CCM
CONSEJO DE COMPETENCIAS MINERAS

Cuaderno del Instructor
Operador Base Planta
Módulo VIII: Proceso de Espesamiento y Filtración
PFPCO-2-01/v.2-[PE01-M08/v.1]

Una iniciativa de:

CONSEJO MINERO

Con la asesoría experta de:

Innovum | FCH FUNDACIÓN CHILE

Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Director de Proyectos
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material ha sido realizado por el Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile - Innovum, con la colaboración técnica del Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, para el Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero - del cual pasa a ser propiedad -.

Este material está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE.

© Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; Freeport-McMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.

Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educacionales:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.

Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Descripción del documento 7

Módulo VIII: Proceso de Espesamiento y Filtración 8

1. Introducción a la operación de Espesamiento y filtración 9

1.1. Principales equipos asociados al proceso 12

1.2. Parámetros operacionales asociados del proceso 24

1.3. Tareas de Transporte de Concentrado 33

Actividad N° 1 37

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del Módulo 8 del programa de formación **Operador Base Planta**.
El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.
El instructor podrá además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

- Charlas y/o reflexiones de seguridad.
- Discusiones o foros de debate.
- Reforzamientos.
- Actividades en terreno.
- Preparación para la evaluación final

Específicamente para las actividades relacionadas a tecnologías de comunicación audiovisual se entregarán links a modo referencial, sin embargo el instructor tendrá la libertad de utilizar los recursos que estime conveniente a fin de lograr los requerimientos de la actividad.

Todo el material es susceptible de ser mejorado, adaptado o modificado en función de las características del grupo con el que se trabaje. Por ello se ha diseñado desde un enfoque flexible, que permite al instructor agregar recursos que enriquezcan algún contenido o posibilitar el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos:
La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento “Instrumento de evaluación de proceso”.

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10. La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas. La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75%.

Módulo VIII: Proceso de Espesamiento y Filtración

1. Introducción a la operación de Espesamiento y filtración

Los métodos más utilizados para procesar minerales, tales como la flotación, requieren que el mineral, reducido a un determinado rango de tamaño de partículas, se encuentre mezclado con agua. Una vez obtenido el concentrado y el relave, o la solución y el residuo, es necesario separar los sólidos del fluido.

El concentrado de una planta de procesamiento de minerales metálicos sigue su camino hacia la etapa de fundición donde debe ser sometido a calentamiento (pirorefinación). Alternativamente, en aquellas industrias mineras que no requieren fundición, el concentrado debe venderse como tal y ser transportado fuera de la empresa. En ambos casos interesa que el producto contenga una mínima cantidad de líquido para reducir el consumo de combustible en el proceso de secado o en el costo de transporte.

La eliminación de agua del concentrado se efectúa mediante el ***espesamiento, la filtración y el secado***. La eficiencia del espesamiento se mide, en este caso, a través del porcentaje de sólido logrado en la descarga, el que debe ser el máximo posible. Para la filtración y secado, la "humedad residual" debe ser mínima.

Mientras más eficiente es cada una de estas etapas, mejor será el rendimiento económico de la empresa.

En cuanto a los relaves finales de una planta de flotación, que son material de desecho o contaminantes, no se les debe eliminar sin antes recuperar el agua. Las empresas mineras muchas veces están situadas en regiones áridas o cordilleranas donde el agua es un recurso escaso.

La sedimentación es la remoción de partículas sólidas que se encuentran suspendidas en un líquido, mediante decantación gravitacional.

Las operaciones de este tipo se pueden dividir en Espesaje y Clarificación. Aunque se tratan de procesos en los cuales están en juego los mismos principios, estos difieren en los objetivos finales que cada uno de ellos poseen. El espesaje tiene por objetivo principal el de aumentar la concentración de sólidos de la pulpa de descarga. En tanto que, la clarificación o decantación, se provoca la remoción de partículas sólidas desde flujos relativamente diluidos.

De acuerdo a lo anterior, en la clarificación las separaciones sólido-líquido se caracterizan por una sedimentación sin una interface clara entre el líquido y Operación de espesamiento y filtración.

Se denomina espesamiento o espesaje a la operación de separar, mediante el mecanismo de sedimentación, parte del agua, de modo de obtener por una parte, una pulpa de mayor concentración de sólidos en la descarga (underflow) y por la otra, un flujo de agua clara las partículas o sedimento, por consecuencia la capacidad está limitada por la cantidad de sólidos

que son permeables en el rebose (overflow). El rendimiento de estos equipos entonces es el característico para clasificadores húmedos y pueden ser analizados mejor bajo ese punto de vista.

Clasificación de la operación de sedimentación

CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO	APLICACIÓN
Diluida (clarificación)	Partículas sedimentando inicialmente independientes, sin formación de interfase. La velocidad es función principal del tamaño de las partículas, y de la concentración.	• Clarificación de agua o salmuera. • Tratamiento de desechos o contaminantes
Intermedia (clarificación)	Zona alta de partículas sedimentando independientemente. Zona baja de sedimentación colectiva. Zona de interfase sin forma clara.	• Pulpas de procesos químicos y metalúrgicos.
Concentrada (espesaje)	Pulpa sedimenta con interfase clara. Idealmente la velocidad de sedimentación es función sólo de la concentración. En la práctica la velocidad aumenta con la formación de flóculos.	• Pulpas y procesos químicos y metalúrgicos.
Compresible (espesaje)	Sedimentación manual con interfase, posterior sedimentación obstruida de lodos que depende del tiempo y profundidad de la zona obstruida.	• Pulpas especiales con agregado de floculantes (minería metálica).

Sedimentación

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. El concepto de sedimentación de partículas en suspensión es fundamental en la operación de espesaje, por cuanto es la base de este proceso.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios.

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re-suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

Otra etapa importante de estos procesos se relaciona con el trasporte del concentrado.

Aquí encontramos el mineraducto, el cual está diseñado para operar en forma continua dentro del rango de parámetros y variables definidos para el transporte de concentrado. Para manejar la variabilidad de la producción, originada por cambios en la ley y por la operación de la planta de concentrado, se cuenta con estanques agitados de almacenamiento de concentrado, ubicados entre la descarga de los espesadores y la estación de bombeo.

Estos estanques proveen un volumen de almacenamiento que permite mantener estable la operación de la tubería durante oscilaciones del nivel de producción. El modo preferencial de operación para la tubería de concentrado es la operación en régimen estacionario a la tasa promedio de producción de concentrado, situación en la cual los estanques absorben las variaciones de producción aumentando y disminuyendo su nivel.

La tubería que desplaza el concentrado, parte desde la Estación de Bombeo, ubicada en la planta concentradora hasta Puerto o lugar de despacho.

1.1. Principales equipos asociados al proceso

A continuación se presenta una descripción general de tres de los principales equipos presentes en el proceso; espesadores, filtradores, y mineroducto.

A.- Espesador:

Estanque cilíndrico con un fondo inclinado y un mecanismo de rotación de las rastras que conducen los sólidos a la descarga central abierta. Un rebalse periférico ubicado en la parte superior del estanque sirve para evacuar el líquido clarificado. Generalmente, un pozo circular localizado en el centro de la superficie del espesador recibe la alimentación y está diseñado de tal modo que minimiza la agitación, obteniéndose así un rebalse claro. Los sólidos sedimentados se bombean o se conducen gravitacionalmente desde la descarga ubicada en el fondo del espesador.

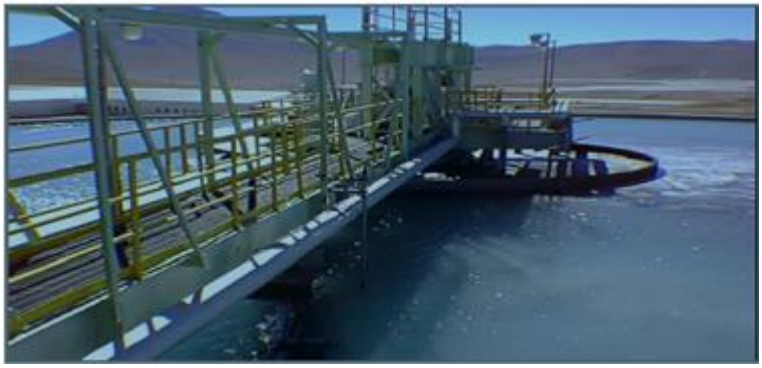


Figura 1

Actualmente, el tamaño de los espesadores oscila entre 2,5 (m) hasta 150 (m) de diámetro, existiendo también diseños especiales de hasta 250 (m) de diámetro. La profundidad varía entre 3 (m) en los diámetros pequeños hasta 10 (m) o más para las unidades mayores.

En las unidades de diámetro menor a 20 (m), normalmente el mecanismo impulsor es soportado por estructuras metálicas, que cruzan el estanque. En las grandes unidades el mecanismo es soportado por un pilar de construcción de acero o concreto.

El mecanismo de las rastras consiste en dos brazos radiales a 180º con hojas que empujan los sólidos a la descarga central. Los brazos están unidos al eje central. Hay diseños que incluyen 3 ó 4 brazos para ciertos servicios más rigurosos y raspadores espirales continuos.
El mecanismo impulsor está ubicado en el extremo superior del eje o montado sobre una plataforma circular, dependiendo del tipo de unidad.

En los espesadores de gran diámetro y en los modelos antiguos de pequeño diámetro, los mecanismos impulsores traccionan en la periferia.

También se usan protecciones para la sobrecarga, desde simples mecanismos operados en forma manual, hasta mecanismos automáticos. Dichos mecanismos, se diseñan para elevar las rastras 30 (cm.) (1pié) o más para el caso de eventuales sobrecargas. Si la sobrecarga se reduce, las rastras se bajan a su posición normal de operación en forma automática o manual (realizada por un operador).

El flujo que entra en un espesador se denomina “alimentación” en tanto que el rebose se denomina “efluente”, “sobrenadante” u “overflow”. El hundido se llama “lodo” o “underflow”. La terminología depende de la industria y aplicación donde esté instalado.

Partes principales de un Espesador

- El tanque: Los espesadores están constituidos por un tanque cilíndrico sobre una porción de un cono invertido de muy poca profundidad, los diámetros de estos tanques circulares son mucho más grandes comparados con su altura; el cono en el fondo ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia el punto de descarga; el área del tanque circular debe ser lo suficientemente grande como para que ninguna partícula sólida salga por el overflow y la altura lo suficiente como para lograr una pulpa a la concentración deseada. La función principal del tanque es proporcionar un tiempo de permanencia para producir una pulpa a la concentración deseada y un líquido claro en el overflow.
- Rastrillo: Sirve para arrimar la carga asentada hacia el centro del tanque, justo sobre el cono de descarga, evitando de esta manera que se asiente demasiado, la pulpa facilitando la descarga asentada del espesador. Está formado por un conjunto de varillas de acero y la estructura va unida al eje principal. Su movimiento es lento y gira con el eje, siendo impulsado por un motor eléctrico a través de una catalina y un piñón.
- Eje del rastrillo: Sirve de apoyo al rastrillo y movimiento de éste.
- El recibidor de carga: Tanque cilíndrico de poca altura, que sirve para disminuir la velocidad de entrada de la pulpa, dejarla caer suavemente sin producir agitación, está en la parte superior del eje.
- Cono de descarga: Sirve para sacar la carga asentada hacia las bombas de salida de la pulpa, para ser enviada a los filtros o cochas en caso de tratarse de concentrados, y se encuentra en el centro del fondo del tanque del espesador.
- El canal de rebalse: Sirve para recibir el, agua recuperada, agua limpia y clara, y está ubicado alrededor de la parte superior del tanque,
- Mecanismo de elevación del rastrillo: Sirve para evitar que el rastrillo se plante cuando el espesador está haciendo fuerza, pueden ser un mecanismo manual y/o automático. Proporcionan un medio para levantar los rastrillos hacia arriba del contacto de la pulpa con mayor concentración de sólidos para así reducir la fuerza de movimiento demandada por el

mecanismo de movimiento, la operación de levantamiento se puede hacer mientras los rastrillos están girando.

- Mecanismo de movimiento: Los mecanismos de accionamiento y los espesadores son diseñados dependiendo del tamaño y tipo de soporte que se requiera así como del tipo de espesador, su función es proporcionar la fuerza de accionamiento (o torque) para mover los brazos de los rastrillos y paletas, contra la resistencia de los sólidos sedimentados.

Funcionamiento de un Espesador

Conforme entra el flujo de alimentación en el espesador, los sólidos van decantando hacia el fondo. El líquido clarificado rebosa por la parte superior y los sólidos se evacuan por la descarga inferior.

En la figura a continuación se muestra un corte esquemático en el que se ilustra la operación de un ***espesador continuo.*** La zona A que es un líquido de rebose limpio, está libre de sólidos en la mayoría de las aplicaciones. La zona B consta de una pulpa de consistencia poco uniforme cuya concentración se aproxima a la de la alimentación. La zona C es un estado intermedio en el cual la pulpa está en una condición transitoria entre sedimentación por caída libre y compresión. La zona D muestra la pulpa en compresión, produciéndose un desplazamiento del agua por compresión de los sólidos que fuerzan al líquido a salir de sus intersticios.

En la práctica actual las características que distinguen las zonas A, B, C y D no son muy específicas aparte del aumento en concentración de sólidos, y la descripción resulta más teórica que real.

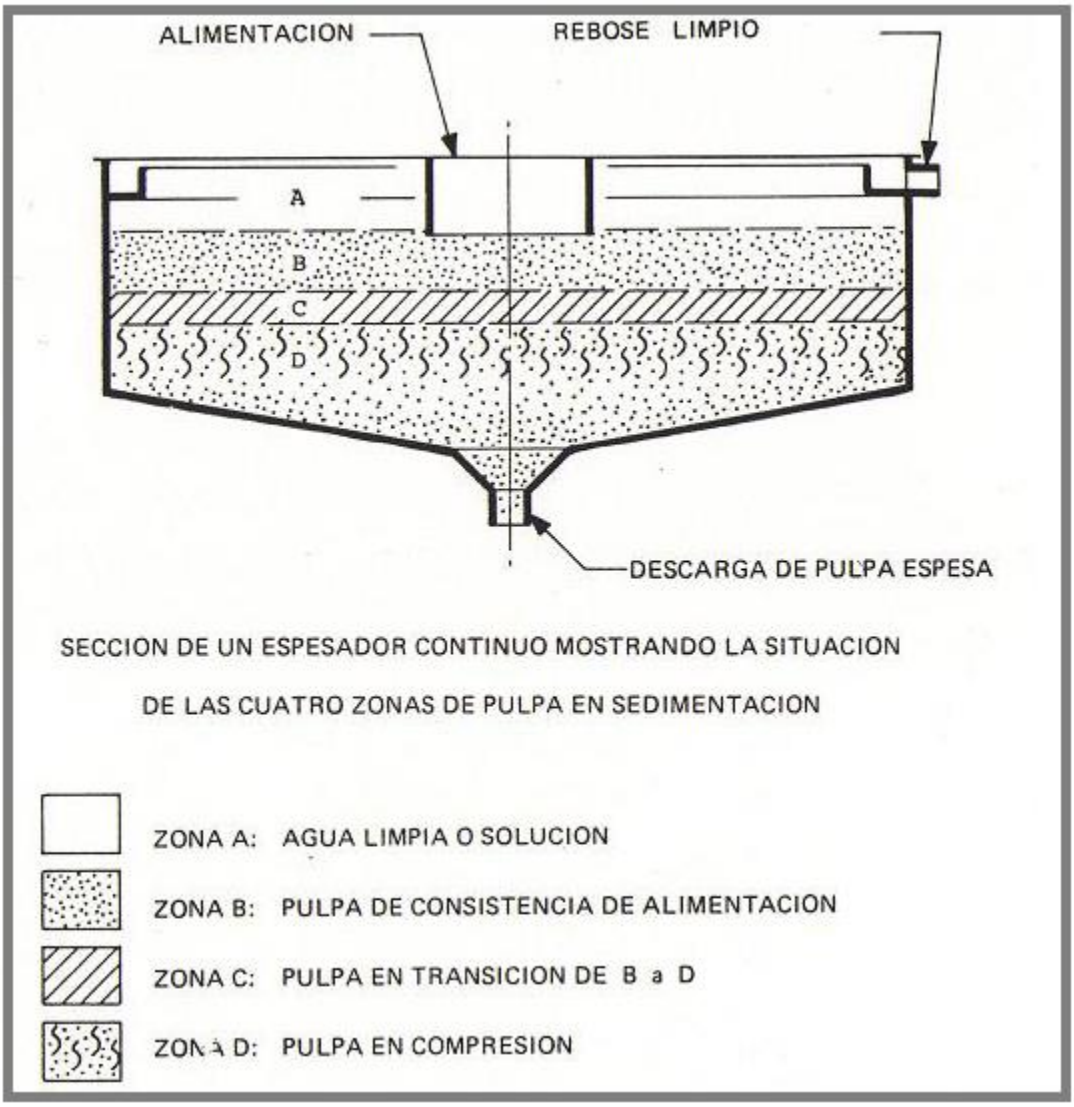


Figura 2

Espesador Continuo

La pulpa alimentada se diluye a la entrada por el cuello central (a no ser que el cuello este sumergido en una zona de pulpa con concentración moderada, como se muestra en la Figura a continuación), y sale del cuello como una suspensión diluida en la cual los sólidos sedimentan, más bien que a partir de una determinada zona o línea determinada. Existe un desplazamiento lateral del fluido dentro y fuera del cuello para mantener esta acción de dilución. Las partículas se van aglomerando sobre la superficie de la pulpa espesada y continúan concentrándose en esta zona hasta llegar a la densidad del lodo.

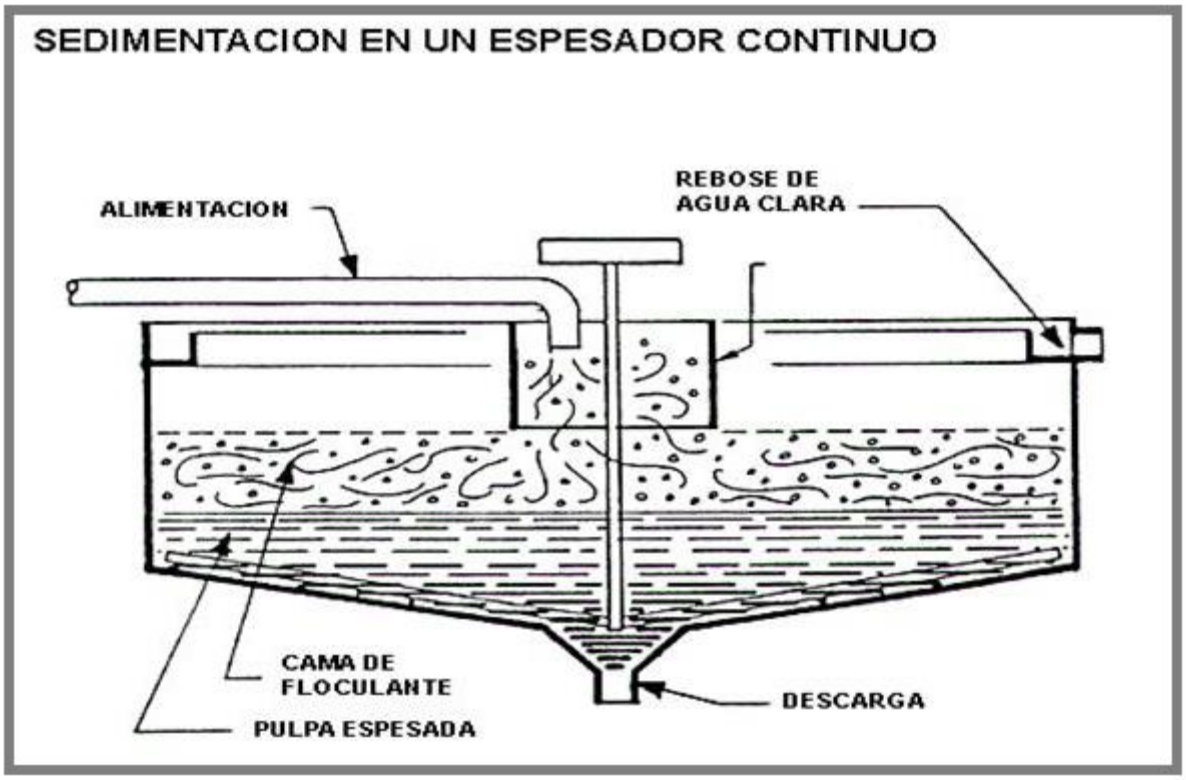


Figura 3

Elementos y funciones de un Espesador Continuo

- Anillo o Cuello de alimentación sirve para disipar la energía cinética que lleva el flujo de alimentación, así como para proporcionar a la entrada del tanque una condición de relativa tranquilidad y dirigir la pulpa a una profundidad adecuada dentro del espesador.
- El tanque proporciona el tiempo de residencia necesario para producir sólidos sedimentados y líquido clarificado. El fondo inclinado ayuda al movimiento de los sólidos concentrados hacia el punto de descarga.
- Los brazos tienen tres funciones:

1) Mover los sólidos sedimentados hacia el punto de descarga.

2) Mantener un grado de fluidez en el espesador para asegurar la separación hidráulica.

3) Aumentar la concentración de los sólidos en la descarga al establecer una especie de canalizaciones en la pulpa de la zona de compresión, que permiten la salida del agua entrampada:

- El cono o trinchera, con sus rastras, tienen una acción similar a la de los brazos pero en la zona de la descarga.
- El canal de rebose recoge el rebose clarificado y lo lleva a su salida correspondiente. El diseño más adecuado es el de rebose uniforme por toda la periferia del tanque.

- El mecanismo motriz proporciona la fuerza de accionamiento (par) para girar los brazos y rastras en contra de los sólidos sedimentados.
- El dispositivo de elevación de los brazos permite a éstos extraerlos de la zona de los sólidos más concentrados, para disminuir el esfuerzo en el mecanismo de accionamiento. La elevación puede ser efectuada con el sistema motriz en funcionamiento.

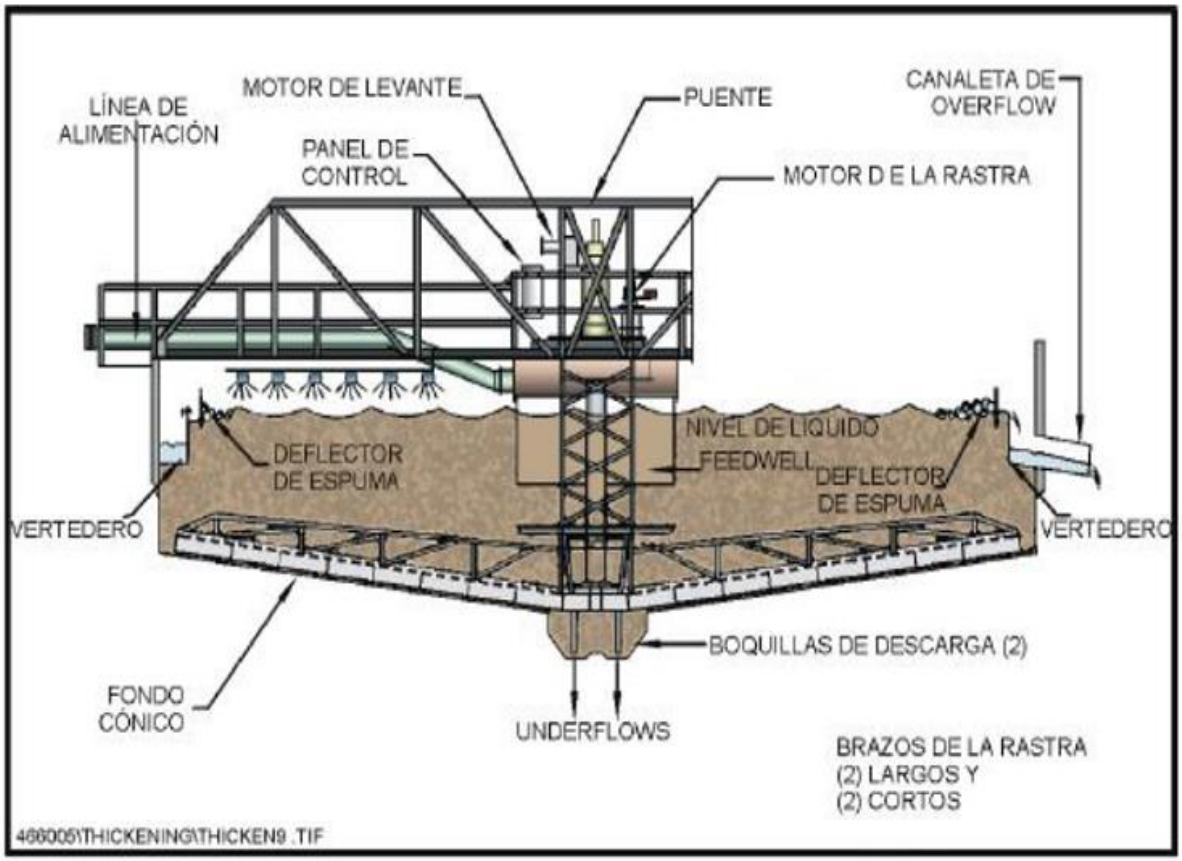


Figura 4

B.- Filtros:

La filtración es un proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido.

Los equipos del área de filtrado, son parte fundamental del proceso productivo, por cuanto son los encargados de darles la última característica al producto final.

Tipos de filtros según condición de operación

Se pueden clasificar en:

- **Filtros discontinuos (batch)**

La torta debe removerse después de un ciclo. Estos filtros operan por ciclos de filtrado, a tiempo y presión constantes.

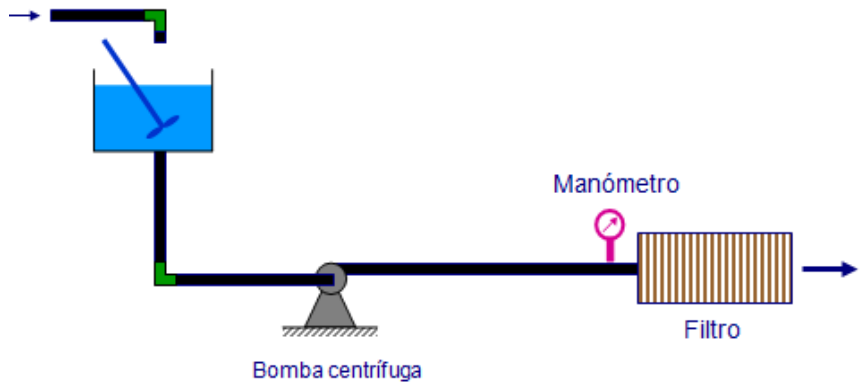


Figura 5

Filtración discontinua a presión y caudal variable

- **Filtros continuos**

La torta se retira en forma continua del filtro.

En este tipo de filtros son constantes:

- ✓ La caída de presión.
- ✓ La alimentación.
- ✓ Tiempo de filtración.
- ✓ La velocidad de filtrado.

Pero, para cualquier elemento de la superficie filtrante, las condiciones operacionales son transientes (espesor variable).

Se llevan a cabo varias operaciones en serie:

- ✓ Filtración.
- ✓ Lavado.
- ✓ Secado.
- ✓ Desprendimiento de torta.

Filtros de presión o de prensa

Descripción General

Existen diversos tipos de filtros de prensa los cuales operan conceptualmente de manera similar. El filtro está constituido por placas filtrantes que se cierran para proceder al filtrado y se abren para descargar la torta. Tiene accionamiento hidráulico. El filtro es accionado por una unidad hidráulica, opera a alta presión provista por el aire insuflado por un compresor. Las humedades residuales que se pueden obtener con estos filtros oscilan en el rango de 8 a 12%.

Estos filtros presentan un alto grado de automatización y están constituidos, esencialmente, por una serie de placas que cuelgan asentadas desde rodamientos sobre su estructura. Dichas placas pueden moverse alejándose o acercándose entre sí por medio de una placa móvil, que es capaz de "empujar a las restantes". En el extremo opuesto se ubica la placa fija que, debido a tal condición contiene los "piping" de alimentación y descarga de los filtros.

Las características más importantes de este filtro son:

- Gran fuerza de separación.
- Alta presión de bombeo de pulpa.
- Prensado mecánico.
- Secado por flujo de aire.
- Flexibilidad.
- Ajuste a voluntad de las combinaciones indicadas arriba.
- Opción de incorporar un eficiente lavado de torta.

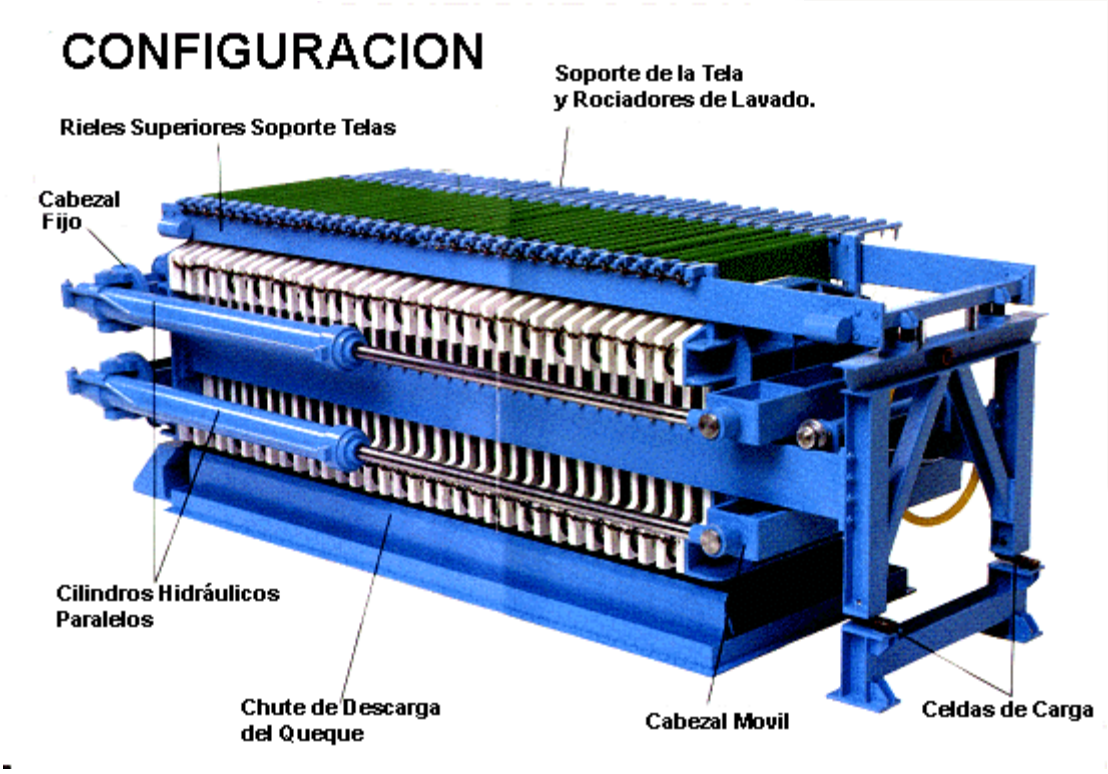


Figura 6

Filtro de prensa

El filtro trabaja en operación batch, constituida por una serie de etapas. Los principales componentes del filtro son:

- Filtro prensa.
- Bomba alimentación pulpa.
- Compresor aire prensado.
- Compresor aire soplado.
- Bomba agua lavado.
- Bomba filtrado.
- Descarga y transporte de torta.

Filtro Prensa

El filtro está formado básicamente por un chasis que soporta las placas filtrantes, las cuales son accionadas por una unidad hidráulica. Las placas son huecas para recepcionar la pulpa y están forradas con una tela filtrante. El proceso es discontinuo y el filtro funciona por ciclos de 10 a 15 minutos cada uno. Cada ciclo incluye etapas de: alimentación de pulpa, prensado, soplado, descarga de la torta y, cierre de placas filtrantes. Las placas permanecen cerradas durante las tres primeras etapas, y, se abren para descargar la torta. Toda la operación del filtro es automática y se puede variar la duración del ciclo y de cada etapa, para obtener las humedades residuales requeridas.

Descripción y funcionamiento básico del filtro tipo larox

Funcionamiento

La filtración toma lugar dentro de cámaras formadas por placas horizontales, la superior y la inferior. La pulpa es bombeada al interior de éstas a una zona que está limitada por un diafragma (parte superior) y una tela filtrante (parte inferior). Esta última actúa como correa transportadora de la torta fuera del filtro.

Consta de un sistema de estruje de torta mediante diafragmas de caucho, inflables hasta 16 bar.

Figura 7

Filtro Tipo Larox

Otras características importantes de este filtro es que se obtiene concentrado con bajo porcentaje de humedad, su accionamiento es de alta presión y su secado final es con aire. Se obtiene un filtrado limpio empleando para esto una tela filtrante de tejido apretado con un consumo mínimo de líquido de lavado.

Área de Filtración

El filtro de presión automático es un desarrollo del principio de filtrado a presión en cámaras y sus etapas principales incluyen filtrado, prensado mediante diafragma, lavado de torta y secado mediante aire comprimido.

Los filtros PF están divididos según el tamaño de su superficie filtrante (expresada en m2).

Algunos ejemplos de estas superficies filtrantes (en m2) son:

0,4 2,5 6,5 12,5 25 32 144

Clasificación según el proceso que realiza

A. Programa corto
Filtrado sin lavado de torta (cuatro etapas): filtración, prensado,
Secado y descarga.

B. Programa largo
Filtrado con lavado de torta (seis etapas): filtración, prensado I, lavado de torta, prensado II, secado y descarga.

Clasificación según el material de construcción

La clasificación del filtro, según los materiales de construcción utilizados para las piezas que están en contacto con la pulpa son:

0: Acero dulce pintado con epóxicos, para procesos neutros o ligeramente alcalinos, donde el pH = 6,5 – 11.
1: Partes humedecidas hechas de acero inoxidable AISI 304, para procesos en que el pH = 4 – 14.
2: Partes humedecidas hechas de acero inoxidable IASI 316, para procesos en que el pH = 2 – 4.
3: Partes humedecidas hechas de acero inoxidable AVESTA 254 SLX, para procesos altamente ácidos, con pH = 1 – 2.
4: Polipropileno.
5: Otros materiales de acero.

Clasificación del Filtro

De acuerdo a lo anterior, un Filtro Tipo Larox con la siguiente nomenclatura:

PF 144 A1 H 60

Esto indica que el Filtro Tipo Larox tiene las siguientes características:

• Tipo de filtro de presión **PF.**
• Área de filtración **144 m2.**
• Clasificación según el proceso.
– **A**: Programa corto (4 etapas, sin lavado).
• Filtración, prensado, secado, descarga de torta.
• Clasificación según material de construcción.
– **1** = Acero Inoxidable AISI 304 (ph = 4 -14.)
• Profundidad de la cámara **60 mm.**

C.- Mineroducto, tubería que desplaza el concentrado, parte desde la Estación de Bombeo, ubicada en la planta concentradora hasta Puerto o lugar de despacho. Esta es una tubería de acero de alta resistencia con un recubrimiento interno de polietileno de alta densidad (HDPE) como protección contra la corrosión. En general, las velocidades en la tubería son lo suficientemente bajas como para que el desgaste del recubrimiento no sea importante, En las áreas más expuestas a condiciones que puedan provocar desgaste, para ello se tiene un recubrimiento de HDPE de mayor espesor

El diseño hidráulico de la tubería es tal que se requiere bombeo entre las estaciones, hasta el terminal; el transporte se realiza en forma gravitacional.

Figura 8

1.2. Parámetros operacionales asociados del proceso

Parámetros y variables asociados a las tareas de espesamiento

Las variables más relevantes que necesita controlar el operador son:

- Presión hidráulica de giro de las rastras.
- Amperaje del motor de la rastra (Torque eléctrico).
- Torque mecánico de la rastra.
- Altura de la rastra.
- Amperaje de la bomba de traspaso (descarga).
- Porcentaje de sólidos en la descarga, flujo de descarga.
- Nivel de salmuera o agua clara.

El particulado fino se descarta rápidamente, al revés que las partículas finas. Luego que el espesador ha estado en operación por un rato, los finos arrastrados serán impulsados hacia el centro por las rastras y se mezclarán con las partículas gruesas. Sin embargo, en la puesta en marcha inicial, no existen finos decantados y cualquier material grueso en la alimentación decanta rápidamente y puede tapar la descarga del espesador.

Este material grueso no fluye y es muy difícil de remover con las rastras y puede generar torques excesivamente altos en el período inicial, hasta que los finos tienen la oportunidad de decantar y mezclarse con material grueso.

La pulpa de alimentación debiera, en la partida, ser introducida a un espesador vacío y la descarga de las bombas recicladas de inmediato (recirculación de pulpa) al pozo de alimentación. La velocidad de bombeo debiera dejarse estable en la capacidad de diseño para evitar bloqueos en las líneas de descarga. Este procedimiento extraerá material grueso desde el equipo tan rápidamente como el decanta.

Al comienzo la descarga será diluido, si no es posible decantar esta descarga diluida o no se pudiera procesar, deberá recircularse hacia la alimentación del espesador. La bomba de descarga se mantendrá operando a su capacidad total de diseño.

- **Amperaje del motor de la rastra:** El amperaje del motor de la rastra, es una medida del grado de comprensión de la pulpa en el fondo del estanque. El torque es la fuerza generada por el motor de la rastra actuando sobre una carga de material. Es posible influir sobre este parámetro de operación (Torque eléctrico) utilizando el mecanismo de levante de la rastra, el sistema de recirculación de pulpa (permite concentrar el sólido de la descarga).

- **Torque mecánico de la rastra:** El torque mecánico se produce debido al aumento de la fuerza de la rastra sobre el material (Mediante las aspas), debido al arrastre de material hacia el cono de descarga.

  Este fenómeno se debe a la acumulación de material del espesador en un colector intermedio entre la pared del espesador y el cono de descarga.

- **Altura de la rastra:** Está definida por la condición del espesador y su carga, usualmente este parámetro se opera en casos de sobrecarga y/o embancamiento, y es un parámetro muy importante, ya que las rastras no deben subir hasta el límite (o altura máxima), lo cual indicaría que el espesador ha alcanzado su capacidad máxima de almacenamiento de carga; por otro lado si no se interrumpe la alimentación, este irremediablemente se embancará.

- **Amperaje de la bomba de traspaso**: El amperaje consumido por las bombas de traspaso (descarga de concentrado del espesador) es el parámetro que permite visualizar si su funcionamiento es adecuado.

- **Porcentaje de sólido en la descarga**: El control de la densidad y el porcentaje de sólidos se efectúa tomando muestras de pulpa por intermedio de la balanza MARCY. Los valores de operación varían entre:
  - Pulpa de alimentación fluctúa entre: 15 - 25 %
  - Pulpa de descarga fluctúa entre: 40 - 60 %
  - **Nivel de agua clara:** La observación del rebose de salmuera o agua y la medición de la altura de la columna de líquido claro permitirá al operador tomar las medidas correspondientes respecto a la adición de floculante. El nivel normal en la cual se opera el nivel de líquido claro es de 50 cm.

- **Presión hidráulica:** Es la presión que ejerce la pulpa a las rastras, la cual no debe exceder de 5 Mpa, de lo contrario las rastras suben en forma automática.

Parámetros y variables asociados a las tareas de Filtrado.

Esta sección será abordada por medio de la descripción general de la operación del equipo de filtración Tipo Larox.

OPERACIÓN DEL FILTRO TIPO LAROX

Etapas principales del proceso

Las principales etapas en el proceso de filtración a presión son:

a) Filtración.
b) Prensado de torta.
c) Secado de torta.
d) Descarga de torta.

Filtración a presión en un Filtro Tipo Larox

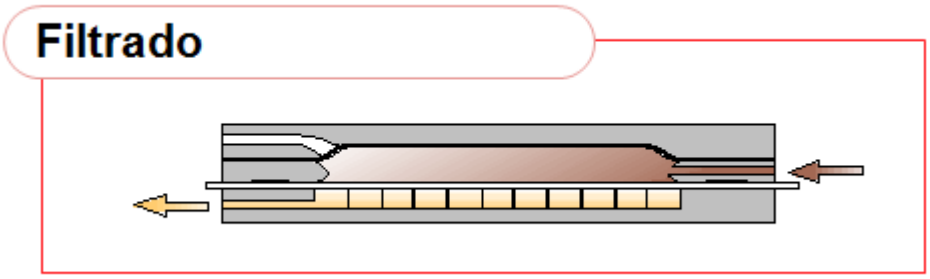


Figura 9

: Etapa de filtrado

Una vez cerrado el paquete de placas filtrantes, la pulpa se bombea hacia el filtro, alimentándola simultáneamente a cada una de las cámaras a través de las mangueras de pulpa. El filtrado fluye a través de la tela y penetra a la cámara de filtrado. La cámara de filtrado se vacía a través de las mangueras de filtrado, en el tubo de filtrado.

Prensado I

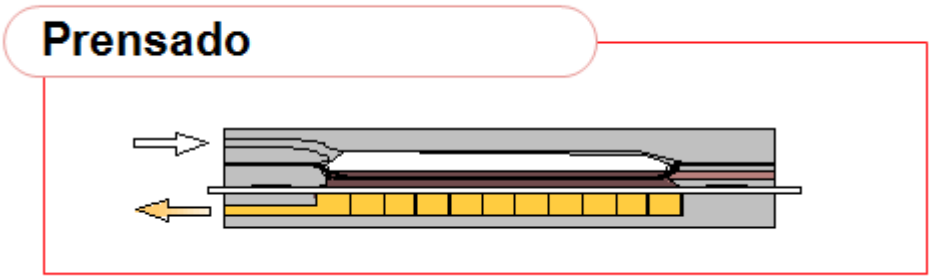


Figura 10

Etapa de prensado

El agua presurizada se bombea al diafragma a través de las mangueras de agua presurizada. El diafragma comprime la torta contra la superficie de la tela y al mismo tiempo, obliga al líquido a pasar a través de ésta.

Lavado de torta (optativo)

El líquido de lavado se bombea hacia las cámaras del filtro del mismo modo que la lechada. A medida que el líquido llena las cámaras, se levanta el diafragma, forzando la salida de agua presente en la parte superior del mismo. El líquido de lavado fluye hacia los tubos de filtrado, luego de pasar a través de la torta y de la tela.

Prensado II (optativo)

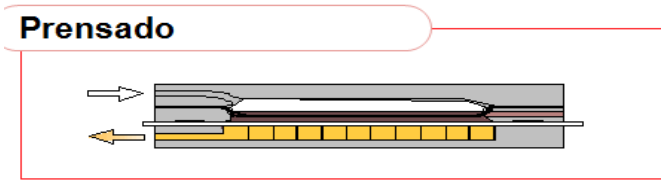


Figura 11

Etapa de prensado I

El líquido de lavado que queda en las cámaras luego de la etapa de lavado, se extrae a presión de la torta, en la misma forma ya descrita para la etapa N°11.1 (prensado I).

Secado por aire

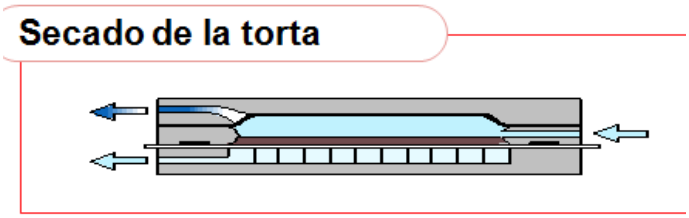


Figura 12

Secado de la torta

El secado final de la torta se hace mediante aire comprimido. El aire que penetra a través de los tubos de pulpa, llena las cámaras del filtro y hace subir el diafragma. El flujo de aire a través de la torta reduce su contenido de humedad hasta el nivel óptimo y al mismo tiempo vacía las cámaras del filtro.

Descarga de la torta

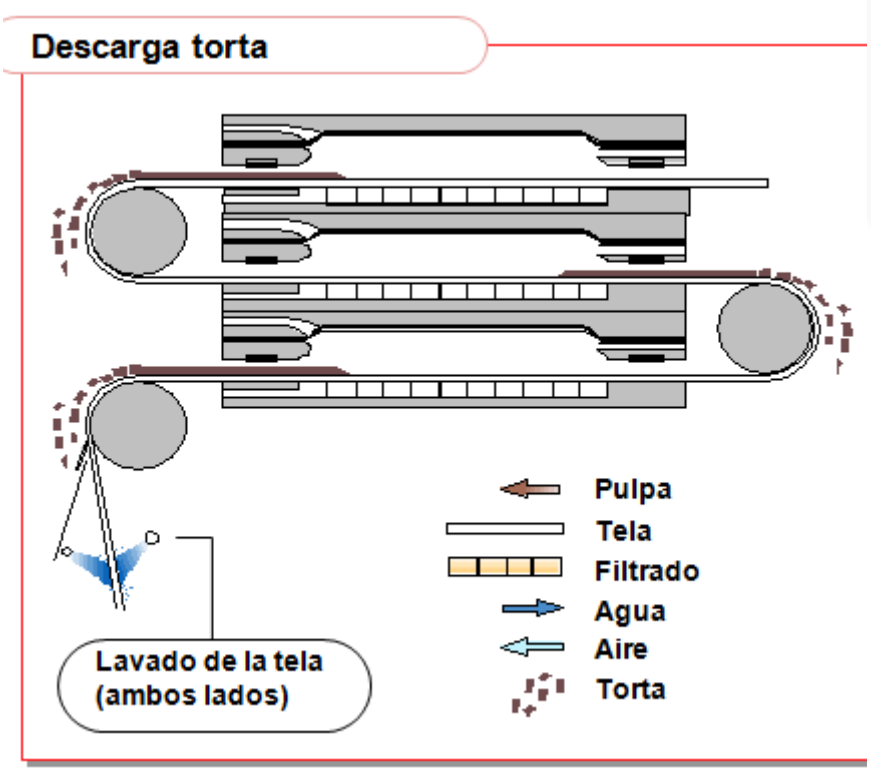


Figura 13

Descarga de la torta

Una vez finalizada la etapa de secado por aire, se abre el paquete de placas y arranca el mecanismo de desplazamiento de la tela. La torta del filtro que se encuentra sobre la tela, se descarga hacia ambos extremos del filtro.

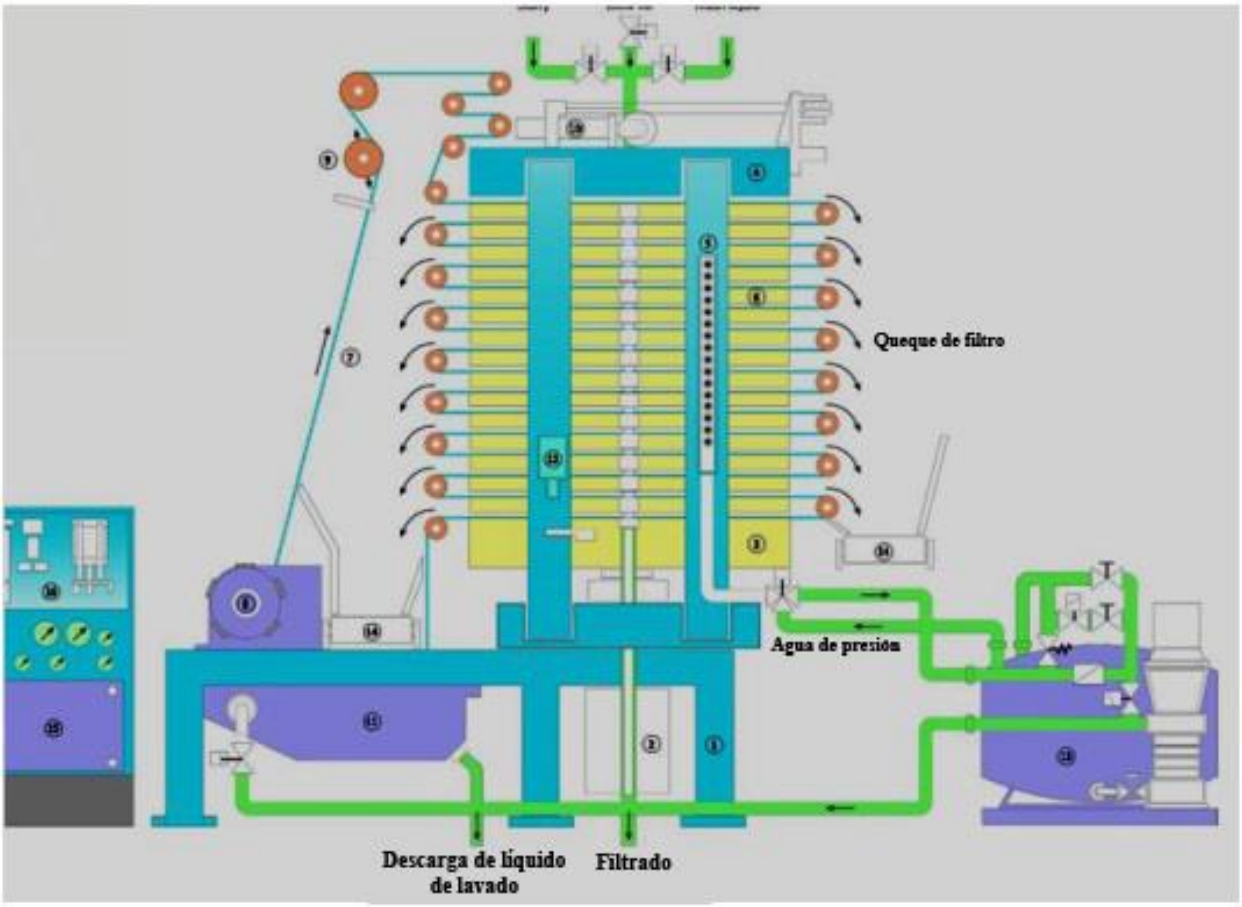


Figura 14

Descarga torta por ambos costados

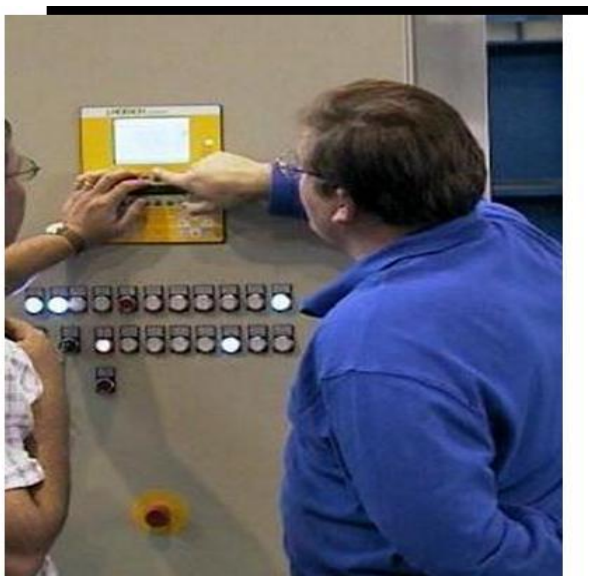


Figura 15

Panel de control proceso filtración y equipos

Ciclo de filtración con lavado de torta

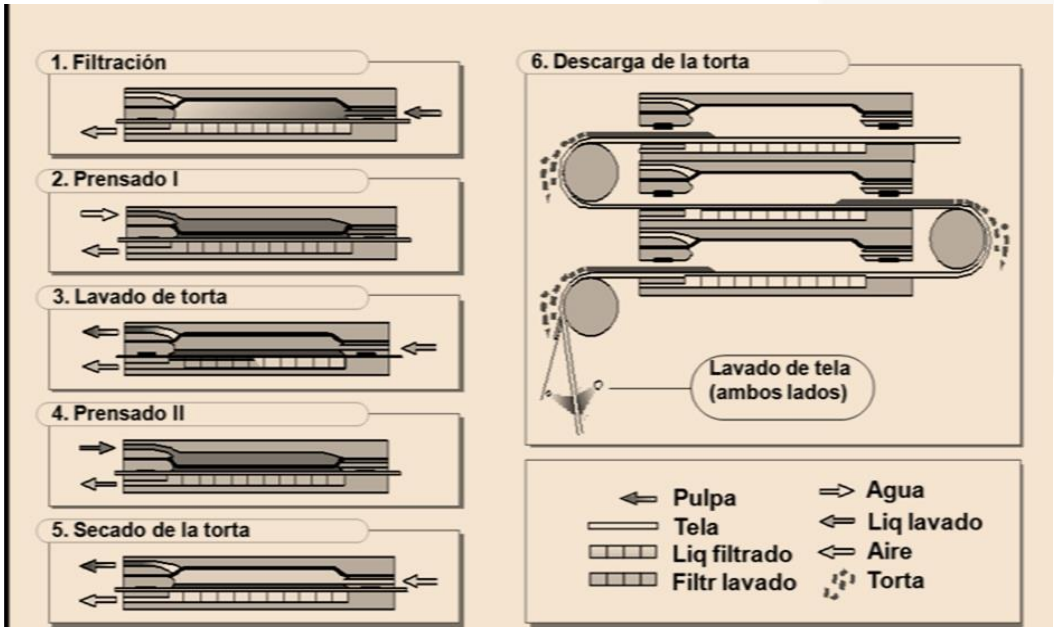


Figura 16

Ciclo de filtración con lavado de torta

Ciclo de filtración sin lavado de torta

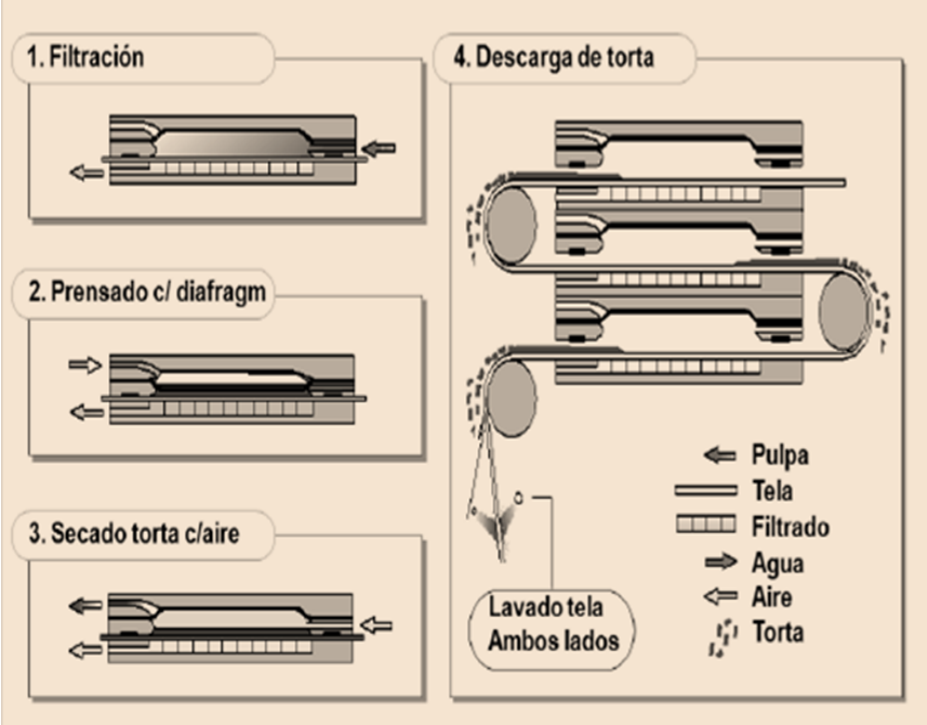


Figura 17

Ciclo de filtración sin lavado de torta

Operación filtro tipo Larox

Variables que afectan desarrollo Filtro Tipo Larox

Variables de operación:

Variables que están relacionadas con el equipo y éstas son:

- Alimentación.
- Prensado.
- Soplado.

Variables de proceso:

Variables que están relacionadas con las características de la pulpa a filtrar.

- Granulometría del concentrado.
- % sólidos de la pulpa.
- PH pulpa.
- Temperatura de la pulpa.
- Contenido de reactivos en la pulpa.

Control de las variables de operación

Dependiendo de las condiciones de operación estas son las únicas que pueden ser modificadas, para satisfacer los requerimientos de tonelaje y humedad.

- La ***etapa de alimentación*** se debe programar de tal modo de maximizar la alimentación al filtro.

- La ***humedad de la torta*** debe ser controlada modificando tiempos de ***prensado*** y secado únicamente.

Curvas de filtración

Las curvas de filtración permiten mostrar cómo está funcionando el filtrado en las diferentes etapas del programa empleado.

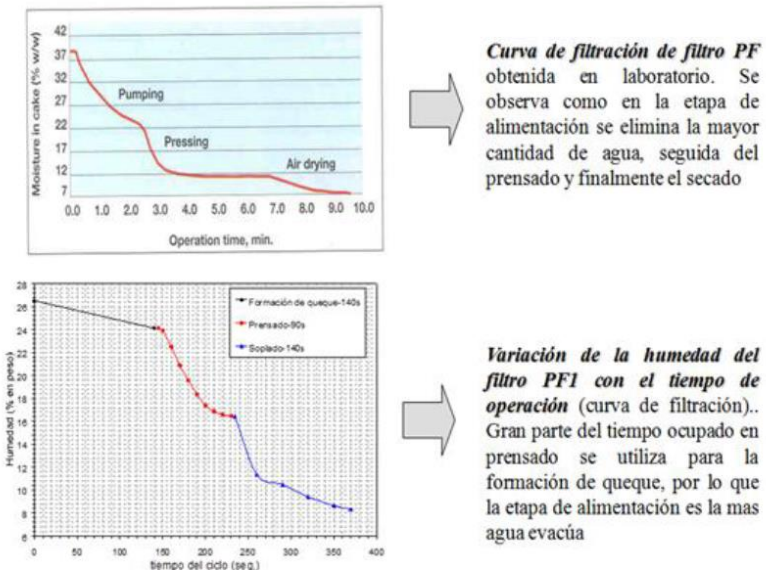
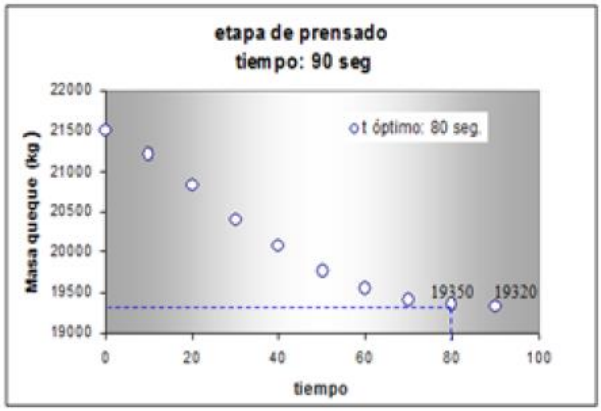


Figura 18

Control de la humedad

Se fija un tiempo de prensado y soplado y se determina la humedad. Si esta es alta, se mantiene fijo el tiempo de soplado y se aumenta gradualmente el prensado (para cada incremento se determina la humedad). Si no se observa disminución significativa en el peso del filtro, con el aumento del prensado, se debe volver al valor original y se comienza a realizar lo mismo pero con el tiempo de soplado.

- Observar la pantalla Larox (PROCESS) y ver como en la etapa de prensado se pierde agua durante los últimos 30 seg. de esta etapa. Si al faltar, por ejemplo, 20 seg. para que finalice el prensado y no se observa disminución de peso del filtro, significa que el tiempo fijado es excesivo y deberá acortarse



- Del mismo modo se procederá con la etapa de soplado.

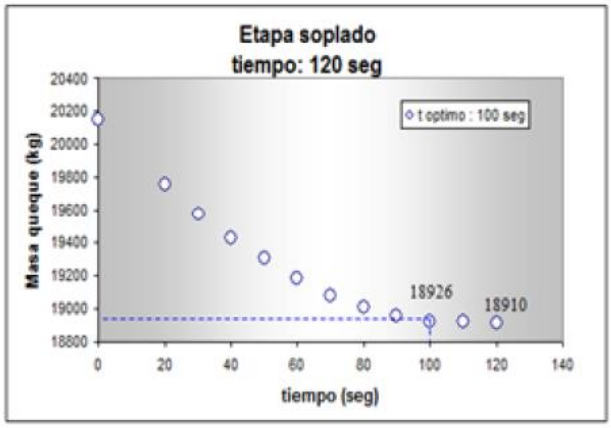


Figura 19

1.3. Tareas de Transporte de Concentrado

Rangos de operación del mineroducto

La reología de la pulpa de concentrado a transportar, está relacionado con la resistencia del fluido a deformarse continuamente ante solicitaciones externas a él y se representa por el respectivo diagrama reológico, el cual entrega la información de viscosidad del fluido y su tensión de corte crítica (que representa el mínimo valor de energía para que inicie su movimiento). La viscosidad de la pulpa de concentrado en el mineroducto debe ser menor a 15,0 cp y la tensión de corte crítica debe tener valores menores a 40dinas/cm2 en condiciones normales de operación. Esto con el fin de asegurar que después de una detención con concentrado sea seguro el reinicio del movimiento de la pulpa en la tubería.

Definición de Reología

La Reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia o, más precisamente, de los fluidos. La palabra reología proviene de un término griego que significa fluir.

A pesar de que la Reología pudiera cubrir todo lo que tiene que ver con los comportamientos de flujo en aeronáutica, mecánica de fluidos e inclusive la mecánica de sólidos, el objetivo de la Reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas.

Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicado, el reólogo puede en muchos casos desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que permite obtener, en principio, las funciones materiales o propiedades que caracterizan el material.

Las funciones materiales y relaciones constitutivas tienen varios usos en la práctica, dependiendo del objetivo del estudio de cada tipo de material. En tal sentido pueden distinguirse dos objetivos principales:

1. Predecir el comportamiento macroscópico del fluido bajo condiciones de proceso para lo cual se hace uso de las relaciones constitutivas y de las funciones materiales.

2. Estudiar de manera indirecta la microestructura del fluido y evaluar el efecto de varios factores sobre dicha microestructura. Para esto se comparan las funciones materiales o propiedades reológicas.

Los fluidos que son del interés de la Reología presentan una gama de comportamientos que van desde el viscoso Newtoniano hasta el sólido elástico de Hooke. Dentro de esta categoría pueden conseguirse innumerables materiales tales como el yogurt, la mayonesa, la sangre, las pinturas, las grasas y muchos más.

Fluidos y sólidos

Como fluido se entiende toda porción de materia capaz de deformarse continuamente cuando es sujeta a una fuerza o deformación, a diferencia de los sólidos, los cuales o no se deforman o sólo se deforman hasta cierto punto. Son fluidos todos los líquidos, los gases y otros fluidos de composición más compleja tales como las emulsiones y suspensiones, las pastas y los polímeros fundidos, entre otros. El chicle, la masilla, la masa de pan pudieran también clasificarse como fluidos, aunque algunos pudieran argumentar que son sólidos deformables. En realidad, la clasificación de fluido o sólido deformable no es muy nítida en muchos casos; frecuentemente sólo puede hablarse del grado en que un fluido se acerca a uno u otro tipo de comportamiento.

En tal sentido, el comportamiento de los fluidos se puede acotar entre dos extremos, siendo el comportamiento viscoso Newtoniano un extremo y el comportamiento elástico de Hooke el otro extremo. Es justamente dentro de este intervalo de comportamiento que se encuentra el interés de la Reología. Más adelante se explican en qué consisten el comportamiento viscoso Newtoniano y el del sólido elástico. Antes se revisan los conceptos de esfuerzo y deformación.

Parámetros de operación del Mineroducto

El mineroducto está diseño para transportar concentrados en un cierto rango, los cuales son pueden ser:

1.- Distribución de Tamaño de Partículas

La siguiente tabla resume los rangos de distribución de tamaño de partículas para el mineroducto. La tabla presenta porcentaje acumulado pasante versus tamaño de partículas.

Tamaño	Acumulado Pasante
149 µm (malla 100)	99.7%
105 µm (malla 150)	97.9%
74 µm (malla 200)	91.8%
53 µm (malla 270)	80.9%
37 µm (malla 400)	67.6%

Indiquemos sí que básicamente, los valores reales granulométricos considerados en operación son lo indicado, malla +100 no debe ser mayor a 1% (máximo 1% retenido en la malla 100) y malla -325 entre 70 a 80% (entre 70 a 80% pasante malla 325).

Concentración

Las concentraciones de transporte de concentrado, adecuadas en concentración en peso de sólidos, son las siguientes:

- Concentración mínima para transporte: 62 % en peso.
- Concentración nominal para transporte: 63 % en peso.
- Concentración máxima para transporte: 65 % en peso.

El transporte de concentrado con concentraciones fuera de este rango podría ser posible, pero solamente después de haber sido revisado y aprobado por el ingeniero de procesos del Mineroducto.

pH:

• pH mínimo para transporte 10,0.

• pH máximo para transporte 11.5.

Temperatura:

Temperatura para transporte 20°C.

Gravedad Específica de Sólidos:

Gravedad Específica de los sólidos = 4.17

Rango Límite de Operación:

La selección de diámetros de la tubería, de bombas principales y de cantidad de anillos disipadores tiene como resultado un sistema de transporte con una capacidad que entrega alguna flexibilidad a la operación para manejar las variaciones de tonelaje asociadas al Plan Minero.

Límites de Tonelaje:

El tonelaje máximo de diseño para el mineroducto equivale a 1.65 MTA considerando el transporte a una concentración de 65% de sólidos en peso y una disponibilidad anual de 98.5% para el mineroducto.

La siguiente tabla resume los tonelajes de diseño, definidos para una disponibilidad del mineroducto igual a 98.5%.

Condición de operación	Tonelaje (T/H)	CP(%)
Nominal	163	62
Máximo	191	65
Mínimo	131	60

Para finalizar, nunca olvide seguir todas las normas de seguridad planteadas antes de realizar alguna operación en los equipos utilizados en el taller, laboratorio de procesos, o faena. Debe recordar que estamos siempre propensos a cualquier accidente del tipo leve o fatal por desconocimiento o por no seguir las normas y procedimientos.

Actividad N° 1

Procesos de Espesamiento y Filtración

Estrategias metodológicas para el instructor

Las estrategias son los procedimientos y/o recursos utilizados para promover el aprendizaje a través de las actividades:

Explicación demostrativa vía plataforma web.	
Explicación demostrativa en aula.	✓
Recurso audiovisual.	✓
Propuestas de situaciones problemáticas.	✓
Formulación de preguntas.	✓

Objetivos de aprendizaje

Reconocer los principales componentes de los procesos de espesamiento y filtración.

Descripción de la actividad

Los participantes guiados por el instructor responderán a una serie de preguntas que aparecen en los contenidos de la unidad. La idea es acercar al participante a las labores y variables asociadas a las tareas que necesita conocer y controlar en los procesos de espesamiento y filtración.

Materiales y recursos

Material didáctico (preguntas)

Desarrollo

El instructor deberá considerar los objetivos de aprendizaje para dar cumplimiento a lo esperado y deberá además decidir cómo abordará la actividad práctica de acuerdo a las instrucciones del kits de la maqueta (o planta piloto).

Como actividad complementaria, el instructor podrá utilizar los recursos audiovisuales y decidirá si los participantes trabajaran en grupos, pares o individualmente.

El instructor mencionará que se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. El concepto de sedimentación de partículas en suspensión es fundamental en la operación de espesaje, por cuanto es la base de este proceso. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. El participante deberá describir el fenómeno de acuerdo a las características de la pulpa:

Características de la pulpa	Descripción del fenómeno
Diluida (Clarificación)	Partículas sedimentando inicialmente independientes sin formación de interfase. La velocidad es función principal del tamaño de las partículas y de la concentración
Intermedia	Zona alta de partículas sedimentando independientemente. Zona baja de sedimentación colectiva. Zona de interfase sin forma clara.
Concentrada (espesaje)	Pulpa sedimenta con interfase clara. Idealmente la velocidad de sedimentación es función sólo de la concentración. En la práctica la velocidad aumenta con la formación de flóculos.
Comprensible (espesaje)	Sedimentación manual con interfase, posterior sedimentación obstruida de lados que depende del tiempo y profundidad de la zona obstruida.

2) el participante de acuerdo a los contenidos vistos en clase deberá nombrar las características principales de los equipos del proceso

Espesador	Estanque cilíndrico con un fondo inclinado y un mecanismo de rotación de las rastras que conducen los sólidos a la descarga central abierta.
Tanque del espesador:	. La función principal del tanque es proporcionar un tiempo de permanencia para producir una pulpa a la concentración deseada y un líquido claro en el overflow.
Rastrillo del espesador	Sirve para arrimar la carga asentada hacia el centro del tanque, justo sobre el cono de descarga, evitando de esta manera que se asiente demasiado, la pulpa facilitando la descarga asentada del espesador. Está formado por un conjunto de varillas de acero y la estructura va unida al eje principal. Su movimiento es lento y gira con el eje, siendo impulsado por un motor eléctrico a través de una catalina y un piñón.
El recibidor de carga del espesador	Tanque cilíndrico de poca altura, que sirve para disminuir la velocidad de entrada de la pulpa, dejarla caer suavemente sin producir agitación, está en la parte superior del eje.
Cono de descarga del espesador	Sirve para sacar la carga asentada hacia las bombas de salida de la pulpa, para ser enviada a los filtros o cochas en caso de tratarse de concentrados, y se encuentra en el centro del fondo del tanque del espesador.

Filtro	La filtración es un proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. Los equipos del área de filtrado, son parte fundamental del proceso productivo, por cuanto son los encargados de darles la última característica al producto final.
Filtros de presión	El filtro está constituido por placas filtrantes que se cierran para proceder al filtrado y se abren para descargar. Tiene accionamiento hidráulico. El filtro es accionado por una unidad hidráulica, opera a alta presión provista por el aire insuflado por un compresor
Mineroducto	Es una tubería que desplaza el concentrado, parte desde la Estación de Bombeo, ubicada en la planta concentradora hasta Puerto o lugar de despacho. Esta es una tubería de acero de alta resistencia con un recubrimiento interno de polietileno de alta densidad (HDPE) como protección contra la corrosión. En general, las velocidades en la tubería son lo suficientemente bajas como para que el desgaste del recubrimiento no sea importante, En las áreas más expuestas a condiciones que puedan provocar desgaste, para ello se tiene un recubrimiento de HDPE de mayor espesor

Cierre

El instructor destacará que los operadores necesitan conocer y manejar una serie de variables en todos los procesos mencionados. En relación a los parámetros y variables asociados a las tareas de espesamiento, necesita controlar:

- Presión hidráulica de giro de las rastras.
- Amperaje del motor de la rastra (Torque eléctrico)
- Torque mecánico de la rastra
- Altura de la rastra
- Amperaje de la bomba de traspaso (descarga)
- Porcentaje de sólidos en la descarga, flujo de descarga
- Nivel de salmuera o agua clara.

El instructor le recordará a los participantes que deben seguir todas las normas de seguridad requeridas antes de realizar alguna operación en los equipos utilizados en el taller, laboratorio de procesos, o faena. Debe recordar que estamos siempre propensos a cualquier accidente del tipo leve o fatal si no se siguen todas las normas de seguridad.

Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

AngloAmerican

ANTOFAGASTA MINERALS

BARRICK

bhpbilliton
resourcing the future

CODELCO
Orgullo de Todos

COLLAHUASI

FREEPORT-McMoRAN COPPER & GOLD

GLENCORE

KGHM
POLSKA MIEDŹ S.A.

LUMINA
COPPER CHILE

Teck

YAMANAGOLD