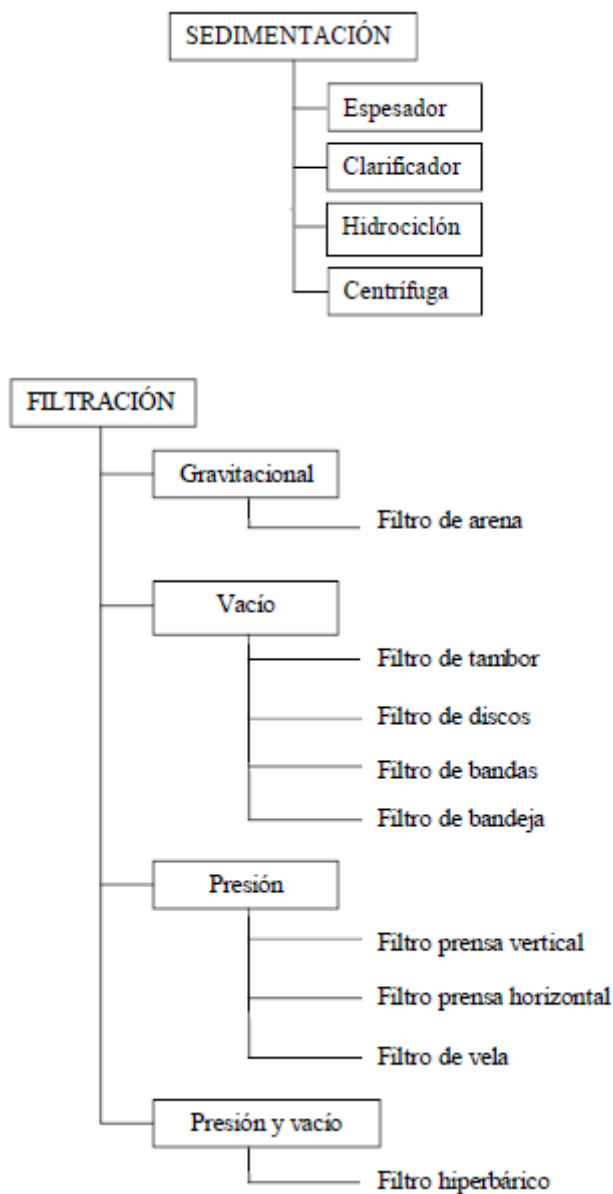
El espesamiento de una pulpa tiene gran influencia en la posterior filtración. De aquí la recomendación de optimizar los procesos de separación sólido-líquido en conjunto, en vez de tratarlos por separado o, en considerar algunos e ignorar otros.

Por otra parte, una misma tarea de separación sólido-líquido puede ser realizada con secuencias de diferentes combinaciones de equipos, por lo que cualquier estudio debe considerar estas operaciones en conjunto.

Operar un sistema de separación sólido-líquido requiere conocer los parámetros más importantes en su comportamiento. Para ello es necesario determinar estos parámetros en el laboratorio y formular ecuaciones constitutivas del material. Al realizar estas pruebas, es necesario tener en cuenta las propiedades de memoria que tienen las pulpas. Las suspensiones sufren lo que se denomina envejecimiento, por lo que se efectúan en equipos continuos, evitar la recirculación del material.

EQUIPOS UTILIZADOS EN LA SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

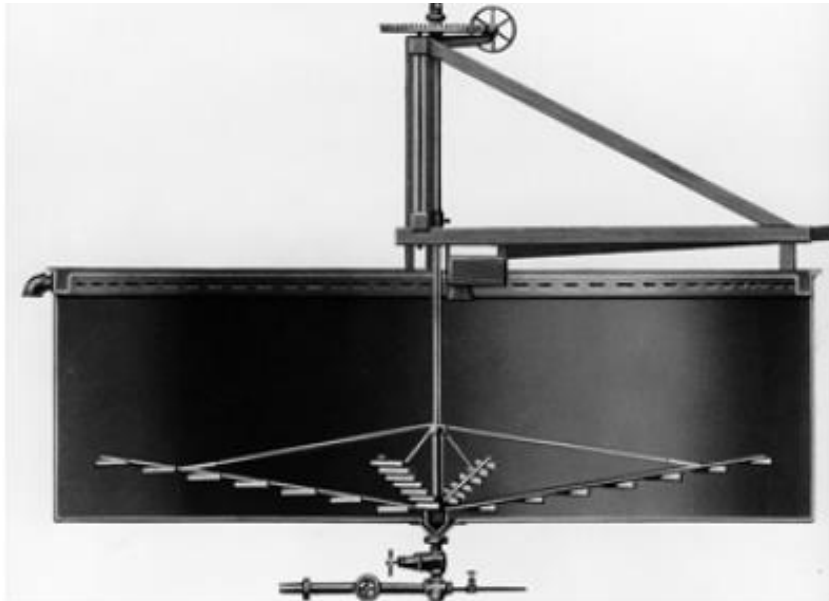
Las figuras muestran los nombres de los principales equipos utilizados para la separación sólido-líquido en la industria minera, tanto en sedimentación como en filtración.



EQUIPOS.

Los espesadores son equipos típicos que no han cambiado mucho su apariencia desde la invención del espesador Dorr en 1905. Se ha mejorado y modernizado el sistema de tracción de las rastras, pero los elementos esenciales continúan siendo los mismos. En la figura se puede distinguir el estanque cilíndrico correspondiente al cuerpo del

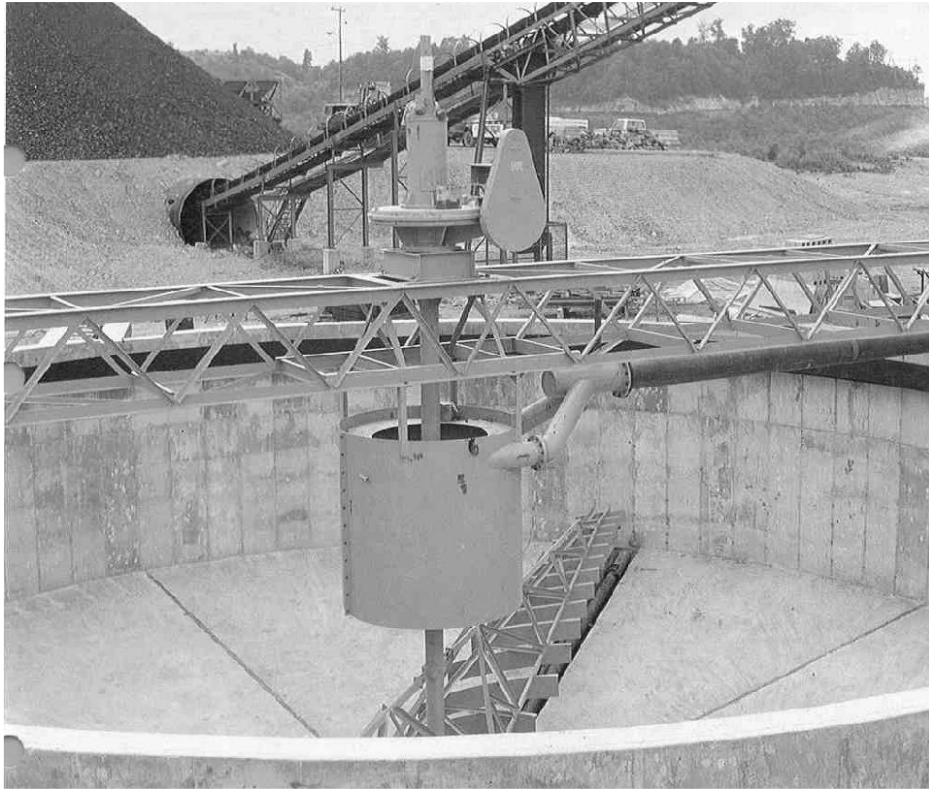
espesador, la bandeja de alimentación, la canaleta de rebalse, las rastras y la abertura de descarga, todos ellos elementos comunes a cualquier espesador.



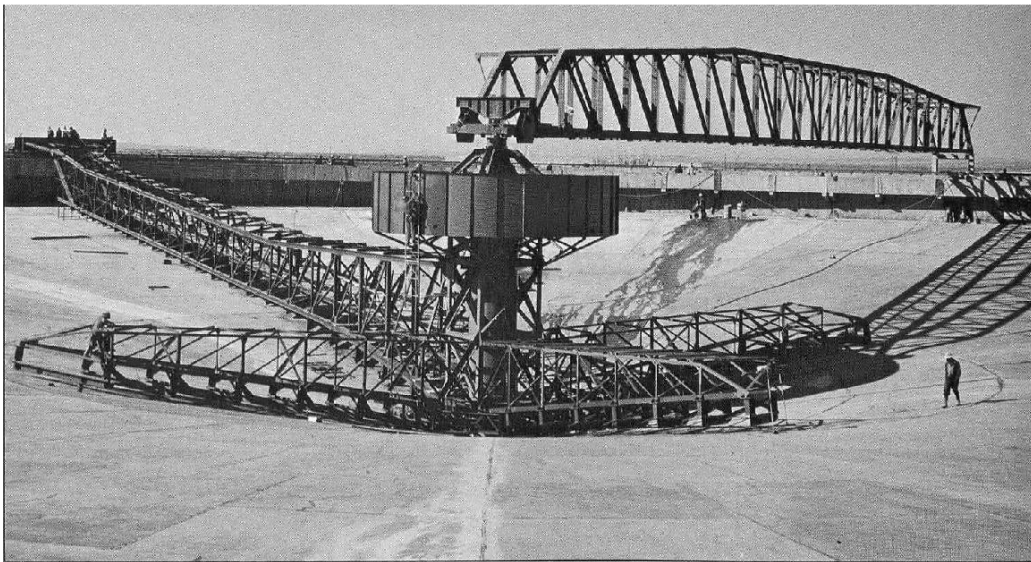
En general el estanque de un espesador es cilíndrico. Las unidades pequeñas, de menos de 30 metros, se construyen en acero o madera y las unidades mayores, hasta 120 metros de diámetro, de cemento. La base del estanque se construye del mismo material que el cilindro. La forma de la base es un cono, destinado a permitir una mejor evacuación del material depositado.

La bandeja de alimentación, es un cilindro concéntrico al estanque y de pequeño diámetro, cuyo objetivo principal es permitir una buena distribución de la alimentación al espesador, pero también sirve para mejorar la mezcla de la pulpa y el floculante y, en muchos casos para diluir la alimentación.

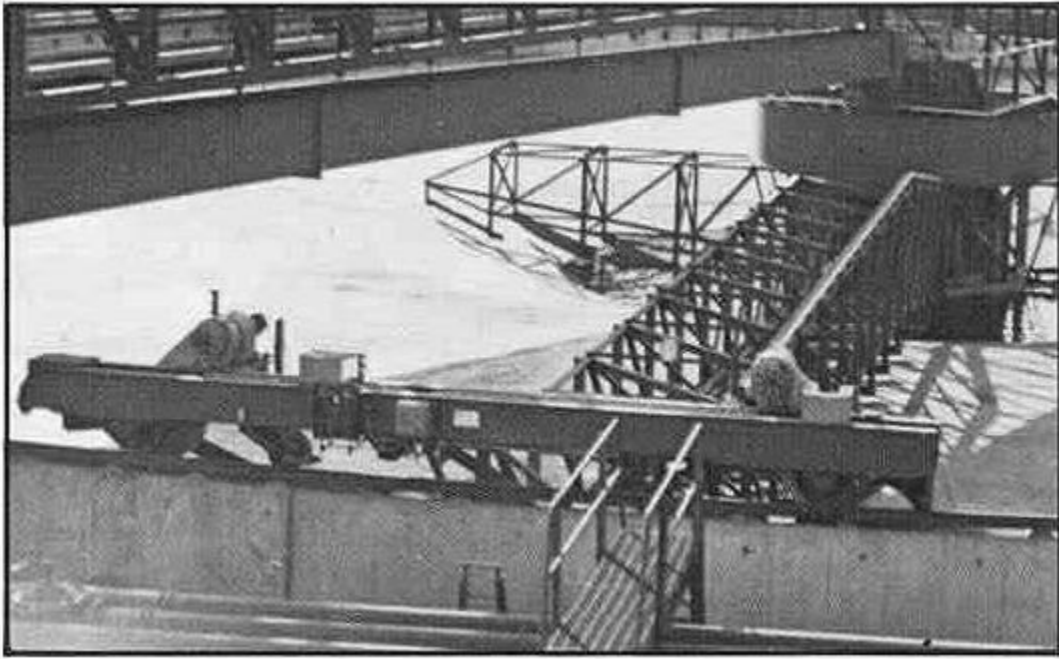
Las rastras, que pueden tener una gran variedad de formas, tienen por objetivo llevar el material depositado en el fondo del espesador hacia la abertura de descarga. La tracción de las rastras puede ser a través de un motor central ubicado en la parte superior del eje o periférica, con el motor montado sobre rieles en el borde del estanque del espesador. En varios modelos de espesadores existen mecanismos para levantar las rastras cuando el torque en el motor se hace excesivo.



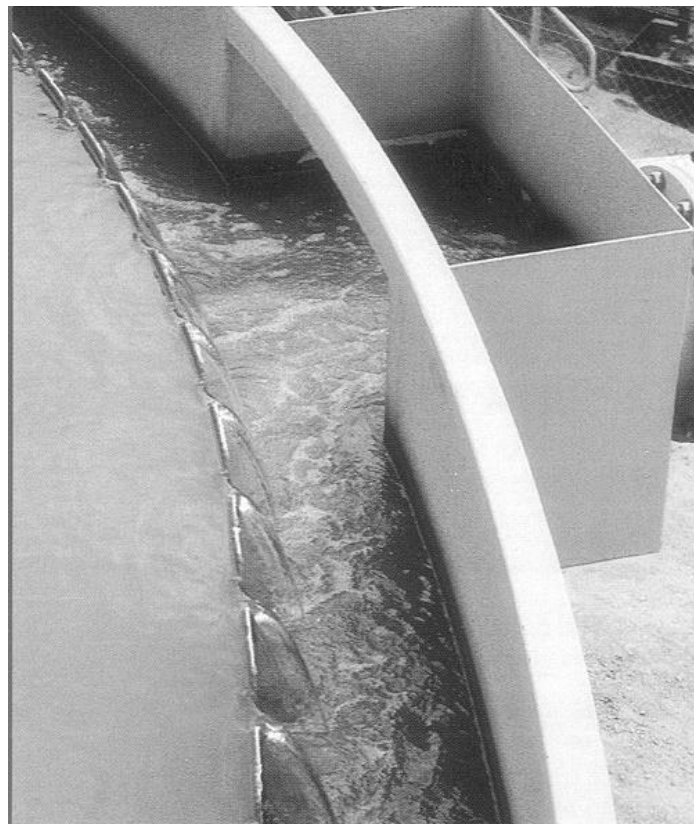
Feedwell de dos entradas y rastra de tracción central



Rastra de tracción periférica.



Las canaletas de rebalse en la periferia del espesador tiene por objetivo evacuar el agua recuperada a una velocidad suficientemente baja para evitar el arrastre de partículas finas. La mayoría de las canaletas tienen pequeños vertederos que permiten controlar mejor el flujo de agua.

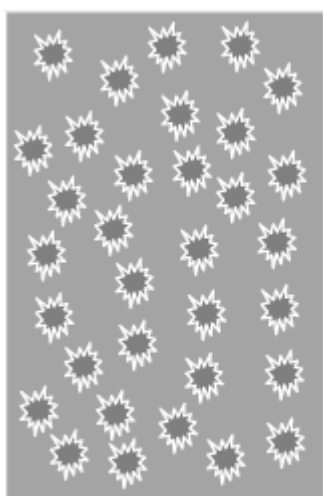


VARIABLES DE ESPESAMIENTO.

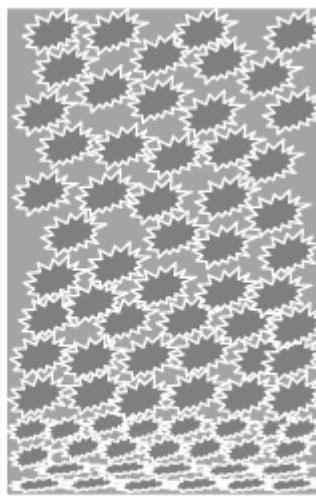
El espesamiento consiste en una secuencia de dos fenómenos, la sedimentación y la consolidación. Los fenómenos de sedimentación y consolidación tienen comportamiento físico diferente, por lo que es necesario analizarlos por separado.

- Sedimentación:

Consiste en el asentamiento de unidades, ya sean partículas individuales o flóculos, debido a la fuerza de gravedad. Al sedimentar las diversas partículas de una suspensión interactúan entre sí obstaculizando su trayectoria y disminuyendo la velocidad de asentamiento que tendría cada partícula individualmente.



Sedimentación



Consolidación

- Consolidación

La sedimentación finaliza cuando las partículas individuales llegan al fondo de la columna de sedimentación o del espesador y comienzan a descansar unas sobre otras. Si estas partículas son incompresibles, como sucede por ejemplo con concentrados de cobre cuando no se usa floculante, el proceso de espesamiento termina ahí. Sin embargo, si las partículas son compresibles, como es el caso relaves de cobre floculados, el peso de los flóculos comienza a afectar a los flóculos inferiores comprimiéndolos y exprimiendo el agua que permanece en el interior de estos. Este fenómeno de eliminación de agua por compresión se denomina consolidación.

FILTRACION

DEFINICIÓN, EQUIPOS Y OPERACIÓN

Filtración es el proceso de separación sólido-fluido mediante el cual el sólido es separado del fluido en una suspensión haciéndolo pasar a través de un lecho poroso, denominado medio filtrante. El lecho retiene las partículas mientras que el fluido pasa a través del medio filtrante y recibe el nombre de filtrado.

Para establecer el flujo a través del medio filtrante es necesario aplicar un gradiente de presión como fuerza impulsora. Existen varias formas para aplicar este gradiente de presión, por ejemplo: 1) la gravedad, 2) el vacío, 3) una presión, 4) un vacío y una presión combinados y 5) una fuerza centrífuga. La mayor parte de estas formas de aplicar presión da lugar a diferentes tipos de equipos de filtración, los que se reciben el nombre de filtros.

Las condiciones en que se realiza una filtración dependen de muchos factores, entre los cuales destacan:

- Las propiedades del fluido, tales como su densidad, viscosidad y corrosividad.
- La naturaleza del sólido, tal como su tamaño, forma y distribución de tamaño.
- Las propiedades de la suspensión, tales como su concentración y compresibilidad.
- La cantidad de material a tratar.
- El valor del material y si el material valioso es el sólido, el fluido, o ambos.
- Si es necesario lavar la torta.
- Si es importante o no la contaminación del producto

La mayoría de los equipos de filtración, sean continuos o discontinuos, trabajan en ciclos de formación de la torta, lavado, secado y descarga:

- **Formación de la torta:** La magnitud de material depositado en el medio filtrante depende del gradiente de presión, de la concentración de la suspensión y del tiempo de succión. En este ciclo hay un flujo continuo de filtrado a través del medio filtrante y del queque.
- **Lavado de la torta:** La necesidad de lavar la torta depende del objetivo perseguido por el proceso de filtración. El lavado se efectúa para eliminar impurezas del queque o para recuperar líquidos valiosos. El lavado de la torta implica calcular la cantidad mínima de agua necesaria para desplazar el líquido de los poros y el tiempo necesario.

- **Secado de la torta:** Secado de la torta es aquella etapa en que el agua retenida en los poros del queque es desplazada soplando aire o succionado aire de la atmósfera. Para controlar esta etapa es necesario conocer la cantidad de agua retenida en el queque. El criterio para seleccionar la humedad residual del queque es económico, cuando no es una restricción del equipo.
- **Descarga de la torta:** El desprendimiento de la torta y su descarga es de gran importancia para una operación eficiente. En el caso de filtración a vacío la descarga es muy simple y consiste en raspar las telas y eliminar el producto por gravedad. En el caso de filtración a presión, o filtración hiperbárica, la descarga se complica por la necesidad de mantener la presión en la cámara, de modo que es necesario tener válvulas que permitan presurizar y despresurizar la zona de descarga en ciclos controlados.

EQUIPOS PARA FILTRACION

Los equipos que utilizan presión en vez de vacío, deben usar mecanismos mucho más complicados, especialmente para la alimentación y la descarga. Esta ventaja de los filtros de vacío los ha hecho tradicionalmente muy populares en la industria minera y en la industria de procesos en general.

La principal desventaja de los filtros a vacío es la obvia limitación en el máximo gradiente de presión disponible para el proceso, el que depende de la presión atmosférica local. Como la mayoría de las industrias mineras se encuentran situadas en montañas a gran altitud, algunas a más de 4.000 metros de altura, el gradiente de presión disponible es muy pequeño. Esta limitación y los grandes y recientes avances tecnológicos en mecanismos y sistemas de control, han introducido los filtros a presión y los han transformado en un producto preferido en la industria minera en la actualidad.

Una alternativa interesante es la combinación de ambos tipos de filtros, esto es, los filtros de vacío y los de presión. Si un típico filtro de vacío se introduce en una cámara presurizada, se puede incrementar el gradiente de presión a los valores considerados óptimos para la filtración. Estos filtros se denominan filtros hiperbáricos y combinan la sencillez de construcción y operación de un filtro de vacío con la ventaja de mayores presiones de los filtros a presión.

- Filtros de tambor

El filtro de tambor consiste en un tambor rotatorio con su parte inferior sumergida en la suspensión. La superficie del tambor está cubierta por un medio filtrante denominado tela filtrante. La suspensión es succionada desde el interior del tambor, donde se ha generado un vacío. Mientras el filtrado pasa al interior del tambor y es evacuado a través de tuberías apropiadas, el sólido es retenido en la superficie cilíndrica formando un queque. A medida que el tambor rota, las secciones de superficie que estaban sumergidas en la suspensión emergen de ésta, haciendo que aire sea succionado debido al vacío interior, lo que seca al queque. Durante el giro es posible lavar el queque rociando agua en su superficie y permitiendo que se seque de la misma forma anterior. Una vez completado un giro, y antes de entrar nuevamente en la suspensión, un mecanismo raspa la superficie descargando el queque en una tolva. A continuación, se inicia un nuevo ciclo de filtrado-secado-lavado-secado-descarga.

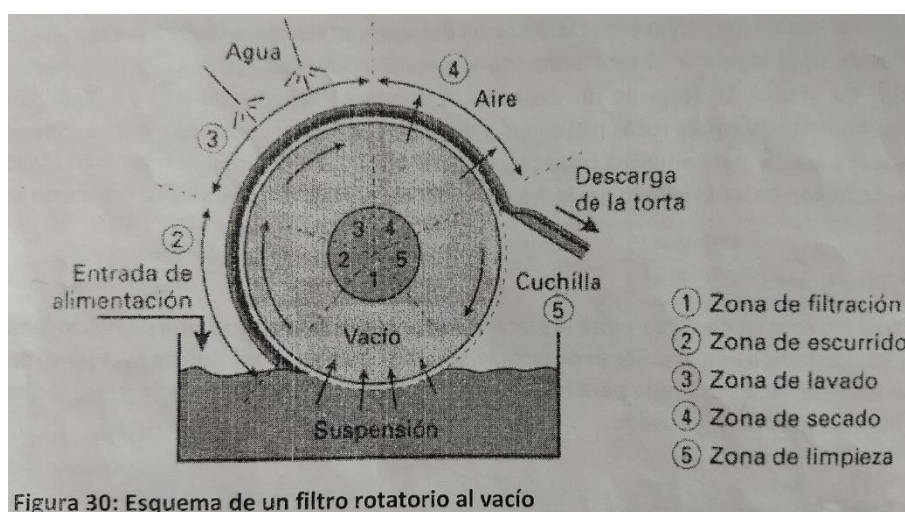
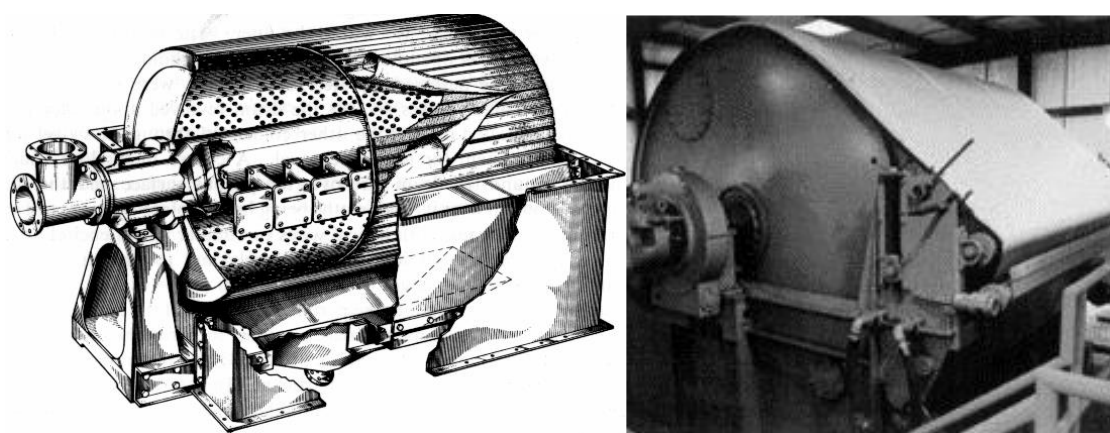
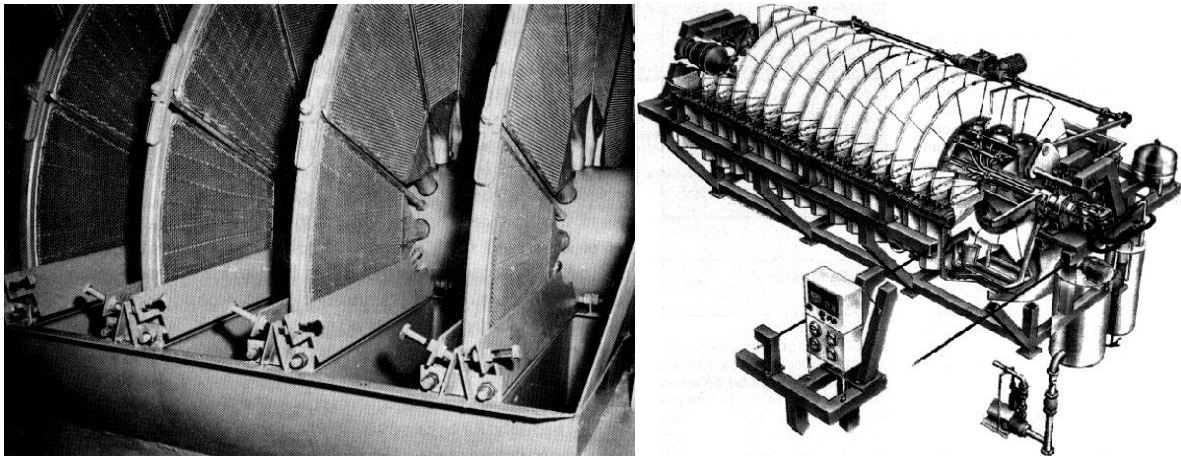


Figura 30: Esquema de un filtro rotatorio al vacío

- Filtros de discos

El filtro de discos consiste en un eje central que soporta un número determinado de discos, cada uno de los cuales está conectado a un equipo de vacío. Los discos tienen su parte inferior sumergida en la suspensión, de manera similar al caso del filtro de tambor. Cada disco está cubierto de una tela filtrante y, al igual que en el filtro de tambor, trabaja en ciclos de filtrado-secado-lavado-secado y descarga a medida que el sistema de discos va girando. En los filtros de disco el lavado es más difícil de realizar.

La ventaja de este equipo en comparación al filtro de tambor, es su gran superficie por unidad de área de piso ocupada, ya que cada disco permite filtrar por ambas caras y se puede acomodar un número bastante grande de discos en un solo equipo. Otra ventaja es la forma modular por sectores en que están contruidos los discos, lo que permite mayor facilidad y flexibilidad en el cambio de telas.



COAGULACIÓN

Proceso de agregación de partículas de una suspensión basada en la reducción de la repulsión ínter partícula, ya sea por neutralización de la carga superficial o por compresión de la doble capa eléctrica que rodean a todas las partículas en un electrolito. La figura muestra la distribución de potencial de una partícula en un electrolito.

FLOCULACIÓN

Agregación de partículas mediante la adsorción de largas cadenas de polímeros en varias partículas. De acuerdo a la forma en que el polímero actúa sobre las partículas se pueden distinguir diferentes formas de floculación.

