



Cuaderno del Instructor Operador Espesamiento – Filtrado y Transporte de Concentrado

Una iniciativa de:



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
Álvaro Catalán C., Consultor de Proyectos

Equipo Codelco División Chuquibambilla

Pedro Juan Molinet, Gerente Concentradora
Martón Bravo T., Ejecutivo RRHH Concentradora
Hugo Miranda P., Supervisor Desarrollo de Personas
Jorge Torres S., Ingeniero Jefe de Operaciones
Claudia Blaña D., Ingeniero Jefe MOFI
José Vargas R., Jefe de Turno MOFI
Osvaldo Campos M., Ingeniero Jefe Relave
José Guzmán C., Ingeniero Jefe Senior Mantenimiento Mecánico
Jorge Uribe M., Superintendente Mantenimiento Eléctrico

Equipo Centro de Entrenamiento Industrial y Minero (CEIM)

José Antonio Díaz A., Gerente General
Fernando Villalobos S., Gerente Desarrollo de Competencias
María Arias Z., Directora de Proyecto
Mario Catalán M., Instructor Especialista Proc. Sulfuros
René Cisternas M., Instructor Especialista Proc. Sulfuros
Alex Vergara C., Instructor Senior Mant. Mecánico
Manuel Macías V., Instructor Senior Mant. Mecánico
Jorge Méndez C., Instructor Senior Mant. Eléctrico
Martín Baltazar R., Instructor Senior Mant. Eléctrico
Marcelo González M., Ingeniero Espec. Proc. Concentrado
Julio Arancibia C., Ingeniero Especialista Mant. Eléctrico
Fernando López P., Especialista Mant. Mecánico
Rafaella Sarroca D., Asesor Metodológico
Sebastián Montivero D., Editor Procesamiento Sulfuros
Constanza Escobar G., Editor Mantenimiento Mecánico
Yeliza Garcés A., Editor Mantenimiento Eléctrico
Patricia Cepeda A., Editor Mantenimiento Eléctrico
Melania Ortiz R., Carolina Pastenes P., Coordinadoras Proyecto

Consejo Minero

Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.

Teléfono: (562) 2347 2200

www.ccm.cl

Este material ha sido elaborado por el Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, con la colaboración metodológica de Innovum Fundación Chile, para la División Chuquicamata de Codelco. Esta institución ha dispuesto este material para el desarrollo del capital humano de la industria minera, permitiendo su utilización y distribución por parte del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero.

El siguiente 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 sus contenidos para fines de formación, citando siempre el documento fuente, pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción, adaptación o distribución 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 SIN FINES COMERCIALES.
© 2017, Corporación Nacional del Cobre de Chile.

Índice

Descripción del documento	12
Módulo I: Aislación y Bloqueo	14
1. Aislación y Bloqueo.....	15
1.1 Procedimiento de bloqueo y aislación de equipos	15
1.2 Extractos decreto supremo 132.....	16
1.3 Principios básicos de seguridad	17
1.4 Definiciones.....	18
1.5 Consideraciones Importantes	23
1.6 Elementos de bloqueo de seguridad	24
1.7 Tipos de candados.....	26
1.8 Tipos de tarjetas.....	28
1.9 Dispositivos de Aislamiento	30
2. Procedimiento de Trabajo Seguro (PTS)	40
2.1 Objetivo.....	40
2.2 Propósitos	40
2.3 Alcance	41
2.4 Definiciones.....	41
2.5 Trabajos que requieren Permiso de Trabajo Seguro.	42
2.6 Personas autorizadas para extender Permisos de Trabajo Seguro	44

2.7 Trabajos que deban realizar empresas colaboradoras que requieren PTS	46
2.8 Instrucciones de Operación	46
2.9 Vigencia del permiso de trabajo seguro (PTS)	47
3. Prueba de Energías Potenciales y Residuales	47
3.1 Aislamiento y disipación de la energía peligrosa	47
3.2 Energía	48
3.3 Dispositivos para liberar las energías residuales (acumuladas).....	55
3.4 Pruebas de energía cero	57
4. Manejo de Sustancias y Residuos Peligrosos	64
4.1 Introducción	64
4.2 Identificación y clasificación de las sustancias peligrosas	65
4.3 Manejo básico en el almacenamiento de las sustancias peligrosas	71
4.4 Elementos de protección Personal	76
5. Aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones	76
5.1 Secuencia de aislamiento y bloqueo.....	76
5.2 Housekeeping del área.....	78
Módulo II: Técnicas de Muestreo	85
6. Técnicas de muestreo	85
6.1 Propósito del muestreo	85
6.2 Importancia del muestreo	86
6.3 Relación del muestreo con el control de calidad.....	87

6.4 Características del muestreo de pulpas	91
6.5 Características del muestreo de sólidos	96
7. Métodos de muestreo	102
7.1 Manual	102
7.2 Automático.....	105
8. Tipos de muestreo	106
8.1 Al azar.....	106
8.2 Sistemático.....	107
8.3 Automático en correas.....	107
8.4 Automático en pulpas	108
8.5 Estratificado	109
9. Preparación mecánica de muestras	109
9.1 Métodos reductores de muestras.....	109
10 Análisis granulométrico.....	119
10.1 Serie de tamices	119
10.2 Tabla de distribución granulométrica	121
Módulo III: Operación de Equipos de Conducción de Relaves, Depositación y Recuperación de Agua.....	125
11. Fundamentos de la conducción de relaves.	126
11.1 Introducción y antecedentes generales.....	126
11.2 Conceptos básicos y generalidades sobre los relaves	127
11.3 Opciones para la descarga de los relaves	129

11.4 Efectos de la razón sólido/agua (S:A).....	132
11.5 Permeabilidad e infiltración y densidad relativa	132
12 Depósitos de relaves	134
12.1 Tranque de relaves.....	135
12.2 Embalses de relaves.....	137
12.3 Depósitos de relaves espesados	138
12.4 Depósitos de relaves filtrados.....	140
12.5 Depósitos de relaves en pasta	141
12.6 Descripción de los componentes principales de un depósito de relaves	143
13 Transporte hidráulico de pulpas	147
13.1 Conceptos del transporte hidráulico de pulpas	148
Actividad N° 7.....	156
14 Reología.	161
14.1 Definición	161
14.2 Fluidos newtonianos.	162
14.3 Fluidos no newtonianos.....	163
14.4 Fluido Ideal.....	163
Actividad N° 8.....	164
15. Variables del proceso de transporte de relaves	166
15.1 Densidad de la pulpa de descarga del espesador	166
15.2 Dimensionamiento de cajón distribuidor de relaves.....	168

15.3 Sistema de bombeo de relave hacia el depósito	169
15.4 Estado de compactación del muro tranque de relaves	170
15.5 Depositación en el tranque.....	171
15.6 Crecimiento del espejo o ribera de agua	173
<i>Actividad N° 9</i>	174
16 Recuperación de agua desde el tranque de relaves.....	177
16.1 Métodos de recuperación.....	177
16.2 Determinación del balance hidráulico	179
17. Tipos de bombas de impulsión de pulpas	181
17.1 Introducción	181
17.2 Clasificación de bombas.....	182
17.3 Hidráulica de bombas	187
17.4 Componentes fijos de una bomba centrífuga.....	190
17.5 Componentes móviles de una bomba centrífuga.....	192
17.6 Sistema de transmisión	199
17.7 Procedimientos de puesta en marcha y detención de una bomba centrífuga.....	200
17.8 Fallas más comunes en la operación	201
Módulo IV: Operación del Proceso de Filtración	205
18 Operación del proceso de filtración	206
18.1 Introducción	206
18.2 Métodos de filtración.....	207

18.3 Elementos que interviene en la filtración.....	208
18.4 Clases de filtración	209
18.5 Factores que Influyen en la filtración	212
18.6 Medios filtrantes	212
<i>Actividad N° 10</i>	217
19 Funcionamiento de los diferentes tipos de filtros	221
19.1 Equipos para la filtración	221
19.2 Filtros a vacío	222
19.3 Equipos de filtración a presión	237
<i>Actividad N° 11</i>	249
20. Variables y parámetros de operación	253
20.1 Variables de entrada	253
20.2 Variables de salida	254
20.3 Variables de diseño	255
20.4 Variables de control	255
20.5 Parámetros.....	256
<i>Actividad N° 12</i>	258
Módulo V: Operación de Equipos de Transporte de Concentrado	263
21. Transporte de concentrados	264
21.1 Introducción.....	264
21.2 Antecedentes de aplicación industrial.....	267

21.3 Descripción general del proceso	269
21.4 Variables del sistema	270
21.5 Regímenes de flujo.....	271
22 Reología de pulpas.....	273
22.1 Pulpas Newtonianas.....	273
22.2 Pulpas no-Newtonianas	273
22.3 Golpe de ariete	274
22.4 Gradiente hidráulico y línea hidrostática.....	275
23 Mineroducto.....	278
23.1 Componentes de un mineroducto.....	279
23.2 Actividades relevantes en la operación del mineroducto	288
Actividad N° 13.....	289
Módulo VI: Operación de Espesadores de Concentrados	295
24. Espesadores de concentrados	296
24.1 Sedimentación	296
24.2 Tipos de sedimentación	297
24.3 Leyes de sedimentación.....	299
25. Clarificación	299
25.1 Coagulación.....	300
25.2 Floculación	301
25.3 Coloides.....	302

26 Floculantes	303
26.1 Tipos de floculantes	303
<i>Actividad N° 14.....</i>	<i>307</i>
27 Clarificadores y espesadores	311
27.1 Clarificadores primarios	311
27.2 Clarificadores circulares.....	312
27.3 Clarificadores de placas inclinadas o de lamelas.....	314
27.4 Clarificadores rectangulares	315
28 Espesadores.....	316
28.1 Definición	316
28.2 Componentes de un espesador	318
28.3 Clasificación de espesadores	323
28.4 Velocidad de sedimentación en los espesadores	337
28.5 Parámetros y variables en los espesadores	339
28.6 Problemas de operación en los espesadores.....	342
28.7 Verificaciones de rutina en la operación de un espesador.....	343
28.8 Procedimiento de observación del funcionamiento espesador	345
<i>Actividad N° 15.....</i>	<i>346</i>

Descripción del documento

El Cuaderno del instructor contiene la totalidad de los contenidos a utilizar por el instructor para el desarrollo del programa de formación de Operador Avanzado Espesamiento, Filtrado y Transporte de Concentrado.

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 indican 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 objetivos planteados para 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, favoreciendo también el aporte de los participantes, cuidando siempre de lograr los aprendizajes esperados de cada módulo.

Respecto de 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 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 correctas.

La nota de aprobación de las evaluaciones de los distintos módulos corresponderá a un 75% de aciertos.

Módulo I: Aislación y Bloqueo

1. Aislación y Bloqueo

1.1 Procedimiento de bloqueo y aislamiento de equipos

Requerimientos

La evolución de la Industria ha traído consigo grandes satisfacciones al Ser Humano que como tal ha sabido aprovechar esta forma de energía en múltiples utilidades. Estos grandes avances son fruto del esfuerzo y vida de muchas personas desde científicos, ingenieros, técnicos y hasta el usuario común y corriente que ha aprendido su mejor uso. La seguridad de una instalación eléctrica desde los criterios de diseño hasta su puesta en utilización es materia fundamental para evitar accidentes.

En ese trayecto desde el cual el ser humano vislumbró el poder de la electricidad con la presencia de un rayo desde su caverna, o aquel sabio griego Thales de Mileto quién la bautizó con el nombre con la cual la conocemos, o un curioso científico como Benjamín Franklin que con su cometa flotando en una tormenta, inventó el pararrayos que previno muchos accidentes en su época y dio inicio a esta nueva tecnología de protección contra las tormentas eléctricas, y así podríamos nombrar muchas personas que dieron su vida y cuya experiencia la utilizamos ahora en forma cotidiana, hasta sin darnos cuenta.

En ese trayecto para gozar de los beneficios de la electricidad aquellas personas que se preocuparon por investigar y tecnificar el uso de la electricidad asumieron muchos riesgos pues desconocían verdaderamente el peligro que envolvía y mediante la prueba y error sucedieron muchos accidentes. En forma paralela otras personas se preocuparon por prevenir los accidentes ocasionados por la electricidad es así que nace la inquietud de investigar este tema definiendo los fenómenos que producen el contacto accidentalidad con la corriente eléctrica y definir cómo prevenirlos, evitando accidentes, muchos de los cuales han causado la muerte en pocos segundos.

Definiremos y aplicaremos conceptos usados en bloqueo de equipos con energía y la importancia de la realización de estos, así también como los procedimientos asociados y en acuerdo al DS 132.

1.2 Extractos decreto supremo 132

Artículo 1

El presente reglamento tiene como objetivo establecer el marco regulatorio general al que deben someterse las faenas de la Industria Extractiva Minera Nacional para:

- a) Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ella.
- b) Proteger las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos.

Artículo 32

Será deber de la empresa minera, proporcionar en forma gratuita a sus trabajadores los Elementos de Protección Personal adecuados a la función que desempeñen, debidamente certificados por un organismo competente.

Las empresas mineras deberán efectuar estudios de las reales necesidades de elementos de protección personal para cada ocupación y puesto de trabajo, en relación a los riesgos efectivos a que estén expuestos los trabajadores. Además, deberán disponer de normas relativas a la adquisición, entrega, uso, mantención, reposición y motivación de tales elementos.

Las líneas de mando de las empresas deberán incorporar en sus programas la revisión periódica del estado de los elementos de protección personal y verificar su uso por parte de los trabajadores, quienes están obligados a cumplir las exigencias establecidas en el reglamento interno de la empresa, en lo concerniente al uso de dichos elementos.

Artículo 52

Previo a efectuar la mantención y reparación de maquinarias o equipos se deben colocar los dispositivos de bloqueos y advertencia, que serán retirados solo por el personal a cargo de la mantención o reparación, en el momento que ésta haya terminado.

Antes de que sean puestos nuevamente en servicio, deberán colocarse todas sus protecciones y dispositivos de seguridad y someterse a pruebas de funcionamiento que garanticen el perfecto cumplimiento de su función.

Artículo 407

Se establece como norma permanente y obligatoria el uso de sistemas de bloqueos y advertencia para la intervención de equipos y sistemas, lo que deberá estar regularizado por procedimientos internos.

Artículo 408

Ninguna persona podrá instalar, operar, ajustar, reparar o intervenir equipos e instalaciones, sin haber sido instruida y autorizada por la administración.

1.3 Principios básicos de seguridad

Todo trabajo de operación, mantención y/o reparación de los equipos e instalaciones eléctricas de la compañía, deberá realizarse de acuerdo a los procedimientos escritos, establecidos y aprobados. Para ello, y dentro de la planificación del trabajo, el supervisor de turno, deberá conocer el procedimiento correspondiente y difundirlo y comentarlo con el personal que realizará el trabajo

El sistema de bloqueo ha sido diseñado para asegurar que todos los trabajos de mantención puedan efectuarse bajo condiciones seguras.

El Procedimiento de Bloqueo asegura que cualquier parte móvil del equipo o maquinaria esté aislada de todas las fuentes posibles de energía, antes que comience el trabajo de mantención y/o reparación.

El procedimiento debe ser usado en forma obligatoria en toda la propiedad de La Minera, siendo éste ejecutado por personal de La Minera o por Contratista que deban intervenir o participen en la intervención de un equipo, instalación o circuito.

Con un procedimiento claro, se logra eficacia y eficiencia en el procedimiento de bloqueo.

El procedimiento comienza aislando los componentes móviles o maquinarias de todas las fuentes de energía por personal de experiencia, conocimientos en la materia y autorizados, quienes pondrán el bloqueo de departamento que corresponde. Entonces los trabajadores a cargo del trabajo podrán los bloqueos personales en el bloqueo de Departamento, y sólo podrán ser retirados por ellos mismos cuando su trabajo haya finalizado. Antes de intervenir un equipo, partes o maquinaria, cada área o departamento involucrado en este procedimiento deberá verificar la liberación de la energía residual existente tales como inercial, estática, gravitacional, etc.

1.4 Definiciones

Aislamiento: es la acción de dejar sin energía una instalación, dispositivo o equipo para evitar contacto directo y ser intervenido en forma segura. Esta debe hacerse efectiva en la(s) fuente(s) y/o aguas arriba del equipo o sistema a controlar asegurando su aislamiento energético total (eléctrica, mecánica, neumática, hidráulica, gravitacional, nuclear),

Bloqueo: es la acción de asegurar el aislamiento, con un dispositivo propio al equipo o anexo a éste, con el objetivo de que las energías de operación y/o residuales no puedan liberarse fuera del control del personal que efectúa la revisión, mantención y/o reparación del equipo o instalación.

El bloqueo, está compuesto por: candado, cadenas, cuñas, tenazas, tarjetas, u otros dispositivos auxiliares que ayuden a asegurar el aislamiento. Si alguno de estos elementos falta, el bloqueo no está correcto. Las tenazas se podrán usar para agregar bloqueos de seis personas por vez. Los candados deben ser personales y con llave única (sólo una llave para cada candado, todas

diferentes entre sí), la que debe tener cada trabajador. Se prohíbe el uso de candados con cerraduras de combinación y con llaves maestras. El bloqueo se considera terminado una vez que se ha comprobado su efectividad.

Las paradas de emergencia, como pullcords y otros no son puntos de bloqueo. En cada acción de bloqueo, se tiene que verificar existencia de energía cero.

Bloqueo específico: Bloquear más de una fuente de energía.

Canastillo: consiste en una caja metálica con una ventanilla de abertura con malla en la parte frontal y con aldaba que permite guardar las llaves de los candados usados para el bloqueo. En su interior llevará colgantes para a lo menos 10 llaves. En su parte superior se instalará una plancha para pegar la hoja que indica los puntos de bloqueos. Este canastillo se instalará en un lugar visible, de fácil acceso y fija en una posición lo más cercana al equipo, maquinaria o sistema al cual se le realizará el bloqueo y no deberá presentar dificultades para la aplicación de esta herramienta.

Energías de operación: Son cualquier fuente que origina la energía de accionamiento o que son parte del equipo, instalación o circuito. Utilizada para la operación normal del equipo y que se aíslan con el accionamiento de elementos de maniobra claramente definidos y señalizados. En esta clasificación están las energías eléctricas, mecánicas, hidráulicas, neumáticas, químicas, térmicas y radiantes, las cuales hay que identificar y controlar, efectivamente, durante el proceso de bloqueo.

Energías residuales: Son las energías potencialmente peligrosas que están presentes en el equipo y/o la zona de operación del equipo o instalación (aun después de haber transcurrido un tiempo significativo de haber controlado las energías de operación) y que pueden liberarse, sin control, durante los trabajos de reparación o mantención, produciendo daño a las personas que participan en estos trabajos.

Desenergización: Es la interrupción de flujo de los diferentes tipos de energía, y que para el caso de energía eléctrica, se refiere al flujo de corriente que se acciona abriendo manual o automáticamente un equipo en sala eléctrica por el mantenedor eléctrico autorizado.

Energización: Es la habilitación de flujo de los diferentes tipos de energía del equipo, instalación o circuito, para ser puesto en operación nuevamente, que efectúa el mantenedor autorizado una vez finalizado el trabajo, previo desbloqueo de todos los participantes de la actividad reparación, mantención, revisión, limpieza, etc.

Energía cero: Es la carencia total de fuentes de energía potencialmente peligrosas, incluyendo las energías residuales en un equipo, instalación o circuito.

Formulario de permiso de bloqueo: Es un formulario donde queda registrado todos datos correspondientes al bloqueo solicitado del equipo, instalación o circuitos a intervenir. Debe ser completado y firmado por todas las personas que intervienen.

Registro de bloqueo/desbloqueo: El registro de bloqueos y desbloqueos generalmente es un libro destinado para llevar el control de ambas operaciones realizados a los equipos, instalaciones o circuitos intervenidos.

Intervención: Es la acción de tomar contacto con todos o parte de los componentes de un equipo, instalación o circuito por el personal que va a intervenirlos, y que implique cualquier contacto con estos (mínimo o total).



Figura 1

Si el trabajo lo realizará personal de contratistas ejecutor, el responsable del trabajo solicitará el equipo, maquinaria o sistema a intervenir al encargado del área y coordinará con la empresa contratista, la realización del trabajo y la aplicación de este documento.

Determinado el equipo, maquinaria o sistema que va a ser detenido, el encargado del equipo o sistema, más el responsable del trabajo procederán a aislar cada una de las energías que intervengan en él, e instalarán sus bloqueos departamentales (para el caso de los candados departamentales, llave única significa una llave que abre un set de candados). En caso de aislamiento eléctrico, debe bloquear también el electricista, en los mismos puntos definidos.

Realizados los bloqueos del encargado del área/ equipo / maquinaria y del responsable del trabajo, éstos procederán a colocar sus llaves respectivas dentro de una caja especialmente habilitada para este fin, Caja de Llaves de Bloqueo, o **canastillo** procediendo los mismos a bloquear esta caja con bloqueos departamentales.



Figura 2 Canastillos de bloqueo múltiple

Posteriormente el ejecutor deberá verificar los puntos de bloqueo del equipo / sistema, con la cartilla de control de puntos del bloqueo, cuyo original será adosada en un tablero en el exterior del mismo canastillo de llaves a la vista de todo el personal.

Luego de cumplidos los pasos anteriores, todos los trabajadores que intervendrán en la mantención; reparación; calibración del equipo procederán a colocar sus bloqueos personales a partir del último bloqueo que esté colocado en la Caja de Llaves de Bloqueo.

Antes de iniciar el trabajo, se deberán examinar y liberar las energías (residuales y potenciales) de todos los mecanismos con posible energía almacenada, provenientes de fuentes de vapor, circuitos hidráulicos y neumáticos, resortes comprimidos, cargas suspendida, condensadores e inductancias, fuentes radiactivas, elementos y compuestos reactivos, y todo otro elemento que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabaja en el área.

La desenergización de un equipo y/o proceso (aislación) significa que todos los dispositivos de aislación de energía involucrados deberán ser ubicados y operados de tal manera que lo aislen de todas la(s) fuente(s) de energía.

Las personas involucradas en el trabajo se asegurarán que el aislamiento y/o bloqueo se haya realizado correctamente, comprobando su efectividad a través de la o las botoneras de terreno, verificar aguas abajo, líneas de despiche, en el caso del flujo, pruebas con instrumentación u otros. Para esto se llevara el equipo a intervenir a posición manual y se intentará una partida desde la botonera de terreno. En equipos que no sea posible comprobar el aislamiento a través de botoneras manuales, los ejecutores deberán hacer esta comprobación a través de la sala de control, para ratificar la efectividad del aislamiento.

Todo bloqueo personal deberá ser retirado de un equipo, inmediatamente que se haya terminado la tarea, excepto ante situaciones justificadas como colación, problema operacional que detenga la mantención por un cierto tiempo, falta de algún repuesto que retrase la reparación dentro del mismo turno, etc.

Una vez terminado el trabajo, el ejecutor y/o responsable del mismo, debe entregar el o los equipos y/o sistemas al dueño para que este último realice las pruebas de puesta en marcha y comprobar que el trabajo fue efectivo.

Para los casos especiales en que no pueda aplicarse los puntos definidos con anterioridad, por no existir un número adecuado de responsables, por la lejanía de los lugares de trabajo, por la cantidad numerosa de puntos de bloqueos, se deberá dejar explícitamente indicado en los instructivos específicos quienes podrán suplir estas responsabilidades.

1.5 Consideraciones Importantes

Conozca con claridad las responsabilidades de cada persona que tiene injerencia en el Procedimiento de bloqueo.

Se deberá comprobar ausencia de tensión en el lugar más cercano posible al elemento de desconexión.

Todo bloqueo personal deberá ser retirado de un equipo, inmediatamente que se haya terminado la tarea.

Los trabajadores involucrados, se asegurarán que el aislamiento y/o bloqueo se haya realizado correctamente, comprobando su efectividad en las botoneras de terreno.

El registro y entrega de los componentes del bloqueo son responsabilidad de cada Gerencia.

Todo el personal de La Minera y Contratistas debe aplicar el Procedimiento de Bloqueo.

Este procedimiento es general para la Organización, para casos más específicos se deberán elaborar Instructivos, los cuales tendrán como base conceptual este procedimiento.

1.6 Elementos de bloqueo de seguridad

1.6.1 Procedimiento de bloqueo

Un procedimiento de bloqueo se puede ver en la siguiente figura 3.

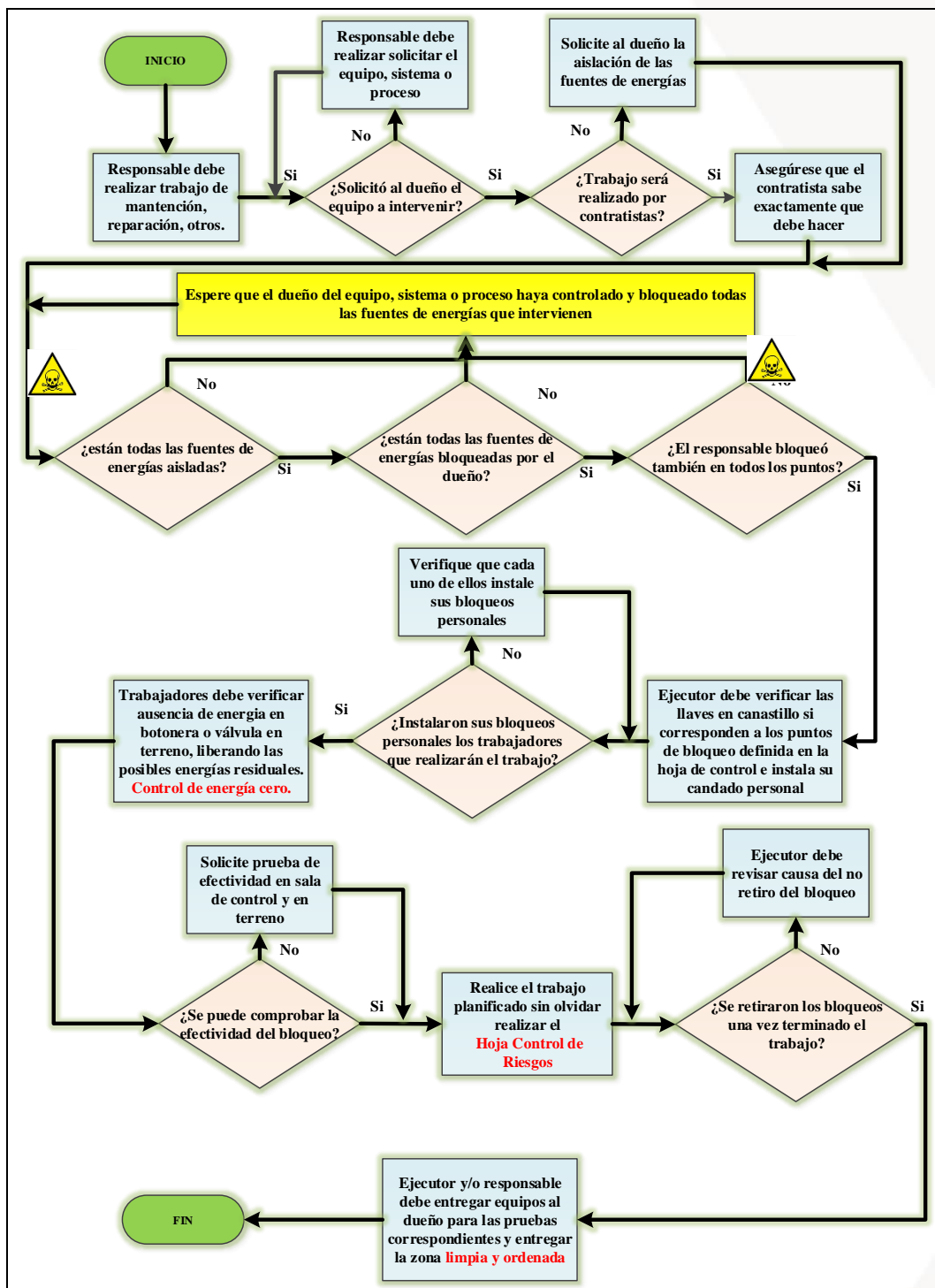


Figura 3 Procedimiento de bloqueo

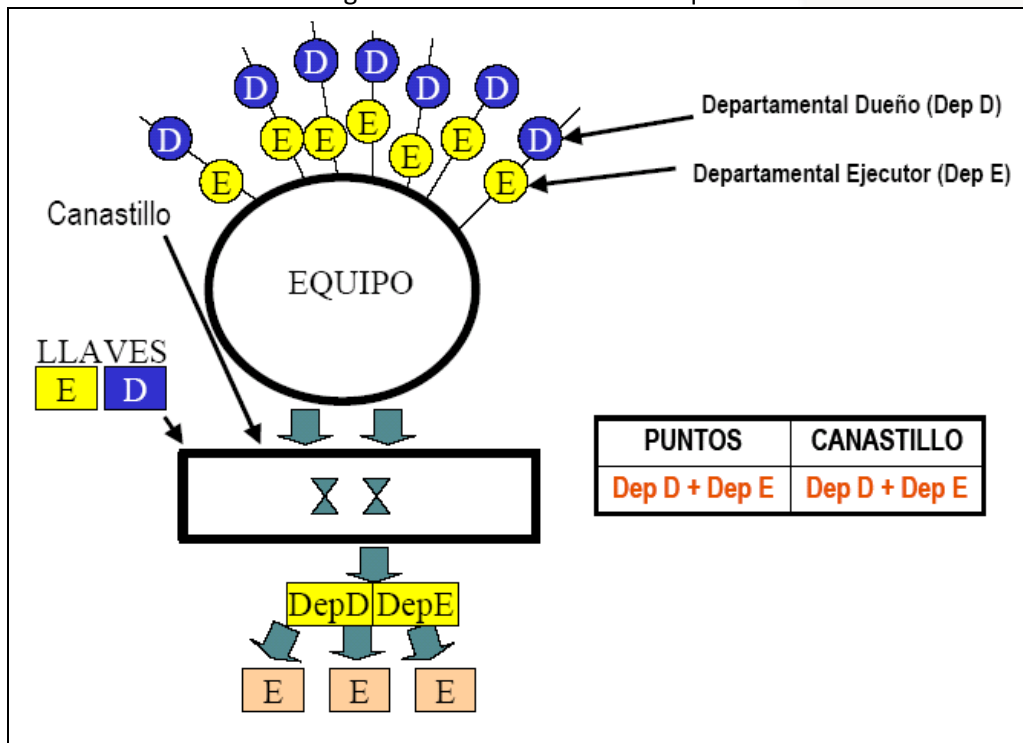


Figura 4 Uso del sistema de bloqueo en canastillo

1.7 Tipos de candados

1 Candados departamentales.

Los bloqueos departamentales se instalarán sólo en caso de mantenimiento y/o reparación que demande actividades más allá del turno, o bien en la aplicación de Procedimientos Específicos de Bloqueo. Es obligación de cada área mantener una lista actualizado de los candados Departamentales que posee.

Los candados de Departamento serán instalados por la persona que designe el Jefe de Área o equipo a intervenir según corresponda, excepto cuando la fuente de energía involucrada sea

radioactiva, en cuyo caso el personal deberá registrarse por el procedimiento de intervenciones de equipos radioactivos.

Este tipo de bloqueo puede ser retirado solamente por los departamentos involucrados en su instalación y poseen llave única en cada área o departamento. El candado departamental nunca debe ser usado en reemplazo del candado personal.

Aquellas áreas que no cuenten con Líder de Grupo o que estos sean insuficientes para efectuar dichos bloqueos, deberán tener nominadas a las personas que autorizan para bloquear en representación del Líder de Grupo, quienes deben estar capacitados previamente en este procedimiento y los de bloqueo específico en que participarán.

Color Candado	Área	
Amarillo	Departamental Mecánico	
Rojo	Departamental Eléctrico	
Azul	Departamental Operaciones	
Negro	Ejecutante	

Tabla 1 Colores característicos de candados departamentales

NOTA: Si existe alguna otra forma de energía tales como: hidráulica, gravitacional, neumática, etc. El personal que intervendrá, tomará todas las precauciones del caso para evitar movimientos o flujos inesperados.

El candado de Departamento existe con el fin de ser instalados, por ejemplo, por un eléctrico en su turno y ser retirado por otro electricista en otro turno. Lo anterior es igualmente válido para las demás especialidades.

2. Candados personales

Es el que utiliza cada persona para realizar sus bloqueos y su llave es única, personal e intransferible. Debe ser codificado y registrado.



Figura 5 Candado personal

1.8 Tipos de tarjetas

Las tarjetas son dispositivos que se usan con la tenaza y el candado, y que no permiten tomar ningún tipo de acción en los equipos, instalaciones o circuitos, para que no sean energizados. Existen distintos tipos de tarjetas:

1) Tarjeta departamental:

Para bloqueos se usa la tarjeta departamental del color del área respectiva, son de forma circular o triangular con fondo de diferentes colores, que identifica al área a que pertenece. Se usa junto al candado departamental. Esta tarjeta indica que nadie puede operar o ejecutar ningún tipo de trabajo.



Figura 6 Tarjetas departamentales

2) Tarjetas Personales:

Esta tarjeta es personal e intransferible e identifica a la persona que está ejecutando trabajos en el equipo bloqueado. De color blanco, debe llevar nombre, fotografía, Rut, cargo, especialidad, empresa e instrucciones básicas del procedimiento.

Las empresas contratistas, consultores y visitas que realicen trabajos por eventos podrán usar tarjetas en las cuales la información anterior pueda ser escrita con plumón indeleble. Esta tarjeta tiene un diseño estándar que se adjunta a este procedimiento y será parte del stock de bodega de la Compañía.



Figura 7 Tarjeta personal

3) Tarjetas especiales:

Para consultores, se utiliza tarjeta color amarilla, de forma rectangular. Por un lado indica “Visita” y por el otro “Área que corresponda”.

El candado personal y la tarjeta siempre deben ir juntos. El candado es enumerado.

Los bloqueos personales deben ser puestos en todos los puntos de aislación antes de que el trabajo comience, y sólo pueden ser retirados por la misma persona, cuando ésta ya no continúe su trabajo en el equipo, independiente que éste haya sido instalado directamente en un punto de aislación de energía o en un bloqueo departamental.

4) Tarjeta de fuera de servicio.

La tarjeta de fuera de servicio es puesta en el bloqueo de Departamento cuando se ha decidido no usar una pieza del equipo o porque el equipo puede causar algún tipo de daño, o por otra razón ya sea operacional o de mantención.

La tarjeta de fuera de servicio puede ser puesta sólo por personal de La Minera y debe contener el nombre de la persona y el Departamento.

NOTA: La tarjeta de fuera de servicio No está relacionada con el sistema de Bloqueo y el sistema de Bloqueo normal debe seguir siendo usado.



Figura 8 Tarjetas especiales

5) Tarjeta de disponibilidad para operar.

En equipos o unidades nuevas se instalará una tarjeta verde, firmada por el Proyecto y por personal de la empresa, para indicar que el equipo o unidad ha sido aceptado para uso en la empresa, y está disponible para su operación si se requiere.

NOTA: La tarjeta de disponibilidad para operar **no** está relacionada con el sistema de Bloqueo y el sistema de Bloqueo normal debe seguir siendo usado.

1.9 Dispositivos de Aislamiento

Un dispositivo de aislamiento es un aparato que previene o retiene el flujo de energía o movimiento del equipo.

Los dispositivos de aislamiento serán identificados permanentemente y etiquetados en forma única.

Los dispositivos de aislamiento mostrarán claramente su estado, por ejemplo: encendido/apagado (on/off), abierto/ cerrado (open / closed).

Cuando se vayan a instalar dispositivos de aislamiento nuevos o de reemplazo, deben ser directamente bloqueables por tenazas y candado.

Cuando los dispositivos de aislamiento no sean directamente bloqueables requerirán de un dispositivo externo de instalación temporal o definitiva de manera que puedan bloquearse.

Ningún bloqueo debe ponerse en un Punto de Aislación cuando el mecanismo de bloqueo falte, esté dañado o no sea totalmente funcional. En estos casos, los dispositivos de aislamiento debe repararse o la aislación debe llevarse a cabo en otro punto lo cual asegura que se haya logrado una aislación efectiva del equipo.

El dispositivo de aislamiento será bloqueable en una posición dónde sea posible, es decir en la posición de seguridad (aislamiento) para evitar la posibilidad de asegurar inadvertidamente el dispositivo de aislamiento en posición de no-aislamiento.

Si existen dispositivos de aislamiento hechos para bloquear una cierta aplicación, se debe comprar y estandarizar el tipo de dispositivos de aislamiento en toda la compañía.



Figura 9 Componentes de un bloqueo

NOTA: El orden jerárquico, la designación de colores de candados, el diseño de tarjetas, etc. pertenecen a cada empresa en particular, pero los conceptos de aislamiento y bloqueo son universales para cualquier trabajo donde se presenten riesgos y estos deban ser controlados. Cada empresa en su momento entregará lo propio respecto de este tema.

Excepciones al procedimiento de bloqueo

Ruptura del bloqueo personal

- Cuando el propietario del sistema de bloqueo no sea ubicado y es necesario conectar o energizar el equipo, máquina, válvula, interruptor, etc. se procederá de la siguiente manera para la ruptura del bloqueo.
- Previo a cualquier acción deberán agotarse todos los medios para ubicar al dueño del bloqueo, siguiendo este procedimiento sólo en caso de que se constate fehacientemente que dicha persona no puede retirar su sistema por encontrarse fuera del recinto, o imposibilitada por enfermedad o accidente.

- El jefe de turno del área afectada deberá ubicar personalmente al Gerente del Área, quien es el único autorizado para romper un bloqueo. En el caso que el gerente no se encuentre en faena, sólo podrá autorizar la ruptura del bloqueo el Superintendente de turno. Para esto se deberá firmar un registro de corte de candado.
- La Superintendencia involucrada entregará un informe escrito, detallando los pasos seguidos previos al rompimiento, el cual será revisado por el Gerente General de la Mina y para su control por el Departamento de Prevención, con la finalidad de tomar las acciones correctivas necesarias.
- Dependiendo de las circunstancias, se hará una revisión de la situación con el trabajador involucrado, aplicándose las sanciones disciplinarias que correspondan.

En el caso que un bloqueo no pueda ser retirado por quien lo instaló, debido a la pérdida de la llave y/o defecto de candado, o aviso del trabajador de que por olvido él se llevó la llave a su casa, este podrá ser roto de acuerdo al siguiente procedimiento.

- Quien haya instalado el bloqueo dará cuenta de la situación a su jefe directo, deberán llenar un formulario de reporte de incidente.
- Se deberá firmar el registro de corte de candado y ambos procederán a la ruptura del candado de bloqueo, quedando dicha situación registrada.

Procedimientos de aplicación de bloqueo

Alcance de procedimientos.

- El presente procedimiento deberá ser cumplido en todo los trabajos en equipos que realiza la empresa.
- Este procedimiento deberá ser aplicado por personal la empresa y por Contratistas

Propósito del procedimiento de bloqueo.

Asegurar que algún equipo esté siendo intervenido en forma aislado de todas las fuentes de energía, y de todos los flujos de materiales (sólidos, líquidos, gaseosos).

Responsabilidad para el procedimiento de bloqueo.

- El personal de la empresa responsable del trabajo en el equipo deberá asegurar que el equipo esté bloqueado, de acuerdo al procedimiento detallado más adelante. El personal de la empresa es responsable de sus contratistas.
- El eléctrico de la empresa es responsable por la correcta aislación que requiere el equipo de energía eléctrica.
- El trabajador involucrado es responsable de la aislación requerida por todas las otras fuentes de energía.
- Los Superintendentes de la empresa son responsables por asegurar que todo el personal está capacitado en el correcto procedimiento de la colocación del bloqueo en cada pieza del equipo que lo necesite.

Pasos en el procedimiento de bloqueo

- Antes de inicio de los trabajos de bloqueo y colocación de la tenaza, candado y tarjeta de seguridad, se deberá elaborar el HCR o el documento establecido por cada empresa en particular y se solicitará al jefe del área respectivo el permiso para operar los equipos, llenando el correspondiente permiso para intervenir el o los equipos.
- El personal de la empresa interventora es responsable de obtener el permiso del jefe del área donde se desarrollará la actividad, para bloquear el equipo involucrado.
 - a) Cuando el trabajo va a ser realizado por personal de la empresa, ellos mismos deberán solicitar el permiso para llevar a cabo el trabajo.

- b) Cuando el trabajo vaya a ser realizada por personal contratista, el líder de la empresa a cargo del trabajo solicitará el bloqueo del equipo. Un contratista autorizado puede solicitar bloqueo.
- El eléctrico aislará el equipo con un bloqueador eléctrico (el cual puede ser retirado por otro electricista en turnos diferentes si es necesario).
 - Todo interruptor de circuitos, válvulas o mecanismos de aislamiento de energía debe colocarse en la posición que indique que está desconectado cuando se va a realizar un trabajo de corte, reparación o similar.
 - El operador aísla el equipo con el sistema de bloqueo correspondiente a operaciones.
 - Un candado ya sea departamental o personal junto con la tarjeta correspondiente debe ser colocado de tal forma que el equipo no pueda ser conectado o energizado.
 - Un candado y una tarjeta de seguridad serán instalados en los equipos por cada trabajador que realice trabajos en ese equipo. Dispositivos de bloqueos múltiples deberán utilizarse en donde más de una persona esté trabajando en el sistema.
 - Los trabajadores involucrados en las reparaciones o mantenciones deben revisar que el bloqueo esté puesto correctamente, y comprobando que no es posible poner el equipo en marcha a través de su botonera en terreno.

NOTA: Toda solicitud o retiro de bloqueo, obligatoriamente quedará registrado en un libro especialmente destinado para este fin.

- Los bloqueos personales, bloqueos de los Departamentos, son retirados cuando el trabajo ha sido terminado.

Los bloqueos personales **No** pueden ser retirados por ninguna persona excepto por el **trabajador involucrado**.

Si esto es absolutamente necesario, existe un procedimiento especial a seguir con la autorización del Gerente.

- El operador de la sala de control o despacho, previa revisión, anotará en su bitácora que el equipo está disponible y coordinará su energización o puesta en marcha.

Actividad N° 1

Introducción a la actividad.

La siguiente actividad consiste en identificar e indicar para que sirven los diferentes dispositivos utilizados en el proceso de aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones, antes de ser intervenidos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Definir el proceso para la eliminación de energías residuales y potenciales además de flujos en trabajos de mantenimiento siguiendo procedimiento.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 2

Materiales y Recursos

Notebook
Data
Candados de seguridad
Elementos de bloqueo de válvulas
Tenazas
Tarjetas de bloqueo
Canastillo
Actividad impresa

Desarrollo de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán reconocer los dispositivos utilizados para bloqueo en la industria minera.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda identificar los diferentes dispositivos, su uso y la protección que brindan frente a riesgos laborales propios de la industria minera.

Los participantes deberán llenar la tabla siguiente contestando detalladamente, de forma escrita las preguntas.

Dispositivo	¿Qué es?	¿Para qué sirve?
		
		
		
		



			
---	---	--	--

Tabla 3

Cierre

Los participantes deben comprender la importancia de controlar las fuentes de energía que tengan relación directa o indirecta con el equipo a intervenir, que puedan lesionar a las personas, dañar algún equipo o las instalaciones de un proceso.

Esto se realiza mediante el correcto uso de dispositivos de bloqueo en base a candados personales o departamentales y sus correspondientes tarjetas de advertencia de bloqueo, garantizando con esto la ausencia total de cualquier tipo de energía.

2. Procedimiento de Trabajo Seguro (PTS)

2.1 Objetivo

Un procedimiento de trabajo seguro es una norma que establece la obligatoriedad de contar con este permiso, certificado y otorgado por el jefe de turno de un área, sección o departamento, mediante el cual se autoriza la ejecución de actividades o trabajos en áreas clasificadas como restringidas o potencialmente peligrosas y, por lo tanto, sólo podrán ejecutarse si se cumplen todos los requerimientos y medidas de seguridad, salud ocupacional, de prevención y control de riesgos ambientales, establecidas en las normativas y en los procedimientos de trabajo seguro establecidos en las áreas.

2.2 Propósitos

Los propósitos del procedimiento de trabajo seguro son:

- a. Asegurar que todas las personas que ejecuten un trabajo o actividad en una área restringida o potencialmente peligrosa, han sido informadas e instruidas en forma oportuna y convenientemente sobre los riesgos operacionales asociados a la actividad, y de las medidas de seguridad, prevención y control de riesgos y ambientales adecuadas que se deben adoptar frente a los riesgos.

- b. Definir la naturaleza y duración del trabajo a ejecutar.
- c. Asegurar que los procedimientos de trabajo seguro aplicables son comprendidos y conocidos por todo el personal involucrado en la actividad en una área restringida o potencialmente peligrosa.
- d. Proveer un archivo documentado de trabajos clasificados como potencialmente peligrosos, que requieren la otorgación del Permiso de Trabajo Seguro.
- e. Asegurar, mediante una evaluación y planificación de seguridad previa, que las actividades se ejecutarán en condiciones de riesgos operacionales bajo control.

2.3 Alcance

Esta norma se aplica tanto al personal de la empresa, los contratistas y subcontratistas de empresas colaboradoras que deban ejecutar trabajos o actividades en áreas de una empresa, clasificadas como restringidas o potencialmente peligrosas y que requieren de un Permiso de Trabajo Seguro para realizarlas.

Esta norma es de aplicación obligatoria a través de los procedimientos de trabajo seguro de las actividades.

2.4 Definiciones

- **Permiso de Trabajo Seguro (PTS)**

Documento firmado y emitido por el jefe de turno, o quién lo reemplace de un área, sección o departamento, mediante el cual se autoriza la ejecución de un trabajo o actividad en áreas clasificadas como restringidas o actividades potencialmente peligrosas y, que por tanto, sólo podrán ejecutarse si cumplen con todos los requisitos y medidas de seguridad, prevención y control de riesgos y ambientales, aplicables a la actividad y bajo estricta supervisión y control.

El requerimiento se aplica tanto a personal propio de la empresa, como de las empresas colaboradoras.

- **Trabajos en caliente**

Se define como trabajo “en caliente”, cualquiera operación en la cual el calor generado es de suficiente intensidad y magnitud para causar la ignición de gases/vapores inflamables o combustibles y proyección de partículas calientes, con peligro de incendio, explosión u otros incidentes con lesiones y daños. Trabajos “en caliente” incluyen: soldaduras, oxicorte, esmerilado o trabajos de corte por abrasión, limpieza con chorro de arena, picar concreto y otras operaciones que generan o desprenden chispas, rebabas y escorias calientes.

- **Recintos o espacios confinados**

Cualquier ubicación o área con un determinado medio de escape o salida, el cual puede acumular contaminantes tóxicos o inflamables, o tener una atmósfera con deficiencia de oxígeno. Los recintos confinados incluyen ductos de ventilación, alcantarillados, túneles, cañerías y espacios abiertos que tengan más de 1,20 metros de profundidad, tales como: excavaciones, hoyos, tubos, contenedores, fosos de bombas, bóvedas, estanques y recipientes.

2.5 Trabajos que requieren Permiso de Trabajo Seguro.

- a) Trabajos en espacios confinados.- Todo trabajo que se ejecute en: interior de estanques y recipientes, tolvas, silos de almacenamiento, chancadores, chutes de traspaso o recintos similares, molinos, ductos de ventilación, pozos colectores y pozos, alcantarillados, túneles, cañerías y espacios abiertos que tengan más de 1,20 metros de profundidad, como: excavaciones profundas, hoyos, tubos, contenedores, fosos de bombas, bóvedas y otras áreas, espacios o sectores con un limitado medio de escape o salida y que exponen a riesgos de accidentes.
- b) Trabajos de intervención de instalaciones y equipos eléctricos por reparación y mantención, que requieren de intervención de equipos y sistemas con uso de sistemas de bloqueo y advertencia.

- c) Trabajos en circuitos de procesos con presión de gases o líquidos.- Todo trabajo que involucre intervención de líneas de tuberías y válvulas que contengan cualquier fluido presurizado peligroso (líquido, gas, vapor).
- d) Intervención de equipos, instalaciones o sistemas con gases o líquidos inflamables o combustibles. Todo trabajo que involucre riesgos de incendio o explosión.
- e) Trabajos con sustancias peligrosas (por ejemplo: limpieza química).
- f) Trabajos en caliente con peligro de incendio, explosión o incidentes con lesiones y daños. Todo trabajo de soldadura, oxicorte, esmerilado y otros en los que exista desprendimiento de chispas y/o escorias calientes y rebabas de trozos de material incandescente.
- g) Radiaciones.- Radiografía y gammagrafía industrial y operaciones con fuentes radiactivas.
- h) Excavaciones profundas (superiores a 1,50 metros).
- i) Trabajos de levante con grúa - izamientos críticos.
- j) Uso de explosivos.
- k) Trabajos específicos en altura, con alto riesgo potencial de accidentes por caídas.
- l) Movimiento o traslado de equipos y maquinaria pesada (casos especiales).
- m) Uso de canastillo con grúas para efectuar trabajos en altura.
- n) Faenas de limpieza específica en lugares de trabajo, equipos e instalaciones.
- o) Trabajos específicos de desarme o modificaciones de equipos e instalaciones y edificios.
- p) Otras actividades de trabajo que de acuerdo a los riesgos que presentan, requieren contar con un Permiso de Trabajo Seguro.

2.6 Personas autorizadas para extender Permisos de Trabajo Seguro

- a) Entrega del Permiso. Sólo el jefe de turno o quién lo reemplace está autorizado para emitir y otorgar Permisos de Trabajo Seguro a personal propio de la empresa y de colaboradores.
- b) Ejecución del trabajo. El supervisor encargado de la ejecución del trabajo, es responsable de aplicar y cumplir los Procedimientos de Trabajo Seguro para ejecutar la actividad.

Responsabilidades

- a) Del Jefe de área, sección, departamento donde se debe realizar la actividad (supervisor o jefe del área).
 - 1. El jefe de Área, Sección o Departamento, será la persona responsable de exigir y hacer cumplir esta norma, pudiendo delegar esta función en otro supervisor.
 - 2. El jefe de Área, Sección o Departamento, es responsable de identificar el o las áreas que son potencialmente peligrosas o restringidas de acuerdo a una evaluación de riesgos y que requieren, por lo tanto, de un Permiso de Trabajo Seguro.
 - 3. El jefe de Área, Sección o Departamento, debe mantener una lista actualizada de todos los trabajos que requieren un Permiso de Trabajo Seguro.
 - 4. Cada jefe de Área, Sección o Departamento, debe asegurarse que todas las áreas de mantención o reparación a su cargo, tengan una lista de los trabajos específicos que requieren de Permiso de Trabajo Seguro.

5. Cada jefe de Área, Sección o Departamento, debe disponer de una guía de procedimientos de trabajo seguro para todas las actividades que requieren Permiso de Trabajo Seguro.
- b) De la Gerencia de Gestión de Riesgos Profesionales.- Asesorar, difundir y controlar el cumplimiento de esta norma.
 - c) Del Asesor de Gestión de Riesgos del Área dónde se realizará la actividad
 1. Asesorar al jefe de Área, Sección o Departamento en materias de seguridad, salud ocupacional y prevención de riesgos.
 2. Velar por el cumplimiento de estas disposiciones normativas.
 3. Capacitar y registrar al personal involucrado en trabajos que requieren de Permiso de Trabajo Seguro, en todo lo referente a esta norma.
 4. Llevar al día los registros solicitados.
 - d) Del personal propio de la empresa y de empresas colaboradoras
 1. El personal debe cumplir los procedimientos de trabajo seguro específicos para ejecutar la actividad en un área restringida o potencialmente peligrosa.
 2. Recibir la instrucción y capacitación que requiere.
 - e) Del Supervisor Encargado de la Ejecución del Trabajo.- Es el responsable de solicitar la Autorización o Permiso de trabajo Seguro al Supervisor de Turno, de ejecutar el trabajo y cumplir el procedimiento de trabajo seguro.
 - f) Del Supervisor de Turno (Jefe de Turno o quién lo reemplace) de Área, Sección, etc., donde se debe realizar la actividad. Es la persona responsable de autorizar la ejecución del trabajo, mediante un Permiso de Trabajo Seguro.

Tiene la atribución de ordenar la detención de un trabajo, cuando las condiciones de riesgo no sean aceptables o éstas sufran cambios, de acuerdo al avance del trabajo.

El supervisor o jefe directo del área, tiene la atribución de detener el trabajo cuando las condiciones de riesgo no sean aceptables o éstas sufran cambios a medida del progreso del trabajo.

El supervisor de Turno saliente debe reconfirmar que las condiciones del trabajo planificado no han variado.

El supervisor de Turno entrante se debe asegurar que el Permiso de Trabajo Seguro vigente está de acuerdo con las condiciones que éste especifica.

El supervisor de Turno entrante se debe asegurar que sus trabajadores están informados y han sido instruidos sobre los riesgos inherentes al trabajo que deben continuar y de las medidas de prevención y control de riesgos que deben adoptarse.

El Permiso de Trabajo Seguro queda cancelado si el trabajo pierde continuidad o hay un cambio significativo de las condiciones que lo generaron.

2.7 Trabajos que deban realizar empresas colaboradoras que requieren PTS

- a. En caso de trabajos que deba ejecutar personal de empresas colaboradoras, que requieren de un Permiso de Trabajo Seguro, se deberán seguir las mismas directrices, y los responsables del área donde se realizará el trabajo deben hacer una evaluación de riesgos, respecto al trabajo a ejecutar.
- b. El Permiso de Trabajo Seguro debe ser solicitado por el supervisor encargado de ejecutar la actividad al Supervisor Jefe de Turno del área involucrada.
- c. El supervisor de contrato será responsable que esta norma sea incorporada a las exigencias o requerimientos del llamado a licitación o contratación y el administrador de Contrato de la aplicación operacional de los contratistas.

2.8 Instrucciones de Operación

La evaluación / planificación del trabajo seguro antes de ejecutar un trabajo que requiere de Permiso de Trabajo Seguro, es realizada por el área en la cual se efectúa el trabajo según registro en Anexo 1 - “Registro Autorización de Trabajo Seguro”.

El supervisor encargado de la ejecución del trabajo debe hacer una evaluación / planificación del trabajo seguro, con el propósito de evaluar las situaciones de riesgo y determinar las medidas adecuadas de control, instrucción e información de los riesgos para prevenir accidentes y enfermedades profesionales.

2.9 Vigencia del permiso de trabajo seguro (PTS)

La duración o vigencia del PTS, será especificada por escrito en el registro Permiso de Trabajo Seguro por el jefe de turno del área, sección, etc., sujeto a un máximo de ocho (8) horas, pero podrá extenderse a mayor tiempo si el trabajo es continuo o si hay cambios significativos de las condiciones que lo generaron debiendo, en todo caso, registrarse el nombre y firma de la supervisión responsable entrante y saliente de los respectivos turnos.

Para transferir un nuevo Permiso de Trabajo Seguro, se debe obtener la firma del supervisor de turno entrante, que es la persona que lo autoriza.

En todo trabajo de intervención de reparación o mantención que deba ejecutarse en una área clasificada como restringida o peligrosa, el supervisor encargado de la ejecución del trabajo debe hacer una evaluación y planificación de seguridad y llenar el registro “Permiso de Trabajo Seguro”, que debe ser autorizado por el jefe de turno. Este debe ser verificado en terreno por los responsables del área y por el supervisor encargado de la ejecución del trabajo, antes de iniciar las actividades.

3. Prueba de Energías Potenciales y Residuales

3.1 Aislamiento y disipación de la energía peligrosa

Este procedimiento consta de los seis pasos siguientes:

1. Desconexión y/o separación de la máquina o de las partes o secciones definidas, desde todos los alimentadores de potencia.
2. Verificación mediante instrumentos de la ausencia efectiva de energía, como Tester, probador de tensión, manómetro, contador Geiger, instrumentos en línea (transmisores de flujo, presión, temperatura) u otro mecanismo que compruebe que el equipo, sistema o área está libre de energías peligrosas.
3. Liberación y/o disipación de cualquier energía almacenada que pueda dar origen a un peligro en partes mecánicas que continúen moviéndose por inercia, por gravedad y/o descarga de condensadores y acumuladores, de fluidos presurizados (líquidos, gases y vapores), etc.
4. Instalación de elementos mecánicos como candados, cadenas, pasadores y frenos, que impidan que las energías aisladas puedan llegar nuevamente a accionar el equipo, maquinaria, instalación o sistema (esto se conoce como Bloqueo).
5. Verificación mediante el uso de un procedimiento para comprobar, que las medidas tomadas de acuerdo con el punto 1, 2, 3 y 4 antes descritas, han sido aplicadas.
6. Delimitación de la zona de trabajo, para restringir el acceso a esta zona, sólo al personal autorizado para ello.

3.2 Energía

Es la capacidad que tienen un equipo o mecanismo para realizar un trabajo. La energía no es un estado físico real, ni una "sustancia tangible" sino sólo un número escalar que se le asigna al estado del sistema físico.

La energía es una herramienta o abstracción matemática de una propiedad de los sistemas físicos. Por ejemplo, se puede decir que un sistema con energía cinética nula está en reposo.

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PROTOCOLO DE RIESGOS FATALES
ENERGÍA ALMACENADA O ACUMULADA RESIDUAL	<p>Todo tipo de fuente de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática y ionizante), almacenada o acumulada que puede permanecer en un equipo, maquinaria o sistema, una vez que ha sido aislado, apagado, desconectado, desactivado de su fuente principal, y que puede originar una condición potencial de daño, como por ejemplo la que se encuentre en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Partes mecánicas que continúen moviéndose por inercia (palancas, ejes, y otros). • Partes mecánicas que se pueden mover por gravedad, como carga suspendida. • Resortes con tensión o comprimidos. • Condensadores y/o acumuladores eléctricos. • Fluidos presurizados o sistemas de presión hidráulicos o neumáticos (gases, vapores y/o líquidos). • Electricidad estática en las superficies o en líneas en vacío. • Soluciones o productos químicos corrosivos o venenosos (por ejemplo Cal y todo tipo de ácidos). • Energía almacenada en sistemas de frenos. • Cualquier otra energía almacenada que puede dar origen a un peligro o condición potencial de daño. La energía acumulada también se clasifica como energía residual. 	AISLACIÓN DE ENERGÍA

ENERGÍA CALÓRICA	También llamada energía térmica, es la energía liberada en forma de calor	AISLACIÓN DE ENERGÍA,
ENERGÍA CERO	Condición que permite asegurar por personal calificado y autorizado, que están aisladas todas las energías principales y residuales, dentro de la zona de influencia de una máquina, equipo o instalación	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA CINÉTICA	Manifestación efectiva de movimiento de un equipo o componente del mismo. Se manifiesta con cualquier evidencia física de cambio de posición o giro de alguna de las partes componentes. Es aquella energía que posee un equipo debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar o desacelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA ELÉCTRICA	Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial (voltaje tensión) entre dos puntos, lo que al cerrar el circuito a través de un conductor, permite la aparición de una corriente eléctrica.	AISLACIÓN DE ENERGÍA SEGURIDAD ELÉCTRICA
ENERGÍA HIDRÁULICA	Se denomina energía hidráulica, energía hídrica o hidroenergía, a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las caídas o corriente del agua, saltos de agua o mareas. También se presenta en los fluidos como el aceite que son impulsados por bombas de circuitos cerrados de lubricación o enfriamiento.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA IONIZANTE	Se manifiesta por radiaciones que pueden ionizar la materia. Las radiaciones ionizantes pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales,	AISLACIÓN DE ENERGÍA

	tales como los generadores de Rayos X y los aceleradores de partículas. La radiación ionizante es cualquiera de los varios tipos de partículas y rayos emitidos por material radiactivo, equipos de alto voltaje, reacciones nucleares y las estrellas.	
ENERGÍA MECÁNICA	La energía es una propiedad que se relaciona con los cambios o procesos de transformación en la naturaleza. Sin energía ningún proceso físico, químico o biológico sería posible.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA NEUMÁTICA	Se relaciona con fuentes de aire y su energía interna para producir trabajo. Se refiere a que cuando comprimimos una cierta cantidad de aire, se comporta como un resorte y quiere volver a expandirse, y aprovechamos esta fuerza de expansión para mover cosas, es decir convertir la energía interna acumulada en trabajo, usando como medio de transmisión el aire.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA POTENCIAL	Es la energía que mide la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo en función exclusivamente de su posición, masa y/o configuración. Algunas de sus características más relevantes son que es relativa, es decir, se puede cambiar sin afectar al elemento que la produce, no es evidente su existencia, es decir necesita de un análisis para detectarla y se acumula, es decir se puede guardar para usarla cuando se requiera.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA RESIDUAL	Es cualquier forma de energía que permanece en un equipo o sistema posteriormente a la realización y aplicación de los procedimientos de aislación.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
ENERGÍA TÉRMICA	Es aquella energía liberada en forma de calor, es decir, pasa de un cuerpo más caliente a otro que presenta una temperatura menor.	AISLACIÓN DE ENERGÍA

	Puede ser transformada en energía mecánica	
FUENTE DE ENERGÍA PELIGROSA	<p>Cualquier fuente de energía presente en un equipo, maquinaria o sistema bajo intervención por razones de reparación o mantención, que tiene el potencial de peligro para causar lesiones a las personas y/o daño a los equipos y sistemas, debido a la puesta en marcha imprevista del equipo o maquinaria, o la liberación de energía almacenada de cualquier tipo: eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, química, térmica, presión de fluidos presurizados (líquidos, vapores y gases peligrosos) y ionizante. Las siguientes son formas de energías peligrosas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía Eléctrica de circuitos energizados, de cargas estáticas, baterías, condensadores, cables de alta tensión, transformadores fuera de servicio, líneas en vacío, entre otras. • Energía Mecánica (potencial y cinética) en las piezas móviles de los sistemas mecánicos en forma de palancas, contrapesos, engranajes, ejes, cuchillas, almacenada en recipientes a presión fluidos presurizados (líquidos, gases, vapores) en sistemas de tuberías o líneas de proceso, soluciones químicas, sistemas hidráulicos, neumáticos, resortes comprimidos en tensión, contrapesos, volantes, presión residual y gravedad. • Energía Térmica (temperatura alta o baja) proveniente de sistemas de vapor, calentadores o superficies calientes o sistemas criogénicos • Energía Ionizante, proveniente de 	AISLACIÓN DE ENERGÍA

	sistemas de pesajes o de medidas de flujos de carga en correas transportadoras o sistemas de pesaje dinámicos	
LIBERACIÓN DE ENERGÍA PELIGROSA	Proceso mediante el cual se realiza la liberación de las energías residuales, dejando al equipo o sistema libre de peligros provocados por la condición normal de operación.	AISLACIÓN DE ENERGÍA
PELIGRO	Condición latente, permanente o transitoria, que establece una zona con la presencia de una energía o condición que puede provocar un daño a las personas. Algunos ejemplo de peligros son: presencia de electricidad, presencia de vapor, presencia de presiones hidráulica o neumáticas, presencia de carga en suspensión, presencia de vehículos en movimiento, presencia de polvo en suspensión, presencia de ácidos corrosivos, presencia de Cal, por nombrar sólo algunos.	
PERSONAL AUTORIZADO	Personal calificado, que ha sido instruido (capacitado) y autorizado por escrito por la Administración o línea de mando o supervisión designada para instalar, operar, ajustar, reparar o intervenir equipos, maquinaria e instalaciones y para identificar, aislar, liberar, bloquear energía peligrosas, e instalar sistemas de bloqueos y advertencia.	
RIESGO	Interactuar con el PELIGRO. El riesgo se presenta cuando una personal entre en la zona de influencia del peligro, y debe trabajar en presencia de esta condición que no puede eliminar completamente.	
ZONA DE INFLUENCIA	Sector físico en el cual una energía presente puede manifestarse en un daño a las personas, equipos o proceso productivo.	

Tabla 4

Energías mecánicas (potencial y cinética)

Identificación de la Fuente	Método de Aislamiento	Método de Liberación	Método de Bloqueo
Resortes comprimidos.	Impedir el paso delimitando la zona de trabajo.	Liberar los elementos que contienen la energía potencial.	Colocar candado de bloqueo que impida el movimiento de los resortes o acceso a ellos.
Carga suspendida.	Impedir el paso delimitando la zona de trabajo.	Bajar la carga.	Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de los elementos de izaje.
Correas transportadoras con carga.	Impedir el paso delimitando la zona de trabajo.	Programar la operación para liberar la carga acumulada.	Instalar elementos mecánicos sobre la correa, que impidan el movimiento
Fuentes de aire comprimido.	Cerrar válvulas de ingreso de aire.	Abrir válvula de despiche de aire contenido y medir presión.	Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de las válvulas

Circuitos hidráulicos.	Cerrar válvulas de ingreso de aceite.	Abrir válvula de despiche de aceite contenido a presión y medir presión.	Colocar elementos mecánicos que impidan el movimiento de las válvulas de ingreso
Columnas de líquido o pulpa.	Cerrar válvula de acceso o instalar dardos retenedores.	Despiche del líquido o pulpa retenida.	Instalar candado de seguridad para impedir la apertura de válvulas o el retiro de dardos
Columna de material sólido (Stock Pile)	Instalación de dardos retenedores.	Retiro de la carga	Instalar elementos de bloqueo que impidan el retiro de los dardos.
Contrapesos de Correas Transportadoras	Impedir el paso delimitando la zona de trabajo.	Programar la operación para liberar la carga acumulada.	Instalar elementos mecánicos sobre la correa, que impidan el movimiento del equipo.
Líneas presurizadas	Cerrar válvula de acceso.	Despiche del Fluidos y medir.	Instalar candado de seguridad para impedir la apertura de válvulas.

Tabla 5

3.3 Dispositivos para liberar las energías residuales (acumuladas).

Los dispositivos para liberar las energías residuales, se deben incorporar a la máquina cuando esta energía pueda dar origen a un riesgo. Tales dispositivos incluyen frenos destinados a absorber la energía cinética de las partes móviles, sistemas de trabas mecánicas para impedir el movimiento de correas, resistencia para descargar condensadores eléctricos y válvulas o dispositivos similares para despresurizar los acumuladores de fluidos, entre otros.

Se deben proporcionar dispositivos en terreno, tales como manómetros o puntos de prueba, para verificar la ausencia de energías (aislamiento) en las partes de una máquina, en las cuales se debe intervenir. El manual de instrucciones de la máquina debe proporcionar una guía precisa acerca de los procedimientos de verificación seguros. Cuando los montajes se pueden sacar o desmontar, se deben fijar etiquetas permanentes que adviertan contra los peligros, debido a la energía almacenada o residual, por ejemplo, resortes comprimidos u otra condición de peligros potenciales.

Previo a efectuar la mantención y reparación de maquinarias o equipos, se debe:

- a. Identificar todas las fuentes de energía peligrosas del equipo o maquinaria.
- b. Desenergizar y/o desconectar el equipo o maquinaria. Verificar la aislación y desactivación de la electricidad (energía eléctrica) y de los respaldos de energía (generadores, UPS) o cualquier retorno del sistema.
- c. Se debe controlar todas las fuentes de energías peligrosas, mediante el uso de dispositivos de bloqueos y dispositivos para liberar o restringir (contener) la energía potencial almacenada o residual en dichos equipos o sistemas.
- d. Detener el flujo de fluidos (gases o líquidos) en los sistemas hidráulicos o neumáticos.
- e. Detener el proceso productivo, que acciona la máquina, bloqueando válvulas y abriendo drenajes.
- f. Bloquear las piezas de la máquina para impedir su movimiento.

Para liberar, disipar o restringir (contener) la energía almacenada que pudiera originar situaciones o condiciones peligrosas se debe aplicar algunos de los siguientes dispositivos:

- g. Aplicación de frenos destinados a absorber la energía cinética o movimiento de las partes móviles. Estos deben ser realizado con elementos mecánicos con resortes o cualquier mecanismo que frente a la energización o desenergización no se liberen de esta condición.
- h. Resistencias y circuitos apropiados para la descarga de condensadores eléctricos.
- i. Válvulas o dispositivos similares para despresurizar los acumuladores de fluidos hidráulicos o depósitos de aire, que pueden retener suficiente energía peligrosa, aun cuando se haya desactivado, aislada o cerrada la energía del sistema y se haya bloqueado.
- j. Despichar los fluidos de recipientes a presión, estanques o acumuladores. Nunca despichar sustancias tóxicas inflamables o explosivas directamente a la atmósfera.

- k. Liberar o bloquear la energía de los resortes que se encuentran bajo compresión (elementos mecánicos).
- l. Descargar los condensadores a través de resistencias de descarga o cortocircuitos con elementos aislados. No olvidar probar ausencia de tensión alterna antes de descargar.
- m. Drenar las líneas hidráulicas y/o neumáticas.
- n. Reubicar en una posición baja (posición de descanso) cualquier elemento que sea capaz de acumular energía potencial.
- o. Disipar la energía cinética proveniente de la inercia al permitirle a los equipos e instalaciones que se detengan por completo, ya sea por el roce interno de sus partes componentes o por la aplicación de frenos directos sobre los elementos que están en movimiento, después de haber aislado la máquina o el equipo de sus fuentes de energía.
- p. Se deben asegurar mecánicamente mediante el uso de frenos o dispositivos de restricción mecánicos, cuando los elementos mecánicos no puedan ser llevados a un estado intrínsecamente seguro y puedan originar una situación de peligro.
- q. Se deben incorporar medios adicionales para restringir o contener en forma confiable la energía almacenada remanente, cuando la disipación de la energía almacenada pudiera reducir.

3.4 Pruebas de energía cero

Es la condición que permite asegurar por personal calificado y autorizado, que están aisladas todas las energías principales y residuales, dentro de la zona de influencia de una máquina, equipo o instalación.

Control de energía cero

Es importante recordar lo que control de energía cero significa:

Antes de iniciar el trabajo, se deberán examinar y liberar las energías (residuales y potenciales) de todos los mecanismos con posible energía almacenada, provenientes de fuentes de vapor, circuitos hidráulicos y neumáticos, resortes comprimidos, cargas suspendida, condensadores e inductancias, fuentes radiactivas, elementos y compuestos reactivos, y todo otro elemento que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabaja en el área.

La desenergización de un equipo y/o proceso (aislación) significa que todos los dispositivos de aislación de energía involucrados deberán ser ubicados y operados de tal manera que lo aíslen de todas las fuentes de energía.

Se deberá comprobar ausencia de tensión en el lugar más cercano posible al elemento de desconexión. Para ello, se deben utilizar equipos de prueba, certificados por algún organismo que de fe de su correcto funcionamiento.

Actividad N° 2

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en definir los diferentes tipos de energías que pueden ocasionar daños a las personas al entrar en contacto con ellos, en forma directa o indirecta en las actividades de mantenimiento, revisión, reparación, limpieza, etc.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los riesgos de las energías y sustancias peligrosas presentes, con la que pueda establecer contacto, directo o indirectamente.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 6

Materiales y Recursos

Notebook

Data

Actividad impresa

Desarrollo de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán definir los diferentes tipos de energía, los cuáles debe controlar antes de iniciar un trabajo específico.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda identificar los diferentes tipos de energía, los cuales tiene que controlar con los dispositivos de aislación y bloqueo. Además desarrollará un informe ejecutivo que les permita preparar una exposición de su trabajo.

El participante deberá llenar la tabla siguiente contestando detalladamente, de forma escrita, las preguntas.

Tipo de energía	Defina el tipo de energía
Energía Almacenada o Residual	
Energía Calórica	

Energía Cero	
Energía eléctrica	
Energía hidráulica	

Energía Ionizante	
Energía Mecánica	
Energía Térmica	
Fuente de	

Energía Peligrosa	
----------------------	--

Tabla 7

Cierre

Los participantes deben comprender la importancia de controlar las fuentes de energía que tengan relación directa o indirecta con el equipo a intervenir, que puedan lesionar a las personas, dañar algún equipo o las instalaciones de un proceso.

Esto se realiza mediante el correcto uso de dispositivos de bloqueo en base a candados personales o departamentales y sus correspondientes tarjetas de advertencia de bloqueo, garantizando con esto la ausencia total de cualquier tipo de energía.

4. Manejo de Sustancias y Residuos Peligrosos

4.1 Introducción

Las actividades que se requieren para controlar una emergencia con materiales peligrosos se basan en la identificación de los materiales o sustancias peligrosas involucradas. La facilidad y rapidez para hacerlo varía considerablemente a diferencia de que no se tenga ningún sistema de identificación.

En algunos casos, las placas (rótulos), etiquetas, papeles de embarque o envío y el conocimiento acerca de las sustancias almacenadas en la instalación o el informe de un testigo ocular, suponiendo que éste sea creíble, pueden hacer relativamente fácil el proceso de identificación. En otros casos, puede tomar una cantidad considerable de tiempo determinar la identidad de un material en un accidente o los productos de combustión presentan problemas especiales al determinar los peligros que puedan encontrarse.

Cuando no se conoce cuáles son los materiales involucrados, se debe suponer que existe una situación grave y se deben tomar las medidas de seguridad y precauciones máximas para prevenir cualquier efecto indeseable en el personal de emergencia o en cualquier otra persona en el área. Una vez que se ha identificado el material, se pueden determinar los peligros asociados con él y se puede hacer una evaluación de su impacto potencial. Se pueden establecer las medidas de control más apropiadas para ese tipo de material y sus peligros, así como medidas de seguridad tanto para el personal que atiende la emergencia como para el resto de la gente, respecto a los peligros que se corren.

Los materiales peligrosos son transportados y almacenados frecuentemente en grandes cantidades. Un escape accidental de estos materiales presenta un peligro potencial para el público y el medio ambiente. El accidente puede ser manejado más rápidamente cuando el material peligroso es identificado y caracterizado específicamente. Desafortunadamente, el

contenido de los tanques o camiones de almacenaje puede que no esté especificado o adecuadamente identificado. Puede ser que los papeles de embarque o registros no estén disponibles. Incluso con tal información, se necesita una persona con experiencia para definir los peligros y su gravedad.

Debido a la necesidad inmediata de información concerniente a un material peligroso, se han desarrollado varios sistemas de identificación de estos materiales. Todos ayudan a que los que participan en el accidente se enfrenten con rapidez y seguridad a un problema que puede originar peligros a la salud o al medio ambiente.

¿Qué entendemos por productos peligrosos o sustancias peligrosas?

Según la Norma Chilena 382, oficial del año 89, una sustancia peligrosa es aquella que, por su naturaleza produce o puede producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal y a elementos materiales tales como instalaciones, maquinarias, edificios, etc. Los criterios que definen la peligrosidad son la inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad, infecciosidad y radiactividad.

4.2 Identificación y clasificación de las sustancias peligrosas

Existen 9 clases de sustancias peligrosas descritas según las normas 382 y 2120:

Según Norma Chile 2190 la cual establece que se deben rotular envases, contenedores y transporte

Clases de sustancias peligrosas y sus rotulaciones.

Clase N°1 Explosivos:

Se entenderá por explosivo aquellas sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan. Ejemplo Pólvora, Dinamita, TNT, Amongelatina.



Figura 10 Rombo explosivos

Clase N°2 Gases:

Se define gas comprimido a cualquier material o mezcla dentro de un contenedor o cilindro con una presión absoluta mayor a 3 bares a 21°C. Ejemplo gas propano, amoníaco. Gas comprimido inflamable, gas comprimido no inflamable, gas comprimido venenoso por ejemplo Acetileno, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Cloro.



Figura 11 Rombo gases

Clase N°3 Líquidos inflamable y combustibles:

Líquido Inflamable: Es cualquier líquido que tiene un punto de inflamación bajo los 23°C. Ejemplo gasolina, alcohol, etílico, metanol, kerosén, diésel.

Líquido Combustible: Es cualquier líquido que tiene un punto de inflamación sobre los 23°C y bajo los 61°C, por ejemplo aceite combustible, petróleo, diésel.

Punto de Inflamación: es la menor temperatura a la cual los vapores del compuesto forman una mezcla inflamable con aire u oxígeno.

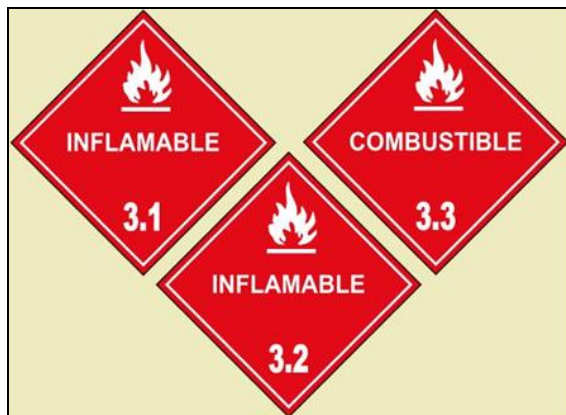


Figura 12 Rombo líquidos inflamables

Clase N°4 Sólido inflamable:

Sólido Inflamable: es cualquier material sólido que no sea un explosivo, susceptible a causar fuego mediante fricción o por medio del calor retenido en un proceso de fabricación, o que puede inflamarse por contacto con agua o líquido. Ejemplo Sodio metálico, fósforo blanco.

Sólido de combustión espontánea: son los que se pueden descomponer en presencia o ausencia de aire, ejemplo residuos de algodón, aceitoso, xantato isobutil de sodio.



Figura 13 Rombo sólidos inflamables

Clase N°5 Sustancias comburentes (oxidantes), peróxidos orgánicos sólidos inflamables:

Sustancias Oxidantes: Es un compuesto que produce oxígeno rápidamente para estimular la combustión de materias orgánicas e inorgánicas, ejemplo Nitrato de sodio, permanganato de potasio.

Peróxido Orgánico: es un derivado del peróxido de hidrógeno (agua oxigenada).



Figura 14 Rombo sustancias oxidantes

Clase N°6 Sustancias venenosas (tóxicas) y sustancias infecciosas:

Sustancias tóxicas o venenosas: Es cualquier sustancia capaz de causar daño a organismos vivos como resultado de interacciones químicas, ejemplo Cianuro de hidrógeno, Resina epóxicas, fenol.

Sustancias Infecciosas: Es un microorganismo vivo que puede causar enfermedades a los seres vivos, ejemplo Bacterias.



Figura 15 Rombo sustancias venenosas e infecciosas

Clase N°7 Sustancias radiactivas sólidos inflamables:

Sustancias Radiactiva: Es cualquier material que emite radiaciones en forma espontánea, ejemplo Yodo radiactivo, Uranio, Plutonio.



Figura 16 Rombo sustancias radiactivas

Clase N°8 Sustancias Corrosivas:

Sustancias Corrosiva: Es cualquier líquido o sólido que puede destruir el tejido humano y animal, ejemplo ácido nítrico, ácido sulfúrico, soda cáustica, hipoclorito de sodio.



Figura 17 Sustancias corrosivas

Clase N°9 Sustancias Peligrosas:

Sustancias Peligrosas Varias: Corresponde a cualquier sustancia que cumpla con las características de peligrosa: inflamable, tóxica, reactiva, corrosiva, etc., y que no esté clasificada dentro de las primeras 8 clasificaciones anteriores, ejemplo aserrín, harina de pescado, residuos peligrosos, sulfato de cobalto.

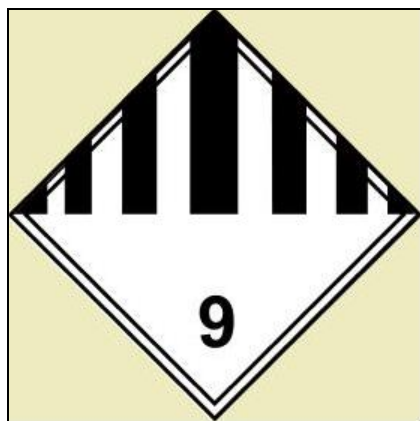


Figura 18 Sustancias peligrosas

4.3 Manejo básico en el almacenamiento de las sustancias peligrosas

Es muy importante saber que los reactivos no deben guardarse al azar, pues algunos de ellos son incompatibles y al entrar en contacto pueden generar graves accidentes. De manera general, dos reactivos son incompatibles si reaccionan violentamente, desprenden calor apreciablemente o producen productos inflamables o tóxicos.

Estas reacciones pueden llevarse a cabo con los vapores que se generan de reactivos almacenados en frasco mal tapados, al cerrar los recipientes con tapones inadecuados o al almacenar en recipientes cuyos materiales reaccionan o se ven afectados por los reactivos contenidos.





En muchas ocasiones se utilizan métodos basados en una separación de compuestos orgánicos e inorgánicos, en otros casos simplemente se acomodan por orden alfabético y aunque existen muchos otros, lo importante en el almacenamiento de los reactivos es considerar su incompatibilidad.

Esto se aplica tanto a los almacenes donde se guardan grandes volúmenes de reactivos como las gavetas donde se pueden almacenar disoluciones o reactivos en pequeñas cantidades en ambos casos pueden generarse graves accidentes.

En algunos métodos de almacenamiento por incompatibilidad los reactivos se dividen en varias clases a las que se da un color para facilitar su ubicación y se almacenan por separado.

- Inocuos: Naranja, gris o verde.
- Inflamable: Rojo.
- Tóxico: Azul.
- Reactivo: Amarillo.
- Corrosivos: Blanco.

Dentro de cada una de estas clasificaciones se separan basándose en sus incompatibilidades. Así por ejemplo dentro de los corrosivos, los ácidos deben estar separados de las bases. El problema puede complicarse cuando un reactivo puede clasificarse en varios rubros.

	O Comburente	<p>Clasificación: (peróxidos orgánicos). Sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen reacción fuertemente exotérmica</p> <p>Precaución: Evitar todo contacto con sustancias combustibles</p>
	E Explosivo	<p>Clasificación: sustancias y preparaciones que reaccionan exotérmicamente también sin oxígeno y que detonan según condiciones de ensayos fijadas, pueden explotar al calentarse bajo inclusión parcial.</p> <p>Precaución: Evitar el choque, percusión, fricción, formación de chispas, fuego y acción del calor</p>
	T Tóxico	<p>Clasificación: la inhalación y la ingestión o absorción cutánea en pequeña cantidad, pueden conducir a daños para la salud de magnitud considerable, eventualmente con consecuencias mortales.</p> <p>Precaución. Evitar cualquier contacto con el cuerpo humano. En caso de malestar consultar inmediatamente al médico.</p>
	F Fácilmente inflamable	<p>Clasificación. Líquidos en un punto de inflamación inferior a 21°C, pero que no son altamente inflamables. Sustancias sólidas y preparaciones que por acción breve de una fuente de inflamación pueden inflamarse fácilmente y luego pueden continuar quemándose o permanecer incandescentes.</p> <p>Precaución: Mantener lejos de llamas abiertas, chispas y fuentes de calor</p>


	<p>XN Nocivo</p>	<p>Clasificación: la inhalación, la ingestión o la absorción cutánea pueden provocar daños para la salud agudos o crónicos. Peligros para la reproducción, peligro para la sensibilización por inhalación.</p> <p>Precaución: Evitar el contacto con el cuerpo humano.</p>
---	------------------------------------	--

Tabla 8









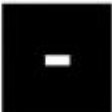




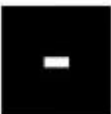



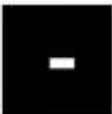

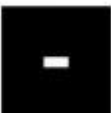
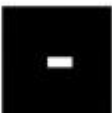




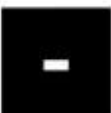






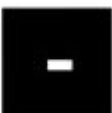



						
						
						
						
						
						
<p>+ Se pueden almacenar conjuntamente.</p> <p>○ Solamente podrán almacenarse juntos si se adoptan ciertas medidas preventivas.</p> <p>- No deben almacenarse juntos.</p>						

Figura 19 Incompatibilidades de almacenamiento de residuos peligrosos

Dentro de todos los códigos de seguridad y medio ambiente que se tienen, uno de los más importantes es el código NFPA, es el primer sistema que es propuesto por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios "National Fire Protection Association" (NFPA) y de manera específica el Sistema de Normas para la identificación de Riesgos de Incendio de Materiales.



Figura 20 Rombo NFPA

Código de identificación:

N° Cuadro Izquierdo Azul: SALUD

N° Cuadro Derecho Amarillo: Reactividad.

N° Cuadro Superior Rojo: Inflamabilidad.

N° Cuadro Blanco: Inflamación Especial.

RIESGOS DE SALUD	INFLAMABILIDAD RIESGO DE INCENDIO
<p>4. RIESGO SEVERO: Causan la muerte o heridas graves.</p> <p>3. RIESGO SERIO: Causan heridas graves o secuelas permanentes.</p> <p>2. RIESGO MODERADO: Causan lesiones temporales o posibles secuelas.</p> <p>1. RIESGO LIGERO: Causan irritación o posibles secuelas.</p> <p>0. RIESGO MÍNIMO: No supone lesión.</p>	<p>4. RIESGO SEVERO: Se evaporan rápida o completamente a presión y temperatura normal, y combustión rápida.</p> <p>3. RIESGO SERIO: Líquidos y sólidos que pueden arder a cualquier temperatura ambiental.</p> <p>2. RIESGO MODERADO: Arden al calentarse ligeramente o al exponerse a temperaturas ambientales altas.</p> <p>1. RIESGO LIGERO: Materiales que se deben precalentar antes de que puedan arder.</p> <p>0. RIESGO MÍNIMO: Materiales que no arden.</p>

Figura 21 Riesgos de salud y de incendio

REACTIVIDAD / INESTABILIDAD	INFORMACION ESPECIAL
<p>4. RIESGO SEVERO: Materiales que por sí solo son capaces de detonar o explotar a temperaturas y presión normales.</p> <p>3. RIESGO SERIO: Requieren una fuente iniciadora fuerte o calentar bajo confinamiento para explotar o detonar.</p> <p>2. RIESGO MODERADO: Materiales inestables que pueden experimentar fácilmente cambios químicos violentos, pero que no detonan.</p> <p>1. RIESGO LIGERO: Materiales estables que resultan inestables a temperatura y presión elevada.</p> <p>0. RIESGO MÍNIMO: Materiales estables aún en condiciones de explosión al fuego.</p>	<p>OX → Oxidante</p> <p>ACID → Acido</p> <p>ALC → Alkali</p> <p>CORR → Corrosivo</p> <p>—W— → Evite utilización de agua.</p> <p>☢ → Riesgo de Radiación.</p>

Figura 22 Detalles rombo NFPA

4.4 Elementos de protección Personal

Los Elementos de Protección Personal que se deberá utilizar, cuando se está en contacto con las sustancias peligrosas, lo indica la Hoja de Seguridad (HDS) de la sustancias.



Figura 23 Elementos de protección personal

5. Aislamiento y bloqueo de equipos, maquinarias e instalaciones

5.1 Secuencia de aislamiento y bloqueo

- 1) El personal que va a ejecutar la actividad de mantenimiento, reparación, revisión, limpieza, etc. solicitará al dueño del área (operaciones), el equipo, maquinaria o

instalaciones a intervenir.

- 2) Junto con el mantenedor autorizado se dirigen a la fuente de energía para la desenergización y bloqueo. Una vez que este desenergizado el equipo, instalación o circuito, se procede a constatar que no existe energía residual, realizado el chequeo de presencia de energía cero, por parte del mantenedor, el dueño del equipo y el o los ejecutores de la actividad. Esto queda registrado en el formulario de permiso de bloqueo y en el libro de registro de bloqueo.
- 3) Para mantenciones mayores, donde hay muchos puntos a bloquear, se debe realizar una reunión en la cual deben participar personal de operaciones, mantención y contratistas si se requiere, para definir claramente los puntos a bloquear y/o aislar; quienes bloquean y, cuantos equipos deberán bloquear.
- 4) El dueño del equipo (operaciones) debe coordinar con el personal ejecutor de la actividad el equipo, maquinaria o instalación que será intervenido, el número de personas, lugar exacto del trabajo a realizar y el tiempo de duración de la actividad.
- 5) Realizados los bloqueos del responsable del equipo por parte de operaciones y por parte de los ejecutores de la actividad, colocarán sus llaves respectivas dentro de una caja de llaves de bloqueo (canastillo).
- 6) Luego todos los trabajadores que intervendrán en la mantención, reparación, revisión, limpieza, etc. procederán a colocar sus candados personales junto con la tarjeta de identificación alrededor del canastillo.
- 7) Antes de comenzar las actividades de mantención u otro tipo, se deberán liberar todas las energías residuales o almacenadas, provenientes de fuentes de energía eléctrica, hidráulica, mecánica, térmica, neumática, radiactiva, compuestos reactivos y, cualquier otro tipo de energía que pudiera poner en peligro la integridad del personal que trabajará en la actividad.
- 8) Las personas involucradas deberán asegurarse que el aislamiento o bloqueo se haya realizado correctamente, verificándolo a través de las botoneras en terreno, verificando aguas abajo, líneas de despiche, en el caso del flujo, pruebas con instrumentación u otros. Esto se realizará de modo manual desde las botoneras en terreno, o de modo remoto accionando botoneras, válvulas, etc desde la sala de control, para ratificar la efectividad del aislamiento.
- 9) Inmediatamente terminada la actividad o tarea, el bloqueo personal deberá ser retirado por el personal que intervino el equipo, maquinaria o instalación, dejando

registrado en el libro de desbloqueo de equipos el retiro de los candados y tarjetas personales.

- 10) El ejecutor responsable debe verificar que todos los involucrados en la tarea hayan desbloqueado y se hayan retirado del lugar de trabajo. Luego debe entregar el o los equipos, maquinarias o instalaciones al dueño de área (operaciones).
- 11) El dueño del área solicitará al mantenedor responsable la energización del equipo, maquinaria o instalaciones para realizar pruebas de puesta en marcha y comprobar que el trabajo realizado fue efectivo.

5.2 Housekeeping del área

El orden y el aseo en el trabajo son factores de gran importancia para la salud, la seguridad, la calidad de los productos y en general para la eficiencia del sistema productivo. También son factores esenciales para la convivencia social, tanto dentro del hogar como de nuestra comunidad y lugar de trabajo. Como tal requieren de unos estándares claros de desempeño, un trabajo en equipo y de la participación responsable de todos.

El orden y el aseo en los lugares de trabajo, se inician desde la construcción y diseño de las edificaciones; se mantienen eliminando lo innecesario y clasificando lo útil, acondicionando los medios para guardar y localizar el material fácilmente, evitando ensuciar y limpiando enseguida y promoviendo los comportamientos seguros. Como resultado de lo anterior se logra:

- Salud y eficiencia personal.
- Seguridad y eficiencia del sistema productivo.
- Reducción de los costos.
- Conservación del medio ambiente.

Cada vez que se termina el trabajo hay que como mínimo lo siguiente:

Ejecutar una buena limpieza el área de trabajo, eliminando los desechos y residuos industriales de acuerdo a la clasificación de incidentes ambientales.

- Recolectar y devolver las herramientas y equipos a su lugar de almacenaje.

- Recolectar y clasificar en contenedores adecuados los residuos peligrosos generados y de acuerdo a normativa.
- Limpiar y ordenar todo el lugar.

Actividad N°3

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en indicar y definir lo que indican los diferentes rombos de sustancias y residuos peligrosos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los riesgos de las energías y sustancias peligrosas presentes, con la que pueda establecer contacto, directa o indirectamente.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de	

Situaciones Problemáticas	
----------------------------------	--

Tabla 9

Materiales y Recursos


Notebook
Data
Rombos NFPA impresos
Rombos de sustancias y residuos peligrosos impresos



Desarrollo.


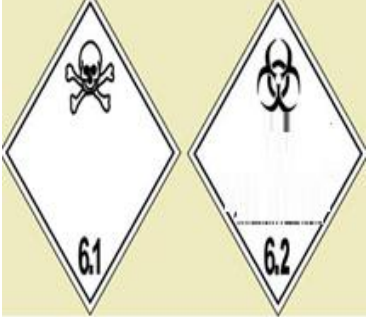

Los participantes guiados por el instructor deberán demostrar conocimiento de los rombos (según Norma Chilena 382 y 2120), y lo que indican las rotulaciones en cada uno de estos.

Por lo tanto el participante deberá llenar la tabla siguiente contestando detalladamente de forma escrita las preguntas, dando 2 ejemplos para ratificar sus conocimientos.

Rombos de Sustancias y Residuos Peligrosos

Rombo de Sustancias y Residuos Peligrosos	Explique detalladamente a que corresponde la rotulación y dé 2 ejemplos de cada uno
	


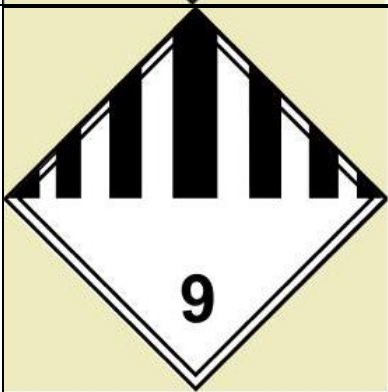
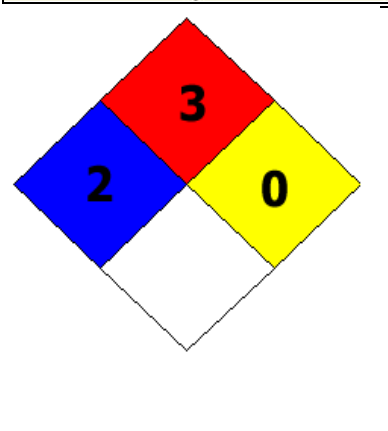
	
	
	

Tabla 10

Cierre

Debido a la necesidad inmediata de información concerniente a un material peligroso, se han desarrollado varios sistemas de identificación de estos materiales. Todos ayudan a que los que

participan en una emergencia o accidente, se enfrenten con rapidez y seguridad al problema que puede originar peligros a la salud o al medio ambiente.

Los participantes deben conocer cual sustancia peligrosa identifica el rótulo en los diferentes rombos, para actuar rápidamente y con el conocimiento requerido ante cualquier problema o emergencia que pueda producirse en el manejo de las sustancias y residuos peligrosos.

Módulo II: Técnicas de Muestreo

6. Técnicas de muestreo

6.1 Propósito del muestreo

Los minerales, al ingreso a la planta de proceso, poseen ciertas características físicas y químicas, que definen la rentabilidad económica de sus respectivos tratamientos. En el proceso mismo,

estas propiedades se modifican, de modo de alcanzar los objetivos que se persiguen. Debido a esto, se hace necesario conocer las propiedades que van adquiriendo los distintos flujos.

Puesto que las masas que se procesan son del orden de t/día, la determinación de tales propiedades, se hace imposible hacerla de modo directo, de tal suerte que es necesario separar, sistemáticamente, pequeñas porciones de cada línea de flujo, las que se van acumulando en el tiempo. Estas porciones reciben el nombre de muestras, y se supone que ellas representan, en cuanto a dichas propiedades, al total de la masa que estaba involucrada en el flujo en cuestión. Para realizar estas operaciones, existen dispositivos llamados cortadores de muestras o muestreadores, que realizan este tipo de operación de manera sistemática.

Cuando se combinan varias muestras, para obtener otra, como en el caso detallado anteriormente, a esta última se le llama compuesta o compósito, y por supuesto, cada una de ellas debe poseer las mismas características.

Como en la práctica nunca se consiguen las condiciones ideales, se ha estudiado con mucha extensión la teoría del muestreo, y se han empleado los métodos estadísticos para ayudar a la formulación de reglas de toma de muestras, que tengan en cuenta las características del material muestreado, y las condiciones exigidas para cumplir los objetivos para los que se obtuvo la muestra.

6.2 Importancia del muestreo

En todas las etapas del procesamiento de minerales es necesaria la caracterización detallada de la mena o mezcla de minerales en proceso. Para ello es indispensable la obtención en forma regular de porciones relativamente pequeñas del material en tratamiento, lo que se denomina muestra, para su análisis posterior.

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un depósito mineral, muestreo para balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, muestreo de embarques de minerales, etc.

Los parámetros que se desean medir pueden ser varios; por ejemplo, contenido de humedad, distribución de tamaño de partículas, gravedad específica, porcentaje de un cierto componente, porcentaje de sólidos, etc.

El objetivo más importante de un muestreo es que la muestra sea representativa, es decir, contenga todos los componentes en la misma proporción en que éstos existen en el material original. En la práctica esto nunca se cumple cuando se muestrean mezclas heterogéneas de minerales.

La dificultad asociada con el muestreo de menas puede visualizarse si se considera por ejemplo que en la determinación del contenido de ceniza de un carbón, se requiera que una muestra final de aproximadamente 1Kg tenga el mismo contenido de ceniza que todo un embarque que pueda ser el orden de 1.000 ton y que algunos casos puede llegar a 100.000 ton.

6.3 Relación del muestreo con el control de calidad

El muestreo es una labor de control de calidad, que permite conocer "que está pasando en el proceso", o la "calidad final de productos, subproductos o productos intermedios", con el propósito de efectuar los controles operacionales adecuados que permitan optimizar los procesos en forma técnica y económica.

Actividad N° 4

Introducción de la Actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán determinar la gravedad específica de una muestra de mineral. El objetivo de la actividad es que el participante pueda medir correctamente este parámetro en terreno, llevando control del proceso.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	

Formulación de Preguntas	
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 11

Materiales y Recursos

Probeta de 1000 cc

Agua

Balde

Muestra de mineral.

Pala de muestras JIS

Balanza digital.

Desarrollo de la Actividad

El participante deberá reunir los siguientes materiales para realizar la medición.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizaran un análisis de riesgo, para determinar los medidas de control necesarios.



Figura 24 Elementos de Protección Personal Obligatorios

La medición de la gravedad específica de mineral por este método se realiza por desplazamiento de agua, al agregar un peso conocido de muestra en una probeta graduada. En la probeta se coloca un volumen conocido de agua (V_i), se agrega la muestra de peso conocido (P_m) y después que el mineral ha sido completamente humectado y eliminada las burbujas de aire retenida, se lee el desplazamiento de la nueva interfase del agua (V_f).

La gravedad específica del mineral (G_m) se obtiene la relación siguiente:

$$G_m = \frac{P_m}{(V_f - V_i)}$$

Parámetro a Medir	Valor
Volumen Inicial (V_i)	cc
Volumen Final V_f (V_f)	cc
Masa del Mineral (P_m)	g
Gravedad Especifica G_m	g/cc

Tabla 12

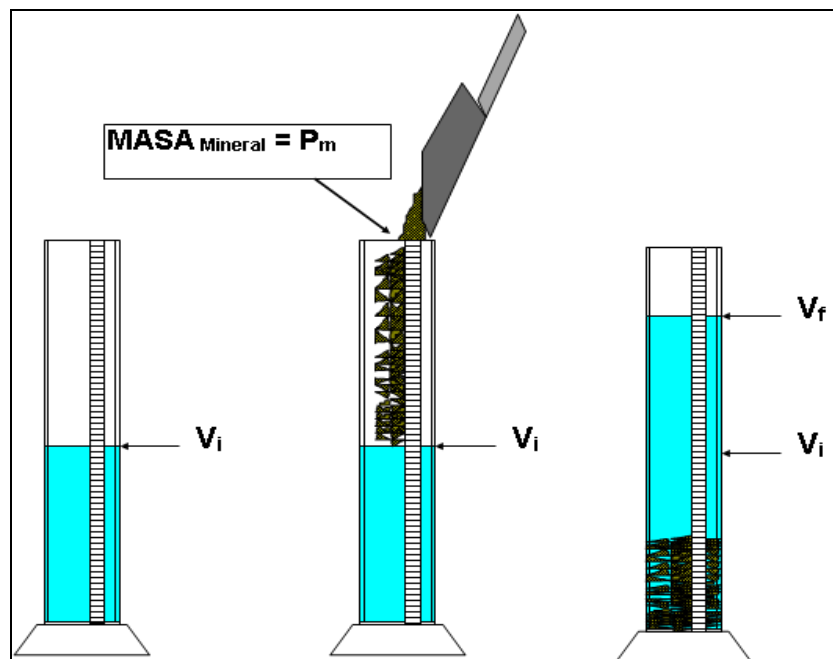


Figura 25 Representación gráfica determinación densidad de mineral

Cierre

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un depósito mineral, muestreo para balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, etc.

Los parámetros que se desean medir pueden ser varios; por ejemplo, contenido de humedad, gravedad específica, porcentaje de un cierto componente, porcentaje de sólidos, etc.

6.4 Características del muestreo de pulpas

Las muestras entregan información útil para el control de la planta y para la toma de decisiones comerciales. Para permitir un control y contabilidad metalúrgica correctos, las muestras deben representar con exactitud la corriente de la cual fueron extraídas. Esto es, deben contener todos los tamaños, formas y densidades de partículas en la misma proporción que en la corriente original. Esto es particularmente difícil en una corriente de pulpa porque los sólidos rara vez se mezclan perfectamente. La gravedad y otras fuerzas naturales trabajan

constantemente para separar las partículas gruesas de las finas, las partículas pesadas de las más ligeras.

Para ser apropiadamente representativas de una corriente de proceso, las muestras se toman mejor mediante muestreadores automáticos o manuales.

Muestreador manual

Como su nombre lo indica, corresponden a implementos sencillos utilizados por una persona para la toma de muestra. Estos implementos pueden ser de variadas formas y la utilización de cada uno de ellos va a depender del punto donde se quiera muestrear.

Dentro de los diferentes equipos de muestreo manual empleados se encuentran los siguientes:

- **Muestreador de fondos de estanques**, figura 26: Tal como su nombre lo indica , se emplea para muestrear fondos de estanques, en este caso para espesadores, consiste en un recipiente que posee doble cilindro de metal con una válvula de muestreo en el extremo inferior , que opera de la siguiente manera: cuando el recipiente alcanza el fondo del estanque, el contrapeso es tirado hacia arriba permitiendo que el líquido o la pulpa entre al compartimiento (cilindro corredizo) , quedando en su interior la muestra correspondiente , al cerrarse la válvula . Este tipo de muestreador puede ser usado para obtener muestras puntuales a distintas alturas en un estanque.
- **Cortador de flujo de pulpa**, figura 27: Este implemento consiste en un balde con un diseño de boca de alimentación especial para realizar el corte del flujo de pulpa, de acuerdo a las normas establecidas en muestreo. Este tipo de muestreo es aquel que se realiza en los hidrociclones.



Figura 26 Muestreador de profundidad

Muestreador automático

Un muestreador automático puede diseñarse de modo que la corriente se mezcle apropiadamente cuando se toma la muestra y puede ajustarse para muestrear a intervalos regulares precisos de modo que la muestra sea apropiadamente representativa de un período de tiempo seleccionado, por ejemplo, un turno completo.

A menudo, con grandes corrientes, se usan dos o tres muestreadores en conjunto. En el primero el muestreador primario obtiene una muestra de la corriente principal.

Cuando se toma una muestra representativa de un gran volumen, el corte normalmente produce una muestra demasiado grande como para ser manejada y analizada con facilidad, de modo que se toma una muestra de la muestra. Esta muestra de menor tamaño se denomina muestra secundaria, y el equipo empleado para tomarla se denomina muestreador secundario.

La aplicación práctica más satisfactoria para minimizar variables en la alimentación de flujos tales como segregación por tamaño durante el carguío, sedimentación de partículas en una pulpa debido a cambios de velocidad, cambios de presión, etc, es el uso de cortadores de muestras. En este método, las muestras de material líquido (pulpa) son tomadas cuando éste está en movimiento, en el punto en que se produce la descarga por caída libre, haciendo un corte transversal al flujo.

Dado que el flujo puede presentar segregación o cambios de composición, la muestra tomada debe representar a todo el flujo. Cuando un cortador de muestras se mueve continuamente a través del flujo a una velocidad uniforme, la muestra tomada representa una pequeña porción

del flujo total. Si el cortador se mueve a través del flujo a intervalos regulares, el incremento de muestra obtenido es considerado representativo del flujo al momento de ser tomada la muestra.



Figura 27 Cortador automático de muestras de pulpa

Medición de la densidad de pulpa en terreno

Es necesario tener un control preciso de la densidad para obtener la mayor eficiencia de los equipos de proceso en la planta. Las decisiones operativas correctas pueden tomarse sólo si las mediciones de densidad son exactas. Se usa una balanza de densidad y un balde, para medir la densidad y el porcentaje de sólidos de pulpas en cualquier proceso húmedo.

Se utiliza balanza de medición de densidad (Marcy, Hebro, etc) y balde para verificar los resultados de los densímetros, medir corrientes que carecen de densímetros y obtener información de la planta cuando los densímetros están descalibrados.

Comprobación del cero en la balanza

- 1) Usando un dedo y el pulgar, tape los orificios en la parte superior del balde. Llene el balde con agua.

- 2) Coloque el balde en el gancho en la balanza de densidad y permita que el exceso de agua drene por los orificios.
- 3) Cuando el agua haya dejado de fluir por los orificios, limpie suavemente la parte inferior del balde sin derramar nada de su contenido.
- 4) Si la aguja no queda en cero en la escala de la periferia de la tabla (denominada peso específico de pulpa), corrija con el dispositivo de ajuste de la balanza (normalmente un tornillo en la parte inferior de la balanza) hasta que la aguja de la balanza llegue a la lectura de 1,0.

Realice esta operación antes de realizar mediciones de densidad de la pulpa.



Figura 28 Balanza de pulpa

Procedimiento de medición de densidad

- 1) Obtener muestra en la corriente de pulpa a ser medida con un muestreador de pulpa (de profundidad o de pico loro). Si se debe tomar muestras en el extremo de una línea o tubería provista de válvula, hay que dejar que la línea drene al menos durante 10 segundos antes de cortar la muestra. No permita que el cortador de muestras rebalse.
- 2) Vacíe completamente el cortador de muestras dentro del balde de la muestra.

- 3) Repita si es necesario, pero no llene el cortador de muestras, para evitar rebalse.
- 4) Limpie o lave el exceso de arena o agua desde el exterior del balde sin derramar el contenido.
- 5) Lea la densidad (en porcentaje de sólidos) del círculo apropiado de la balanza, de acuerdo con el peso específico de los sólidos.
- 6) Después de obtener la lectura, vacíe y limpie el balde.
- 7) Registre la lectura de densidad en el informe del operador de turno.

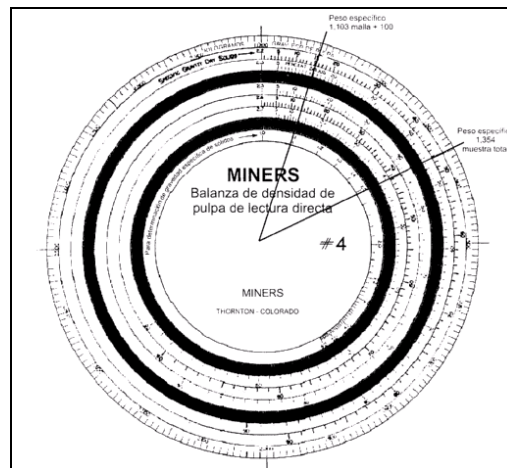


Figura 29 Escala de densidad de pulpa de una balanza

6.5 Características del muestreo de sólidos

La mayor heterogeneidad de las muestras sólidas obliga a diseñar cuidadosamente la toma de muestras para reducir los posibles problemas de falta de representatividad. Por otra parte, el costo económico asociado a la toma de muestras requiere que las muestras sean más grandes de lo estrictamente necesario. Cuando debido a la alta precisión exigida, a la alta heterogeneidad del material o al tamaño de partícula, será necesario tomar una porción de muestra grande (del orden de decenas o centenares de kilogramos). Este hecho conlleva

procesos complejos de tratamiento y división en submuestras, con el riesgo asociado de alteración de la muestra.

Varios son los factores a considerar en la toma de muestra de materiales sólidos: materiales particulados o compactados, muestra en movimiento o estática.

Actividad N° 5

Introducción a la Actividad

Para tener un control preciso de la operación de la planta es necesario conocer la densidad o el porcentaje de sólidos de la pulpa en los puntos más importantes del proceso, para obtener la mayor eficiencia de los equipos de proceso. Las decisiones operativas correctas pueden tomarse sólo si las mediciones de porcentaje de sólido son exactas.

Los participantes guiados por el instructor deberán medir el porcentaje de sólidos de una pulpa de mineral.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda medir correctamente este parámetro en terreno, llevando un control del proceso.

Aprendizaje Esperado que desarrolla

Planificar las actividades de muestreo en función del programa diario, según procedimientos.

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Estrategia Metodológica de la Actividad

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso audiovisual	
Formulación de Preguntas	
Taller de trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 13

Materiales

El participante deberá reunir los siguientes materiales para realizar la medición:

- Balanza para pulpas (Marcy, Hebro, etc)
- Muestra de mineral
- Agua para formar una pulpa
- Probeta de 1000 cc
- Recipiente para sacar muestra de pulpa del balde
- Agua para formar una pulpa

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo, para determinar las medidas de control necesarios.



Figura 30 Elementos de Protección Personal Obligatorios

Para realizar la actividad, el participante deberá seguir los siguientes pasos:

- 1) La balanza debe ser colgada de forma que quede suspendida libremente.
- 2) Se llena el recipiente con agua, a su totalidad de volumen, hasta los orificios (volumen recipiente es de 1000 cc), y se cuelga en el gancho de la balanza, para calibrar la balanza
- 3) La aguja deberá marcar 1,0 en el dial exterior, que corresponde a la densidad del agua. Si fuese necesario, gire la perilla de ajuste ubicada en el gancho, para calibrar esta medida.
- 4) Tomar la muestra de pulpa a través con un recipiente desde el balde que contiene pulpa previamente preparada.
- 5) Vaciar dicha muestra en el tacho de la balanza hasta que la pulpa ha alcanzado el nivel del orificio de rebalse, de forma que no se concentre y su medición fracase. Luego se limpia el exterior del recipiente y se cuelga en la balanza.
- 6) Con gravedad específica del mineral seleccione la escala que le corresponden la balanza y proceder a leer el % sólidos de la pulpa según la indicación de la aguja.

Cierre

El muestreo cubre la práctica de selección de muestras para la evaluación metalúrgica de un proceso, para un balance metalúrgico o control de proceso de las distintas etapas de la operación de una planta de procesamiento, etc.

Una de las variables de operación que se debe medir para mantener estable la operación de un proceso es el porcentaje de sólidos de un cierto componente.

Material particulado en movimiento

El tamaño de partícula es el aspecto clave al plantearse la toma de muestra en un flujo continuo de partículas sólidas. De hecho, el tamaño de la porción de muestra que se colecta dependerá del tamaño máximo de partículas, y se deberá minimizar el riesgo de una toma de muestra sesgada hacia partículas de pequeño tamaño.

Un ejemplo de material particulado en movimiento lo constituye una muestra en una cinta transportadora. Una aproximación a la toma de muestra sería parar la cinta transportadora y hacer la toma de muestra manualmente (de toda la sección perpendicular al movimiento de la muestra entre dos puntos seleccionados de la cinta). La distancia entre los dos puntos estará en función del tamaño máximo de partícula. Se aconseja definir esta distancia como tres veces el diámetro de las partículas de mayor tamaño.

La toma de muestra en correas transportadoras es bastante usual, con frecuencia puede ser necesario realizarla en análisis de rutina y sin parar el motor de la correa. En estos casos se recomienda llevarla a cabo de forma automática, a partir de muestreadores mecánicos que no necesitan parar la correa.

Todas las partículas de la sección transversal tienen que tener la misma probabilidad de ser seleccionadas, con lo que los muestreadores tienen que moverse en paralelo a la correa mientras la atraviesan, o tienen que ser radiales si tienen un movimiento circular.

En las figuras siguientes se muestran diferentes formas de toma de muestra de materia particulada en movimiento: caso de una cinta transportadora.

Toma de muestra incorrecta: fracción del flujo del material continuamente a lo largo del tiempo (figura 31).



Figura 31 Toma de muestra de material particulado en la correa transportadora

Toma de muestra correcta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada (figura 32).

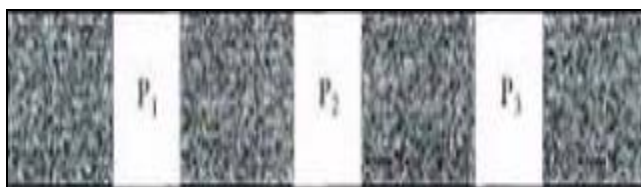


Figura 32 Toma de muestra incorrecta

Toma de muestra correcta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada. Modelo dinámico, con toma de muestra unidireccional (figura 33).



Figura 33 Toma de muestra correcta

Toma de muestra incorrecta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada. Modelo dinámico, con toma de muestra bidireccional (figura 34).



Figura 34 Toma de muestra incorrecta

- **Material particulado estático.**

La toma de muestra de material particulado estático (por ejemplo suelos) conlleva un alto riesgo de falta de representatividad debido a la diferente distribución de las partículas en función de su tamaño.

Se recomienda llevar a cabo la toma de muestra con sondas metálicas que permitan obtener una muestra de secciones en vertical u horizontal, para compensar la posible heterogeneidad de la muestra. Al insertar la sonda en la muestra esta retiene una porción en forma de cilindro.

- **Materiales Compactos.**

El equipo para la toma de muestras compactas se basa en el uso de sondas del tipo barrena que llevan acoplado un dispositivo que facilita la perforación.

Si la homogeneidad de la muestra puede ser considerada como muy alta (como es el caso de materiales metálicos procedentes de metales puros o de mezclas fundidas), la toma de muestra puede ser simplificada y basarse simplemente en tomar una porción de un extremo o de una superficie de la muestra.

7. Métodos de muestreo

7.1 Manual

Existe una amplia gama de implementos de muestreo manual y su selección dependerá del material a muestrear y de que los incrementos que se obtengan, no tengan desvío. En general,

la selección del implemento de muestreo se hará de acuerdo a la experiencia que se tenga de la aplicación en particular. Algunos de los implementos empleados en muestreo son:

Palas de muestreo: Las palas de muestreo se prefieren a las palas comunes por que no introducen desvío, ya que, cuando se hacen un muestreo las partículas de gran tamaño tienden a rodar y caer de la pala común, no ocurre así con las palas de muestreo que tienen lados para evitar estas caídas. La figura x presenta la pala de muestreo diseñada por la JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD (JIS).

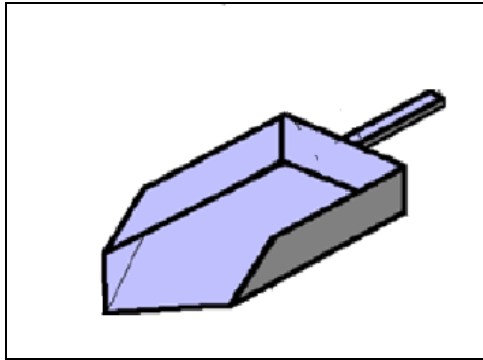


Figura 35 Pala JIS (Japanese Industrial Standar)

Por otro lado, si se emplea una pala muy grande, se obtendrá una cantidad de muestra innecesaria. Cuando se deban muestrear materiales susceptibles de perder o ganar humedad, es recomendable usar palas más grandes que el dado por la tabla, con el objeto de reducir el tiempo de muestreo y con ello las variaciones de humedad.

La Tabla 14 entrega las dimensiones de las diferentes palas de muestreo, considerando el tamaño máximo de partículas de un lote.

N° Pala	Tamaño Máximo Part. (mm)	Dimensiones en mm					Grosor del Material	b/c	Vol. Apróx. (ml)
		a	b	c	d	e			
150	150	350	140	350	300	140	2	0,40	16,000
125	125	300	120	300	250	120	2	0,40	10,000
100	100	250	110	250	220	100	2	0,44	7,000
75	75	200	100	200	170	80	2	0,50	4,000
50	50	150	75	150	130	65	2	0,50	1,700
40	40	110	65	110	95	50	2	0,59	790
30	30	90	50	90	80	40	2	0,56	400
20	20	80	45	80	70	35	2	0,67	200
15	15	70	40	70	60	30	2	0,67	200
10	10	60	35	60	50	25	1	0,58	125
5	5	50	30	50	40	20	1	0,60	75
3	3	40	25	40	30	15	0,5	0,62	40
1	1	30	16	30	25	12	0,5	0,50	150
0,25R	0,25	15	10	15	12	0	0,3	0,67	2

Tabla 14 Dimensiones de las diferentes palas de muestreo, considerando el tamaño máximo de partículas de un lote.

Sondas: La sonda en su forma más simple consiste en una pieza tubular de acero, la cual retiene un testigo de muestra cuando es insertada en un material. Existe una amplia gama de sondas, las que deben elegirse de acuerdo al material a muestrear.

Se debe considerar la dificultad de aplicar las sondas cuando se muestrean partículas muy grandes, que retengan humedad o se aglomeren.

Otras variables a considerar en su elección son:

- Largo.
- Material de construcción.
- Ángulo de penetración.

Respecto al diámetro, como regla se elegirán aquellas cuya abertura permita tomar partículas de tres veces el tamaño máximo.

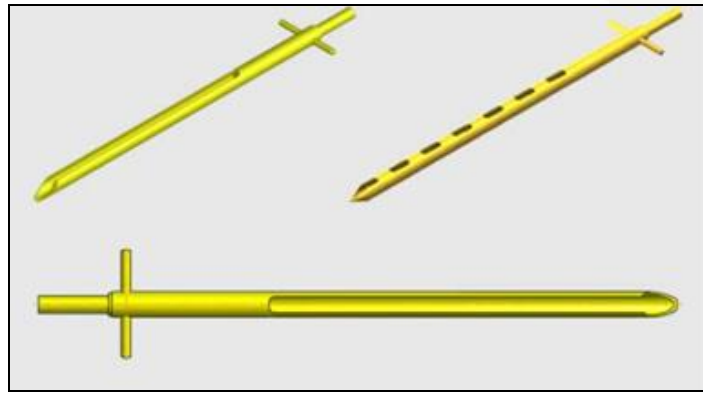


Figura 36 Sondas de muestreo

Otros dispositivos

- Cucharones: Se usan para obtener muestras de metales fundidos, se les llama también cucharas de inmersión.
- Espejos: Se emplean para obtener muestras de metales fundidos que son quebradizos. Ejemplos de aplicación: escorias.
- Moldes: Son usados para recibir muestras de metales fundidos, de manera tal que se obtenga una forma geométrica definida (paralelepípeda), apta para el taladro posterior a fin de obtener viruta.
- Tubos de presión reducida: Consisten básicamente en tubos de vidrios que previamente han sido sometidos al vacío y sellado en sus extremos, con el fin de que cuando se apliquen para obtener muestras de metal fundido, se rompa el tubo y penetre el metal al interior de este por diferencia de presión con el medio ambiente.
- Botellas: Se emplean para tomar muestras líquidas como soluciones combustibles, etc.

7.2 Automático

En estos métodos, las muestras de material son tomadas cuando éste está en movimiento, en el punto cuando se produce la descarga por caída libre, realizando un corte transversal al flujo. Si el cortador se mueve a través del flujo a intervalos regulares el incremento es considerado representativo al momento de ser tomada la muestra.

Los principales factores que afectan la representatividad de la muestra son:

- Frecuencia de corte de la muestra.
- Técnica empleada para obtener la muestra.
- Condiciones de resguardo frente a la contaminación.

Como condición general los cortadores de muestras deben moverse a través del flujo a una velocidad uniforme. La abertura debe ser de tamaño adecuado a fin de prevenir obstrucción o detención del cortador. El diseño debe prevenir la contaminación debido a salpicaduras o condiciones de alto polvo.

- Cortadores de trayectoria recta.
- Cortadores de trayectoria circular.

8. Tipos de muestreo

8.1 Al azar

Es aquel en que todas las unidades que componen el material (sólido, líquido y pulpas) a estudiar, tiene la misma probabilidad de ser tomadas como incremento de la muestra que represente el material. Una de las mayores dificultades en el muestreo al azar es efectuar un verdadero muestreo al azar. Por ejemplo si se muestrea una pila de mineral tomando incrementos de todo el contorno, éste no constituye un buen muestreo al azar debido a que no ha tenido acceso al interior de la pila.

Este tipo de muestreo es el más sencillo para preparar una muestra, pero además el más exacto. Las ventajas son su economía y la rapidez con que se lleva a cabo. El inconveniente principal es la dificultad de conseguir que todos los componentes estén verdaderamente representados cuando toman pequeñas porciones, particularmente si el tamaño de las partículas no es uniforme.

El muestreo al azar se emplea generalmente cuando hay poca información del material en observación, cuando el material sea muy homogéneo o cuando se controla productos manufacturados y únicamente basta resultados no muy exactos.

8.2 Sistemático

En este tipo de muestreo los incrementos son recolectados a intervalos regulares en términos de masa, tiempo y espacio definido de antemano. La primera muestra debe de tomarse al azar dentro del primer intervalo del muestreo. Los intervalos elegidos no necesariamente deben ser iguales.

8.3 Automático en correas

Los cortadores automáticos operan por el movimiento de un mecanismo colector a través del material a medida que éste cae desde una cinta transportadora o tubería. Es importante que:

- El frente del mecanismo colector o cortador se presente en ángulos rectos al flujo de material.
- El cortador cubra la corriente (recorrido).
- El cortador se mueva a velocidad constante y a intervalos de tiempos definidos.
- El cortador sea bastante grande para pasar la muestra.
- Definir con anterioridad tamaño de partícula mayor, abertura.

Todos los sistemas de muestreos requieren un aparato de muestreo primario o cortador y un sistema para transportar el material colectado hasta un lugar conveniente para la trituración y una división adicional de muestra.

Hay diferentes tipos de cortador de muestras, el muestreador tipo Vezin se usa ampliamente para muestrear las corrientes de mineral que caen.

Consiste de un cortador giratorio en forma de sector circular con dimensiones tales como para cortar la corriente total de mineral y desviar la muestra hasta un canal para muestras separado.

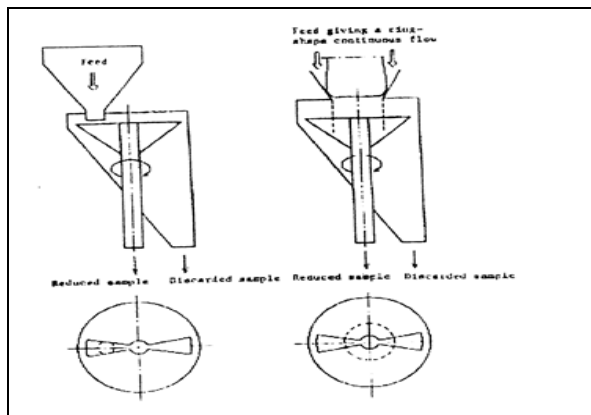


Figura 37 Muestreador tipo Vezin

8.4 Automático en pulpas

El muestreo de pulpa sigue el mismo procedimiento para los materiales secos, en donde la extracción de material se hace por medio de un cortador desplazándose a través de toda la corriente a intervalos indeterminados. Se usan muestreadores automáticos, llamados válvulas poppet (válvulas de disco con movimiento horizontal), los que muestrean la pulpa directamente de las tuberías. Estas válvulas consisten principalmente de un pistón que opera neumáticamente, sumergido dentro de la tubería, la que por lo general es elevadora y que transporta la corriente de pulpa; el pistón en la posición abierta permite el paso de pulpa a la línea de muestreo.

El ciclo de abrir y cerrar se controla por un cronómetro automático, un controlador de nivel de muestra o por otros medios que dependen de las circunstancias; el volumen de la muestra se determina en cada corte.

La muestra masiva requiere un mezclado y secado completos antes de la división adicional hasta producir un tamaño razonable para el ensaye.

8.5 Estratificado

El muestreo estratificado es una importante extensión del muestreo sistemático que involucra la división de un lote en grupo.

Los sub-grupos generalmente son muestreados en proporción a sus pesos. Esto es usado particularmente si un lote está constituido por diferentes materiales los cuales no son fácilmente mezclables o si hay entre ellos una diferencia de concentración o tamaño. Algunos ejemplos de muestreos estratificados son los siguientes:

- El muestreo de materiales transportados en un gran número de vagones o contenedores que se movilizan a diferentes horas y que deben ser considerados en el mismo lote. Es una buena práctica aprovechar la estratificación inherente y muestrear la carga de cada vagón o contenedor en forma proporcional a su peso.
- En el caso de muestreo de tambores con líquido más sedimento, el método más preciso a emplear es el esquema de estratificación, se muestrean las dos fases en proporción de sus pesos.

9. Preparación mecánica de muestras

9.1 Métodos reductores de muestras

En caso que se quiera reducir la cantidad de una muestra antes de proceder a la determinación de una determinada propiedad, se puede recurrir a procedimientos como:

- Métodos de división manual.
- Método de división por rifles.

De esta etapa podemos realizar los siguientes comentarios.

- El método manual de división por incrementos nos da una buena precisión, a pesar de la alta razón de división.
- Los métodos manuales de división por cuarteos y de pala alternada introducen grandes errores, por lo que se recomienda no emplearlos.
- La división como regla, debe realizarse en muestras que estén bajo 20 mm.
- Se recomienda ambientar los aparatos de división con el mismo material que se va a dividir, para evitar una posible contaminación.

Método de división manual

1) División por conos y cuarteos

Este es un antiguo método usado para dividir pequeñas cantidades de material, caracterizado por su simplicidad y no requerir equipos especiales. Consiste en construir, previa homogenización un cono con el material y luego aplastarlo formando una torta circular. Esta torta se divide en cuatro partes iguales, cortándola a través de su centro, seleccionándose dos fracciones opuestas y descartándose las otras dos, Figura x.

Las fracciones escogidas pueden ser otra vez sometidas a cono y cuarteo, y así continuar hasta que se obtiene una muestra del tamaño requerido. El método es muy dependiente de la habilidad del operador, por lo que en general no debiera usarse para un muestreo exacto.

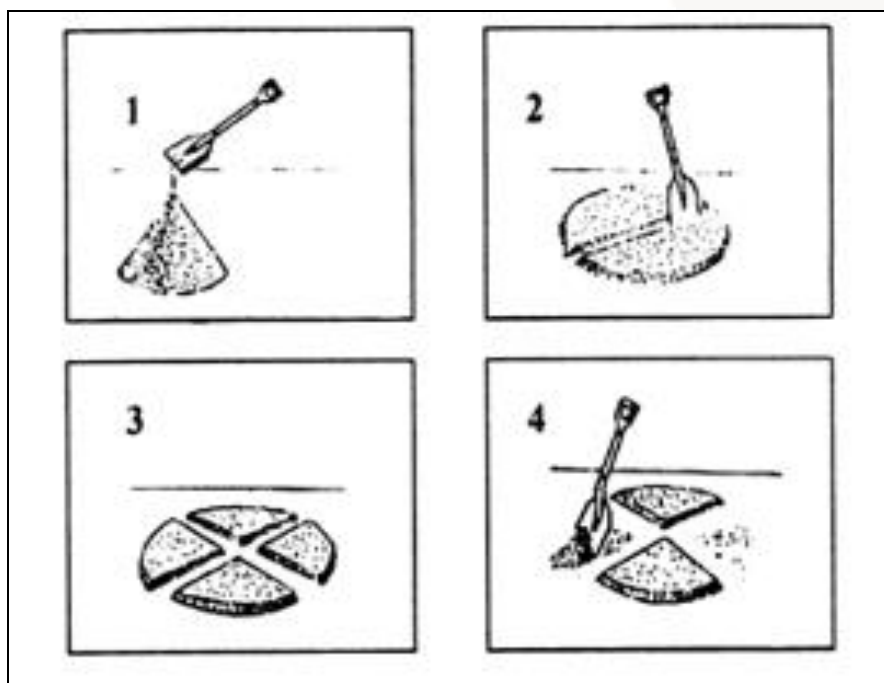


Figura 38 División por cono y muestreo

2) División por incrementos

En el caso de aplicar el método de división por incrementos, se debe utilizar la pala JIS.

El método consiste en mezclar bien la muestra y esparcirla en una superficie plana, dando una forma rectangular con espesor uniforme que depende del tamaño máximo de las partículas. El rectángulo se divide en partes iguales, a lo largo y ancho, de manera de tener por lo menos unas 20 partes.

Usando una pala adecuada según el tamaño de las partículas, se extrae una palada llena (incremento) desde cada parte en que se dividió el rectángulo. El punto extracción de los incrementos debe ser cada vez seleccionada al azar y la pala debe penetrar hasta el fondo de la capa de la muestra. La extracción debe de realizarse con la ayuda de una placa que evite el deslizamiento del mineral. Los incrementos deben juntarse y mezclarse para formar la muestra. En general, el método permite un alto grado de precisión.

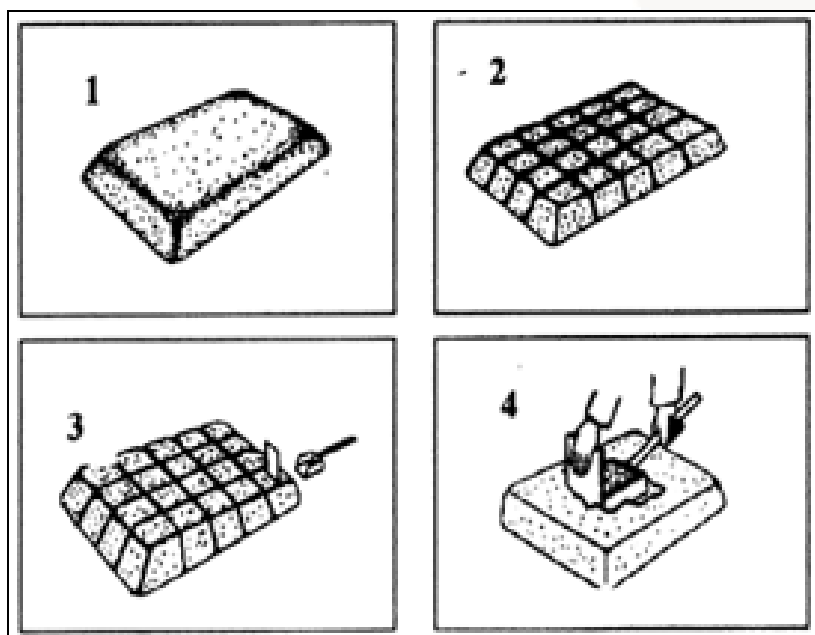


Figura 39 División por incrementos

3) Método de pala alternada

El procedimiento de reducción de muestra según este método es:

- Apilar la muestra bruta molida en forma de cono sobre una superficie dura, limpia y plana.
- Repetir el procedimiento anterior una vez más en un lugar diferente.
- Tomar una palada de muestra del cono y espárzala a lo largo en una capa delgada.
- Formar una pila grande depositando la capa delgada arriba de la anterior.
- Tomar una pala de muestra una por una desde los alrededores de la pila grande y amontone alternadamente las paladas de muestra en dos conos.
- Guardar un cono de los dos y descarte el otro.
- Repetir los procedimientos desde el primer paso hasta el anterior con la mitad de la muestra.

4) Método de división por riffle

Este es uno de los métodos más comunes y eficiente. Se trata de mezclar bien la muestra y alimentarla a una caja abierta en forma de V, en la que una serie de chutes se montan en ángulo recto respecto del eje más largo, para dar una serie de aberturas rectangulares de igual área que alimentan alternativamente dos recipientes que se ubican en la parte inferior.

Cualquiera de los recipientes puede elegirse para la muestra fina, o si es necesario, pasada nuevamente por el cortador hasta llegar a la cantidad requerida.

El riffle es un aparato que se utiliza para la división de muestra, cuya forma y dimensiones se ilustran en la figura 40 y tabla 15.

Los rifle se identifican por números, y se seleccionan de acuerdo al tamaño de partículas de la muestra a dividir.

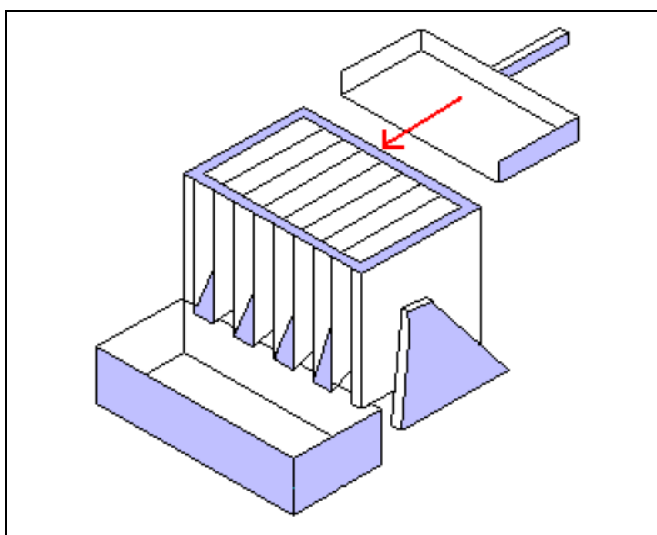


Figura 40 Cortador de muestras Riffle

Tamaño de partícula de la muestra	N° de cuarteador	Ancho interior de las canaletas (mm)
Sobre 13 hasta 20 pulg	50	50
Sobre 10 hasta 13 pulg	30	30
Sobre 5 hasta 10 pulg	20	20

Sobre 2,4 hasta 5 pulg	10	10
Menor a 2,4 pulg	6	6

Tabla 15 Número abertura según tamaño partículas

Actividad N° 6

Introducción a la Actividad

La siguiente actividad se divide en etapas en lo que concierne a los fundamentos de las técnicas de muestreo de minerales:

- Método de cono y cuarteo y,
- Método de división por riffle.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso audiovisual	

Formulación de Preguntas	
Taller de trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 16

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Tomar muestras representativas de los diferentes procesos, según procedimientos.

Materiales y Recursos

Taller de Minerales.

Mesa de trabajo.

Cubierta de plástico (pañó de roleo).

Bandejas de muestras.

Cuarteador Riffle.

Desarrollo de la actividad

El participante deberá reunir los siguientes materiales para realizar la medición.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgo, para determinar las medidas de control necesarios.



Figura 41 Elementos de protección personal obligatorio

Método de división cono y cuarteo.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Depositar la muestra de mineral sobre un paño o cubierta de plástico limpia y rolear varias veces.
- 2) Apilar la muestra bruta en forma de cono, sobre el paño roleador.
- 3) Aplastar el cono formado, dividir en cuatro partes iguales divididas por dos líneas que se interceptan en ángulos rectos al centro del lote de mineral.
- 4) Descartar dos cuartos opuestos entre ellos y volver a rolear nuevamente el mineral.
- 5) Aplastar nuevamente el cono, empujando hacia abajo en forma vertical y dividida en cuatro partes iguales, volver a descartar otros dos cuartos opuestos, pero en sentido diferente al descarte anterior.
- 6) Repetir el procedimiento (pila y cuarteo) con las otras dos partes retenidas.
- 7) El proceso se repite varias veces hasta llegar a obtener el volumen de muestra deseado.

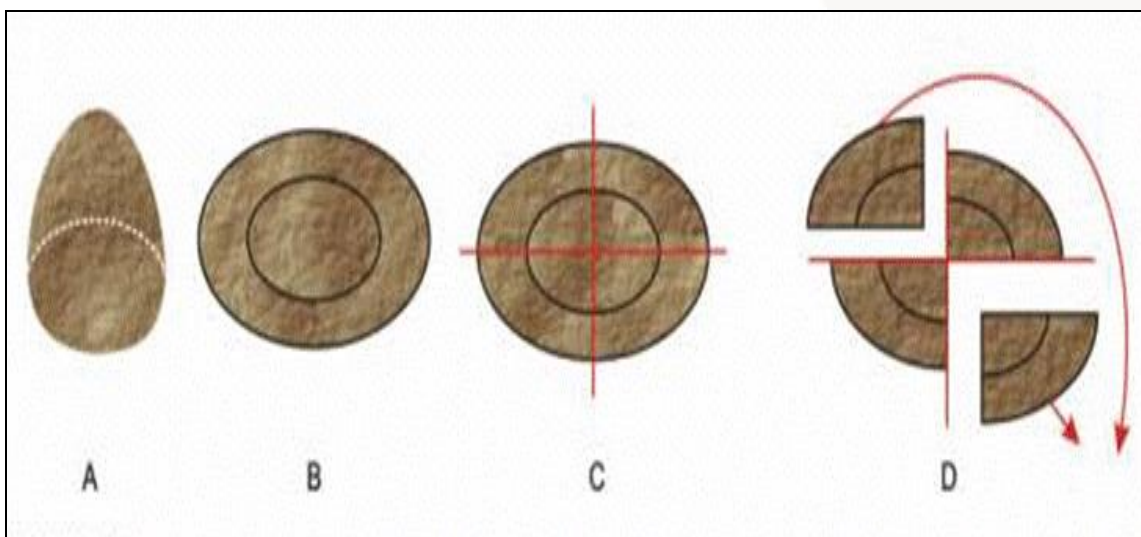


Figura 42 Método por cuarteo

Método de división por Riffle.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) La muestra deberá homogenizarse roleandola en el plástico de roleo y colocarse en la bandeja de alimentación.
- 2) Se dejará caer la muestra uniformemente sobre la superficie formada por el conjunto de ranuras, para dividir la muestra en dos partes.
- 3) Una de las partes divididas deberá seleccionarse al azar como muestra dividida para la etapa siguiente de muestreo.
- 4) Volver a dejar caer de nuevo la muestra uniformemente sobre la superficie de las ranuras del cortador Riffle.
- 5) Seleccionar la parte dividida en el sentido opuesto a la selección anterior.
- 6) Repetir el proceso varias veces hasta obtener el volumen de muestra deseado.

Se debe tener la precaución de evitar que se tapen las ranuras, si esto ocurriera se recomienda limpiar el cuarteador y luego reiniciar la operación.



Figura 43 Cortador de muestra Riffle (Tyler)

Cierre de la actividad

El instructor podrá reflexionar con los participantes, sobre los resultados obtenidos en la aplicación de los dos métodos de muestreo.

10 Análisis granulométrico

10.1 Serie de tamices

El sistema de mallas de tamices más conocido y utilizado es el Tyler. Este tiene como base la malla 200, este tamiz está formado por 200 alambritos de 53 micrones de diámetro, tiene 200 aberturas por pulgada lineal, cada una de 74 micrones.



Figura 44 Alimentación de muestras en tamices

El tamizaje en seco se efectúa en máquinas denominadas Ro- Tap, donde es ubicada la serie de tamices elegida. El Ro - Tap (figura 45) proporciona a las partículas dentro de los tamices un movimiento rotativo excéntrico horizontal mediante una manilla colocada en la parte superior del equipo, se aplica a los tamices un golpe seco, para proporcionar a las partículas un movimiento vertical.



Figura 45 Ro tap

SERIE DE TAMICES TYLER		
Nº DE MALLAS	ABERTURA (mm)	ABERTURA (um)
4	4.760	4760
5	4.000	4000
6	3.360	3360
7	2.830	2830
8	2.380	2380
9	2.000	2000
10	1.680	1680
12	1.410	1410
14	1.190	1190
16	1.000	1000

20	0.841	841
24	0.707	707
28	0.595	595
32	0.500	500
35	0.420	420
42	0.354	354
48	0.297	297
60	0.250	250
65	0.210	210
80	0.177	177
100	0.149	149
115	0.125	125
150	0.105	105
170	0.088	88
200	0.074	63
250	0.063	63
270	0.053	53
325	0.044	44
400	0.037	37

Tabla 17 Serie de tamices

10.2 Tabla de distribución granulométrica

Un sistema de partículas con un amplio rango de tamaños solo puede describirse en detalle, mediante el uso de distribuciones estadísticas. De estas distribuciones se puede obtener un tamaño promedio y una estimación de la superficie del sistema. El tamizaje en sí implica conceptos de estadística. El resultado de un tamizaje típico es: “Conociendo esta distribución de la frecuencia con que aparecen las partículas en cada tamiz, nos puede decir, que la probabilidad de encontrar en el producto, una partícula menor que 35 mallas, pero mayor que 48 mallas es de 0.085.

1) Construcción tabla de análisis granulométrico.

En la tabla de Análisis Granulométrico se debe incluir información como el número de malla y la serie, su abertura, la cantidad de material retenido en cada tamiz, para después calcular los tamaños promedio de partículas y las fracciones retenidas parcial, acumulada y pasante acumulada.

Malla Tyler	Retenido Parcial (g)	Retenido Acumulado (g)	Pasante Acumulado (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
¾"	0	0	1000	0	0	100
½"	0	0	1000	0	0	100
¼"	215.6	215.6	784.4	21.56	21.56	78.44
# 10	210.3	425.9	574.1	21.03	42.59	57.41
# 20	80.5	506.4	493.6	8.05	50.64	49.36
# 40	160.0	666.4	333.6	16.0	66.64	33.36
# 70	150.6	817	183.0	15.06	81.7	18.3
# 100	148.3	965.3	34.7	14.83	96.53	3.47
# -100	34.7	1000	0	3.47	100	0

Tabla 18 Tabla de un análisis granulométrico

2) Cálculos para la realización del análisis granulométrico.

De acuerdo a los valores de los pesos retenidos en cada tamiz, registrar los siguientes datos en la hoja de cálculos

Retenido Acumulado (RA):

Es la suma acumulativa de los gramos retenidos en cada tamiz

Ejemplo:

Malla Tyler	Retenido Parcial (grs)	Retenido Acumulado (grs)
# 10	215,6	425,9
# 20	210,3	636,2
# 30	80,5	716,7

Tabla 19

Se suma el retenido acumulado con el retenido parcial del tamiz siguiente:

RA (#20) = 425,9 + 210,3 = 636,2 gramos.

RA (#30) = 636,2 + 80,5 = 716,7 gramos.

Pasante Acumulado (PA).

Es la resta acumulativa de los gramos pasante en cada tamiz.

Malla Tyler	Retenido Parcial (grs)	Pasante Acumulado (grs)
# 10	215,6	574,1
# 20	210,3	363,8
# 30	80,5	283,3

Tabla 20

Se resta el retenido acumulado con el retenido parcial del tamiz siguiente:

RA (#20) = 574,1 – 210,3 = 363,8 gramos.

RA (#30) = 363,8 – 80,5 = 283,3 gramos.

Porcentaje retenido parcial (%RP):

$$\%RP = \frac{\text{peso retenido en cada malla}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

Malla Tyler	Retenido Parcial (grs)	% Retenido Parcial
# 10	215,6	21,56
# 20	210,3	21,03
# 30	80,5	8,05

Tabla 21

$$\%RP = \frac{215 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 21,56 \%$$

Porcentaje retenido acumulado (%RA):

$$\%RA = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

Malla Tyler	Retenido Acumulado (grs)	% Retenido Acumulado
# 10	425,9	42,59
# 20	636,2	63,62
# 30	716,7	71,67

Tabla 22

$$\%RA = \frac{425,9 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 42,59 \%$$

Porcentaje Pasante Acumulado (%PA):

$$\%PA = \frac{\text{peso acumulado en cada tamiz}}{\text{peso total de la muestra seca}} \times 100$$

Malla Tyler	Pasante Acumulado (grs)	% Retenido Acumulado
# 10	574,1	57,41
# 20	363,8	36,38
# 30	283,3	28,33

Tabla 23

$$\%PA = \frac{574,1 \text{ (grs)}}{1000 \text{ (grs)}} \times 100 = 57,41\%$$

Módulo III: Operación de Equipos de Conducción de Relaves, Depositación y Recuperación de Agua

11. Fundamentos de la conducción de relaves.

11.1 Introducción y antecedentes generales.

Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras son los “Depósitos de Relaves”, considerados como obras constructivas de disposición en la superficie de la tierra, cuyos residuos que contienen provienen de Plantas de Concentración de minerales por Flotación.

Lo anterior, se debe a que en la Industria Minera Chilena, estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia, debido principalmente a que las leyes de los minerales en los yacimientos en explotación han disminuido, obligando a las empresas mineras, con el fin de lograr mantener los niveles de producción de finos, lo que incrementa la cantidad de desechos que deben ser dispuestos, ya sea como material estéril o en la forma de pulpas de relaves. De acuerdo a ello,

se hace necesario tener muy presente los riesgos, tanto en los ámbitos técnicos constructivos, como en los ambientales, asociados a los pequeños, medianos y grandes depósitos de relaves.

Hasta hace algunas décadas atrás era común en Chile y en otros países de tradición minera deshacerse, por ejemplo, de los relaves derivados de las operaciones Minero Metalúrgicas, arrojándolos en lechos de ríos, lagunas, quebradas, valles o al mar. Por otra parte, cuando en las cercanías de alguna faena minera no existían estos sectores naturales tan "convenientes", los empresarios mineros solían acumular los relaves en áreas de contención, las que amurallaban con terraplenes levantados con los mismos relaves y una vez que se agotaba el yacimiento, estos depósitos quedaban abandonados.

Afortunadamente en los tiempos actuales, debido a la regulación legal existente en el país, tanto técnicos como ambientales, se hace más difícil librarse de los desechos mineros. Gran parte de la reglamentación que se impone al respecto, se refieren en forma específica a la industria minera, además las comunidades que se ven afectadas por este tipo de faenas hacen oír hoy su voz con fuerza y claridad, respecto de la protección de las personas y el medio ambiente.

La normativa vigente que regula todo lo relacionado con los “Depósitos de Residuos Masivos Mineros”, en lo técnico y ambiental, exige que se cumplan diversos requerimientos de seguridad, destinados a la protección de las personas y el medio ambiente.

Por ello todos los esfuerzos que se hagan para establecer criterios a tener en cuenta sobre el control de los riesgos de esta actividad, son muy importantes.

11.2 Conceptos básicos y generalidades sobre los relaves

Toda planta minera cuyo proceso de concentración es Flotación, produce residuos sólidos que se denominan relaves y que corresponden a una “Suspensión fina de sólidos en un líquido”, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente in situ en el yacimiento, al cual

se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera y desecha en las plantas de concentración húmeda de especies minerales y estériles que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina, Esta "pulpa o lodo de relaves" fluctúa en la práctica con una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1. Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas. Esto puede ilustrarse si se consideran los siguientes ejemplos:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalentes a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Si las partículas sólidas son de gran tamaño (equivalentes a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizar en la depositación de un material de relaves, dependerá de las características de los relaves que produce la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables con los relaves, deben determinarse sus características, similares a lo que se hace con los suelos (granulometría, densidad relativa, razón de vacíos, relaciones de fase, etc.). Estas determinaciones permiten también evaluar el cumplimiento de las disposiciones legales contenidas en el D.S. Nº248 (2006) "Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Depósitos de Relaves", del Ministerio de Minería.



Figura 45 Depósito de relaves.

11.3 Opciones para la descarga de los relaves

11.3.1 Descarga del relave completo.

Para esta opción se requiere disponer de un volumen suficientemente grande para permitir almacenar todos los relaves que se producirán durante la vida útil de la planta. Pueden utilizarse cavidades "pre- existentes" como: rajos mineros abandonados, depresiones naturales en superficie, cavernas naturales, antiguas minas subterráneas abandonadas, etc. En cualquiera de estos casos, si bien en el pasado en Chile pudieron darse la posibilidad de ser considerados, hoy debido a la legislación ambiental vigente resulta difícil de ser aceptados por su alta connotación ambiental, por lo que deberían realizarse estudios muy completos y detallados para demostrar que no se afectará el medio ambiente. Por ello, para la descarga de relaves completos, resulta técnica y ambientalmente más aceptable construir un muro perimetral con talud interno impermeabilizado hecho con material grueso de empréstito y poder generar así

una cubeta de depositación. Este tipo de depósito de relaves se denomina “Embalses o Depósitos de Relaves” y han sido aceptados como alternativa de depositación de relaves en nuestro país.

11.3.2 Construcción del muro resistente con parte del relave.

Esta opción corresponde a tratar los relaves provenientes de la planta, de manera de separar la fracción gruesa (arenas de relaves) de la fracción fina (lamas), de tal modo en poder utilizar la primera como material para la construcción del muro perimetral y descargar la segunda a la cubeta de embalse. Al construir el muro utilizando las arenas de los relaves, es posible hacerlo de 3 formas o métodos de crecimiento distintas:

1. Crecimiento del muro hacia “aguas arriba” (no lo contempla la legislación actual en Chile). (Figura 46 a).
2. Crecimiento del muro hacia “aguas abajo”. (Figura 46 b).
3. Crecimiento del muro según el método llamado “eje central o mixto”. (Figura 46 c).

Cualquiera de estos métodos constructivos conforma finalmente, a los denominados en Chile, “Tranques de Relaves”.

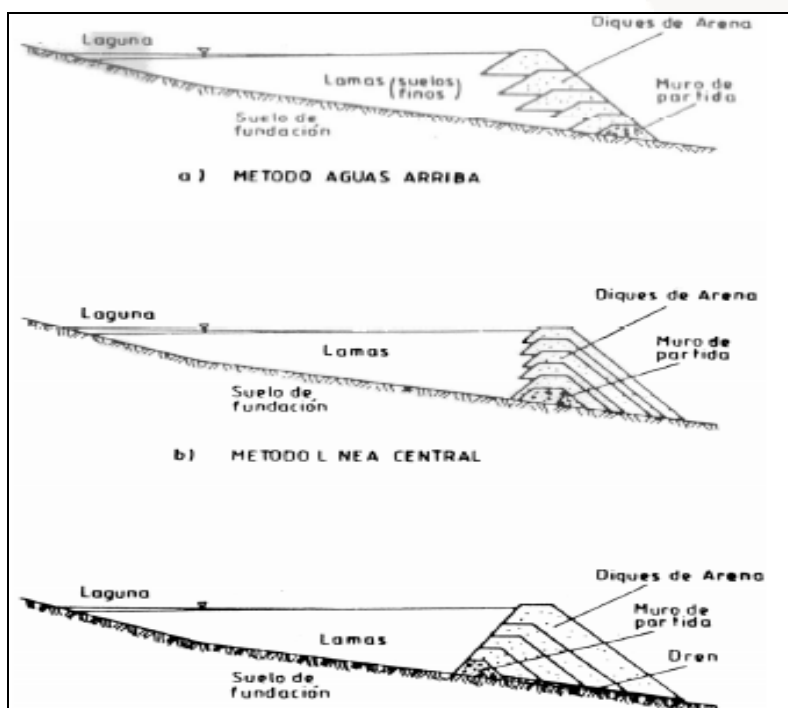


Figura 46. Métodos constructivos del muro de arenas del tranque de relaves.

11.3.3 Material de relaves equivalente a un suelo húmedo

Esta opción requiere tratar los relaves provenientes de la planta, de manera de extraerle la mayor cantidad de agua, obteniendo así un material equivalente a un suelo húmedo el cual puede ser depositado sin necesidad de un muro perimetral para su contención.

Para este propósito existen distintos métodos:

- Espesar los relaves,

- Filtrar los relaves, y la alternativa más reciente es la de crear, la que se denomina
- Pasta de relaves.

11.4 Efectos de la razón sólido/agua (S:A)

Una pulpa de relaves con suficiente agua se comportará como una suspensión acuosa, cuya viscosidad aumenta si disminuye el agua, hasta que, para contenidos de agua suficientemente bajos se comportará como un lodo espeso y eventualmente, como un suelo húmedo.

Experimentalmente podemos señalar que:

- Si la razón S: A es menor que 50%, la pulpa de relaves se comporta como suspensión acuosa, y escurrirá incluso con pendiente menores al 2% produciéndose segregación de las partículas con la distancia al punto de descarga.
- Si la razón S:A es igual o mayor que 55%, la pulpa de relaves comienza a tener un comportamiento de un lodo viscoso; disminuye fuertemente la segregación de partículas y se necesitará pendientes mayores al 2% para escurrir.

La tabla 24 nos indica la pendiente límite que admite una pulpa de relaves para distintas concentraciones de sólidos en peso (pendientes mayores producirán su escurrimiento).

Variación de la pendiente límite con la concentración de sólidos en una pulpa de relaves	
Pendiente límite (%)	Porcentaje de sólidos en peso (%)
< 2	< 50
2 – 3	55 - 66
3 – 5	60 - 63
4 – 6	63 - 65
> 6	> 65

Tabla 24. Variación de pendiente límite con la concentración de sólidos en una pulpa de relaves

11.5 Permeabilidad e infiltración y densidad relativa

11.5.1 Permeabilidad de los suelos.

Se dice que un material es permeable cuando tiene huecos continuos e interconectados, de modo tal que el agua pueda escurrir por ellos. Al movimiento del agua a través del material se le denomina “Infiltración o filtración” y a su medida “Permeabilidad”.

La circulación del agua a través del suelo se debe a la diferencia de presión hidrostática entre dos puntos.

En forma muy resumida podemos decir que se cumple la relación:

$$v = k \cdot i \text{ [cm/seg]}$$

Donde:

v = es la velocidad de descarga.

k = es el coeficiente de permeabilidad.

i = es el gradiente hidráulico.

Determinando el coeficiente de permeabilidad, se puede determinar el volumen de las filtraciones, el que depende del tamaño y granulometría de las partículas gruesas, de la cantidad de finos y de la densidad de la muestra.

El coeficiente de permeabilidad varía en un amplio margen para los distintos suelos naturales, desde 10^2 cm/seg (permeable) hasta 10^{-9} cm/seg (impermeable).

11.5.2 Densidad relativa

El grado de compactación que se requiere para una arena de relave con el fin de minimizar el riesgo de licuefacción, es expresado en términos de la llamada densidad relativa D_r , la que se define según la siguiente expresión:

$$Dr = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100\%$$

Donde:

Dr = densidad relativa.

e_{\min} = relación de vacíos de la arena en la condición más suelta.

e_{\max} = relación de vacíos de la arena en la condición más densa.

Otra forma de calcular la densidad relativa es mediante la expresión:

$$Dr = \frac{\rho_{\max} (\rho_{\text{in situ}} - \rho_{\min})}{\rho_{\text{in situ}} (\rho_{\max} - \rho_{\min})} \times 100\%$$

Donde:

ρ_{\max} = densidad máxima de las arenas.

ρ_{\min} = densidad mínima de las arenas.

$\rho_{\text{in situ}}$ = densidad en el lugar de las arenas.

12 Depósitos de relaves

Dentro de la disposición de relaves, existen diferentes y variadas formas de depositación de relaves, las que dependiendo de diversos factores como son las cercanías a la planta concentradora, capacidad de almacenamiento de relaves, topografía del lugar, producción del yacimiento se deberá seleccionar la forma más apropiada para disponer estos relaves.

Atendiendo a lo indicado anteriormente, los distintos tipos de depósitos de relaves que se consideran en la actualidad en Chile indicados en el “Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Depósitos de Relaves”, junto a una breve descripción de estas alternativas de construcción del muro de arenas del tranque de relaves, son los siguientes:

- Tranques de relaves.
- Embalses de relaves.
- Depósito de relaves espesados.
- Depósito de relaves filtrados.
- Depósito de relaves en pasta.

12.1 Tranque de relaves

Consiste en un muro inicial construido con material de relleno compactado sobre el cual se inicia la depositación de los relaves, utilizando hidrociclones; la fracción más gruesa o arena se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (underflow) y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del hidrociclón (overflow) se deposita hacia el centro del tranque en un punto más alejado del muro, de modo tal que se va formando una especie de playa al sedimentar las partículas más pesadas de lamas, escurriendo gran parte del agua, formando así el pozo de sedimentación o laguna de sedimentación, la que una vez libre de partículas en suspensión es evacuada mediante un sistema de estructura de descarga, que pueden ser las denominadas torres de evacuación, o bien, se utilizan bombas montadas sobre una balsa flotante.

Una vez que el depósito se encuentra próximo a llenarse, se procede al levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas arriba y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro; se continúa sucesivamente la construcción del muro en la forma indicada.

Con este método, en la práctica, se pueden alcanzar alturas de hasta 25 metros (Figura 47). Si bien este método es el que requiere un menor volumen de material arenoso, por lo que ha sido utilizado en la pequeña minería para construir numerosos tranques, es el que produce el tipo de muro menos resistente frente a oscilaciones sísmicas, es por ello que en la actualidad en Chile, no está contemplado, en la legislación vigente, aprobar este tipo de proyecto de tranques de relaves en la legislación vigente.

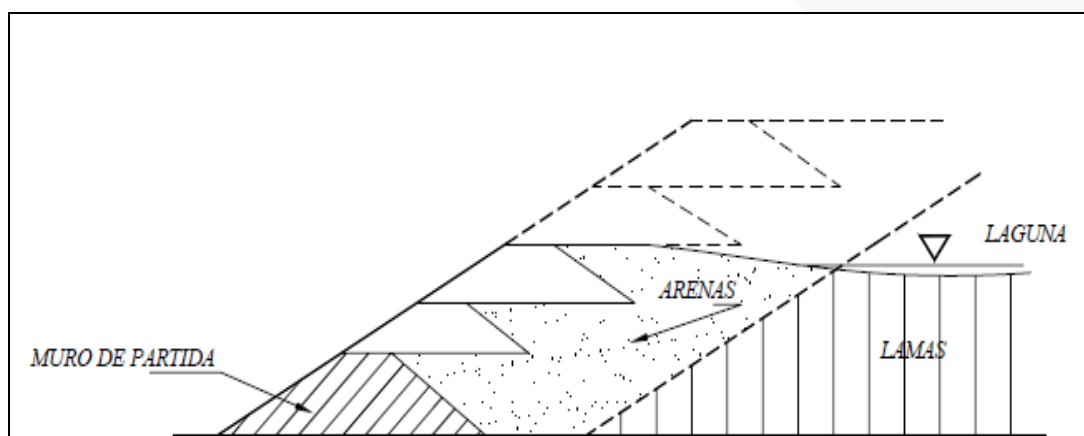


Figura 47. Método aguas arriba

12.1.1 Construcción del muro método aguas abajo

La construcción se inicia también con un muro de partida de material de relleno compactado desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, usualmente 2 a 4 m, se efectúa el levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro. A veces se dispone también de un segundo muro pre-existente aguas abajo. Las arenas se pueden disponer en capas inclinadas, según el manto del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida.

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas, permitiendo lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica.

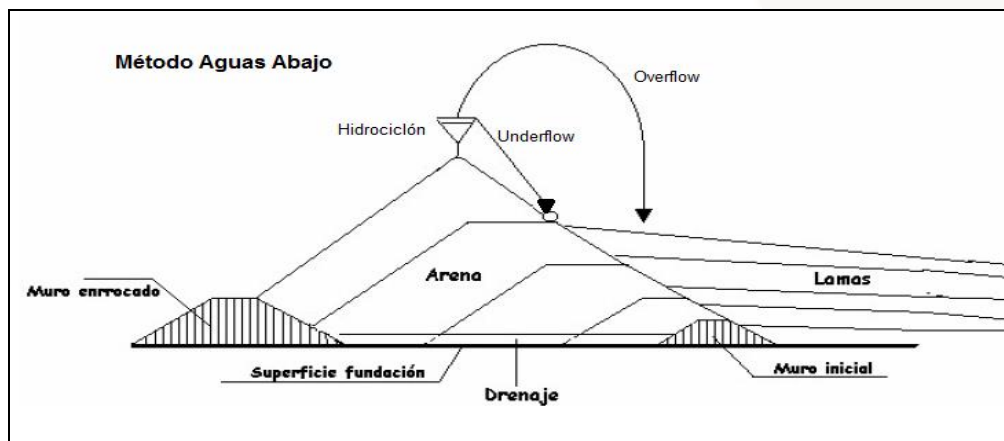


Figura 48. Método aguas abajo (capas de arenas inclinadas)

12.2 Embalses de relaves

Este tipo de depósito de relaves consiste en construir un muro resistente hecho totalmente de material de empréstito (o relleno), compactado e impermeabilizando el talud interior del muro y también parte o todo su coronamiento; los relaves se depositan completos en la cubeta sin necesidad de clasificación, pero también deben disponer, de un sistema de evacuación de las aguas claras de la laguna que se forma. Los embalses de relaves no se diferencian esencialmente de las presas de embalse de aguas, las que constituyen una técnica ampliamente desarrollada en todo el mundo. No obstante, es interesante destacar, que las técnicas de diseño evolucionan con gran rapidez y cada día se descubren nuevos métodos.

La diferencia fundamental entre un embalse destinado a la acumulación de agua y uno destinado a relaves es que mientras el embalse para agua se construye de una vez con su capacidad definitiva, el embalse para relaves se puede ejecutar por etapas a medida que se avanza con el depósito de los relaves, a fin de no anticipar inversiones y reducir a un mínimo su valor presente.

La construcción por etapas obliga a que la zona impermeable de la presa se diseñe como una membrana inclinada cercana y en la dirección del talud de aguas arriba. Un perfil como éste,

limita los grados de libertad en el diseño de las presas de tierra, cuando están destinadas a contener relaves (Figura 49).

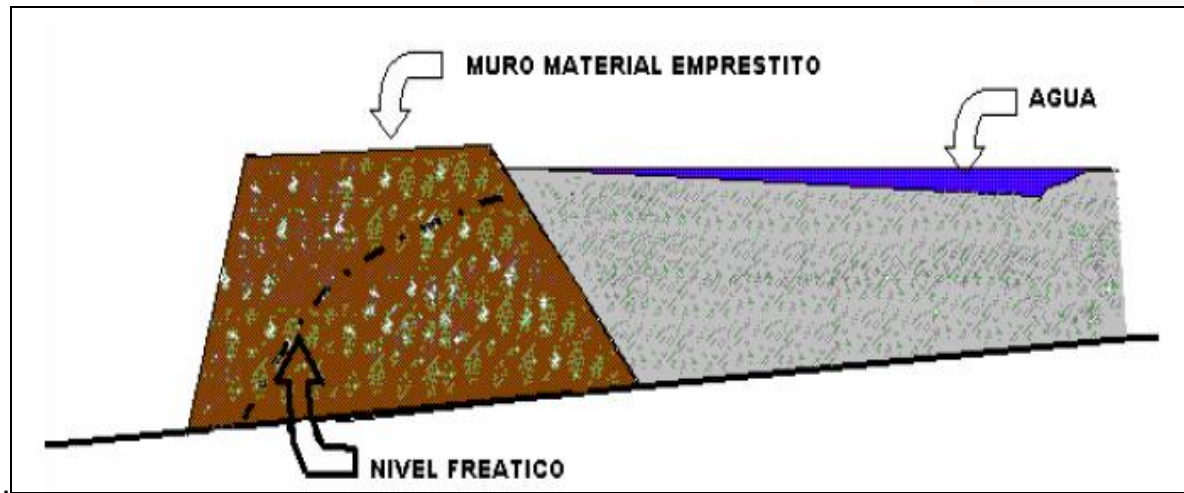


Figura 49. Muro construido con material de empréstito.

Del punto de vista sísmico, los embalses de relaves son más resistente que cualquiera de los métodos indicados para los tranques de relaves.

12.3 Depósitos de relaves espesados

El procedimiento se basa en la mayor viscosidad que alcanza la pulpa de relave al aumentar la concentración de sólidos. Para concentración del orden de 53% en peso, la pendiente de reposo es del 2% y ésta aumenta hasta un 6% si la concentración sube 65%.

De esta manera pueden disponerse los relaves en forma de un cono cuya pendiente será la que corresponde a la respectiva concentración de sólidos (figura 50).

Si se trata, por ejemplo, de depositar relaves en un valle plano desde la ladera que limita dicho valle, se puede iniciar el depósito desde pequeña altura con una pulpa relativamente diluida para luego elevar el punto de descarga simultáneamente con un aumento de la concentración a fin de disponer para las capas siguientes de una pendiente más pronunciada. El punto de descarga puede luego ser desplazado lateralmente con el objeto de formar un depósito de base ovoidal (Figura 51).

No obstante que este tipo de depósito no requiere la construcción de un dique para limitar el área comprometida, se recomienda la construcción de un pequeño terraplén algo alejado del borde exterior del depósito, el cual sirve para contener un volumen para el depósito del agua desalojada por el relave, la cual es captada por un vertedero u otro dispositivo para ser bombeada y recirculada. Este pequeño terraplén sirve a la vez para coleccionar las aguas lluvias y conducir las hacia cauces naturales.

Otro principio básico de este tipo de depósito se deriva de la diferencia en lo que a segregación del material se refiere, entre una pulpa diluida y otra concentrada.

En efecto, si la concentración de sólidos es baja, el escurrimiento de la pulpa produce una segregación de materiales, depositándose en primer lugar los granos mayores y a continuación y separadamente, los más finos. Es el fenómeno usual en el depósito de lamas en un estanque y más aún el que ocurre en los estanques contruidos por el método de aguas arriba. Si por el contrario, la pulpa es concentrada (del orden del 50% o más), esta escurre como un todo sin ocasionar segregación. Es el caso que ocurre con el escurrimiento de relaves por tuberías, en que es conveniente evitar la segregación mediante el uso de concentraciones del orden del 50% ya que con el uso de pulpas más diluidas, los granos gruesos se separan y ruedan por el fondo aumentando la abrasión de la tubería.

En un escurrimiento libre ocurre el mismo fenómeno, y al evitarse la segregación se obtiene una mayor densidad que impide que el relave depositado sea erosionado por el agua desalojada por el propio relave, por las aguas lluvias o por el viento.

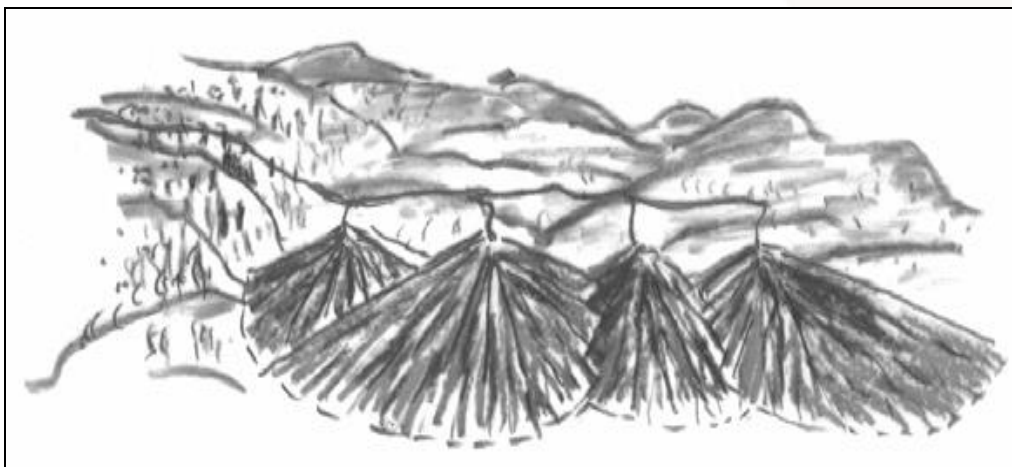


Figura 50. Depósito de relaves espesados.

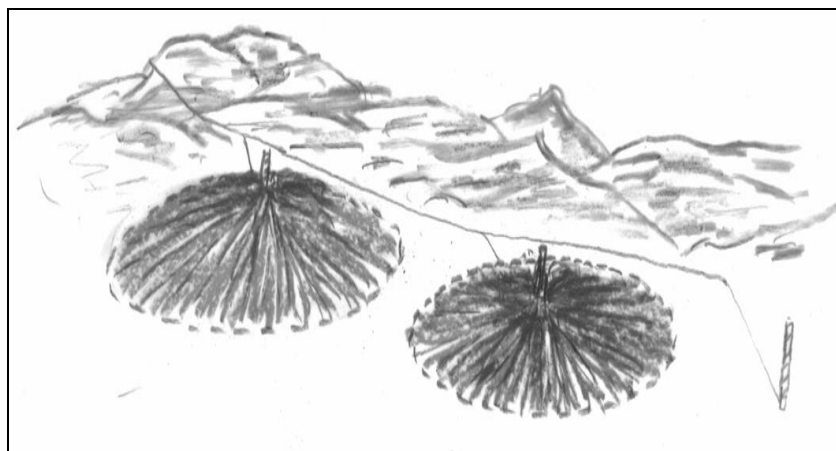


Figura 51. Depósito de base ovoidal.

12.4 Depósitos de relaves filtrados

Este tipo de depósitos de relaves es muy similar al de los relaves espesados, con la diferencia de que el material contiene menos agua, ello debido al proceso de filtrado, utilizando equipos

similares a los que se emplean para filtrar concentrados, como son los filtros de prensa o de vacío.

El relave una vez filtrado se transporta al lugar de depósito mediante cintas transportadoras o bien mediante equipos de movimiento de tierra y/o camiones. Es importante señalar que en este método, aunque el contenido de humedad que se logra (20% a 30% o menores) permite su manejo con equipos de movimiento de tierra, es suficientemente alto como para tener un relleno prácticamente saturado, por lo que es posible que se produzcan infiltraciones importantes de las aguas contenidas en estos relaves si el suelo de fundación es relativamente permeable. También es necesario señalar que la presencia de algunas arcillas, yeso, etc. en los materiales de relaves pueden reducir significativamente la eficiencia de filtrado.



Figura 52. Método de relaves filtrados

12.5 Depósitos de relaves en pasta

Los relaves en pasta corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y un bajo contenido de agua, de modo que esta mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

Una buena pasta de relaves requiere tener al menos un 15% de concentración en peso de partículas de tamaño menor a 20 micrones. La mejor propiedad de las pastas de relaves es que pueden ser eficientemente transportadas en tuberías sin los problemas de segregación o sedimentación que ocurren normalmente en las pulpas de relaves, permitiendo una gran flexibilidad en el desarrollo del concepto del sitio de emplazamiento. Una vez depositados los relaves, se dejan secar, luego acopiar, permitiendo así minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves.

La consistencia alcanzada permite que una pasta permanezca estable aun cuando esté varias horas sin moverse. La pasta puede formarse a partir de una gran variabilidad de componentes como cuarzo, arcillas y sales.

Es posible producir materiales con la consistencia de pasta a partir de un amplio rango de concentración de sólidos en peso y sobre la base de la variación de la distribución de tamaño de las partículas. Es decir, la producción de pasta es específica para cada tipo de material.

Cuando se dispone pasta de relaves en superficie, una muy pequeña fracción de agua podrá drenar o infiltrarse, ya que la mayor parte de la humedad es retenida en la pasta debido a la tensión superficial de la matriz de suelo fino.

La flexibilidad que permiten las pastas en cuanto al desarrollo del lugar de emplazamiento del depósito, puede ser extendida al uso de técnicas de construcción aguas arriba, donde las consideraciones de diseño antisísmicos de otra manera sería prohibida. Con la alternativa de pasta no se requiere una solución tipo embalse.

Para faenas de pequeña escala, la pasta puede ser transportada en camiones desde las instalaciones de operación y descargadas en el lugar de disposición final. Una vez depositada, se deja secar y se puede acopiar. Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de

suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.

Para faenas de mayor tamaño, por economía de escala para el manejo de materiales, el sistema considera el uso de bombas o cintas transportadoras hasta un repartidor que realiza la disposición final. Cabe destacar que debido a su alta densidad, las pastas son transportadas mediante el uso de bombas de desplazamiento positivo.



Figura 53. Depósito de relaves en pasta.

12.6 Descripción de los componentes principales de un depósito de relaves

Cubeta: Corresponde al volumen físico disponible donde se depositan las lamas (finos) y gran parte del agua de los relaves, de tal modo que se forma en ella la laguna de aguas claras, debido a la sedimentación de las partículas finas. La cubeta es la componente más importante en relación con la vida útil del depósito.

Muro o prisma perimetral o prisma resistente: Este muro delimita la cubeta y permite contener los residuos que en ella se descargan. Por lo tanto, el muro perimetral generalmente es la componente más importante en lo que dice relación con la estabilidad o grado de seguridad del depósito. En los tranques de relaves este muro se va construyendo con el material grueso (arenas) de los relaves a lo largo de la vida útil del depósito.

Sistema de descarga y/o clasificación y selección de los relaves: El sistema de descarga de residuos mineros permite depositar estos en la cubeta, por lo que una falla de este sistema se traduce en la detención de la operación eficiente del depósito. Además, muchas veces, este sistema se utiliza también para clasificar y seleccionar los residuos, de modo de utilizar parte de los mismos como material para la construcción del muro perimetral (uso de ciclones).

Zona de descarga de los residuos o zona de playa: La zona donde se descargan los residuos a la cubeta se le llama zona de playa porque usualmente está seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte del depósito de relaves o lamas situada en las cercanías de la línea de vaciado.

Poza de aguas claras o laguna de decantación: Corresponde a la laguna de aguas clarificadas que se forma en la cubeta debido a la sedimentación o decantación de las partículas sólidas. Esta poza permite la recuperación de aguas y al mismo tiempo la evacuación de estas desde la cubeta. Esta laguna deben mantenerse lo más alejada posible del muro de arenas o prisma resistente y su evacuación debe hacerse siempre para no disminuir el grado de estabilidad del muro.

Sistema de recuperación de aguas: El sistema de recuperación de aguas permite devolver a la planta, las aguas claras que se han recuperado desde la poza o laguna de aguas clara, mediante bombeo desde balsas y/o descargas de torres de evacuación o decantación que son obras destinadas a la descarga gravitacional de las aguas claras desde la poza de decantación de un tranque o embalse de relaves.

Sistema de drenaje. Es el sistema (por ejemplo lechos drenantes) utilizado para deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro, usualmente protegido por filtros

para evitar que el flujo de aguas arrastre las partículas finas y produzca la colmatación del sistema.

Sistema de impermeabilización de la cubeta. Si los relaves en la cubeta contienen sustancias tóxicas debe evitarse la infiltración de aguas al subsuelo, ya que estas podrían provocar la contaminación de los recursos de aguas subterráneas y/o de superficie de la zona de emplazamiento del depósito. En este caso, es preciso que se disponga de un sistema de impermeabilización del piso y paredes de la cubeta, usualmente construido en base a una serie de "estratos" impermeables y "permeables-drenantes".

Canales de desvío: Son las zanjias construidas o túneles construidos en las laderas para captar y desviar las escorrentías superficiales, impidiendo su ingreso a la cubeta del tranque o embalse de relaves.

Berma de coronamiento: Es la faja horizontal de mayor cota del talud externo del prisma resistente o muro de contención.

Revancha: Es la diferencia de cota entre la línea de coronamiento y la superficie inmediatamente vecina de la fracción aguas adentro del tranque, generalmente lamosa o de arena muy fina. Se denomina como revancha mínima al desnivel entre el coronamiento del prisma resistente y el punto más alto de las lamas; y se denomina revancha máxima al desnivel entre el coronamiento y la superficie de la poza de decantación.

Muro de partida o muro inicial: Muro construido con material grueso de relleno al inicio del depósito de relaves. En los sistemas constructivos del muro resistente de aguas abajo y eje central, las arenas se vacían hacia aguas abajo del muro inicial y las lamas hacia aguas arriba. La altura del muro de partida queda determinada por el avance en altura del prisma de arenas, en relación al avance en altura del nivel de lamas. El muro inicial debe permitir mantener una revancha mínima a lo largo del período de operación del tranque.

Muro de pie: Es el que se construye, generalmente de enrocados en el extremo de aguas abajo del prisma resistente en los métodos constructivos de eje central y de aguas abajo. Este muro tiene por objeto dar un límite físico al muro de arenas y evitar el escape de material fuera de la traza del prisma.

Muro de cola: Se suele construir para limitar el depósito por el extremo de aguas arriba. Puede construirse de tierra o por alguno de los sistemas de construcción empleados para el muro resistente.

Licuefacción: Pérdida total de la resistencia al corte de un suelo saturado por incremento de la presión de poros. El caso más frecuente de licuefacción ocurre por acción sísmica sobre materiales areno-limosos saturados. Los relaves saturados son altamente susceptibles a licuefacción sísmica, en especial, si la permeabilidad y densidad son bajas. Es el fenómeno más preocupante que ocurra en un tranque de relaves.

Piezometría: Es el sistema de control de las presiones hidrostáticas en el interior del prisma resistente para detectar la presencia de sectores saturados. Los instrumentos utilizados se llaman piezómetros y con ellos se detecta el nivel freático del subsuelo.

Vertederos de emergencia: Son vertederos de umbral variable destinados a evacuar el exceso de aguas acumuladas en la cubeta de un tranque al crecer la laguna de decantación por lluvias intensas.

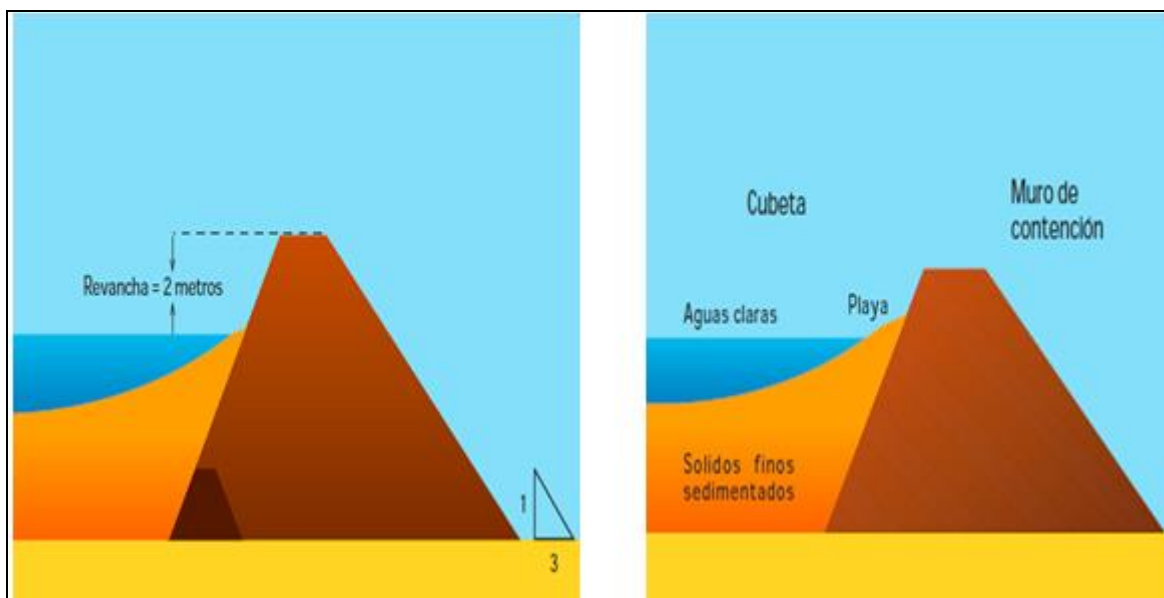


Figura 54 . Zonas de un tranque de relaves

13 Transporte hidráulico de pulpas

El transporte hidráulico, otorga la posibilidad de trasladar grandes cantidades de sólidos a larga distancia en forma continua mediante un fluido utilizando como ayuda, habitualmente agua (pueden ser soluciones).

Esto, que también se observa en la naturaleza en el arrastre de sedimentos por los ríos o en el transporte de arena por el viento, puede ser utilizado por el hombre, aprovechando para ello la fuerza de gravedad (Figura 55) o la potencia entregada mediante bombeo a la mezcla fluida (Figura 56).

El transporte hidráulico de sólidos o flujo de pulpas, es susceptible de ser modelado matemáticamente en forma bastante rigurosa y general; empero las ecuaciones resultantes del llamado modelo "exacto" son, además de complejas desde el punto de vista matemático, incompletas en el sentido que contienen siempre términos de difícil estimación, a la luz de los estudios realizados hasta hoy.

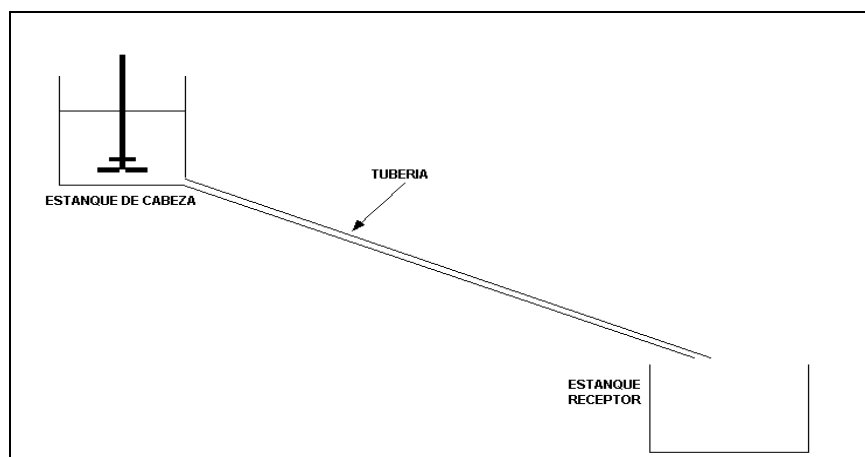


Figura 55. Transporte gravitacional de pulpas.

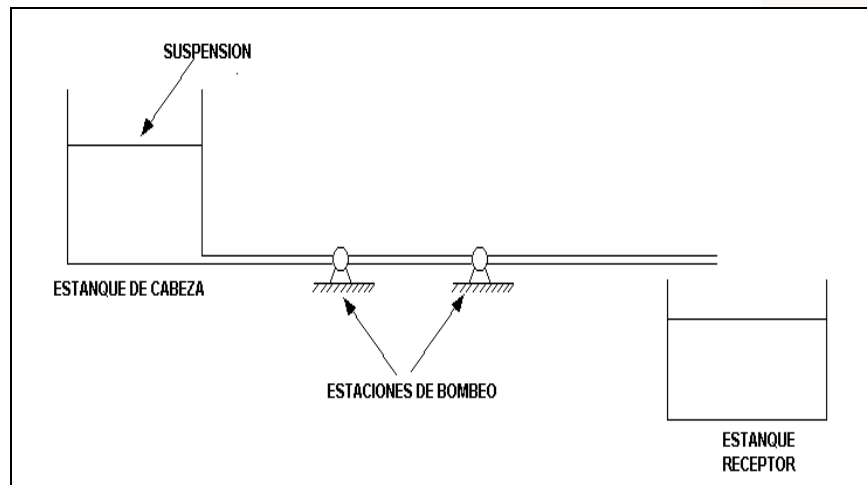


Figura 56. Transporte de bombeo de pulpas.

13.1 Conceptos del transporte hidráulico de pulpas

13.1.1 Viscosidad.

La viscosidad, es la propiedad que requiere mayor consideración en el estudio de escurrimiento de los fluidos. La viscosidad es la propiedad de un fluido mediante la cual se ofrece resistencia a fluir.

Normalmente, al aumentar la temperatura, la viscosidad de un líquido disminuye. Asimismo, para presiones normales, la viscosidad es siempre independiente de la presión y depende sólo de la temperatura.

Para medir la viscosidad, la unidad más usual es el Poise (P) que equivale a $1 \text{ g/ (cm} \cdot \text{s)}$. Comúnmente se usa el centipoise (cP).

En el caso de un fluido en general, se pueden definir dos viscosidades: la viscosidad aparente y la viscosidad local. La viscosidad aparente se define como:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\gamma}$$

Para un fluido Newtoniano $\mu_a = \mu = \text{cte.}$ En todos los demás casos la viscosidad aparente depende de γ por lo que no está bien definida a menos que se especifique la tasa de deformación. La viscosidad aparente puede entenderse como la viscosidad que tendría un fluido Newtoniano que presentara el mismo esfuerzo de corte que el fluido estudiado para un valor determinado de γ .

13.1.2 Densidad.

La densidad de un fluido se define como la razón de su masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

m = Masa (Kg)

V = Volumen (m^3)

ρ = Densidad (Kg / m^3)

La densidad del relave depende de la densidad de los sólidos transportados ρ_s , de la fracción sólida en peso C_p y de la densidad del medio fluido, que en este caso corresponde a agua, según la siguiente expresión:

$$\rho_r = \frac{1}{\left(\frac{C_p}{\rho_s} - \frac{1-C_p}{\rho_a}\right)}$$

13.1.3 Peso específico.

El peso específico de una sustancia es el peso por unidad de volumen:

$$\gamma = \rho * g$$

Donde:

γ = Peso específico.

g = Aceleración de gravedad (9,806 (m / s²))

ρ = Densidad (Kg / m³)

El peso específico depende de la aceleración de gravedad, depende de la localidad. En el agua pura a temperatura de 4°C, el valor de γ es aproximadamente:

$$\gamma = 9,806 \text{ (kg / (m}^3 * \text{s}^2))$$

$$\gamma = 9.806 \text{ (N / m}^3)$$

13.1.4 Esguerrimiento de transporte de pulpas

Los relaves son un fluido bifásico compuesto por una fase fluida y una fase sólida, que corresponde a las partículas transportadas. El modo de transporte de estas partículas varía dependiendo de diferentes parámetros. Por ejemplo, suponiendo partículas de composición y

diámetro uniforme, se pueden observar los siguientes regímenes de transporte para distintos diámetros de partículas y velocidades de flujo, mostrados en la Figura 57.

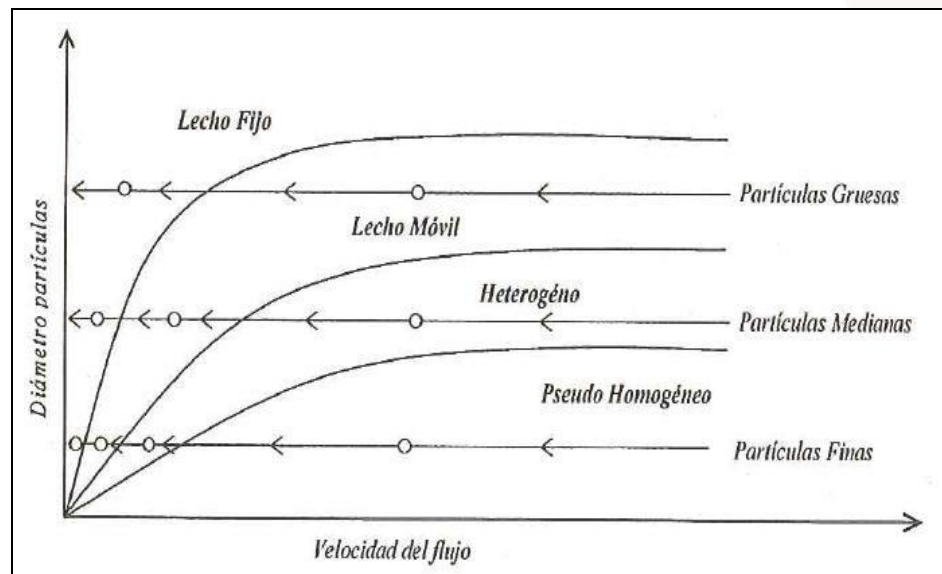


Figura 57. Regímenes de velocidad de flujo.

13.1.5 Esgurrimiento como suspensión homogénea

Las partículas son transportadas todas en suspensión, sin presentar diferencias en concentración en la sección (Figura 58) y con la misma velocidad que el fluido base. Se presenta a baja velocidad de flujo y diámetro de partículas pequeño.

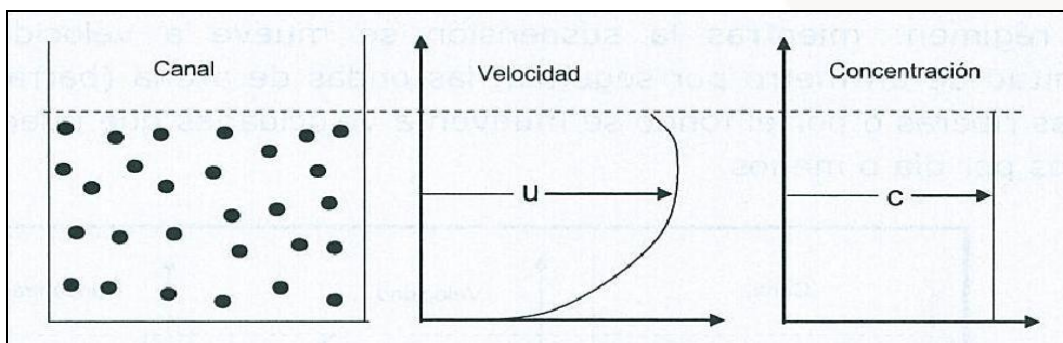


Figura 58. Flujo de suspensión homogénea.

13.1.6 Ecurrimiento como suspensión heterogénea.

Todas las partículas van en suspensión, pero existe un gradiente de concentración en la sección (Figura 59). Las partículas más pesadas tienden a caer pero sin llegar a chocar de manera notoria contra el fondo. A pesar de esto, las partículas aún se mueven con la misma velocidad del fluido, presentando un pequeño deslizamiento cerca de las paredes. Este flujo se observa con diámetro de partículas pequeño y velocidades moderadas.

Un ejemplo bastante común de este tipo de flujo es el transporte hidráulico de relaves con alto grado de molienda.

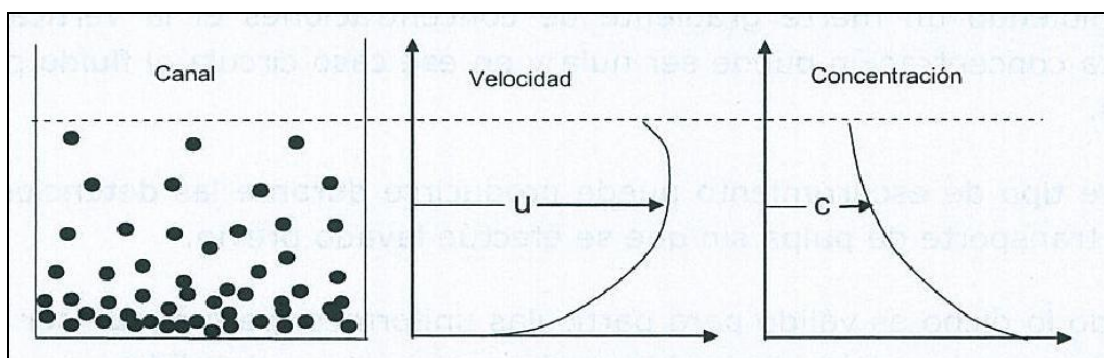


Figura 59. Suspensión Homogénea.

13.1.7 Ecurrimiento con lecho móvil

Una parte de los sólidos van en movimiento por el fondo, el resto se encuentra en suspensión. Un marcado gradiente de concentración se puede observar con respecto al fondo. Este régimen se observa con velocidades bajas y/o partículas grandes. Los sólidos del fondo pueden llegar a tener una velocidad de un orden de magnitud menor que los que se encuentran en suspensión.

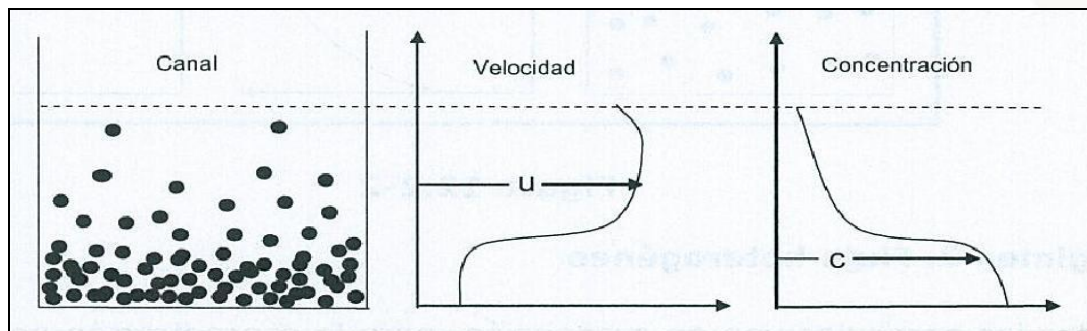


Figura 60. Lecho móvil

13.1.8 Ecurrimiento con lecho fijo.

Una parte importante de los sólidos se encuentra estancada en el fondo mientras por encima de ellos circula el resto de sólidos en suspensión. Presenta un muy marcado gradiente de concentraciones vertical, que puede llegar a ser cero y solo circule fluido puro por sobre el lecho fijo. Las velocidades suelen ser muy pequeñas y/o las partículas de gran tamaño.

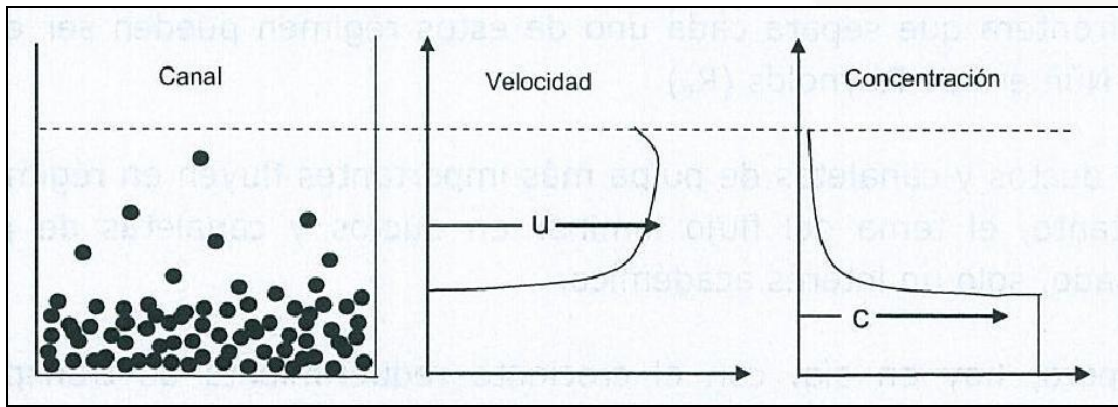


Figura 61. Lecho fijo.

13.1.9 Velocidad crítica de sedimentación de partículas.

Es la velocidad de flujo para la cual las partículas empiezan a depositarse en el fondo de tubería, es decir, se inicia la formación del lecho móvil. Esta velocidad depende directamente de la velocidad terminal de la partícula y del grado de turbulencia existente en el sistema, además del tipo de flujo, la concentración de sólidos, la granulometría de las partículas, la densidad de las fases y el diámetro de la tubería.

Esta velocidad es muy importante para el diseño, especialmente para fluidos heterogéneos, pues se toma como un referente de seguridad para asegurar que las partículas sólidas no sedimenten. En este sentido, la velocidad de flujo en el diseño siempre debe superar a la velocidad de deposición, considerando un factor de seguridad.

La determinación mejor estimada de la velocidad crítica de sedimentación se obtiene de manera experimental, con la pulpa que se va a transportar.

Existen varios modelos empíricos para determinar, uno de estos es:

13.1.10 Modelo de Duran y Condolios

Este modelo se basa en experiencias con grava y arena de tamaño uniforme. Los autores definen la “velocidad límite de deposición” como un estado en la tubería para el cual, se logra apreciar un régimen de deposición o lecho móvil.

Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$v_d = F_L \times \sqrt{2 \times g \times D \times (S_s - 1)}$$

Donde:

F_L = Factor de Durand.

D = Diámetro de la tubería (m).

S_s = Densidad específica de los sólidos.

g = Gravedad (m/s^2).

Para el caso real de pulpas de mineral, donde la velocidad de sedimentación es afectada por la concentración de sólidos (sedimentación obstruida) y debe corregirse.

13.1.11 Esfuerzo de corte

Se define como la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento, cuando un fluido se mueve al interior de una tubería y donde la fuerza es paralela al área. El esfuerzo cortante (τ) se calcula como:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Actividad N° 7

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor, deberán reconocer los diferentes tipos de disposiciones de relave que se aplican bajo el marco regulatorio, en Chile. El objetivo de la actividad es familiarizar a los participantes con estas alternativas de disposición de colas de minerales que la industria minera está aplicando.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar el tipo de disposición y condiciones de operación del relave, aplicado por la empresa para disponer de las colas generadas por el proceso.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	
Propuestas de Situaciones Problemáticas	✓

Tabla 25

Materiales y Recursos.

Notebook.

Data.

Cuaderno de actividades participante.



Lápiz.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá guiar a los participantes, entregando instrucciones claras sobre cómo se procede, respondiendo cualquier duda sobre la actividad misma.

Los participantes deberán guiarse por su cuaderno de actividades, en donde aparece la figura siguiente. En la primera columna, se presenta una imagen o fotografía que representa a un tipo definido de depósito. El alumno debe anotar en la columna siguiente la respuesta que corresponda.

El instructor podrá proyectar la figura en la pantalla, para mejorar la visión de las imágenes de los participantes.

Imagen	Tipo de depósito de relaves al que corresponde
	
	



Metodo aguas abajo

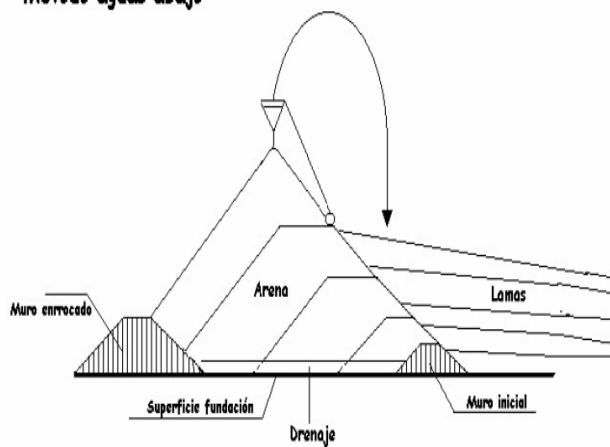




Figura 62 Identificación de depósitos

Luego de que los participantes terminen la actividad, el instructor anotara en pizarra una serie de preguntas relacionadas con características desde el punto ambiental y de seguridad de estos depósitos. Los alumnos la contestaran en su cuaderno.

Por último, el instructor pedirá que cada participante comparta las respuestas con sus compañeros.

Cierre

El marco legal de nuestro país especifica y regula a la industria minera en lo que se refiera a los relaves, entregando los procedimientos que integran el cuidado al medio ambiente y seguridad que deben ser contempladas en el desarrollo de cualquiera de los depósitos establecidos. Los participantes deben tener presente estos procedimientos y no olvidar cuál es su función y participación en el control de estos depósitos.

14 Reología.

14.1 Definición

La Reología es la ciencia de flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos.

El concepto se comenzó a investigar a partir del siglo XVII gracias a los científicos Robert Hooke e Isaac Newton, los cuales asentaron las ideas generales de dicha ciencia.

Robert Hooke habló de reología en su teoría que se resumía en lo siguiente: “Si se dobla la tensión, se dobla la deformación”.

Luego Isaac Newton publicó una hipótesis asociada al estado simple de cizalladura (o corte): “La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partículas de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”.

Esta necesidad de deslizamiento es lo que ahora se denomina viscosidad.

14.2 Fluidos newtonianos.

Este se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. La μ (viscosidad) es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado, su alteración solo dependerá de la presión y temperatura del fluido.

Ejemplos de este tipo de fluidos son el agua, el aceite (ver figura 63), etc.



Figura 63. Aceite de oliva, ejemplo de fluido newtoniano.

14.3 Fluidos no newtonianos

Son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. En palabras sencillas, cualquier tipo de esfuerzo cortante, hará variar la viscosidad del fluido y en algunos casos, hasta cambiar de estado.

En este caso, las pulpas no obedecen la ley de viscosidad, es decir, la viscosidad no permanece constante y el esfuerzo de corte aplicado no es lineal con la gradiente de velocidad, pero sigue existiendo dependencia.

Algunos ejemplos son la maicena, el ketchup, la pasta de dientes, el yogurt.



Figura 64. La maicena, ejemplo de fluido no newtoniano.

14.4 Fluido Ideal

Llamamos fluido ideal a aquel que fluye sin dificultad alguna, aquel cuya viscosidad vale cero. Tal fluido no existe pero en ciertas circunstancias -en las que resulta una razonable aproximación a la realidad- se pueden aplicar algunas de sus propiedades y leyes de movimiento a los fluidos de verdad. Algunas de sus propiedades son:

- Viscosidad cero.
- Son incompresibles (su densidad es constante)

- El flujo es laminar (se desplaza ordenadamente sin hacer remolinos)
- La velocidad de todas las moléculas del fluido en una sección transversal de tubería es la misma.

Actividad N° 8

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor, deberán identificar el comportamiento de los fluidos newtonianos y no newtonianos. El objetivo de la actividad es familiarizar a los participantes con uno de los aspectos interesantes que se manejan en la ciencia de la reología, comparando con el comportamiento del agua con una mezcla, ante la aplicación de una fuerza o esfuerzo.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Verificar condiciones operacionales del proceso de conducción de relaves para detectar variables o parámetros de operación fuera de rango.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	

Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 26

Materiales y Recursos

Dos recipientes medianos.

Agua.

Maicena.

Colorante.

Taller con pizarra.

Cuaderno de actividades del participante.

Lápiz.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá guiar a los participantes, entregando instrucciones escritas en pizarra para realizar esta actividad.

El primer paso es preparar la mezcla de maicena con agua en el primer recipiente. El instructor debe indicar la cantidad necesaria de maicena para que la mezcla quede espesa pero sin saturarla.

Una vez terminada la mezcla, debe añadirse cuatro gotas de colorante y dejar reposar por unos tres minutos.

Luego, debe llenarse el segundo recipiente con agua y dejarlos uno lado del otro.

El instructor indicará lo siguiente a cada participante:

1. Primero, el participante introducirá la mano en el recipiente con agua.

2. Terminado lo anterior, introducirá la mano lentamente en el recipiente con la mezcla, la sacará y empuñará con lo que logre tomar de mezcla.

3. Luego de terminado lo anterior, el instructor pedirá a cada uno de los participantes que anoten en su cuaderno de actividades, los cambios observados.

El instructor en una pizarra anotará las siguientes preguntas relacionadas con el taller realizado, para que cada participante las responda.

1. ¿Hubo un cambio en el primer recipiente (con agua) al introducir la mano?

2. ¿Qué cambios pudo observar en el segundo recipiente al aplicar una fuerza sobre la mezcla?

3. ¿Qué pasaba cuando dejaba de hacer presión sobre la mezcla?

4. ¿Cuál de los dos fluidos se comporta como un fluido no newtoniano?

5. ¿Qué pasará si una pulpa de relave se comportara como un fluido no newtoniano?

6. Si tal cambio pudiera suceder, ¿favorecería a las diferentes tipos de depositación de relaves?

Los alumnos responderán las preguntas en su cuaderno de actividades.

Cierre

La Reología es la ciencia que se encarga de estudiar el comportamiento de un fluido cuando este se encuentra en reposo y en especial cuando se mueve. El poder definir si un fluido se comporta o no como un fluido newtoniano, entrega una visión clara del diseño del medio de transporte para este. Los participantes al poder conocer esta característica poco común pero de no menor importancia, serán capaces de entender los posibles problemas que pueda presentar el transporte de relaves y porque no, aportar con ideas para mejorar.

15. Variables del proceso de transporte de relaves

15.1 Densidad de la pulpa de descarga del espesador

Dependiendo del tipo de relaves a depositar en el tranque, podemos manejar la densidad de pulpa a la salida del espesador y por ende la consistencia del relave, tal como lo muestra la tabla 27.

Densidad de la pulpa % de sólidos	Volumen de agua por tonelada de relave m ³ /ton	Consistencia del relave
30	2,3	Pulpa
65	0,5	Espesado
75	0,3	Pasta
85	0,2	Filtrado

Tabla 27: Densidad de la pupa de descarga del espesador

Para esto se requiere equipos de espesados capaces de cumplir con las concentraciones de sólido a las cual se diseña el depósito (65% - 75%).

Los equipos comúnmente utilizados son dos:

1. Espesadores de alta densidad o alta compresión.
2. Espesadores tipo pasta o cono profundo.



Figura 65. Espesador de pasta.

15.2 Dimensionamiento de cajón distribuidor de relaves

Los cajones de traspaso corresponden a un caso particular de movimiento del flujo de pulpa a superficie libre, cuyo propósito es comunicar dos ductos de distintas características en sus dimensiones y direcciones.

En el dimensionamiento de cajones de traspaso deben contemplarse ciertos aspectos para evitar rebalses y salpicaduras de pulpa. Estas consideraciones son:

1. El ancho del cajón de traspaso debe ser tal, que se evite el choque de los flujos de pulpas con las paredes de éste.
2. El largo del cajón de traspaso debe ser tal, que considere la trayectoria parabólica que describe la caída de pulpa de alimentación al cajón.
3. La altura libre de la sección de salida debe asegurar que el escurrimiento a flujo máximo corresponda a un régimen de río.
4. Se debe considerar una revancha en el cajón de traspaso de acuerdo al tipo de pulpa, espumosa o no espumosa.

5. El traspaso de la pulpa debe realizarse asegurando la independencia hidráulica entre flujo entrante y saliente del cajón de traspaso.

Según las características de flujo y las posibilidades de diseño, estos deberán diseñarse con: colchón amortiguador, drenajes de fondo y cubiertas para evitar derrames de espuma.



Figura 66. Cajón real en operación.

15.3 Sistema de bombeo de relave hacia el depósito

Cuando las condiciones topográficas no son adecuadas (pendientes en contra del flujo, distancias muy grandes, etc.), se requiere mover la pulpa con un sistema de bombeo. Las bombas utilizadas para esto son de características distintas a las bombas para agua pura, dada la alta densidad, viscosidad y abrasividad de la pulpa. Las bombas más utilizadas son:

- Bombas centrífugas.
- Bombas de desplazamiento positivo.



Figura 67. Bomba de desplazamiento positivo



Figura 68 Bomba centrífuga

15.4 Estado de compactación del muro tranque de relaves

Se deben realizar periódicamente controles de la densidad in-situ en el muro de arenas y determinar de la densidad relativa (las muestras se deben tomar a $1/3$ y $2/3$ de la altura total del muro) Estas medidas son importante porque indican en cierta medida, el grado de compactación con que cuenta el muro de arenas en la operación.

Una medida relevante a tener presente en la construcción en los muros de algunos tranques, es la de evitar conformar esquinas en ángulo recto ya que constituyen uno de los puntos estructuralmente más débiles frente a las sollicitaciones sísmicas, debido a bajo confinamiento. Cuando la compactación es deficiente, los tranques de relaves tienen mayor probabilidad de colapsar frente a una sollicitación sísmica significativa. Es por ello que la operación de compactación en el muro debe hacerse en forma regular junto con todas aquellas otras medidas que tienen incidencia con la estabilidad del tranque.

15.5 Depositación en el tranque

La depositación de la pulpa puede realizarse mediante tuberías que llegan directamente al área de depósito, también mediante los denominados spigot y para relaves filtrados, por correas de apilamiento.



Figura 69 Depositación de la pulpa mediante tuberías



Figura 70 Depositación de la pulpa mediante spigot



Figura 71 Stacker móvil

15.6 Crecimiento del espejo o ribera de agua

Controlar periódicamente el nivel y posición de la laguna o ribera de aguas claras, la cual debe mantenerse siempre lo más alejada posible del muro de arenas en los casos de tranques de relaves, con el fin de evitar humectar demasiado el muro y que se sature de agua, trayendo el consecuente aumento de la presión de poros entre las partículas y el eventual colapso.

Si no se controla el nivel del espejo de agua, puede generarse un desborde del mismo por sobre el muro. Este desborde se define como la posibilidad de pérdida ocasionada por el aumento de las aguas por sobre el límite superior del muro, lo que puede suceder por un aumento de precipitaciones o por un mal manejo de las aguas que provienen de la concentradora. Esto puede provocar el derrumbe del muro, la inestabilidad del talud y el derrame de relaves desde el talud externo del muro, según se muestra en la figura 72.

Para prevenir este tipo de problemas, se exige a las construcciones con muros de arenas, una revancha de por lo menos 5 m de relave hasta la cresta del muro y exige además una poza de decantación que se encuentre alejada del muro.

También el bombeo, mediante una bomba vertical con flotador, nos ayuda a mantener el nivel de la ribera de agua.

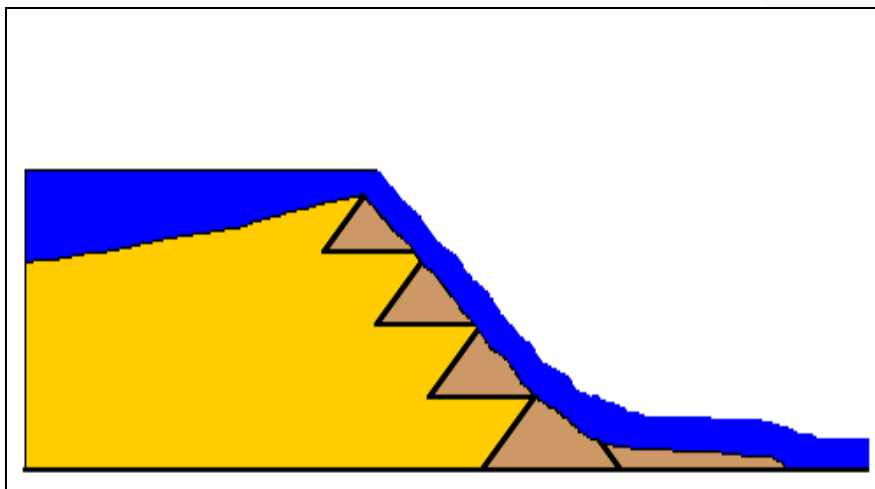


Figura 72 Desborde de espejo de agua por sobre el muro

Actividad N° 9

Introducción a la actividad.

Los participantes tendrán la misión de contestar preguntas relacionadas con la situación ficticia presentada por el instructor.

El objetivo de la actividad es los participantes puedan familiarizarse con las variables a controlar en la operación de relaves, la relevancia y el impacto que puede provocar el incorrecto ajuste de estas.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Realiza ajustes de parámetros y variables de operación a equipos de conducción de relaves, para normalizar operación.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	
Propuestas de Situaciones Problemáticas	✓

Tabla 28

Materiales y Recursos

Notebook.

Data.

Cuaderno de actividades participante.

Lápiz.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá proyectar la imagen que aparece en el cuaderno. Una vez realizado lo anterior, introducirá a los participantes en el contexto de la situación, que básicamente se trata en el rompimiento de un muro de contención de relaves.

El instructor guiará la actividad hacia el manejo de las variables, para que los participantes puedan contestar las preguntas relacionadas con la situación. También es importante que el instructor motive a los participantes en la generación de conclusiones sobre el caso y también medidas de control para evitar que se genere el suceso.



Figura 73. Imagen de la situación problemática.

Luego, cada participante compartirá conclusiones con todos sus compañeros.

El instructor cuando hayan terminado las exposiciones, realizará un resumen y concluirá con las ideas finales, anotándolas en pizarra.

Cierre

El control de variables es esencial en las plantas de procesamiento de minerales. Un mal diseño o falla en el control, puede desencadenar un evento de proporciones mayores en el aspecto ambiental y disconformidad por parte de la autoridad hacia las empresas. El hecho de presentar una situación puntual, sirve para que el participante se sitúe en el contexto de la operación misma, de su responsabilidad y aporte hacia una operación normal.

16 Recuperación de agua desde el tranque de relaves

16.1 Métodos de recuperación

El agua clara o decantada, almacenada en el lago del depósito de relaves, es bombeada para su reutilización en la Planta, mediante bombas verticales que flotan en el lago (ver figura 74). El agua es llevada a un estanque reservorio, para luego ser dispuesta operacionalmente para los demás procesos.

El agua captada por el drenaje basal también es colectada para su uso en la planta.

Normalmente se cuenta con tres estaciones de bombeo:

- Laguna de aguas clara.
- Drenaje basal.
- Bombeo principal.



Figura 74 Bomba vertical flotante

Si estamos hablando de Relaves Filtrados, se utilizan filtros de vacío, filtros prensa, filtros de banda y centrífugas.

El contenido de agua de los relaves puede ser reducido hasta 20-25% por peso de pulpa tratada.



Figura 75 Filtro de banda y filtro de prensa

16.2 Determinación del balance hidráulico

El caudal de agua disponible para ser recuperada en un tranque de relave está determinada por la suma de los siguientes caudales.

$$Q_D = Q_r + Q_{ll} + Q_H - Q_a - Q_L - Q_v - Q_s - Q_i - Q_e$$

Donde:

Q_r : agua contenida en los relaves.

Q_{ll} : agua proveniente de lluvias.

Q_H : agua proveniente de la hoya aportante.

Q_a : agua retenida en las arenas.

Q_L : agua retenida en las lamas.

Q_v : agua perdida en la evaporación.

Q_s : agua infiltrada bajo muro de arenas.

Q_i : agua infiltrada bajo la cubeta.

Q_e : agua excedente.

- Agua retenida en los relaves.

$$Q_r = T \times (100 - C_p) / (d_i \times C_p)$$

Donde T: flujo másico de relave.

C_p : Concentración en peso de agua.

dl: densidad del agua.

- Agua retenida en la arena.

$$Q_a = T_a \times (100 - T_a) \times H_a / 100$$

Donde C: concentración del underflow.

H_a: Humedad de las arenas.

T_a: flujo másico de arena.

- Agua retenida en las lamas (finos).

$$Q_L = T_L \times (S - S_S) / (S \times S_S)$$

Donde T_L : flujo másico de lamas en la cubeta.

S_S: densidad de las lamas.

S: densidad de sólidos del relave.

- Perdida por evaporación.

$$Q_V = T_e \times (A_L + 0.4A_{PL}) / 1000$$

Donde T_e: evaporación promedio.

A_{PL}: área de la playa activa.

A_L: área de la laguna.

- Agua contenida en las arenas.

$$Q_S = T_a / C - T_a$$

Donde T_a: flujo másico de arena.

C: concentración del underflow.

- Perdida de agua infiltrada.

$$Q_i = k \times i \times A$$

Donde k: permeabilidad media de la cubierta de suelo.

i: gradiente hidráulico.

A: área de la cubeta con suelo natural.

- Caudal excedente.

$$Q_e = 0,08 * Q_r$$

- Caudal medio de aguas lluvias.

$$Q_u = A * P$$

Donde:

A: área de la cubeta con suelo natural.

P: mm de lluvia en un año.

17. Tipos de bombas de impulsión de pulpas

17.1 Introducción

Las bombas son de gran importancia en el transporte de fluidos, debido a su capacidad de producir vacío, con lo cual se puede empujar el fluido hacia donde se desee transportar. Existe una infinidad de bombas las cuales tienen distintas funciones, todo depende del tipo de fluido, de la temperatura a la cual se va a transportar y la presión que se soportará.

Así surgen las bombas centrífugas que fundamentalmente son máquinas de gran velocidad en comparación con las de movimiento alternativo, rotativas o de desplazamiento positivo. Ellas funcionan a altas velocidades, acopladas directamente al motor de accionamiento, con lo que consigue que las pérdidas por transmisión sean mínimas.

Una bomba o una máquina soplante centrífuga, consta esencialmente de uno o más rodets provistos de álabes, montados sobre un árbol giratorio y cerrado en el interior de una cámara de presión denominada voluta.

Probablemente las bombas sean los equipos de transferencia de energía más antiguo que se conozcan.

Una bomba no es otra cosa que un dispositivo físico que se emplea para transportar fluidos desde una posición a otra, a través de conducciones. Durante años, el diseño de numerosas bombas ha ido evolucionando hasta adaptarse a una serie de requisitos. Los requisitos básicos para definir su aplicación están estrechamente relacionados con las presiones de succión y descarga, con pérdida de presión transmitida, y la velocidad de flujo especificada. Además, pueden existir requisitos especiales cuando se trate de sectores específicos tales como alimentación, nuclear y otras industrias que imponen requisitos en la selección del material de la bomba.

17.2 Clasificación de bombas

Se pueden considerar dos grandes grupos de bombas: dinámicas (centrífugas, periféricas y especiales) y de desplazamiento positivo (reciprocantes y rotatorias).

Desplazamiento positivo		Dinámicas
Reciprocantes	Rotatorias	
De pistón	De engranes	Centrífugas
		Periféricas

De inmersión	De paleta	
De diafragma	De tornillo	

Tabla 29. Tipos de bombas.

17.2.1 Bombas de desplazamiento positivo

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un émbolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc., y la carcasa o el cilindro. “El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. Por consiguiente, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotatorias, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto a éstas máquinas también se les denomina “volumétricas”.

17.2.2 Bombas reciprocantes

Llamadas también alternativas, en estas máquinas, el elemento que proporciona la energía al fluido lo hace en forma lineal y alternativa. La característica de funcionamiento es sencilla.

Estas bombas señalan un movimiento con dirección hacia atrás y en dirección hacia adelante de un pistón en un cilindro.

Presentan una frontera móvil (pistón) que fuerza al fluido a través de cambios de volumen. Se abre una cavidad (cilindro) y el líquido es entonces comprimido saliendo de la cavidad por medio de una válvula de salida.

En la figura 76 se muestra el principio de la bomba de desplazamiento positivo.

Los tipos de bombas recíprocas son de pistón, de diafragma y émbolo. Estas aumentan y disminuyen el área de la cavidad que bombea el fluido. Al variar esta área, se usan válvulas para darle una dirección al fluido. El movimiento del pistón o del diafragma en una dirección se llama longitud de recorrido.

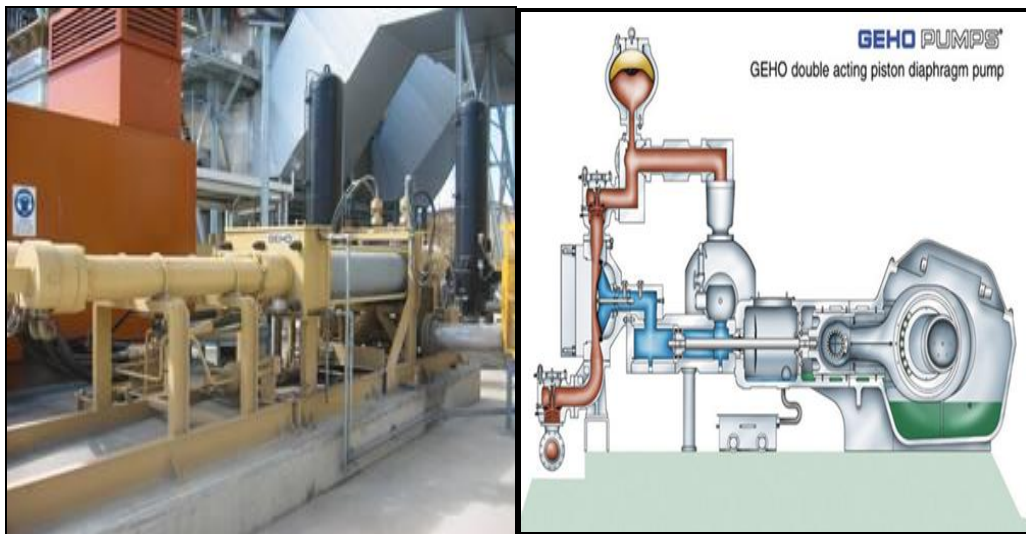


Figura 76. Bomba de pistón y de diafragma marca GEHO.

17.2.3 Bomba rotatoria.

Llamadas también roto estáticas, debido a que son máquinas de desplazamiento positivo, provistas de movimiento rotatorio, y son diferentes a las roto dinámicas. Estas bombas tienen

muchas aplicaciones según el elemento impulsor. El fluido sale de la bomba en forma constante, puede manejar líquidos que contengan aire o vapor. Su principal aplicación es la de manejar líquidos altamente viscosos, lo que ninguna otra bomba puede realizar y hasta puede carecer de válvula de admisión de carga.



Figura 77 Bomba rotatoria

17.2.4 Bombas dinámicas

Bombas centrífugas. Son aquellas en que el fluido ingresa a ésta por el eje y sale siguiendo una trayectoria periférica por la tangente, las cuales se caracterizan por tener una carcasa, donde dentro de ella gira un rodete o impulsor con alabes.

Estas bombas producen una presión motivada por las fuerzas centrífugas que desplazan el agua hacia la periferia y le comunican una carga de velocidad que es la que se convierte en presión de descarga.

Las bombas centrífugas son las más utilizadas en la industria química para transportar líquidos, existiendo una clasificación adicional la cual es según la posición horizontal o vertical del eje de la bomba.

Uso de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas, debido a sus características, son las bombas que más se aplican en la industria. Las razones de estas preferencias son las siguientes:

- a. Son aparatos giratorios.
- b. No tienen órganos articulados y los mecanismos de acoplamiento son muy sencillos.
- c. La impulsión eléctrica del motor que la mueve es bastante sencilla.
- d. Para una operación definida, el gasto es constante y no se requiere dispositivo regulador.
- e. Se adaptan con facilidad a muchas circunstancias.

Aparte de las ventajas ya enumeradas, se unen las siguientes ventajas económicas:

- a. El precio de una bomba centrífuga es aproximadamente $\frac{1}{4}$ del precio de la bomba de émbolo equivalente.
- b. El espacio requerido es aproximadamente $\frac{1}{8}$ del de la bomba de émbolo equivalente.
- c. El peso es muy pequeño y por lo tanto las cimentaciones también lo son.
- d. El mantenimiento de una bomba centrífuga sólo se reduce a renovar el aceite de las chumaceras, los empaques de la presa-estopa y el número de elementos a cambiar es muy pequeño.



17.3 Hidráulica de bombas

17.3.1 Concepto de pérdidas de carga

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

Cinético: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.

Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.

Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

17.3.2 Flujo laminar

Es aquel fluido donde la trayectoria de las partículas se efectúa a lo largo de un sistema o conducto formando líneas o láminas de corriente paralelas, no existe un mezclado microscópico de las capas de fluido adyacentes. El número de Reynolds es de $< 2\,100$ (figura 79)

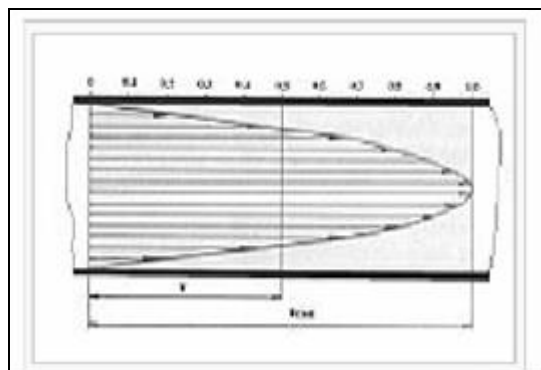


Figura 79 Distribución de velocidades en una tubería con flujo laminar

17.3.3 Velocidad crítica

Es aquella velocidad por debajo de la cual toda turbulencia es amortiguadora por la acción de la viscosidad del fluido. La experiencia demuestra que un límite superior para régimen laminar y viene dada por un valor intermedio entre 2100 y 4000, es también conocido como flujo transitorio.

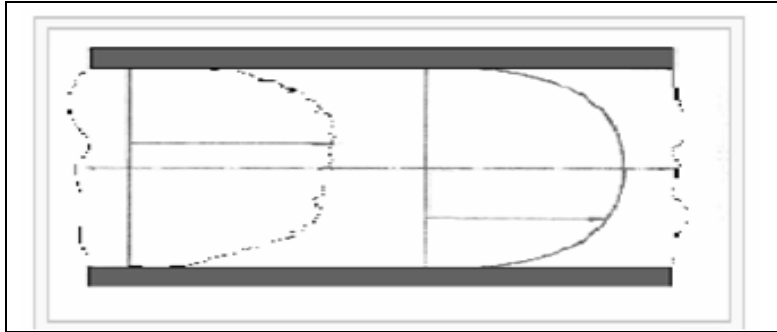


Figura 80 Distribución de velocidades en una tubería con flujo turbulento

17.3.4 Cavitación

La cavitación es uno de los problemas más graves que afectan a las bombas. Cuando ésta no se ha tenido en cuenta durante la fase de diseño de la estación de bombeo nos podemos encontrar con serios problemas, que en el mejor de los casos, requerirán de costosas modificaciones en la instalación para solucionarlos. Prevenirla en el momento adecuado es relativamente sencillo.

La cavitación es un fenómeno termodinámico según el cual el agua cambia de estado al reducirse la presión por debajo de un límite: la tensión de vapor del líquido.

Este fenómeno es inherente al líquido y puede aparecer en bombas, válvulas, codos, etc., y en general en cualquier punto o situación en la que se supere la condición límite anteriormente expresado. El problema de la cavitación no está en las burbujas de vapor generadas por la disminución de presión, sino en la implosión de las mismas cuando la presión se recupera y se supera la tensión de vapor.

El colapso instantáneo de las burbujas de vapor genera elevadísimas presiones, las que erosionan el material llegando a perforarlo e incluso a su desintegración en los casos más severos.

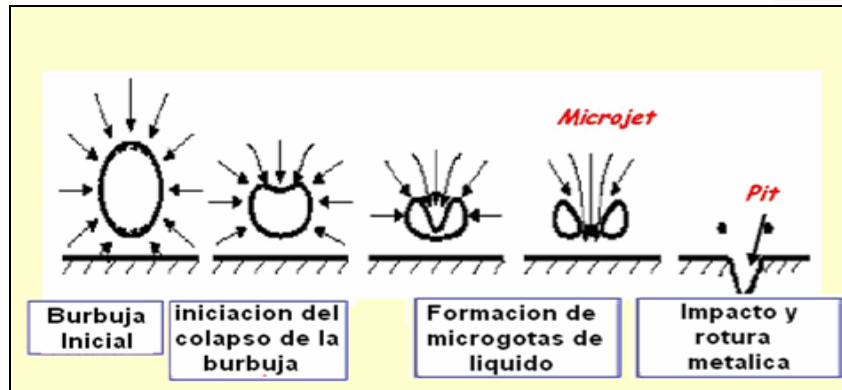


Figura 81 Colapso de la burbuja de vapor

Para el caso de las bombas, según el punto de trabajo y las condiciones de la instalación, se pueden producir presiones suficientemente bajas en la aspiración como para que aparezca la cavitación. La zona de la bomba con menor presión es el oído del rodete, es decir, la sección de entrada justo antes de los álabes.

Una vez que el fluido llega a los álabes empieza a aumentar su presión a medida que recorre el rodete hasta su salida.

Es por ello que la zona característica para observar la erosión de la cavitación es justo el inicio de los álabes, cuando se empieza a recuperar la presión.

Los problemas mecánicos que conlleva la cavitación en las bombas son enormes ya que además de la erosión aparecen fuertes vibraciones, averías mecánicas, ruido, falta de datos de servicio, etc.

Efectivamente, el comportamiento hidráulico de la bomba se ve muy afectado. Cuando se produce la cavitación, es porque la presión ha igualado a la tensión de vapor del líquido, y si se

intenta aumentar el caudal abriendo la válvula de impulsión lo que se consigue es generar más vapor, ya que durante el cambio de estado la presión permanecerá constante.

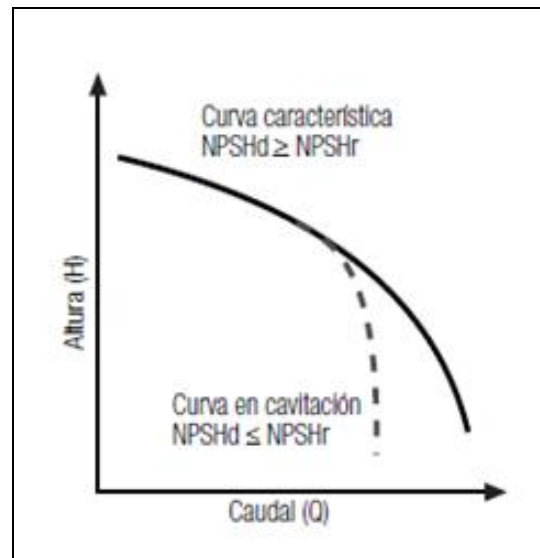


Figura 82 Curva característica en cavitación

17.4 Componentes fijos de una bomba centrífuga

Las partes constitutivas de una bomba centrífuga dependen de su construcción y tipo. Esta es la razón de que se encuentren más de 150 partes componentes de bombas. De éstas solo se tratarán las que se encuentran en la mayoría de las bombas y que tienen mayor injerencia sobre el comportamiento final de esta. Por lo tanto se dividen las partes fundamentales de una bomba centrífuga en: estáticas y dinámicas.

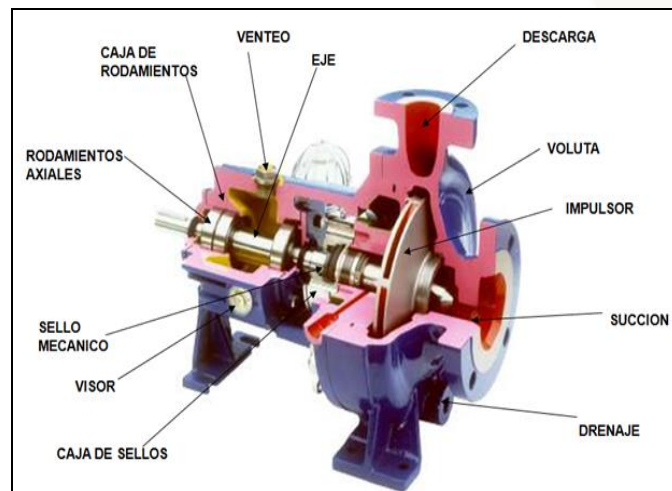


Figura 83 Componentes de una bomba centrífuga

Algunos componentes fijos de una bomba centrífuga son:

Carcasa: Su función es encauzar el líquido que sale del rotor y cambiar parte de la energía de velocidad en energía de presión.

Plato obturador: Su función es sellar la zona húmeda de la bomba de las partes externas o secas. Puede llamarse “plato sello” si el elemento básico de obturación que encierra es un sello mecánico, o “plato estopa” si el elemento básico que encierra es la estopa.

Soporte de rodamientos: su función es la de servir de estructura de apoyo y soporte de todas las fuerzas que son necesarias transmitir para hacer girar el rotor.

La mayoría de las carcasas de las bombas son hechas en hierro fundido. Sin embargo existen ciertas limitaciones debido a su baja resistencia a la tracción, por lo cual no se acostumbran usar ni para altas presiones ni para altas temperaturas, en cuyo caso se utilizan de acero. Las carcasas en hierro se diseñan para presiones máximas de 1000 PSI y a 200 °C.

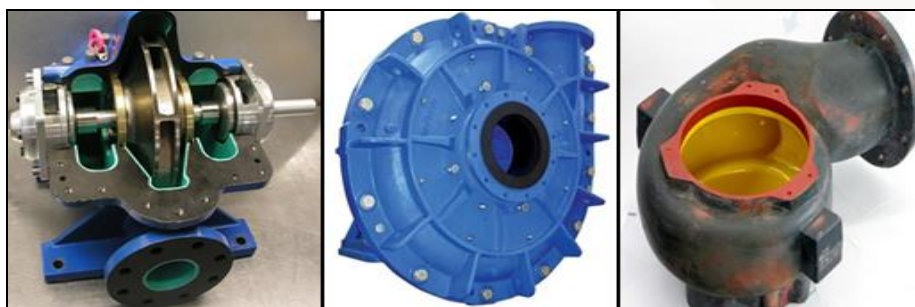


Figura 84 Carcasas de bombas

17.5 Componentes móviles de una bomba centrífuga

Rotor o Impulsor: La función del rotor es imprimirle al fluido por él recibido un movimiento de rotación, el cual a su vez hace que el líquido se desplace en dirección radial debido a la fuerza centrífuga. Además de transmitir la energía de velocidad al líquido. La energía en parte también es de empuje producido por los álabes.

Eje: Su función es la de llevar hasta el rotor la energía del elemento conductor de la bomba.

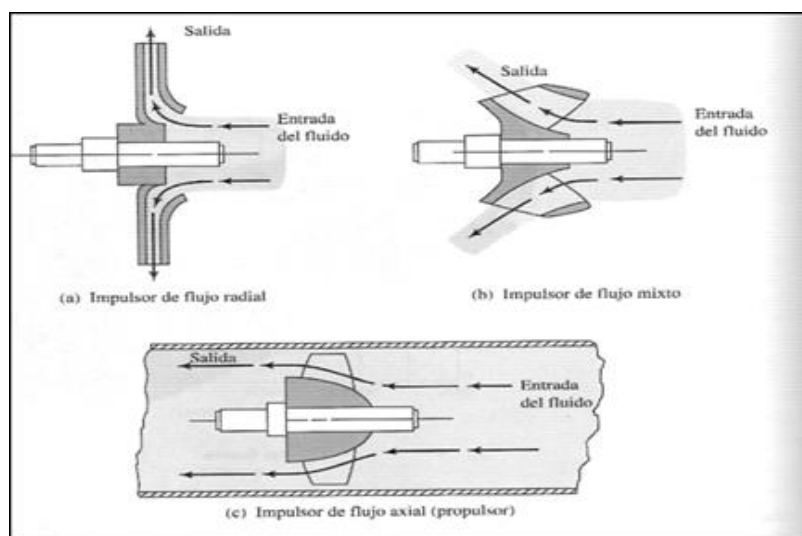


Figura 85 Impulsores según su función

Impulsores según su construcción mecánica: Un impulsor abierto es aquel en el cual los álabes están unidos a la manzana central sin plato en los extremos lo cual hacen que sean débiles sobre todo cuando son de diámetro grande, por lo cual, los llamados impulsores abiertos en realidad son semi abiertos (con excepción de los axiales), ya que llevan un plato en la parte posterior que les da resistencia.

Estos impulsores tienen la ventaja de que pueden manejar líquidos sucios y que la inspección es más simple. Tienen la desventaja que se deben mantener tolerancias muy estrictas con la carcasa para evitar recirculación.

Los impulsores cerrados pueden trabajar con tolerancias mayores entre ellos y la carcasa, ya que el líquido va canalizado entre las tapas integrales localizadas a ambos lados del álabe. Figura 86, Tipos de impulsores según su forma.



Figura 86 Tipo de impulsores según su forma

Anillos de desgaste: Debido a las diferencias de presión que se crean en las bombas, en algunos sitios es necesario dejar tolerancias muy estrechas entre partes móviles y estáticas para que no haya excesivas pérdidas; debido a estas tolerancias es casi seguro que allí va a ocurrir rápidamente un desgaste. Si además de esto, la pieza en que ocurriera el desgaste es costosa se hace necesario colocar una camisa de fácil reemplazo en las zonas de desgaste, con el fin de reemplazar esta y reducir así los costos de reparación. Un caso típico está en la zona de unión

entre la manzana de succión del rotor y la carcasa de la bomba, donde se montan a presión o roscados anillos de fricción en el rotor o en la carcasa o en ambos.

Existen diversos tipos de anillos y deberá escogerse el más adecuado para la condición de trabajo y líquido manejado. Esta selección se basa solamente en la rigurosidad que se desee en las pérdidas por recirculación, ya que la otra condición, la de asumir el desgaste, todos lo hacen igual de bien.

De acuerdo a la forma que tengan, y a su capacidad para impedir el escape de flujo los anillos se pueden dividir en:

- a) Anillos planos.
- b) Anillos de forma de L.
- c) Anillos de laberinto.

Deberá mirarse con atención la tolerancia que existe entre los anillos, puesto que si es excesivo resultará en una recirculación considerable, y si es reducida, estos pueden pegarse, sobre todo si los materiales tienen tendencia a pegarse entre sí como en el caso de los aceros inoxidable. Generalmente en las bombas estándar se usa bronce.

La magnitud de la tolerancia es dada por gráficas ampliamente conocida por los fabricantes de bombas, y el mantenerse dentro de ellos garantiza un mejor desempeño de la unidad.

La utilización de materiales sintéticos (caucho) tratando de simular el comportamiento de los retenedores de aceite, en las carcasas, en ninguna medida puede considerarse como una solución, ni siquiera comparable con los anillos de fricción de cualquier material metálico y de forma plana, ya que la caída de presiones función de la longitud de interferencia entre los anillos de fricción y no de un punto de contacto entre " retenedor " y la manzana del rotor.

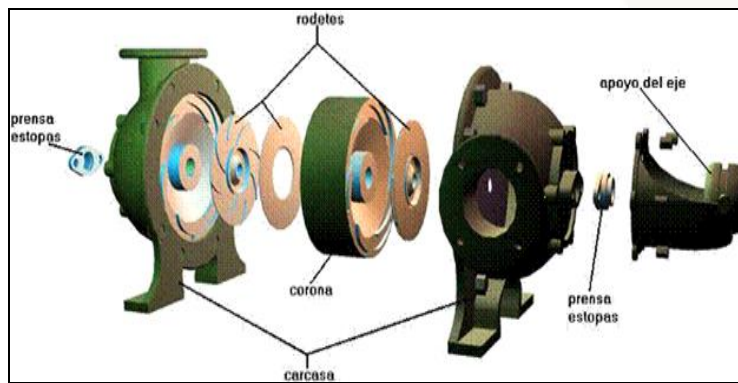


Figura 87 Componentes fijos de una bomba centrífuga

Estoperos, empaques (empaquetaduras) y sellos: El estopero es una cavidad concéntrica con el eje, en la cual van colocados los empaques que impiden que el flujo se salga por el agujero por donde pasa el eje; al mismo tiempo que impide que el aire entre al interior de la bomba. Debido a que por una cara de los empaques llega la presión de la bomba, es necesario ejercer una presión sobre estos para contrarrestarla y se hace con el prensa-estopos. Gracias a estas presiones se crea una fricción alta entre los empaques y el eje, lo cual hace que se aumente la temperatura y el consumo de potencia, figura 88.

Por todo esto es necesario lubricar todo el sistema de empaques. Esto se logra mediante una pieza rígida llamada "anillo linterna" a la cual se le hace llegar el líquido lubricador y refrigerante desde la misma carcasa o desde una fuente exterior.

En general si:

- El líquido es limpio y la altura de succión es negativa el líquido lubricante es el mismo impulsado.
- El líquido es limpio y la altura de succión positiva no se necesita que esté conectada la zona de descarga de la bomba con el anillo linterna.
- El líquido es limpio y la altura de succión es muy negativa se hace necesario alimentar el anillo linterna con una fuente exterior.

Existen además casos especiales en la disposición de los estoperos, que dependen de la aplicación particular:

- a) Cuando se manejan líquidos limpios con succión negativa y se desea el mínimo de contaminación en la corriente impulsada.
- b) Cuando la succión es positiva, y se desea recoger el líquido que sale por el Estopero. Esto se hace por medio del anillo linterna.
- c) Cuando se movilizan líquidos abrasivos y se desea proteger la empaquetadura del prensaestopas.
- d) Cuando se quiere reducir a un mínimo las pérdidas por escape.
- e) Cuando se movilizan líquidos limpios con temperaturas de 105 -130°C.

La presión sobre los empaques se efectúa por medio de los prensa estopa, una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos.

Son diversos los materiales que se utilizan en los empaques de las bombas, pero los más comunes son:

- a) Empaque de asbesto, el cual es comparativamente suave y aconsejable para aguas con temperaturas no muy elevadas. Figura 90.
- b) Para presiones y temperaturas más elevadas y para algunos químicos se utilizan empaques con una mezcla de fibra de asbesto y plomo o bien plásticos con plomo, cobre o aluminio.
- c) Para sustancias químicas muy exigentes se usan empaques de fibras sintéticas como teflón.



Figura 88 Tipos de empaquetaduras

Sellos mecánicos: Cuando se utilizan prensa estopas es necesario dejar un pequeño goteo que garantice la lubricación, lo cual puede ser molesto en algunas ocasiones.

Cuando se quiera reducir al mínimo dicho goteo es necesario utilizar el sello mecánico. Este último consta esencialmente de una parte estática y una parte dinámica cuyas caras están pulidas, siendo este último el secreto de la alta eficiencia del sello.

El apriete de la parte dinámica contra la parte estática se regula por medio de un resorte, lo cual es una gran ventaja, ya que no se necesita estar graduando manualmente como en el caso del prensaestopas. En general un sello mecánico bien escogido (con materiales adecuados al líquido movilizado) puede durar en promedio 15000 horas sin gotear, y sin que necesite mantenimiento, figura 89.

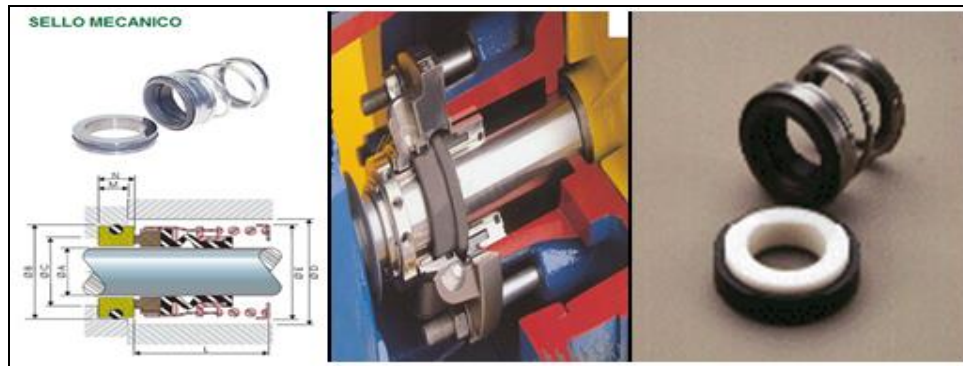


Figura 89 Sello mecánico

Ejes: El eje de una bomba hidráulica es la guía sobre la cual giran todas las partes dinámicas de esta. Estos ejes pueden ser de una o de varias piezas dependiendo de la relación longitud/diámetro, pero en general solo en las bombas de pozo profundo en las cuales esta relación es muy grande, se utilizan ejes seccionados unidos por acoples.

Los ejes generalmente son hechos en acero, modificándose únicamente el contenido de carbono según se necesite. En casos especiales se utilizan aceros de alta aleación según la necesidad.

En la determinación del diámetro del eje debe tenerse en cuenta la potencia, el peso de los elementos giratorios y el empuje radial, teniendo cuidado al mismo tiempo que la velocidad crítica, la cual es función del diámetro, esté lo más alejada posible de la velocidad de operación, ya que si se opera cerca a ésta, cualquier fuerza pequeña será amplificada y podrá romper el eje.

Por último es de anotar que en ejes que tienen la relación longitud / diámetro muy grande se necesita más de dos puntos de apoyo.



Figura 90 Eje bomba centrífuga

Rodamientos: El objeto de los cojinetes es soportar las cargas axiales y/o radiales de las partes dinámicas, a la vez que las mantiene alineadas con respecto a las partes estacionarias.

Para lo anterior se usan generalmente rodamientos de bolas o de rodillos en todas sus variantes, ver figura 91; sin embargo en ocasiones se pueden utilizar bujes de material blando con lubricación a presión, y en bombas verticales se puede utilizar bujes de caucho (neopreno) lubricados por el mismo líquido movilizado.



Figura 91 Rodamientos

17.6 Sistema de transmisión

17.6.1 Sistema de transmisión por bandas

Uno de los principales usos de la transmisión por banda, es reducir o incrementar velocidad, entre el motor y la pieza conducida.

Es el más económico de los elementos de transmisión, Figura 92. Aunque su eficiencia depende de la tensión, alineación y longitud.



Figura 92 Transmisión por correas

17.6.2 Sistema de transmisión por acoplamiento fijo motor – eje

Los acoplamientos de ejes conectan un eje a otro eje, como el eje de accionamiento de un motor para el eje que gira los engranajes. Muchos tipos diferentes de acoplamientos de eje se utilizan para realizar estos tipos de conexiones. El acoplamiento del eje hace que los dos ejes giren sin permitir que un eje reaccione violentamente (Figura 93).



Figura 93 Acoplamiento del eje

17.7 Procedimientos de puesta en marcha y detención de una bomba centrífuga

El funcionamiento de una bomba centrífuga es muy simple y seguro. No es recomendable el empleo de una bomba para un servicio distinto para el cual no ha sido preparada.

Previamente a la primera puesta en marcha se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- a) Comprobar el perfecto cebado de la bomba y tubería, con la eliminación de aire contenido especialmente en la tubería de aspiración.
- b) La empaquetadura perfectamente colocada y apretada suavemente.
- c) El eje girara a mano fácilmente.
- d) Se comprobará la alineación del grupo.

- f) Verificación del sentido de giro, coincidente con la flecha indicadora, así como el voltaje del motor y de la red.
- g) En case de cajas prensa refrigeradas, se comprobará la correcta circulación del líquido-refrigerante.

La puesta en marcha, después de la comprobación de los anteriores puntos, deberá realizarse con la válvula reguladora de impulsión cerrada, para reducir al mínimo el consumo de la bomba. Se arrancará y cuando se alcance la velocidad de régimen, se abrirá lentamente la válvula vigilando al mismo tiempo la variación del consume en amperes, hasta la total abertura de la misma. En régimen normal, el consume indicado en la placa del motor eléctrico no deberá ser superado.

Para preceder a la detención, la válvula reguladora deberá llevarse a la misma posición, que la mantenida en la puesta en marcha, con objeto de reducir al mínimo la potencia absorbida de la red.

Durante el funcionamiento, el grupo requiere poca atención, solamente la vigilancia de la temperatura de los rodamientos, el engrase o nivel de aceite, de la caja de rodamientos, el goteo y refrigeración de la empaquetadura.

Si una bomba esta parada durante algún tiempo y se desea hacerla funcionar se procederá como si se tratara de la primera vez, comprobando adecuadamente cada uno de los puntos señalados anteriormente.

Cuando haya peligro de helada, es necesario vaciar completamente, tanto la bomba como las tuberías, para evitar posibles roturas.

17.8 Fallas más comunes en la operación

La bomba no desarrolla presión.

La bomba no fue cebada antes de darle partida.
Eje quebrado.
No se instaló impulsor.
No hay transmisión de torque del acople al eje (no acopló, etc.)

La bomba genera algo de presión pero no lanza líquido

Bolsillos de aire o vapor en la bomba o tuberías.
La línea de succión esta taponada.
Válvula de pie atrancada, atascada.
Filtros tapados.
Válvulas cheques dañadas o mal cerradas.
Tubería aplastada (revise toda la línea de succión, pida los planos y recorra toda la línea de succión hasta la bomba).
Cantidades de aire o vapor que trae el líquido bombeado o está entrando al sistema si hay vacío en la succión.
Velocidad del motor muy baja.
Rotación del motor errada.
Diámetro del impulsor muy pequeño, lo maquinaron más pequeño que el requerido por error o fue mal seleccionado.

La bomba desarrolla flujo menos del esperado

Baja velocidad del motor, bajas rpm.
Dirección de rotación del motor al revés.
La presión requerida por el sistema para el flujo deseado es menor a la presión que puede dar la bomba.
Instrumentos de medición mal calibrados o mal instalados.
Recirculación del líquido a través de los anillos de desgaste.
Pérdida de líquido a través de la empaquetadura (floja, desgastada, mal instalada).
La viscosidad del líquido ha cambiado y es mayor para la cual fue seleccionada la bomba.
Voluta parcialmente tapado.

Impulsor dañado, erosionado o destruido.
Diámetro del impulsor pequeño por un mal maquinado o cambiado.
Bomba operando muy a la izquierda en la curva.
Hay obstrucción en la línea de succión o descarga.
Válvula de pie atascada o dañada.
Filtros sucios, atascados, tapados.
Nivel en el tanque de succión muy bajo frente a lo originalmente establecido.

La bomba vibra

Desalineamiento entre eje motor y eje bomba.
Hay rozamiento entre partes rotatorias de la bomba y partes estacionarias.
Rodamientos desgastados.
Dirección de rotación del motor al revés.
Impulsor o voluta parcialmente atascados.
Voluta dañada.
Impulsor incorrectamente ensamblado en la voluta.
La bomba trabaja muy lejos del punto de máxima eficiencia.
Filtro en la succión tapado con material fibroso, sólidos.
Aire entra en la bomba.
Interacción entre varias bombas de un sistema.
La tubería de succión no estaba bien alineada a la brida de succión en la bomba.
La bomba opera a una velocidad crítica.
Elementos rotarios no han sido balanceados.
Se presentan fuerzas radiales no balanceadas sobre el eje.
Diámetro de la tubería de succión o descarga menor al recomendado.
Elementos de válvulas flojos.
Ejes torcidos.
Desalineamiento entre partes de las bombas.
La bomba opera a muy bajo flujo.
Fundaciones de las bombas mal diseñadas, desgastadas o corroídas.
Patatas cojas.

Pernos sueltos.

Expansión térmica no uniforme.

Rodamientos mal instalados.

Rodamientos dañados.

Lubricación de los rodamientos errada.

Obstrucción en la tubería de succión o descarga.

Excesiva cantidad de aire o gas atrapada en el fluido.

Aletas del impulsor desgastados o dañados.

Módulo IV: Operación del Proceso de Filtración

18 Operación del proceso de filtración

18.1 Introducción

Las aplicaciones de los procesos de filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

La filtración se ha desarrollado tradicionalmente desde un estudio de arte práctico, recibiendo una mayor atención teórica desde el siglo XX. La clasificación de los procesos de filtración y los equipos es diverso y en general, las categorías de clasificación no se excluyen unas de otras.

La variedad de dispositivos de filtración o filtros es tan extensa como las variedades de materiales porosos disponibles como medios filtrantes y las condiciones particulares de cada aplicación: desde sencillos dispositivos, como los filtros domésticos de café o los embudos de filtración para separaciones de laboratorio, o los sistemas de tratamiento de agua potable destinada al suministro urbano hasta grandes sistemas complejos de elevada automatización como los empleados en las industrias mineras.

La filtración es un método de separación de fluidos desde los sólidos que se basa en hacer pasar aquellos a través de una pantalla finamente perforada que retiene los sólidos. Fundamentalmente se trata de un harneado extrafino en el que la mayor parte del material que atraviesa los poros es deformable y, como ocurre en el harneado, el roce es la fuerza principal que se opone al paso.

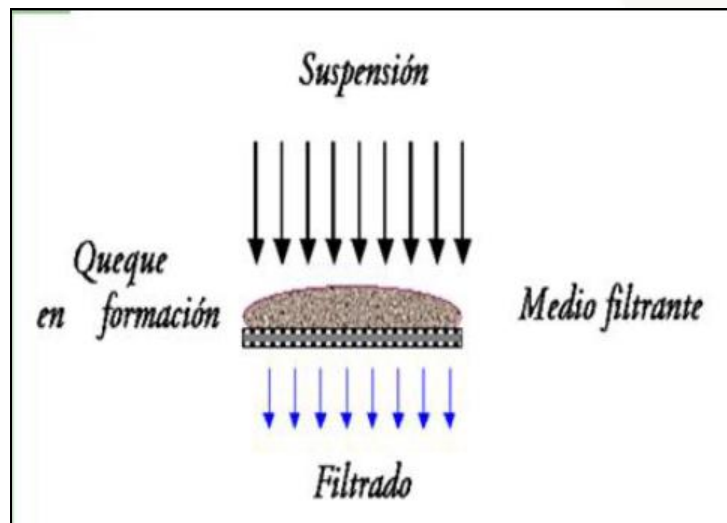


Figura 94 Separación de fluidos desde los sólidos

18.2 Métodos de filtración

En lo que respecta a la fuerza impulsora, existen diferentes métodos de filtración, en algunos casos es la gravedad (método de filtración gravitacional), la fuerza centrífuga (método de filtración centrífugo); el vacío (método de filtración por presión de vacío), y por presión (método de filtración por presión del fluido a los dos lados de un diafragma).

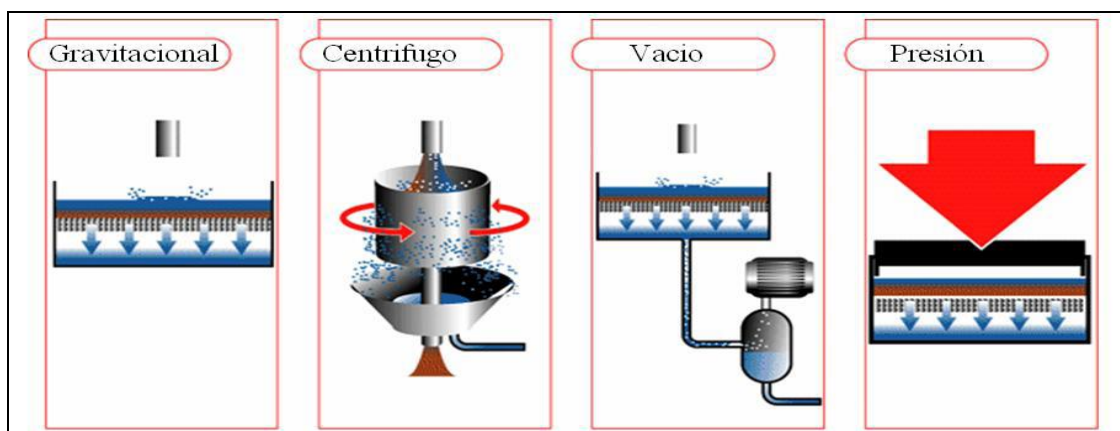


Figura 95 Métodos de filtración

18.3 Elementos que interviene en la filtración.

La filtración es un método físico que se utiliza para separar mezclas heterogéneas, en este tipo de mezcla uno de los componentes es una sustancia líquida y otra sólida.

El verdadero medio separador es la torta, es decir, la masa de partículas sólidas retenidas en el medio filtrante, el que a su vez suele estar soportado en un entramado de metal o madera (Figura 96).

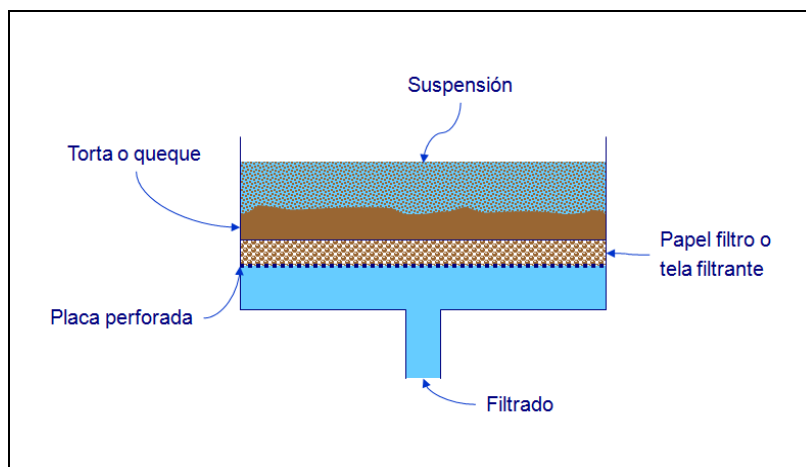


Figura 96 Elementos que intervienen en la filtración

Los elementos del filtro que se presenta en la Figura 97, *A* corresponde al entramado, *B* es el diafragma, *C* la torta, *D* el fluido, generalmente con partículas en suspensión; y finalmente p_1 y p_2 son las presiones que prevalecen en ambos lados de la superficie filtrante y que están relacionadas por la desigualdad $p_1 > p_2$. La diferencia de presión puede ser debida exclusivamente a la fuerza de gravedad, o la fuerza centrífuga provocada por un movimiento rotatorio alrededor de un eje situado en *D* en posición tal con respecto a *B* que una fracción relativamente elevada de la presión que así se genera actúen en sentido normal a *B*, o bien el espacio que se encuentra a la izquierda de *B* puede estar cerrado produciendo una presión del fluido en *D* mediante una bomba o por cualquier otro medio, o bien dejando *D* en

comunicación con la atmósfera y, cerrando el espacio que se encuentra a la derecha de *B*, a la vez que se conecta a una bomba de vacío.

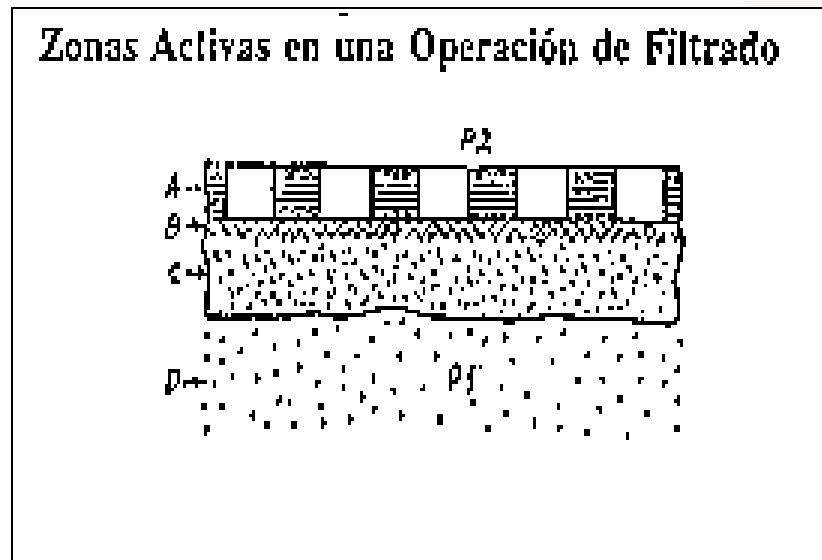


Figura 97 Zonas activas en una operación de filtrado

18.4 Clases de filtración

18.4.1 Filtración con formación de queque.

La filtración con formación de queque se caracteriza porque el sólido de la suspensión es retenido en la superficie del medio filtrante como una capa denominada queque. Esto se produce naturalmente cuando los poros del medio filtrante tienen un tamaño menor que las partículas. Cuando este no es el caso, es necesario cubrir el medio filtrante con una delgada capa de material fibroso, denominado *ayuda de filtración*, que bloquea el paso de las partículas a través del medio filtrante. En este tipo de filtración, el flujo de suspensión es perpendicular a la superficie del medio filtrante. La filtración con formación de queque se utiliza para suspensiones que poseen más de un 10% de sólidos en volumen y es, sin duda, el proceso de filtración más importante en la industria minera y en la industria de procesos en general.

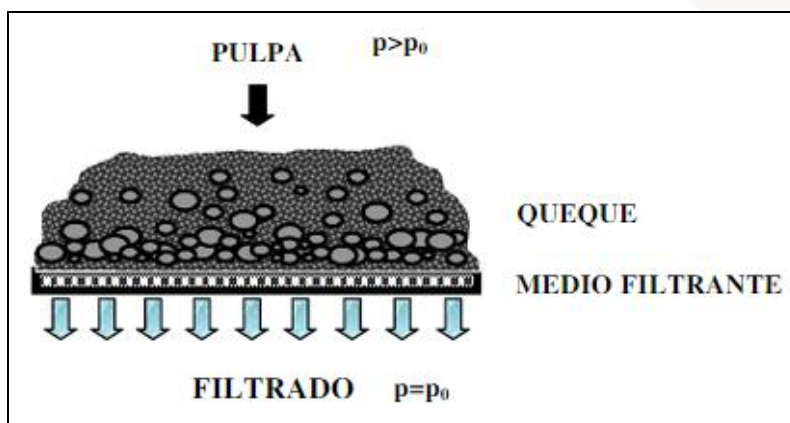


Figura 98 Filtración con formación de queque

18.4.2 Filtración sin formación de queque.

Cuando el flujo de la suspensión es paralelo a la superficie del medio filtrante, éste aún retiene las partículas sólidas. Sin embargo, el flujo de la suspensión produce una tasa de cizalle muy alto, la que previene la formación de una capa de sólidos retornándolos a la suspensión. En esta forma el líquido atraviesa el medio filtrante mientras que el sólido permanece en la suspensión aumentando su concentración con el tiempo. Este tipo de filtración es útil cuando se desea concentrar una suspensión sin que sea necesario un producto de baja humedad. Aun cuando la filtración sin formación de queque puede ser utilizada en la separación sólido-líquido, es principalmente utilizada en la filtración de gases polvorientos.

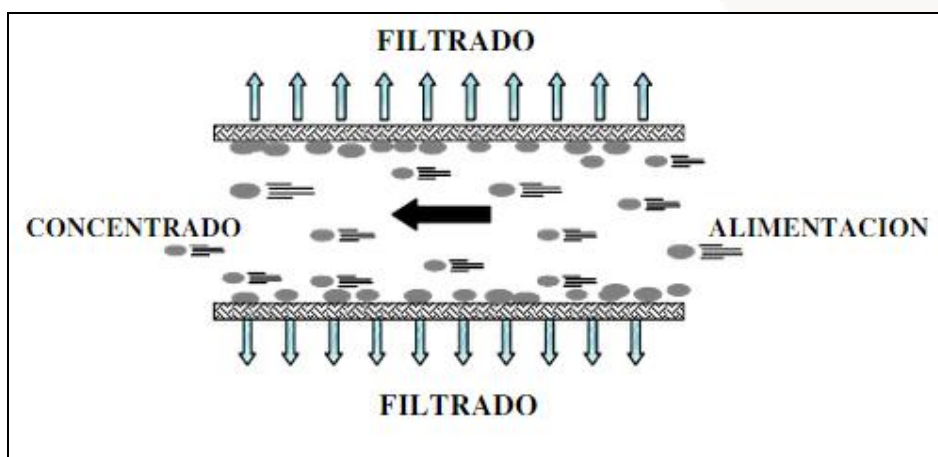
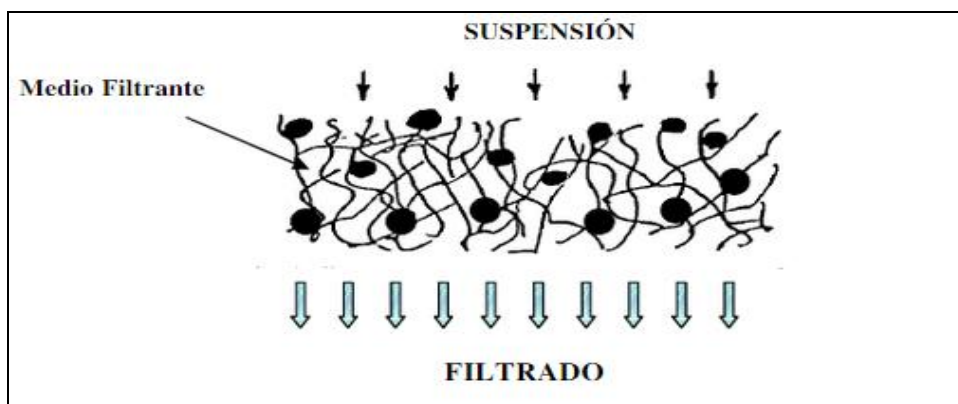


Figura 99 Filtración sin formación de coque

18.4.3 Filtración profunda

Para la filtración de partículas muy finas en suspensiones diluidas se utiliza comúnmente filtros que tienen medios filtrantes de poros mayores que las partículas pero de grandes espesores. Las partículas penetran en el interior del medio filtrante y son capturadas por las fibras o partículas que constituyen el medio filtrante. Este tipo de filtro pierde su capacidad de filtración después de un cierto tiempo y es necesario limpiar el medio filtrante eliminando las partículas desde su interior, o sustituir el filtro por uno nuevo. Dos ejemplos de filtración profunda son los filtros de arena para piscinas y los filtros de aire en automóviles.



18.5 Factores que Influyen en la filtración

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 el queque.
- Si es importante o no la contaminación del producto.

18.6 Medios filtrantes

Un medio filtrante puede ser definido como cualquier material permeable sobre el cual, o en el cual, son separados los sólidos del fluido durante el proceso de filtración. Por consiguiente, el principal rol del medio filtrante es provocar una buena separación entre los componentes de una suspensión con el mínimo consumo de energía. En orden a realizar una cuidadosa selección de un medio filtrante se deben tomarse en cuenta muchos factores.

Uno de los primeros estudios de distintos medios filtrantes fue realizado por Flood (1966), quien clasificó los medios filtrantes como medios de tipo superficie, en el cual las partículas en suspensión son principalmente retenidas sobre el medio y medios de tipo profundo, en que las partículas penetran en los poros, donde son retenidas. Estos últimos medios se usan principalmente para la clarificación de líquidos.

En los últimos 20 años, Purchas y Hardman (Purchas 1981) han realizaron estudios de medios filtrantes y los clasifican según la tabla 30. El medio filtrante se caracteriza de acuerdo a diversas propiedades físicas (mecánicas) y químicas.

Principales tipos	Subdivisiones	Partícula más pequeña retenida (μm) (aprox.)
Fabricación sólida	Pantallas de alambre .	100
	bobinados de alambre.	100
	Anillos apilados.	5
Hojas metálicas	Perforadas.	100
	Tejido de alambre.	5
Medios porosos rígidos	Cerámicos	< 1
	Carbón	10
	Plásticos	10
Cartuchos	Fabricación de laminas	3
	Camas aglutinadas.	2
	Hilo bobinado	2

Principales tipos	Subdivisiones	Partícula más pequeña retenida (μm) (aprox.)
Hojas plásticas	Monofilamentos tejidos	
	Hojas porosas	
Membranas	Poliméricas	< 0.1
	Cerámicas	< 0.1
	Metálicas	0.2
Medios tejidos	Fibras de hilo	5
	Monofilamentos	10
	Multifilamentos	<10
Medios no tejidos	Hojas de filtro	10
	Papel (celulosa y vidrio)	5 y 7
	Polimeros	10
Medios holgados	Fibras	1
	Polvos	< 1

Tabla 30 Propiedades físicas y químicas de las telas.

Telas.

Las telas filtrantes más comunes son hechas de material textil, de fibra natural o sintética. Existen tres tipos de medios sintéticos usados en la industria de la filtración:

Tejido: puede ser de tela cruzada o satín, ya que éste aumenta la resistencia a la tracción.

No tejido: consiste en ensamblar varias capas de fibras.

Compósitos: poliuretanos (polímeros micro porosos regulados) que han dado muy buen resultado.

Básicamente, las características que se debe tener en cuenta son:

Condiciones térmicas y químicas: En condiciones térmicas y químicas los polímeros son los medios más adecuado para el medio filtrante. Los más usados son polipropileno (PP), polietileno (PET) y poliamida (PA).

Requerimientos en la filtración: Los principales requerimientos de la filtración son: claridad en el filtrado (es decir una alta eficiencia de retención de partículas finas), rendimiento, contenido de humedad en el queque, efectiva liberación del queque (de fácil desprendimiento), baja resistencia al paso del fluido y alta resistencia a la abrasión.

Consideraciones con respecto al equipo: Es importante donde se va a usar el medio filtrante: el tipo de pulpa, volumen del producto, contenido de sólidos requeridos, así como si es filtración a presión o vacío.

Costos: El costo del medio, así como su vida útil es de vital importancia. Este ítem puede decidir el tipo de medio a utilizar.

Propiedades orientadas a la máquina: relacionadas con las limitaciones del uso de un medio filtrante en un tipo específico de filtro.

Rigidez
Resistencia al estiramiento
Resistencia al cree
Estabilidad en los bordes
Resistencia a la abrasión
Estabilidad a la vibración
Dimensiones compatibles
Habilidad para ser fabricados
Función de sellado

Tabla. 31. Propiedades orientadas a la máquina

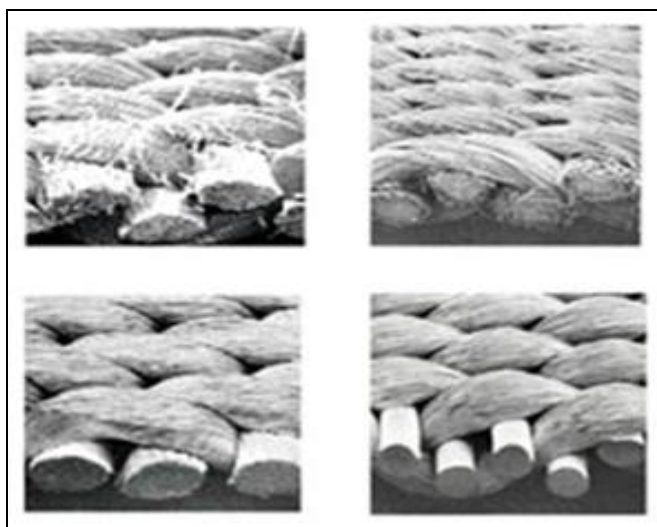


Figura 101 Tejidos y tramas de las telas filtros

Los principales daños que puede sufrir la tela pueden deberse a deformación estructural, estiramiento, fatiga a la flexión y a daños térmicos y químicos. Los primeros son el resultado de un mal diseño y a aspectos operacionales, tirón muy fuerte durante la descarga del queque o tensiones fuertes al inicio del ciclo o de la alta presión de agua usada en el lavado de la tela.

Con respecto a los daños químicos (pH y corrosividad) y térmicos, estos son subsanados eligiendo una tela adecuada para el proceso en que va a ser usada. La tabla 32 muestra las características de distintos materiales.

Tipo Fibra	Densidad (kg/m ³)	Temperatura de operación máxima (°C)	Resistencia a:			
			Ácidos	Bases	Agentes oxidantes	Hidrólisis
Polipropileno	910	95	••••	••••	•	••
Polietileno	950	85	••••	••••	•	••
Poliéster (PBT)	1280	100	•••	••	••	•
Poliéster (PET)	1380	100	•••	•	••	•
Poliamida 6.6	1140	110	•	•••	•	•
Poliamida 11	1040	100	•	•••	•	•
Poliamida 12	1020	100	•	•••	•	•
PVDC	1700	85	••••	•••	••••	•••
PVDF	1780	100	••••	••••	•••	••••
PTFE	2100	150+	••••	••••	•••	••••
PPS	1370	150+	••••	••••	••	••••
PVC	1370	80	••••	••••	••	••••
PEEK	1300	150+	•••	•••	••	••••

•••• muy bueno; ••• bueno; •• aceptable; • pobre

Tabla 32 Atributos químicos y físicos de la tela.

Cabe señalar que a la tela se le realiza procesos finales de estabilización que aseguran una estabilidad dimensional y regulación de la permeabilidad. Un ajuste preciso de su permeabilidad se obtiene a través de tratamientos térmicos. Comparaciones entre las permeabilidades de diferentes medios filtrantes pueden ser hechas aplicando datos de flujos versus caída de presión. Un baño y modificación superficial hace que el queque se desprenda sin mayor problema de la superficie. Las principales características técnicas de los medios filtrantes son:

- Trama.
- Peso/área.
- Permeabilidad al aire.
- Permeabilidad al agua.

- Porosidad.
- Resistencia a la tensión.
- Fácil descarga del queque.
- Mínima resistencia al flujo.
- Mínima humedad del queque.
- Máxima vida útil de la tela.
- Menor tendencia a la colmatación (obstrucción).
- Espesor de la tela.
- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia al pH.
- Capacidad de suciedad.

En conclusión, podemos ver que existe una infinidad de medios filtrantes dependiendo de la aplicación, por lo que la selección de un medio específico debe tomar en cuenta muchos factores. Esto hace necesario realizar distintos ensayos de laboratorio para observar el comportamiento del medio filtrante y así poder evaluar su comportamiento dependiendo de la aplicación. Entendiendo el importante rol que juega el medio filtrante en el proceso de filtración, queda claro que una mala elección acarrearía resultados perjudiciales para la filtración, traduciéndose en aumentos de costos, pérdidas de tiempo y un proceso ineficiente.

Actividad N° 10

Introducción a la actividad.

Los participantes guiados por el instructor, deberán reconocer las diferentes clases de filtración para soluciones de minerales concentrados. El objetivo de la actividad es familiarizar con diferentes formas de aplicar la filtración a una solución con sólidos en suspensión.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar los fundamentos básicos en que se lleva a cabo la filtración de minerales concentrados.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 33

Materiales.

Cuaderno de actividades del participante.

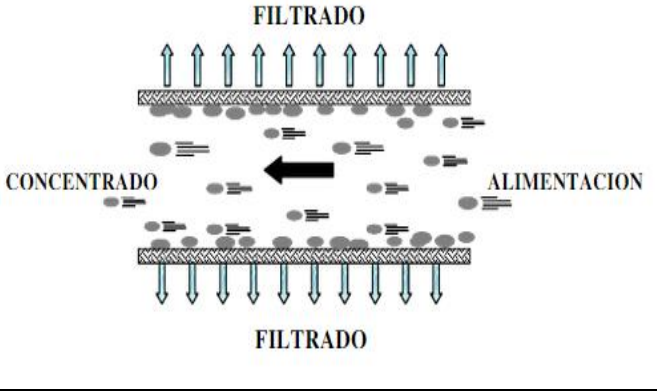
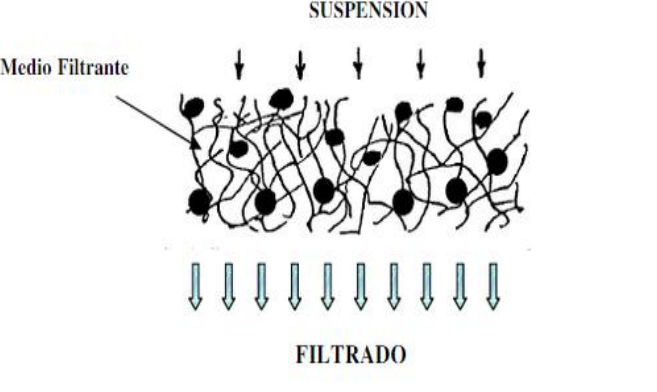
Lápiz.

Desarrollo de la Actividad.

Los participantes deberán guiarse por su cuaderno de actividades, en donde aparece la tabla 34. En la primera columna, se presenta una imagen o fotografía que representa a una clase de filtración. El alumno debe identificarla y anotar en la columna siguiente la respuesta que corresponda. En la tercera columna de la tabla, el participante debe anotar ejemplos de aplicaciones.

El instructor podrá proyectar la tabla en la pantalla, para mejorar la visión de los participantes.

Una vez terminada la actividad, el instructor invitara a cada participante a compartir las respuestas con sus compañeros.

Imagen	Clase de filtración	Ejemplos de aplicación
		
		

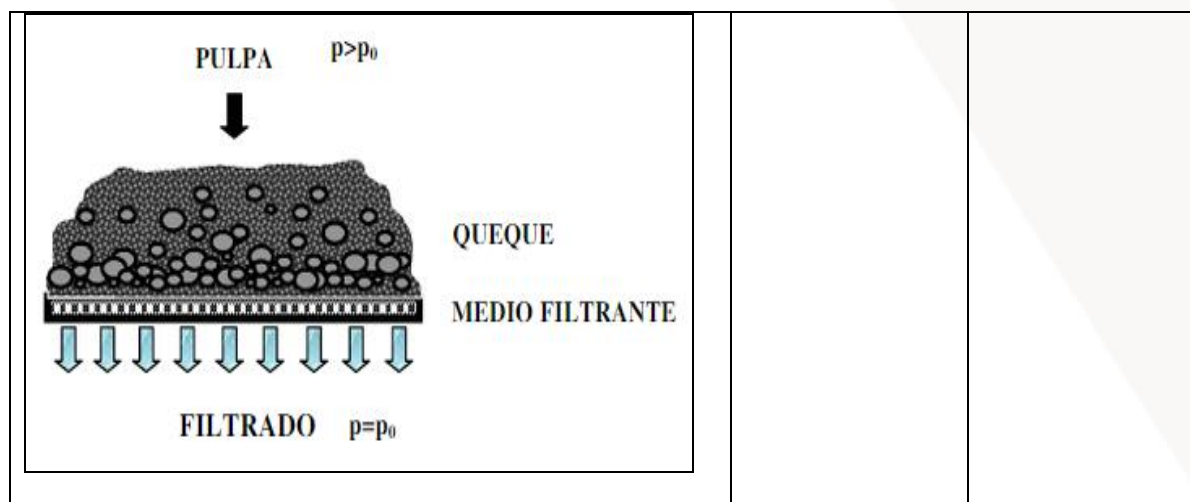


Tabla 34

Cierre

La filtración, como procedimiento de separación solido-liquido, es muy utilizado en las plantas de procesamiento.

Los participantes deben familiarizarse con las diferentes clases de filtración, para cuando ellos estén controlando las variables en el proceso, la operación se realice correctamente.

19 Funcionamiento de los diferentes tipos de filtros

19.1 Equipos para la filtración

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.

19.2 Filtros a vacío

Hay cuatro tipos de filtros a vacío: el filtro de tambor, el filtro de discos, el filtro de bandeja y el filtro de banda horizontal. Mientras los tres primeros son capaces de producir queques con humedades de hasta 12 a 18% el filtro de bandas logra llegar a humedades menores, del orden de 8 a 10%. A continuación describiremos cada uno de estos equipos.

19.2.1 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 el aire sea succionado, ello 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 102 Filtro de tambor

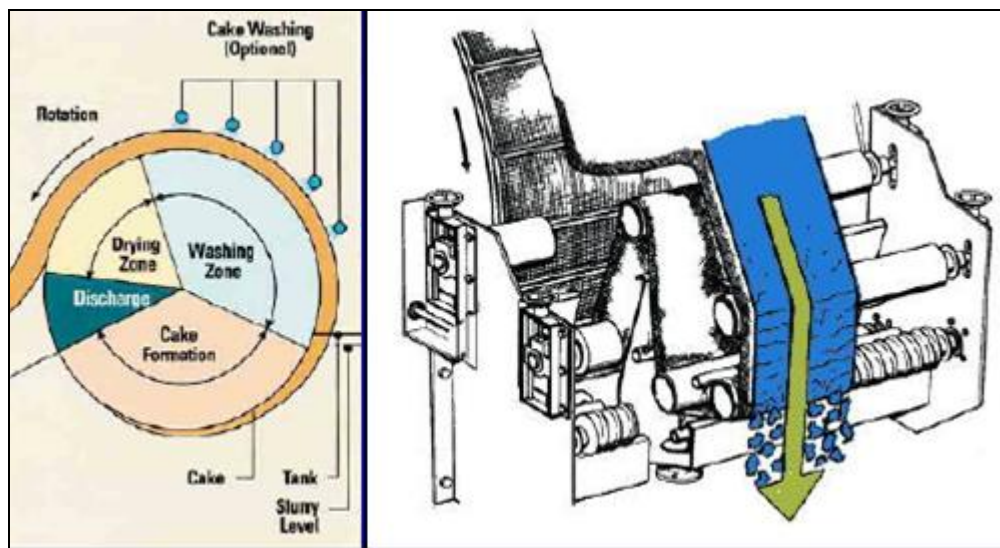


Figura 103 Ciclo de filtrado y descarga del queque

19.2.2 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.



Figura 104 Filtro de discos



Figura 105 Eje del filtro de discos



Figura 106 Secciones de discos

Operación filtro de discos

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

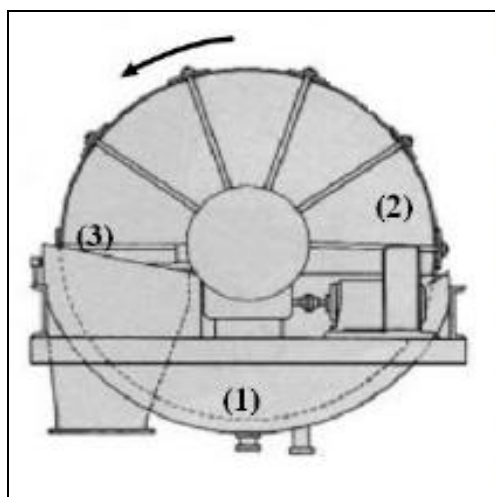


Figura 107 Etapas de la operación del filtro de discos

Una variante de estos filtros de discos, son los filtros cerámicos. Los filtros cerámicos (Figura 108) en apariencia y funcionamiento son muy similares a los filtros de discos convencionales. La diferencia está en que los sectores que componen los discos son placas de un material cerámico micro poroso como elemento filtrante, basado en óxido de aluminio.

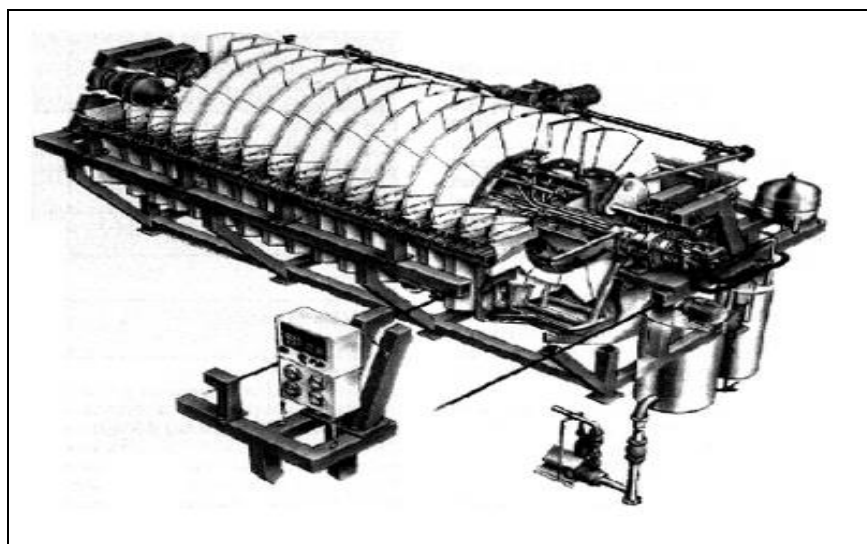


Figura 108 Filtros de discos cerámicos

Existen dos tipos de placas cerámicas disponibles. El primer material posee poros de 1,5 micrones con un punto de capilaridad de 1,6 bar y el segundo posee poros de 2,0 micrones con un punto de capilaridad de 1,2 bar. Al sumergirse los discos dentro de la tina con pulpa, tienen una *acción capilar* iniciando el proceso de desaguado sin fuerza externa.

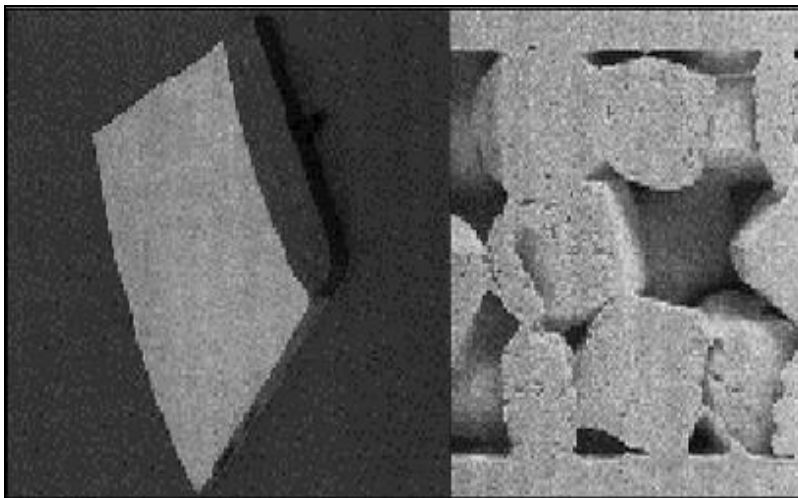


Figura 109 Placa de filtro cerámico

Los sólidos contenidos en la pulpa se acumulan en la superficie del disco y el desaguado continúa mientras queda líquido presente. La filtración capilar es un método de filtración que combina las ventajas del filtro convencional de vacío por su construcción simple similar y el efecto capilar. Los filtros cerámicos son utilizados para la filtración de concentrados de cobre y minerales industriales.

19.2.3 Filtros de banda horizontal

Consisten en una superficie sin fin de drenaje hecha de caucho perforado, conectada al vacío, que soporta una banda separada hecha de una tela filtrante apropiada. La pulpa se alimenta por gravedad sobre el filtro y la filtración comienza inmediatamente, por efecto de la presión

de la capa de pulpa y el vacío. En estos filtros es posible lavar el queque. En general se utiliza para sólidos gruesos o donde se requiere una alta eficiencia de lavado. Se puede alcanzar humedades más bajas que con los filtros de disco y tambor.



Figura 110 Filtro de banda

Componentes del filtro

1. Tacho receptor de pulpa: Se denomina al estanque o recipiente que recibe la pulpa con que se va a alimentar el filtro.



Figura 111 Tacho receptor de pulpa

2. Distribuidor de pulpa filtración: Es el recipiente que distribuye la pulpa sobre la tela filtrante en forma homogénea, de manera de asegurar que la caída de la pulpa tenga la cobertura del ancho total de la tela, antes que llegue la tela a la caja de vacío.



Figura 112 Distribuidor de pulpa de filtración

3. Rodillo de retención: Es el rodillo que va situado en la parte posterior y sobre la tela filtrante y que sirve para retener la carga que alimenta al filtro.



Figura 113 Rodillo de retención

4. Correa transportadora: Es la correa sinfín donde va montada la tela filtrante, la cual tiene canaletas transversales para el drenaje del líquido filtrado. Cada canaleta tiene perforaciones en el centro para transmitir el vacío y extraer la solución filtrada hacia la caja de vacío. La correa va sobre dos poleas, una de ellas es la polea de transmisión o polea motriz y la otra es la polea de culata o polea de tensión. Además está sostenida sobre las tapas perforadas de acero inoxidable de las cajas de aire.

5. Caja de aire: Las cajas de aire es por donde se suministra aire desde un ventilador centrífugo a través de las perforaciones que tienen las tapas de acero inoxidable, ello con el objeto de levantar la correa transportadora durante el filtrado, reduciendo con esto el desgaste de la correa por fricción y arrastre.

6. Caja de vacío: Esta caja está ubicada en el centro de la correa, debajo de las perforaciones de filtrado en la correa transportadora, y sirve para distribuir la presión de vacío hacia la carga, produciendo el filtrado del concentrado.



Figura 114 Caja de vacío

7. Polea de transmisión: Esta polea está ubicada en el extremo de la descarga del queque filtrado y que se conoce además como polea de cabezal. Es la que acciona la correa transportadora por medio de la energía, proporcionado por un motor ubicado a un costado de éste.



Figura 115 Polea conducida

8. Unidad de motriz: Esta corresponde al motor del filtro y está ubicada a un costado de la polea motriz.



Figura 116 Unidad motriz

9. Buzón de descarga: Corresponde a la parte del filtro por donde cae el queque o material filtrado hacia la cancha de almacenamiento y secado.



Figura 117 Buzón de descarga

10. Rociadores de agua: Corresponde a una serie de rociadores de agua de lavado de tela, y que están situados en el extremo de descarga del filtro sobre el pozo de lavado, y su función es prolongar la vida de la tela minimizando la saturación de ésta, reduciendo además la acumulación del barro debajo de la polea de culata del filtro.

11. Tensor gravitacional: Esto permite dar tensión a la tela filtrante para que no esté suelta sobre la correa transportadora y para que no se descentre.

12. Correa de desgaste: Estas cintas sirven para evitar el desgaste por fricción entre la correa transportadora y la caja de vacío generando a la vez un sello de vacío. Estas cintas de sello son lubricadas con agua para evitar el resecamiento de éstas y que no se corten.

13. Ventilador: Este equipo suministra el aire necesario, a través de la caja de aire, para levantar la correa transportadora y evitar el desgaste y fricción por arrastre.

14. Centrador de tela: Este es un mecanismo electro neumático que sirve para centrar la tela filtrante en caso de que se descentre, llevándola a su posición correcta.

15. Conducto de succión: Estos son las tuberías por donde se desplaza la solución filtrada hacia los estanques de filtrado.

16. Tela filtrante: Esta es una tela de paño de filtro sinfín que va sobre la correa transportadora y que se utiliza para separar el líquido desde el sólido en una pulpa. Después de la descarga del queque, la tela filtrante y la correa transportadora se separan y ambas se vuelven a juntar en la polea de culata.



Figura 118 Tela filtrante

17. Contrapesos: Estos fijan la caja de vacío con la correa transportadora, para evitar pérdida de vacío.

18. Cortina de retención de carga: Estas cortinas son un faldón de caucho ubicado a lo ancho de la correa y tienen la misión de esparcir en forma uniforme la pulpa de alimentación en la correa transportadora, y de retener esta pulpa dentro de un área delimitada sobre la tela filtrante.

El mecanismo de operación de los filtros de banda se puede describir para su comprensión en las siguientes zonas:

Zona de formación: Esta zona comprende el área de la correa desde el rodillo de alimentación hasta la cortina de retención de carga. La tasa de alimentación hacia el filtro es controlada mediante una válvula de control regulada por la salida desde un flujómetro en línea, y el set-point del flujo es una variable impuesta por el operador. La velocidad de alimentación y/o de la correa debería ser tal que el ancho completo de la correa sea cubierto por una capa uniforme de material o pulpa.

Zona de lavado: Las zonas de lavado son la áreas donde los sólidos son lavados con la solución de lavado recuperados del proceso de filtrado posterior. Hay una zona de lavado en cada filtro. El volumen de agua de lavado está relacionado con los sólidos secos que son tratados por el filtro y es definido como una razón de lavado donde:

$$\text{razon de lavado} = \frac{\text{tph de agua de lavado}}{\text{tph de solidos seco}}$$

Zona de secado: Esta zona es la última porción del área de filtrado sobre la correa desde la última cortina de retención de carga hasta el final de la última caja de vacío. El material sobre la correa debería emerger desde la cortina de separación sin agua en la superficie. En esta zona, el queque del filtro está más desaguado por la acción del vacío, también asistido por el aire llevado a través del queque.

Zona de descarga: En la zona de descarga la tela del filtro es separada de la correa transportadora al pasar por un rodillo separador. Esto tiene la función adicional de romper al queque para asistir a la descarga. La tela del filtro se envuelve entonces alrededor del rodillo de

descarga en un ángulo de 90°. Es en este punto donde el queque seco y la tela del filtro se separan. El queque cae por gravedad en el buzón de descarga.

Zona de lavado de tela: La tela filtrante es dirigida hacia la cabeza del filtro y pasa por una cortina de agua de lavado a alta presión a través de los chiquetes o rociadores para sacar cualquier sólido arrastrado por la tela.

19.2.4 Filtros hiperbáricos

Los filtros de vacío tienen como gradiente de presión limitante 0,8 atmósferas en las condiciones más favorables, esto es, a nivel del mar. Si son utilizados en zonas muy altas este gradiente baja drásticamente. Un desarrollo interesante fue realizado en la Universidad de Karlsruhe en Alemania. En la década del 80 un grupo de investigadores liderados por el Prof. Dr. Werner Stahl estudiaron y desarrollaron un sistema de filtración en el cual introdujeron un filtro de vacío dentro de una cámara presurizada, aumentando de esta forma el gradiente de presión. En esta forma nació el filtro hiperbárico. El equipo consiste en un filtro a vacío, ya sea de disco, tambor o banda, inmerso en una cámara de presión. Como en todos los filtros a presión, la descarga constituye un problema. Con este tipo de filtros se puede obtener humedades de 8% y menores.

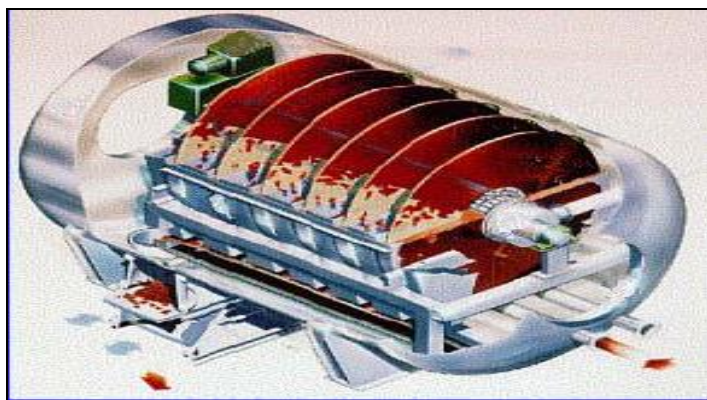


Figura 119 Vista general filtro hiperbárico

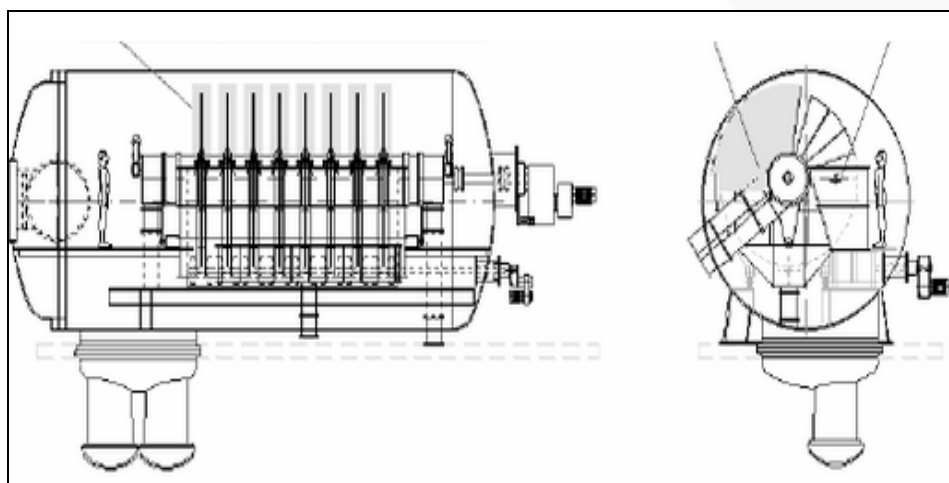


Figura 120 Vista de corte filtro hiperbárico

19.3 Equipos de filtración a presión

La filtración en equipos tradicionales, tales como filtros rotatorios y filtros de banda, están siendo menos aceptables en la industria minera y a menudo son considerados inadecuados debido a su alto contenido de humedad, obligando a hacer uso de secadores antes de obtener un producto final. Es así como los filtros de presión son considerados de una tecnología largamente reconocida como un método confiable y eficiente para lograr más bajas humedades y mejores rendimientos demostrando ser una solución eficaz para este problema. Los filtros a presión son equipos inherentemente discontinuos.

Al igual que los filtros rotatorios trabajan en ciclos, pero al contrario de estos, deben detenerse para cargar la suspensión y para descargar el queque seco. En La filtración a presión podemos identificar tres tipos de equipos: filtros prensa de placas verticales, filtros prensa de placas horizontales y filtro prensa de disco.

19.3.1 Filtro prensa de placas verticales

En los filtros de presión de placas verticales la separación toma lugar en cámaras formadas entre las superficies de drenaje de placas filtrantes moldeadas que se mantienen unidas entre sí. Estas placas poseen orificios para la alimentación de la pulpa y el drenaje líquido filtrado, las placas están fijas entre sí mediante una presión hidráulica, están montadas verticalmente sobre y entre dos barras laterales o suspendidas de vigas. Estas barras o vigas están conectadas en un extremo a un cabezal fijo o alimentador, mientras que por el otro extremo están conectados a un cabezal de cierre.



Figura 121 Filtro de prensa vertical

Las placas se comprimen entre sí mediante un arreglo de cierre de un pistón hidráulico en cuyo extremo se encuentra el cabezal móvil que empuja ordenadamente las placas contra el cabezal fijo, formando así una sola unidad filtrante compuesta por el grupo de placas de filtración.

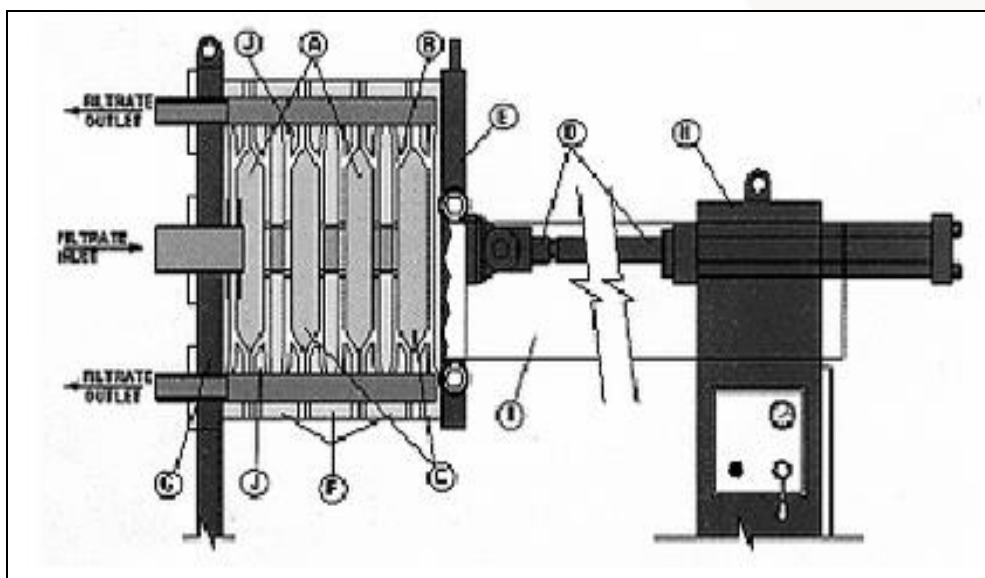


Figura 122 Esquema de filtro de placas verticales

El mecanismo de acción de un filtro-prensa se puede describir de la siguiente forma: El cabezal (G) y el soporte terminal (H) son sostenidos por rieles de las barras de soporte (I) diseñados especialmente. El pistón hidráulico (D) empuja las placas de acero (E) contra las placas de polietileno (F) cerrando la prensa. La pulpa es bombeada a las cámaras (A) rodeadas por el medio filtrante (B). Al bombear, la presión se incrementa forzando al líquido a atravesar la tela, haciendo que los sólidos se acumulen y formen un queque (C). El filtrado pasa a través de las telas y es dirigido hacia los canales de las placas y puertos de drenado (J) del cabezal para la descarga. Este filtrado típicamente contendrá menos de 15 ppm (mg/l) de sólidos en suspensión. La torta es fácilmente removida haciendo retroceder el pistón neumático, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que el queque compactado caiga desde la cámara.

La cámara que contiene el queque, está formada de una de las dos formas siguientes, por dos placas ahuecadas que conforman una cámara o por dos placas niveladas en el medio con un marco para el queque (similar a un marco de fotografía). La cara de ambos lados de las placas de filtración poseen una superficie de drenaje en forma de ranuras o pepitas para permitir que el

líquido filtrado drene por detrás de las telas filtrantes, permitiendo su evacuación a través de ojales situados en las esquinas inferiores de las cámaras. Sobre cada una de las dos superficies de las placas están instaladas telas de filtración. Estas telas están unidas al ojal alimentador fijadas por pernos o difusores impermeables.

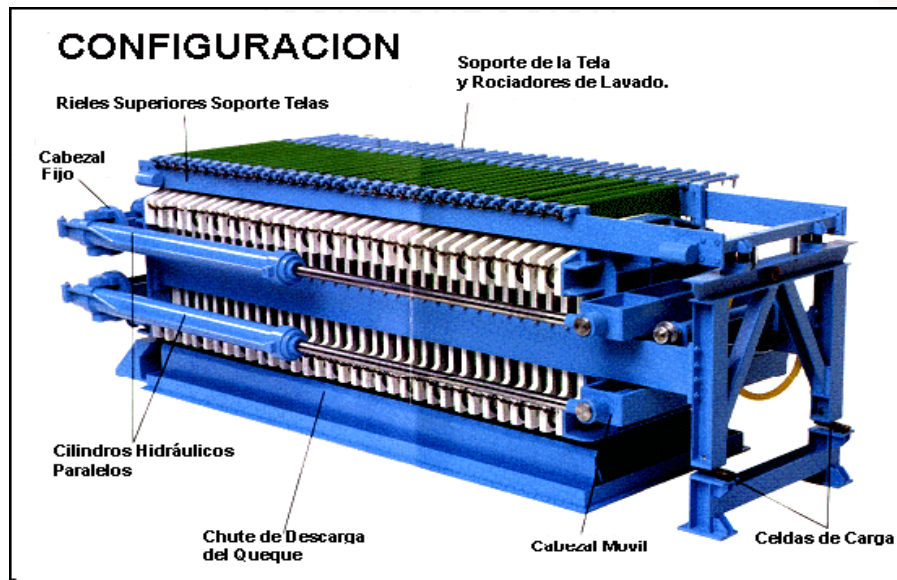


Figura 123 Filtro de placa vertical

Las etapas consecutivas del proceso de filtración no comprenden la utilización de compresión mecánica de la pulpa o queque en las cámaras filtrantes. El proceso cíclico de la filtración por presión en los filtros de placas verticales consta de las siguientes fases:

Cerrado: Las placas son comprimidas a alta presión mediante un pistón hidráulico para evitar fuga de material por entre las placas y sellar las cámaras filtrantes.

Alimentación: La alimentación de la pulpa se realiza por el ojal alimentador, o núcleo del cabezal fijo, donde la pulpa de concentrado es bombeada a lo largo de toda la longitud del filtro hasta llenar las cámaras de filtración. Como la pulpa fluye bajo presión, las partículas sólidas

comienzan a distribuirse entre ambas caras de la tela filtrante formando una capa inicial de torta de filtro o pre-revestimiento. Esta capa de pre-revestimiento se transforma en el medio real de filtración y, a medida que la filtración continúa, el espesor de ésta aumenta gradualmente hasta que los queques de ambos lados del filtro se tocan o se unen. El bombeo continúa obteniendo una compresión del queque formado, el que se detiene una vez que el flujo de líquido es prácticamente nulo. Es en este punto en que la bomba alimentadora se detiene.

Limpieza: La limpieza del residuo de pulpa que queda retenido en el interior del núcleo se realiza mediante agua a presión en contracorriente. El agua que queda retenida en el núcleo se elimina con aire comprimido. Esta etapa dura alrededor de 45 segundos.

Soplado: Aire a alta presión es introducido a las cámaras lo que genera un desplazamiento de la humedad retenida en los poros del queque.



Figura 124 Etapas del filtro vertical

Descarga: Una vez terminadas las etapas de filtración y compresión, se abren las compuertas de la tolva receptora del queque en la parte inferior del filtro. Las placas del filtro se separan por retracción del pistón al accionar de un cilindro hidráulico. El queque cae sobre una correa transportadora por simple gravedad.

Lavado: Antes de comenzar un nuevo ciclo, las compuertas de la tolva receptora del queque, son automáticamente cerradas para realizar el lavado de telas con agua y así eliminar las partículas de concentrado adheridas y mantener limpias las superficies de las placas y telas. Así se evita la posible *colmatación* o taponamiento de los poros de las telas y se reduce el desgaste por abrasión.

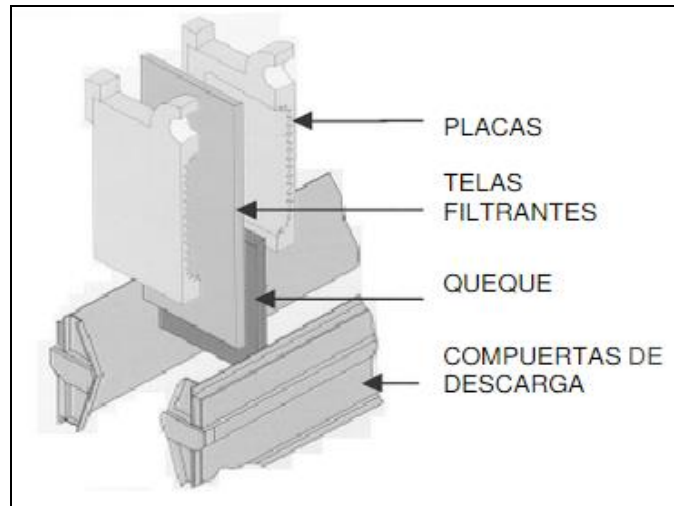


Figura 125 Etapas filtro de placas vertical

19.3.2 Filtro prensa de placas horizontales.

Recientemente se ha desarrollado un tipo de filtro a presión semi-continuo que ha encontrado un mercado importante en las empresas mineras. Este sofisticado equipo combina las dos características más buscadas por la industria minera, una baja humedad y gran capacidad. La flexibilidad en la capacidad también es importante ya que los hace convenientes para empresas mineras grandes y pequeñas.



Figura 126 Filtro de prensa de placas horizontales Larox

Este tipo de filtro prensa consiste básicamente en una cámara filtrante horizontal situado dentro de un marco de estructura principal. Por la forma de su diseño, permite la incorporación de cámaras adicionales montadas unas sobre otras, permitiendo incrementar el área de filtración sin generar un aumento en el área de piso de la instalación. Cada una de estas cámaras de filtración posee sellos inflables en ambos extremos, los que se dilatan durante la operación para sellar la cámara. Las cámaras se encuentran fijas a la estructura y no poseen movimiento durante la operación de filtrado. Cada cámara posee una correa filtrante montada sobre un rodillo impulsor en cada extremo, operando independientemente de las otras correas que posee el equipo.

Cada rodillo posee un motor hidráulico que acciona la correa durante la operación de descarga del queque. En la parte superior de cada cámara se encuentra instalado un diafragma de goma

flexible que es utilizado para comprimir la suspensión y el queque, siendo éste el encargado de formar y reducir la humedad del queque.

La secuencia operacional para la filtración por presión en placas horizontales, es como sigue:

Cerrado: Se desarrolla un inflado de los sellos de extremos mediante una presurización con agua para evitar fugas de las cámaras del filtro.

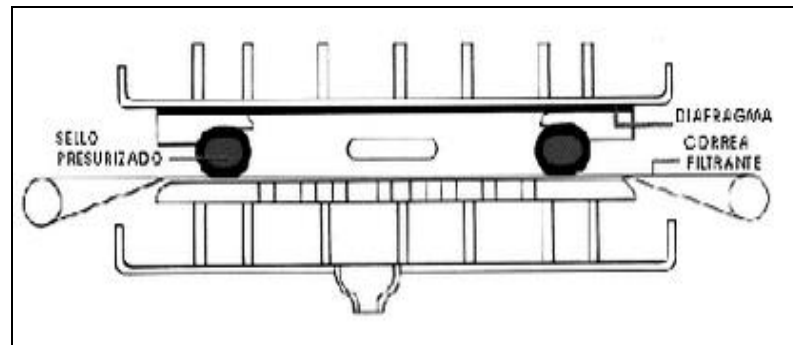


Figura 127 Placas cerradas

Alimentación: La pulpa es bombeada a presión hacia la cámara del filtro a una determinada presión. Una vez llena la cámara, la alimentación se corta. La etapa de alimentación va acompañada de una filtración incipiente, ya que la presión disminuye a medida que las cámaras se van llenando.

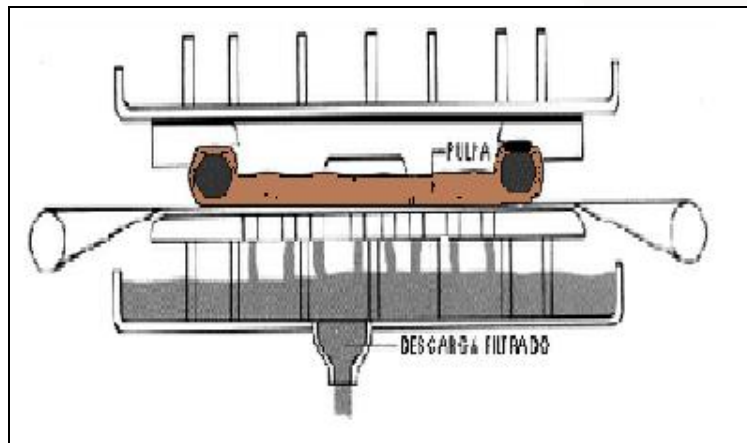


Figura 128 Etapa alimentación con pulpa

Limpieza: En forma opcional se limpia el residuo de pulpa que queda retenido: La etapa propiamente tal de en el interior del cabezal principal de alimentación.

Compresión: La formación del queque comienza con la compresión de la suspensión mediante un diafragma de goma, utilizando una presión de agua. Una vez terminado el período de formación del queque, comienza la expresión que produce una disminución de la porosidad del queque, eliminando una mayor cantidad de líquido. La alta presión permite el uso de tela de tramado denso que incrementa la eficiencia de la filtración.

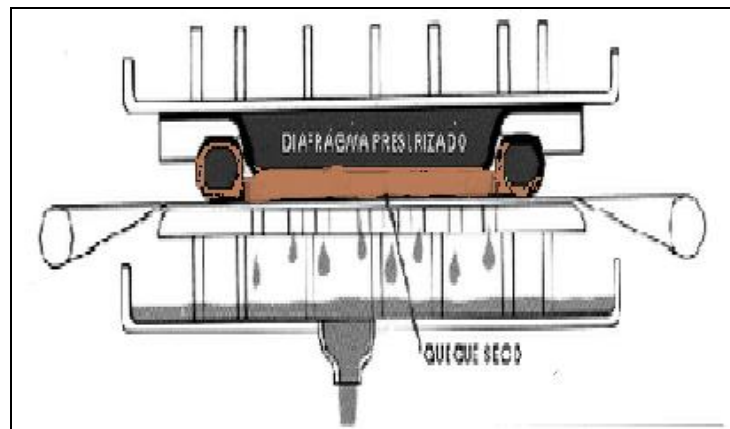


Figura 129 etapa compresión

Retracción del diafragma: Una vez terminada la expresión con diafragma, se ingresa aire, el que es soplado a través del queque saturado con la finalidad de desplazar el líquido allí retenido y ayudar a la retracción del diafragma.

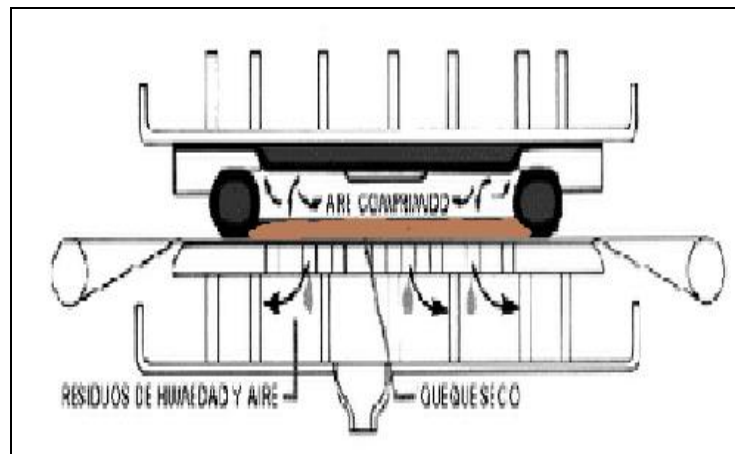


Figura 130 Retracción del diafragma

Lavado del queque: La solución de lavado es alimentada por bombeo dentro de la cámara del filtro formando un volumen parejo sobre el queque. Debido a que la torta yace plana y sin resquebrajaduras, el agua para el lavado se distribuye homogéneamente. El lavado de queque es completamente opcional y puede ser utilizado o rechazado mediante una simple reprogramación del PLC.

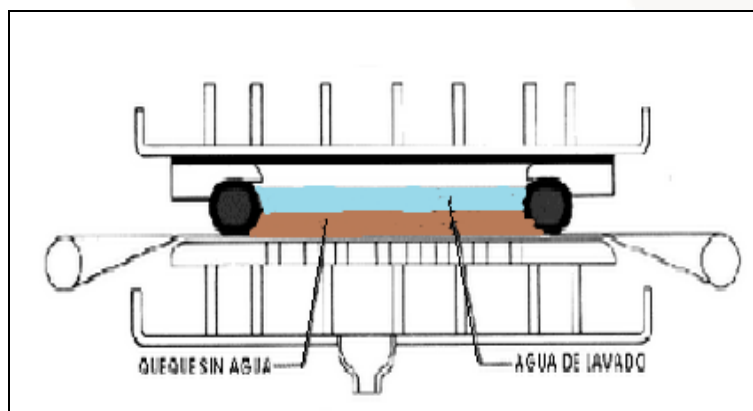


Figura 131 Lavado del queque

Segunda compresión: Se presiona al diafragma nuevamente para forzar la solución de lavado a pasar a través del queque, desplazando el líquido retenido en éste casi por completo. Luego de esto, la misma presurización del diafragma exprime el queque filtrado y lavado para extraer el máximo de solución de lavado de queque.

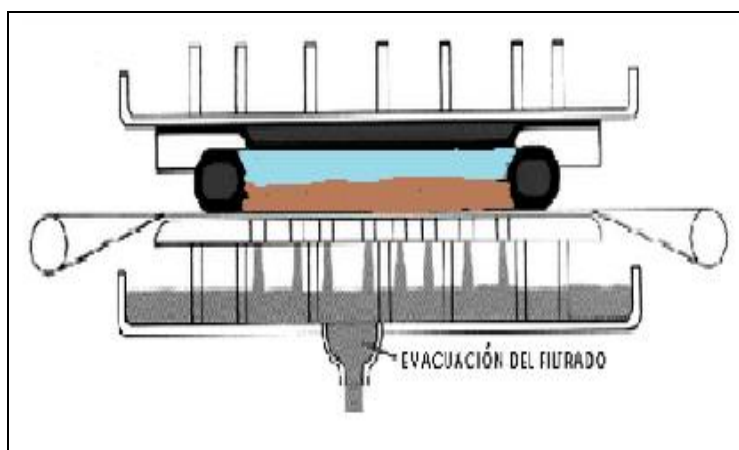


Figura 132 Etapa segunda compresión

Segunda soplada y retracción del diafragma: Después de la segunda expresión, se sopla el queque con aire comprimido por segunda vez, retrayendo el diafragma y reduciendo la humedad final del queque. Al controlar el tiempo de inyección de aire, es posible regular el porcentaje de humedad final en el queque.

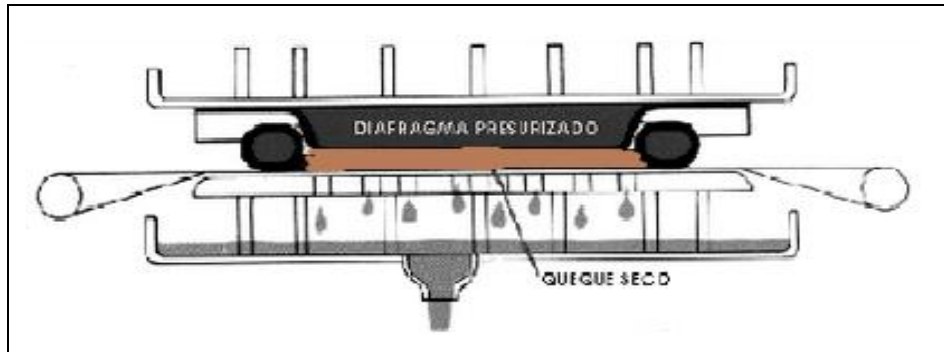


Figura 133 Etapa segunda retracción del diafragma

Descarga del queque: Los sellos se retraen y se descarga el queque accionando la correa del filtro después que se ha completado la etapa de soplado de aire. La puerta desviadora se abre y permite la entrada del queque al buzón de descarga.

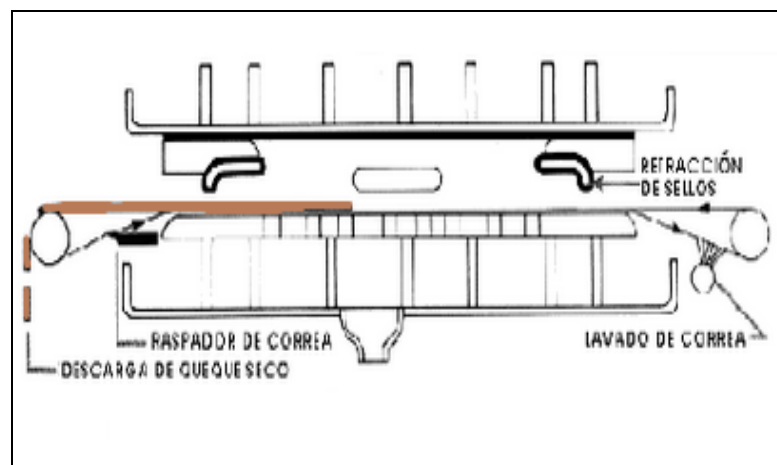


Figura 134 Etapa escarga queque filtrado

Lavado de la correa: Antes de comenzar un nuevo ciclo, se realiza un lavado a la correa y, durante el movimiento de retroceso de ésta, al interior de la cámara con la puerta desviatoria cerrada para evitar que caiga líquido junto con el queque descargado. La correa se detiene regresando a su posición original y el ciclo se repite automáticamente.

Actividad N° 11

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en reconocer los diferentes tipos de filtros utilizados en las plantas de procesamiento de minerales. El objetivo es que los participantes se familiaricen con los equipos más comunes en la filtración de pulpas de concentrado y relaves.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los diferentes equipos utilizados para la filtración de soluciones y pulpas de minerales.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	

Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 34

Material y Recursos

Cuaderno de actividades de los participantes.

Lápiz.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá guiar a los participantes, entregando instrucciones claras sobre cómo se procede, respondiendo cualquier duda sobre la actividad misma.



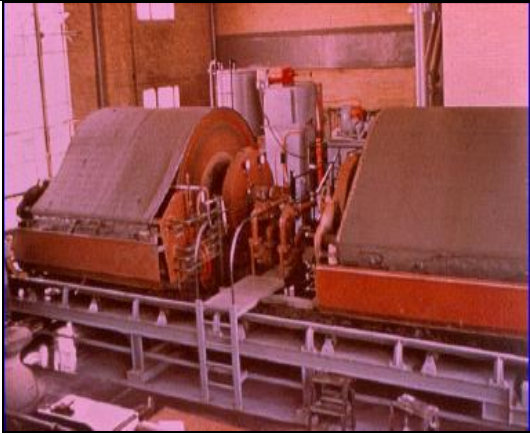
La actividad consiste en que el participante llene las dos columnas correspondientes al tipo de filtro y el tipo de método que se aplica en el equipo.

En todo momento, el instructor debe monitorear el cómo se está realizando la actividad. Deberá contestar las dudas que aparezcan de los participantes.

Una vez terminada la actividad, el instructor invitara a cada uno de los participantes a compartir los resultados de la actividad.

Tabla 49.

Equipo	Tipo de Filtro	Método de Filtración


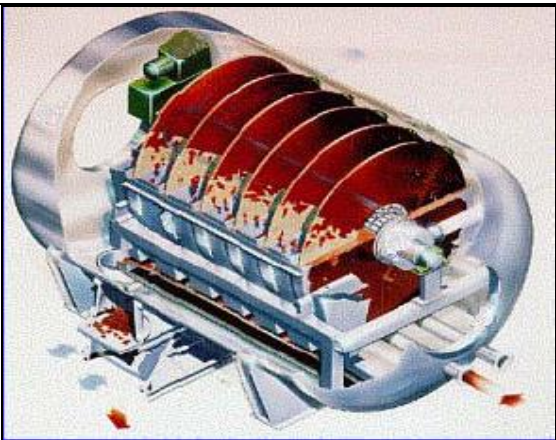
		
		

Tabla 35

Cierre

Es fundamental que las personas que controlan la operación de equipos de producción, primero los conozcan. Es por eso que los participantes deben familiarizarse con los equipos de filtración, agregando valor a sus actividades y responsabilidades en la planta de procesamiento de minerales.

20. Variables y parámetros de operación

Las principales variables en un proceso de filtración pueden ser separadas en: variables de entrada, variables de salida, parámetros, perturbaciones y variables controlables. El esquema indicado en la figura 135.

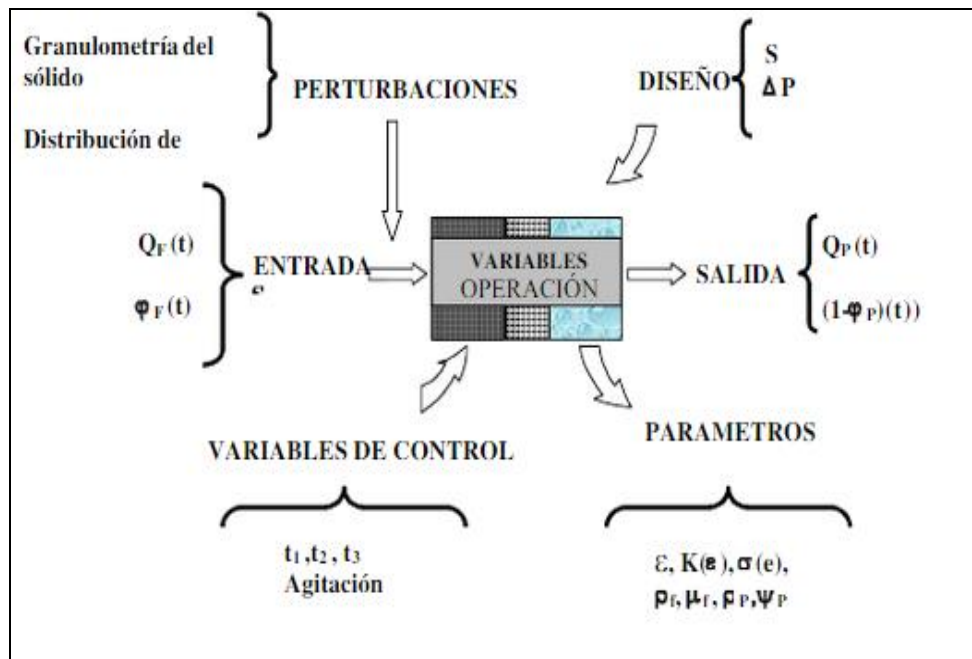


Figura 135 Principales variables en un proceso de filtración

20.1 Variables de entrada

Son aquellas que vienen del proceso de espesamiento de concentrados o relaves. Por lo tanto, cualquier variación, generara complicaciones en la etapa de filtración. El flujo de alimentación Q_F puede disminuir por problemas puntuales, pero en tiempos no muy largos puede recuperarse. La concentración de sólidos φ_F en la entrada, depende directamente de la operación del espesador y de las variables que se manejan en el proceso de espesamiento.

También se dan casos en que solamente los concentrados se filtran y los relaves pasan a depositarse directamente, sin embargo la concentración de solidos C_p desde el espesamiento debe mantenerse entre rango de valores, como lo muestra la figura 136.

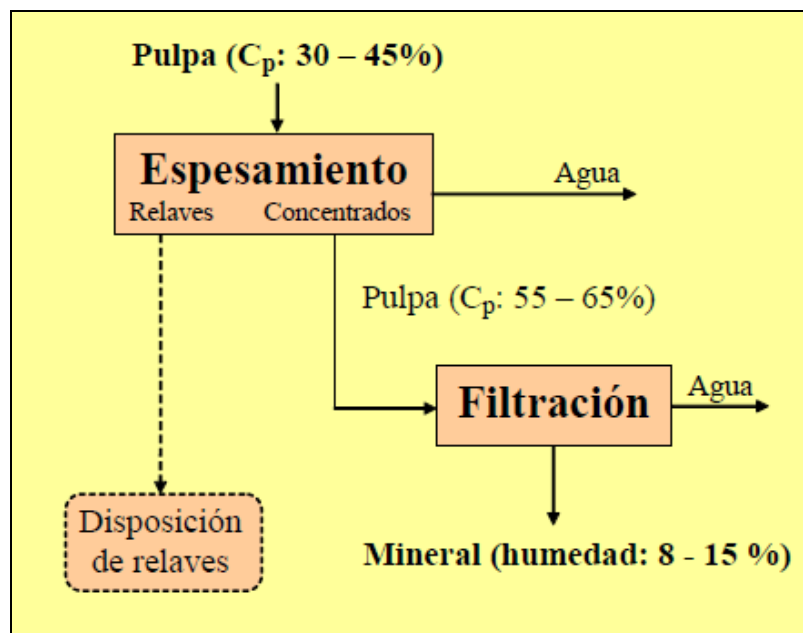


Figura 136 Variables de entrada

20.2 Variables de salida

Estas están directamente relacionadas con las de entrada. Si el flujo de alimentación baja, obviamente el flujo de salida Q_p lo hace también. La humedad del queque ($1 - \phi_p$) depende de la eficiencia del medio filtrante, por lo tanto, cualquier alteración afecta la filtración. Es recomendable seguir las indicaciones de mantención del fabricante para el cuidado del medio filtrante.

20.3 Variables de diseño

Están condicionadas al equipo que se elija para cumplir la función de filtrado en la planta de procesamiento. El área de filtración está directamente relacionada con la cantidad de material a tratar, por lo tanto, cada faena tiene establecido su nivel de producción y de acuerdo a eso, empíricamente se puede determinar.

Dependiendo del tipo de material a filtrar y de la magnitud del gradiente de presión el queque formado durante la filtración puede permanecer rígido o puede comprimirse.

20.4 Variables de control

El tiempo de filtrado de una masa de queque producido puede estimarse bajo modelamiento y también experimentalmente. En la figura cc se observa que el volumen de filtrado aumenta inicialmente en forma proporcional al tiempo y que más tarde esta proporcionalidad disminuye a la raíz cuadrada del tiempo.

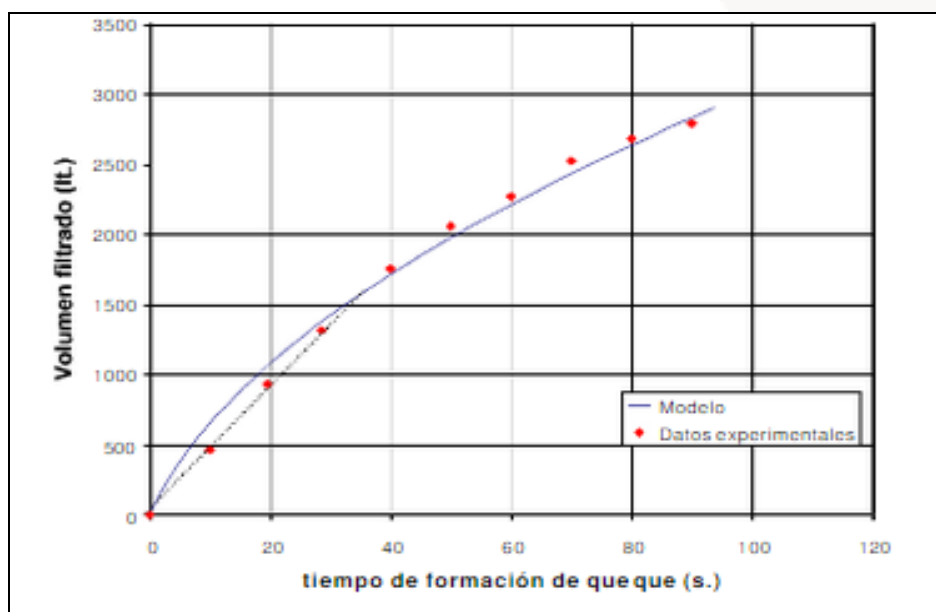


Figura 137 Tiempo de filtrado de una masa de queso producido

El tiempo de secado o soplado del queso producido puede determinarse empíricamente suponiendo que el grosor del queso permanece constante, donde la saturación es igual a uno y disminuye con el tiempo.

20.5 Parámetros

Dentro de los valores a monitorear durante la filtración, tenemos:

Porosidad ϵ : La porosidad del queso está determinada principalmente por el tamaño, distribución de tamaño y disposición de las partículas que forman el empaquetamiento. Para comprender mejor el efecto de estas variables en la porosidad, tomemos el ejemplo del empaquetamiento de esferas. La porosidad de un lecho de esferas de un solo tamaño es independiente del tamaño de las esferas y depende exclusivamente del tipo de

empaquetamiento. En la tabla 36 (Wakeman y Tarleton 1999) se muestran valores calculados para la porosidad con diferentes tipos de empaque.

Empaquetamiento	Número de coordinación	Porosidad ϵ
Cúbico	3	0.7766
	4	0.6599
	5	0.5969
	6	0.4764
	7	0.4388
Orto-rómbico	8	0.3955
	9	0.3866
Tetragonal	10	0.3019
	11	0.2817
Romohedral	12	0.2595

Tabla 36. Valores calculados para la porosidad con diferentes tipos de empaque.

Permeabilidad K (ϵ): Depende de las características estructurales del medio filtrante, ya que está formado por un medio poroso heterogéneo, con poros de diferentes tamaños y geometría, cuya estructura puede causar grandes variaciones en la forma en que se depositan las partículas y grandes variaciones en la distribución del flujo de líquido en la superficie.

Compresibilidad del queque σ_e : En general, los concentrados de cobre y otros metales, especialmente cuando no se utiliza floculante en su espesamiento, son materiales incompresibles. Al contrario, los relaves de flotación son siempre floculados antes de espesar. Por esta razón son materiales compresibles.

Densidad ρ_f y viscosidad μ_f del filtrado: Estos parámetros pueden medirse desde laboratorio para establecer rangos de valores durante la operación.

Densidad ρ_p y viscosidad ϕ_p : Estos parámetros provienen desde el reconocimiento del mineral que es procesado en la planta.

Actividad N° 12

Introducción a la actividad

La siguiente actividad tiene como finalidad filtrar una mezcla de sólidos aplicando dos métodos: vacío y presión. El objetivo de la actividad es que los participantes puedan observar la formación de un queque filtrado, aplicando los dos métodos anteriormente señalados.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Realizar ajustes de parámetros y variables de operación del filtro para normalizar su operación.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓

Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 37

Materiales y Recursos.

Vaso precipitado.

Agua para formar una pulpa.

Papel filtro.

Embudo buchner.

Matraz de kitasato.

Bomba de vacío.

Mangueras de presión.

Cuaderno de actividades.

Lápiz.

Tijeras.

Papel filtro.

Balanza digital.

Recipientes plásticos.



Figura 138 Embudo buchner y matraz de kitasato



Figura 139 Bomba de vacío y filtro de presión de laboratorio

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de filtración de una pulpa.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizaran un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregara para control de los riesgos.

El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.

Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



La actividad se divide en dos etapas:

Filtración por vacío.

1. Revisar el estado de bomba de vacío.
2. Revisar el estado y limpieza del embudo y matraz de kisacato.
3. Conectar el matraz de kisacato con la bomba, por medio de manguera plástica.
4. Instalar sobre el matraz, el embudo buchner.
5. Cortar el papel filtro de tal manera de cubrir la superficie perforada del embudo.
6. Tarar la balanza digital a cero con vaso precipitado de 500 ml.
7. Agregar al vaso pulpa preparada con densidad conocida. Anotar el valor.
8. Conectar y encender la bomba de vacío.
9. Agregue lentamente la pulpa desde el vaso precipitado al interior del embudo. Anote las observaciones.
10. Detenga la bomba cuando ya no caiga más agua filtrada al embudo.
11. Retire el queque filtrado desde el embudo cuidadosamente.
12. Pese el queque húmedo final en la balanza.
13. Repetir la actividad cambiando el papel filtro por una tela filtrante.

Filtración por presión.

1. Revisar estado de mangueras de presión.
2. Revisar la limpieza de filtro a presión y manguera inferior. La llave de paso del filtro debe estar cerrada.
3. Conectar el filtro con la manguera a línea de presión.
4. Abrir lentamente llave de paso de aire. Probar que no existan filtraciones, tanto de las mangueras como del filtro.
5. Desconectar las mangueras de la línea, abrir tapa superior del filtro.
6. Cortar papel filtro de tal forma de cubrir el fondo del filtro.
7. Agregar 1000 ml de pulpa con un vaso precipitado al filtro.
8. Volver a tapar el filtro. Conectar la manguera a la línea de presión. Abrir completamente la llave de paso.

9. Regular la presión a la que se desea filtrar con válvula reguladora que se encuentra en el filtro.
10. Instalar un recipiente debajo de la manguera inferior del filtro.
11. Abrir la llave paso y dejar filtrar por cinco minutos.
12. Una vez que ya no gotee, cerrar válvula de paso y válvula reguladora.
13. Cerrar válvula de la línea de presión. Desconectar manguera de presión.
14. Sacar tapa superior del filtro.
15. Retirar masa de filtrado desde el interior.
16. Repetir el procedimiento, cambiando el papel filtro por tela filtrante.

El instructor debe estar todo el tiempo monitoreando todo el tiempo, la instalación del filtro y las pruebas de presión.

Una vez que los participantes terminen con ambos procedimientos, el instructor entregará las siguientes instrucciones en pizarra o por escrito en una guía.

- ✓ Los participantes, en individualmente o en grupos, deberán anotar las diferencias que se aprecian en los productos (queques) de la filtración.
- ✓ Describir como influyo el cambio de medio filtrante en ambas filtraciones.
- ✓ Describir como influyo el aumento o disminución de la presión.
- ✓ Describir si hubo cambios (volumen, calidad) en el agua filtrada al realizar los cambios de medios filtrantes.
- ✓ Definir cuál medio filtrante fue el más efectivo.

Cierre.

Ambos métodos de filtración, son bastante utilizados en las plantas de procesamiento. Es fundamental que en este tipo de experiencias, los participantes puedan además de apreciar la forma de cómo se aplican estos métodos, es que también variar parámetros y comparar el grado de efectividad de ambos.

Módulo V: Operación de Equipos de Transporte de Concentrado

21. Transporte de concentrados

21.1 Introducción.

El transporte hidráulico de concentrados, a través de cañerías, constituye una operación ampliamente utilizada desde hace varios años en numerosas industrias y especialmente en el campo de la minería.

El agua es el fluido más común para transportar sólidos, y si la instalación opera en forma continua, el proceso es capaz de transportar grandes cantidades de sólidos.

El movimiento de materiales finos dentro de una faena minera, como ser, el transporte de mineral desde la planta de molienda a la planta de flotación, los flujos en el interior de la planta de flotación, el transporte de concentrados desde la concentradora a la fundición o el transporte de relaves desde la concentradora al tranque de relaves, constituye un factor determinante dentro del esquema de operación de una industria minera.

Este problema se ve agravado en Chile, por la localización cordillerana de nuestros principales yacimientos, obligando a construir los sistemas para efectuar el transporte antes señalado sobre una topografía desventajosa y capacitarlos para soportar factores climáticos adversos.

Por otra parte, en nuestro país la ubicación de los yacimientos crea condiciones de pendientes y balances hidrológicos favorables que hacen pensar de inmediato en el transporte mediante un sistema hidráulico, consistente en el movimiento gravitacional y/o forzado de suspensiones sólido – líquido ya sea en tuberías o canales.

La explicación del creciente interés por esta alternativa para transportar materiales de tamaño reducido, es principalmente de índole económico, y son dos factores los más destacados:

- Bajo costo y economía de escala, y
- Puesta en marcha de la explotación de yacimientos mineros, cuya localización hace que tal actividad no sea económica por medio del transporte tradicional.

Algunos antecedentes indican que los costos de transportes son más bajos, dentro de ciertos límites de producción, y le siguen el transporte por ferrocarril, por camión y por correas transportadoras.

Si se toma como patrón de medida el costo de transporte interoceánico (c.t.i.) de materiales finos, en barcos de alto tonelaje, se tienen los siguientes índices, que demuestran lo favorable que es el transporte hidráulico de concentrados por tubería.

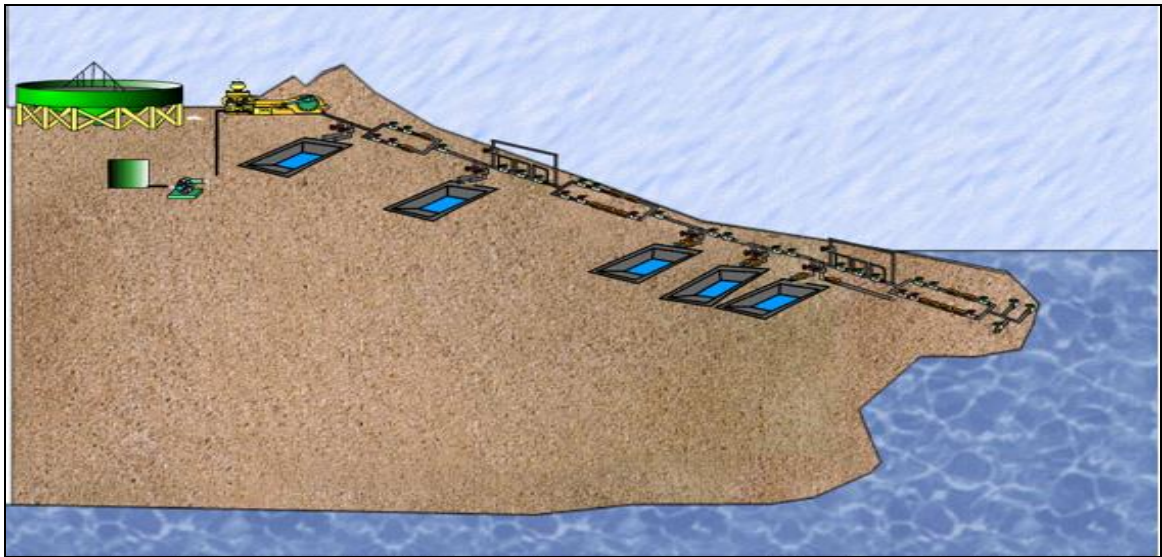


Figura 141. Esquema de transporte de concentrado por mineroconducto

Las ventajas más significativas que presenta el transporte hidráulico de sólidos son:

- Simplicidad de la instalación.
- Facilidad para vencer obstáculos naturales o artificiales. No hay impedimentos, el transporte puede ser en dirección horizontal, vertical o inclinada.
- No requiere de gran despliegue de maniobras de instalación ni de operación. El factor operacional es ventajoso, por cuanto es bajo el número de operarios requeridos para hacer funcionar el sistema.
- Proporciona un flujo continuo de sólidos y fácil implementación de control automático.
- Bajo consumo de energía.
- Posibilidad de transportar varios productos.
- No se produce daño ni se altera el medio ambiente.
- Permitir la elección de la vía más corta entre dos puntos al atacar cualquier tipo de pendientes, para las tuberías en presión, y evitar la construcción de las complejas obras civiles necesarias para implementar un camino o una vía férrea.

- Eliminar la influencia de factores climáticos como temporales, rodados de nieve, neblina, etc.
- Poder alcanzar ritmos de transportes imposibles de realizar con otro tipo de sistema.

21.2 Antecedentes de aplicación industrial

La primera patente relacionada con el transporte hidráulico de sólidos, de tipo industrial, data del año 1891, y se relaciona con el transporte de carbón mediante bombeo de una suspensión preparada con agua como fluido transportador.

El rango de aplicación del transporte hidráulico de sólidos en la industria minera es muy amplia, tanto para el cobre como para toda la minería metálica.

La importancia de las instalaciones de transporte hidráulico de concentrados dependerá de la magnitud y ubicación de las faenas. La tabla 38 muestra los sistemas más interesantes que existen en la actualidad.

Material transportado (año puesta marcha)	Longitud recorrida (Km)	Diámetro tubería (pulg)	Capacidad (millones ton/año)
CARBÓN:			
- Ohio, EE. UU. (1957)	174	10	1.3
- Arizona, EE.UU. (1970)	440	18	4.8
- Arkansas EE.UU. (1979)	1668	38	25.0
- Utah, EE.UU. (1981)	290	24	10.0
- Francia	10	15	1.5
- Polonia	203	10	-
- Rusia	61	12	1.6
- Canadá	805	24	12.0
CONCENTRADOS DE FIERRO:			
- Tansmania, Australia (1967)	86	9	2.3
- Nueva Zelandia (1971)	10	8 y 12	2.0
- México (1974)	48	8	1.8
- México (1976)	32	8	2.1
- México (1976)	27	10	1.5
- Brasil (1977)	400	20	13
- África	266	16	4.0
- India	58	20 y 22	10
CONCENTRADOS DE COBRE			
- Bouganville , Indonesia (1972)	27	6	1.0
- EE.UU. (1974)	17	4	0.4
- Japón	64	8	1.0
- Alumbreira, Argentina (1997)	240-300	7	1.1
- Isacruz , Perú (1996)	25	3,5	0.4
CALIZAS FOSFATOS Y OTROS			
- Inglaterra (1964)	92	10	1.7
- Colombia (1971)	27	7	1.5
- Brasil	114	10	2.2
- Trinidad	10	8	0.6
- África del Sur	35	6 y 9	1.1
- EE.UU.	116	6	0.4

Tabla 38 Instalaciones industriales de transporte hidráulico de sólidos

Minera	nivel (msnm)		Largo (Km)	diámetro tubería (pulg)	caudal (m ³ /hr)	material	Sólidos (%)
	partida	descarga					
Collahuasi	4400	0	200	7	111	pulpa de concentrado	60
Escondida Línea 1	3084	0	170	9	296	pulpa de concentrado	65
Escondida Línea 2	3159	0	179	6 y 7	125	pulpa de concentrado	65
Pelambres	1600	0	120	7	141	pulpa de concentrado	60
Andina Línea 1	3000	1100	21,5	4 inicio 2,5 final	Max 27	pulpa de concentrado	48
Andina Línea 2	3000	1100	21,5	4 inicio y 3 final	38,2	pulpa de concentrado	48
Andina Línea 3	3000	1100	21,5	6	124	pulpa de concentrado	48
Disputada	3500	1000	56	20 y 24	2300	pulpa de mineral	50 a 60

Tabla 39. Instalaciones de transporte hidráulico de sólidos por tubería más importantes en Chile.

21.3 Descripción general del proceso

Para que el transporte de mezclas sólido-líquido a través de cañerías y sea técnicamente factible, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- El sólido debe poder mezclarse y separarse fácilmente.
- No deben existir riesgos, como por ejemplo taponamiento de la cañería debido a interacciones entre las partículas, trayendo como consecuencia aglomeración de ellas.
- El sólido a transportar no debe reaccionar ni con el fluido que transporta ni con la tubería.
- El desgaste y ruptura que sufren las partículas durante el transporte no deben tener efectos adversos para el proceso posterior de ellas.
- La cantidad de fluido a transportar debe ser adecuada.

21.4 Variables del sistema

El flujo de mezclas sólido-líquido por cañerías depende de una gran cantidad de variables y parámetros, no estando aún evaluada con exactitud la influencia de algunas de ellas. Estas variables se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- Dependiente del sólido a transportar:
Granulometría.
Densidad.
Forma.
Dureza.
- Dependiente del fluido a transportar:
Densidad.
Viscosidad.
- Dependiente de la instalación:
Diámetro interno de la cañería.
Longitud.
Desnivel.
Rugosidad interna.
Ángulos de inclinación de la tubería.
Singularidades (estrechamiento, codos, etc.).
- Dependientes de la mezcla:
Concentración de sólidos en volumen y en peso.
Densidad de la mezcla.
- Dependientes del sistema:
Tonelaje de sólidos a transportar.
Velocidad de flujo.

Perdida de carga.

21.5 Regímenes de flujo

La turbulencia es uno de los factores más importantes que permiten la suspensión de los sólidos. Sin embargo, en algunos casos particulares puede presentarse el régimen de flujo laminar si la concentración de partículas sólidas es muy grande (sobre un 70% - 80% en peso) y por lo tanto la viscosidad de la pulpa es alta.

Por otra parte, es necesario clasificar los flujos de mezclas bifásicas de acuerdo a la forma que son arrastradas las partículas sólidas, presentándose cuatro formas de transporte claramente diferenciables:

21.5.1 Flujo de sólidos en suspensión homogénea

Como su nombre lo indica, las partículas sólidas de la mezcla son transportadas en suspensión, sin presentar gradientes, ni de concentración ni de granulometría, en un plano perpendicular al flujo y vertical. Además las partículas sólidas no presentan ningún deslizamiento con respecto al fluido, es decir, tanto el sólido como el líquido tienen la misma velocidad de flujo con lo cual el comportamiento hidráulico de la mezcla es muy similar a la de un fluido puro.

21.5.2 Flujo de sólidos en suspensión heterogénea

En este caso los sólidos aún se mantienen en suspensión pero las partículas más pesadas tienden a caer, formando un gradiente vertical de concentraciones y granulometrías pero sin chocar en forma notoria contra el fondo de la tubería.

Sin embargo a los sólidos aún puede asignárseles la velocidad del fluido, pero con un pequeño grado de deslizamiento en las cercanías de las paredes.

Este régimen de flujo es bastante usual en el transporte hidráulico de relaves con alto grado de molienda.

21.5.3 Flujo de sólidos con arrastre de fondo

Cuando la capacidad del fluido es relativamente baja comparada con el peso relativo de las partículas gruesas, éstas caen y son arrastradas por el fondo de la tubería o canal ya sea a saltos deslizándose o rodando, mientras que las partículas más finas del espectro granulométrico aún se mantienen su suspensión.

En este caso, el gradiente de concentraciones y tamaños de partículas se hacen más pronunciado y se puede observar una nube de partículas desplazándose a una velocidad menor que la del fluido por el fondo de la tubería y otra nube de partículas más finas suspendidas y a igual velocidad que el fluido por encima de ella.

Este régimen de flujo se presenta en una gran cantidad de las instalaciones de transporte de relaves, diseñados con velocidades bajas para lograr una mínima abrasión, y tiene como inconveniente que el arrastre de fondo de las partículas gruesas provoca un desgaste muy pronunciado en la parte de la tubería.

21.5.4 Flujo de sólidos con depósitos de fondo

Si el flujo es débil, las partículas más pesadas de la fase sólida se depositan sobre el fondo de la tubería o canal, ya sea en forma intermitente o definitiva, presentándose un lecho fijo de sólidos o un tren de dunas a baja velocidad, ambas situaciones a la vez por la parte inferior del ducto y una nube de partículas arrastradas y/o suspendidas por encima de estas.

El flujo con depósito estable de fondo se presenta generalmente en condiciones de concentración y tamaño de sólidos relativamente bajas, en cambio, las dunas móviles son usuales en espectros granulométricos anchos y concentraciones importantes.

El movimiento de las dunas en tuberías ocurre en el mismo sentido que el flujo de la mezcla (cabe hacer notar que en el flujo de mezclas por canaletas el sentido puede ser inverso) y su velocidad es muy baja comparada con la velocidad media de flujo.

Como este proceso de depositación de sólidos provoca una disminución de la sección de flujo, con el consiguiente aumento de la velocidad media para mantener la relación de continuidad, la capacidad portante del fluido se ve reforzado lo que permite mantener la fase sólida en

movimiento. Sin embargo, como este proceso de reducción de área en conjunto con la formación de remolinos provocados por dunas incide en un muy fuerte aumento de la disipación de energía del sistema y si éste no dispone de la suficiente energía necesaria ya sea por bombeo o diferencia de nivel, el proceso de depositación de sólidos se acentuará causándose en un corto período de tiempo una obstrucción total de la tubería.

Aunque la formación de un lecho fijo estable en el fondo de una tubería, con el espesor más pequeño posible, es deseable bajo el punto de vista de proteger de la erosión el fondo de la tubería, el riesgo de obstrucción de la misma, junto con la imposibilidad de refluidizar el deposito por medios hidráulicos, hace muy poco aconsejable trabajar en este régimen de flujo.

22 Reología de pulpas

22.1 Pulpas Newtonianas

Aunque la densidad es esencialmente una propiedad estática, la viscosidad absoluta (o dinámica) es una propiedad dinámica y tiende a reducirse en magnitud, cuando la tasa de corte en una tubería aumenta. Existen diferentes formas de viscosidad como: la viscosidad dinámica, la viscosidad cinemática y la viscosidad efectiva en la tubería.

22.2 Pulpas no-Newtonianas

Varios modelos han sido desarrollados a lo largo de los años para clasificar las mezclas de dos fases. En el caso de la minería, las siguientes mezclas son frecuentemente encontradas:

1. Mezclas de dispersión fina, que contienen pequeñas partículas sólidas, las cuales están uniformemente distribuidas en un fluido continuo y que se encuentran en tuberías de concentrado y en pulpas de molienda, después de su clasificación, etc.

2. Mezclas de dispersión gruesa, que contienen partículas gruesas distribuidas en un fluido continuo y que se encuentran en los molinos SAG, descarga de ciclones y en ciertas líneas de relaves, etc.

3. Mezclas tipo flujo macro-mezclado, que contienen espumas o alta turbulencia de mezcla de gas y líquidos o de dos líquidos inmiscibles, bajo condiciones en el cual ninguno es continuo. Tales patrones son encontrados en circuitos de flotación; en el cual, la espuma es usada para separar el concentrado del resto.

Diseñar una tubería para operar en un régimen de flujo no-Newtoniano, debe de estar basado en data confiable, especialmente en referencia a la reología y al tamaño de partículas. Se debe de tener cuidado de aventurarse en generalizaciones acerca de propiedades reológicas, porque cada pulpa tiene sus características propias, que requieren de un diseño especial.

22.3 Golpe de ariete

El golpe de ariete (choque hidráulico) es el incremento momentáneo en presión, el cual ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del agua. Cuando una válvula de cierre rápido cierra repentinamente, detiene el paso del agua que está fluyendo en las tuberías, y la energía de presión es transferida a la válvula y a la pared de la tubería. Las ondas expansivas se activan dentro del sistema. Las ondas de presión viajan hacia atrás hasta que encuentran el siguiente obstáculo sólido, luego continúan hacia adelante, luego regresan otra vez.

La velocidad de las ondas de presión es igual a la velocidad del sonido; por lo tanto, su “explosión” a medida que viaja hacia adelante y hacia atrás, hasta que se disipa por la pérdida de fricción. Cualquiera que haya vivido en una casa antigua está familiarizado con la “explosión” que resuena a través de las tuberías cuando una llave de agua es cerrada repentinamente. Esto es un efecto del golpe de ariete.

Las causas del golpe de ariete son muy variadas. Sin embargo existen cuatro eventos comunes que típicamente inducen grandes cambios de presión.

1. El arranque de la bomba puede inducir un colapso rápido del espacio vacío que existe aguas abajo de la bomba.

2. Un fallo de potencia en la bomba puede crear un cambio rápido en la energía de suministro del flujo, lo que causa un aumento de la presión en el lado de succión y una disminución de presión en el lado de la descarga. La disminución es usualmente el mayor problema. La presión en el lado de descarga de la bomba alcanza la presión de vapor, resultando en la separación de la columna de vapor.

3. La abertura y cierre de la válvula es fundamental para una operación segura de la tubería. Al cerrarse una válvula, la parte final aguas debajo de una tubería crea una onda de presión que se mueve hacia el tanque de almacenamiento. El cerrar una válvula en menos tiempo del que toma las oscilaciones de presión en viajar hasta el final de la tubería y en regresar se llama “cierre repentino de la válvula”. El cierre repentino de la válvula cambiará rápidamente la velocidad y puede resultar en una oscilación de presión. La oscilación de presión resultante de una abertura repentina de la válvula, usualmente no es tan excesiva.

4. Las operaciones inapropiadas o la incorporación de dispositivos de protección de las oscilaciones de presión pueden hacer más daño que beneficio. Un ejemplo es el exceder el tamaño de la válvula de alivio por sobre-presión o la selección inapropiada de la válvula liberadora de aire/vacío.

Otro ejemplo es el tratar de incorporar algunos medios de prevención del golpe de ariete cuando este no es un problema.

22.4 Gradiente hidráulico y línea hidrostática

El gradiente hidráulico se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua en una tubería.

Las dos líneas de presión más importantes que el operador debe conocer apropiadamente a través del perfil horizontal de la tubería son las líneas hidrostáticas y la línea de gradiente hidráulico.

La línea hidrostática es la altura de presión equivalente generada por el fluido dentro de las condiciones de frontera a lo largo de la tubería durante una detención.

La línea de gradiente hidráulico es la altura de presión de un fluido en movimiento graficada a lo largo del perfil horizontal de la tubería con una pendiente correspondiente a la pérdida de energía del flujo en la tubería.

El gradiente del sistema se obtiene en instante real desde un monitor conectado al sistema experto, el cual efectúa el cálculo de acuerdo a las lecturas de los datos de presiones en cada estación, que son realizados en forma permanente.

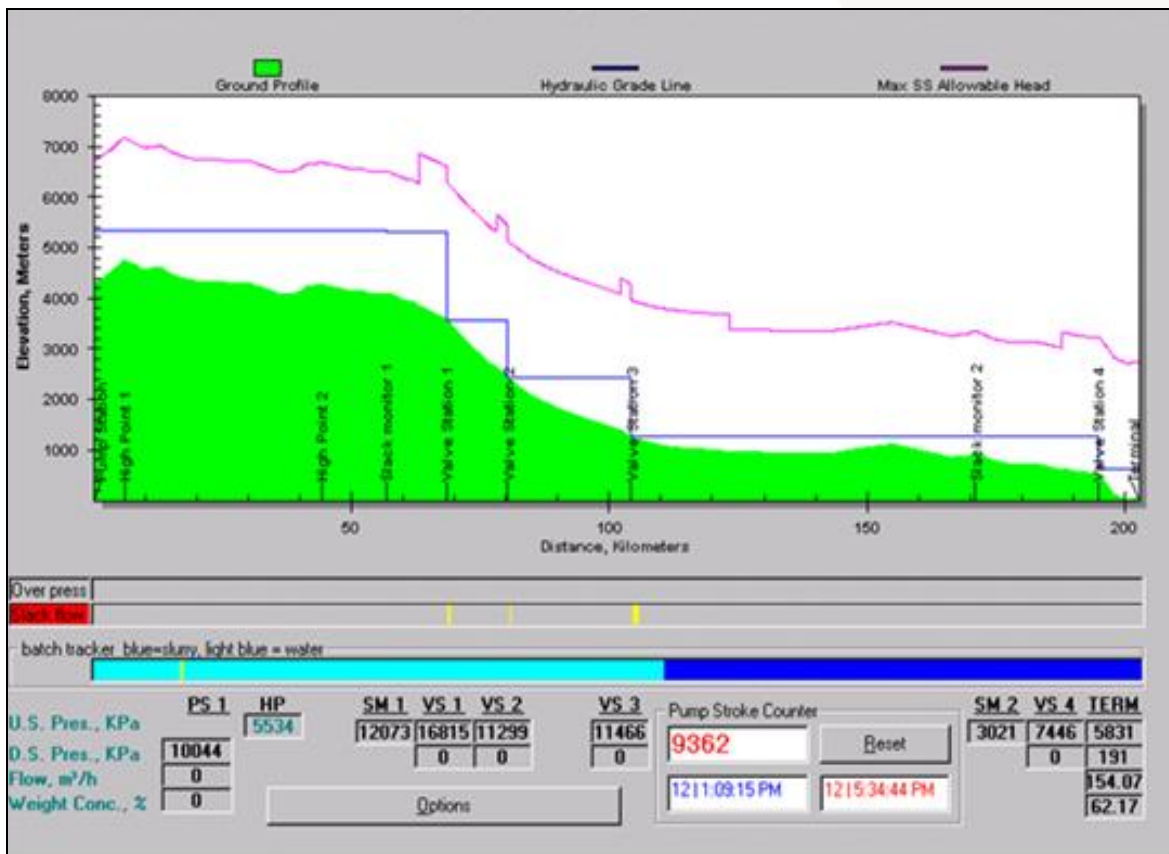


Figura 142 Ejemplo de línea hidrostática con mineroducto detenido. Collahuasi

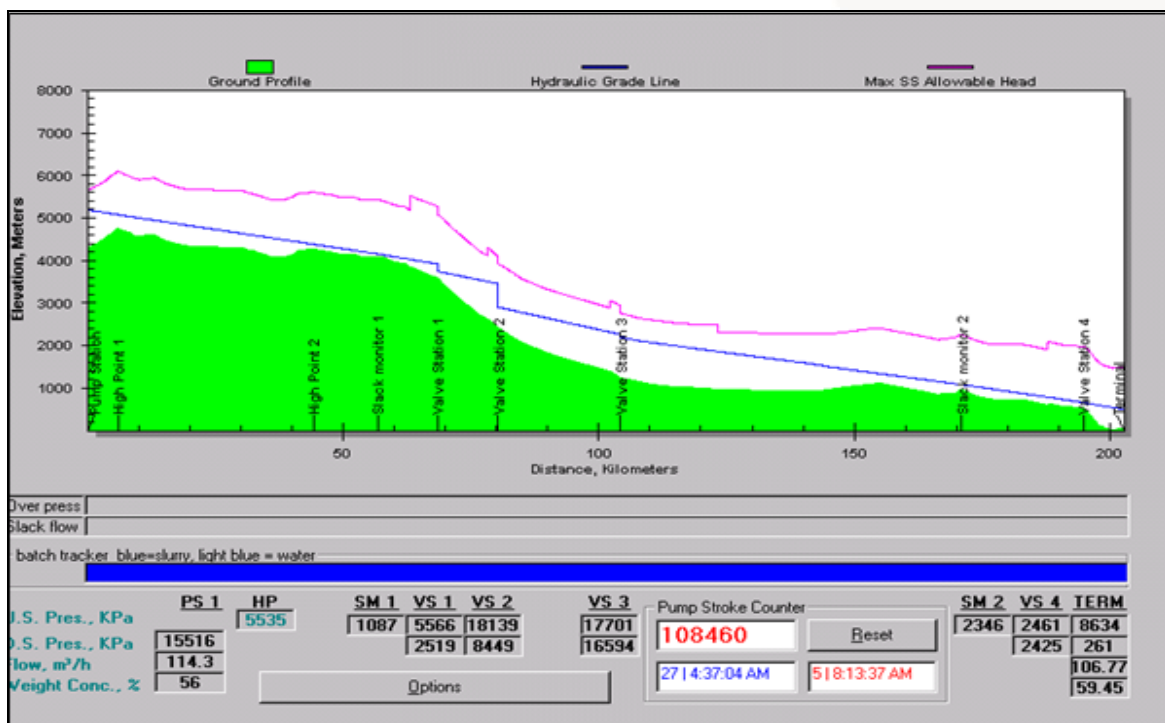


Figura 143 Gradiente hidráulico con mineroducto en servicio. Collahuasi

23 Mineroducto

Algunas industrias requieren transportar productos o materia prima que no necesariamente se encuentran en estado líquido o gaseoso. Tal es el caso de la industria minera que suele fluidificar el estrato rocoso para poder bombearlo a través de tuberías; o de las industrias alimenticia y papelería, donde el transporte de pulpas requiere sistemas especiales de tuberías.



Figura 144 Mineroducto

La norma ASME B31.11 es la utilizada para la construcción de todas las tuberías que transportan fluidos bifásicos sólido-líquido. Esta norma es muy utilizada en el país por la industria minera para el transporte de pulpas, concentrados y relaves.

Esta norma indica que la tubería debe ser capaz de resistir una prueba de fugas de 4 horas (tubería a la vista) a un mínimo de 1,1 PID (Presión Interna de Diseño).

La norma ASME B16.5 se ocupa de dar las recomendaciones para las uniones enflanchadas que se utilizan en piping de presión. En esta norma se entregan las dimensiones que deben tener los diferentes tipos de flanges en función de la presión de operación a la que serán sometidos y el diámetro nominal de la tubería. En la norma, se considera el espesor estándar de tubería para cada diámetro nominal. Si el espesor es menor al valor estándar, se requerirá comprobar que la unión aún cumple con las exigencias de seguridad que contiene la norma.

Las tuberías son fabricadas de acero al carbono, revestidas con una tubería de HDPE, para soportar el efecto abrasivo de la pulpa de concentrado.

23.1 Componentes de un mineroducto

Algunas industrias requieren transportar productos o materia prima que no necesariamente se encuentran en estado líquido o gaseoso. Tal es el caso de la industria minera que suele fluidificar el estrato rocoso para poder bombearlo a través de tuberías; o de las industrias alimenticia y papelera, donde el transporte de pulpas requiere sistemas especiales de tuberías.



Figura 145 Mineroducto

La norma ASME B31.11 es la utilizada para la construcción de todas las tuberías que transportan fluidos bifásicos sólido-líquido. Esta norma es muy utilizada en el país por la industria minera para el transporte de pulpas, concentrados y relaves.

Esta norma indica que la tubería debe ser capaz de resistir una prueba de fugas de 4 horas (tubería a la vista) a un mínimo de 1,1 PID (Presión Interna de Diseño).

La norma ASME B16.5 se ocupa de dar las recomendaciones para las uniones enflanchadas que se utilizan en piping de presión. En esta norma se entregan las dimensiones que deben tener los diferentes tipos de flanges en función de la presión de operación a la que serán sometidos y el diámetro nominal de la tubería. En la norma, se considera el espesor estándar de tubería para

cada diámetro nominal. Si el espesor es menor al valor estándar, se requerirá comprobar que la unión aún cumple con las exigencias de seguridad que contiene la norma.

Las tuberías son fabricadas de acero al carbono, revestidas con una tubería de HDPE, para soportar el efecto abrasivo de la pulpa de concentrado.

Los componentes de una línea de transporte de concentrado (mineroducto) son:

- Estaciones disipadoras.
- Estaciones de monitoreo.
- Estaciones de válvulas.
- Estación terminal.
- Estación de bombeo.

23.1.1 Estaciones disipadoras

Una estación disipadora, es un componente que trabaja en conjunto con el mineroducto, y en cierta medida comparte muchos de sus requerimientos y problemas técnicos.

Su función principal es la de disipar la presión extra que se genera sobre el fluido transportado, debido a la diferencia de cota entre la entrada y la salida del tramo de tubería que recorre el mismo.

Dentro de sus componentes, se encuentran una serie de tuberías (las que son de similares características a las del mineroducto), válvulas de paso, válvulas de desvío (para bypass), sistemas de medición de presión y velocidad (instrumentación), y anillos cerámicos.

El principal componente de la estación, son los anillos cerámicos, ya que cuando el fluido pasa a través de los mismos, se produce la pérdida de carga.

Anillo disipación. Un anillo de disipación, es un componente que provoca un cambio brusco de sección en un tramo de tubería.

Físicamente, el mecanismo de acción que utiliza es el de la placa orificio, que básicamente es una singularidad consistente en una reducción y un posterior retorno a la sección original, en un tramo de tubería tal como se puede ver en la Figura 143.

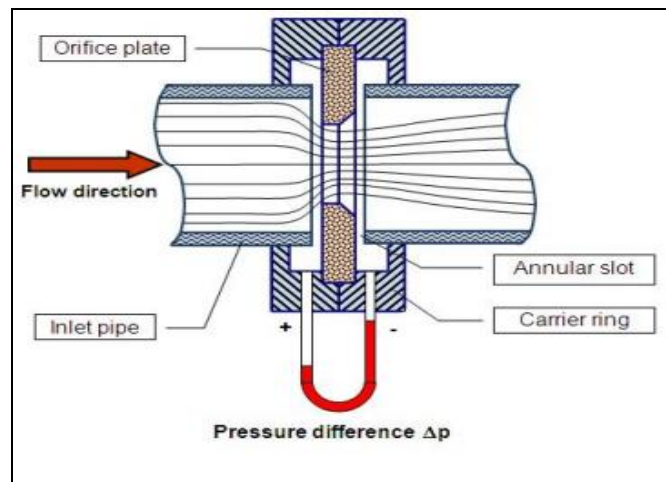


Figura 143 Esquema de un anillo disipador en tubería



Figura 144 Anillo disipador

Para comprender como se produce la caída de presión, se debe tomar en cuenta primero la Figura 145, que corresponde a la salida del anillo.

Suponiendo que el fluido viaja de izquierda a derecha, inicialmente el fluido tiene un diámetro igual al de la tubería, sin embargo, al llegar a la restricción, se produce una contracción de este, lo que provoca por conservación del caudal, un aumento en la velocidad del flujo, con la consiguiente caída en la presión del mismo.

Posteriormente, al salir de la restricción, las partículas ganan velocidad, nuevamente debido al cambio de sección (esta vez por un aumento en el diámetro) y por conservación del caudal.

Sin embargo, en la sección 1-1, las partículas de fluido que vienen con una velocidad mayor, al encontrarse con las partículas delante de ellas a menor velocidad, “chocan” con estas por lo que se ven obligadas a desplazarse en un sentido normal a la tubería, lo que provoca una dilatación del fluido.

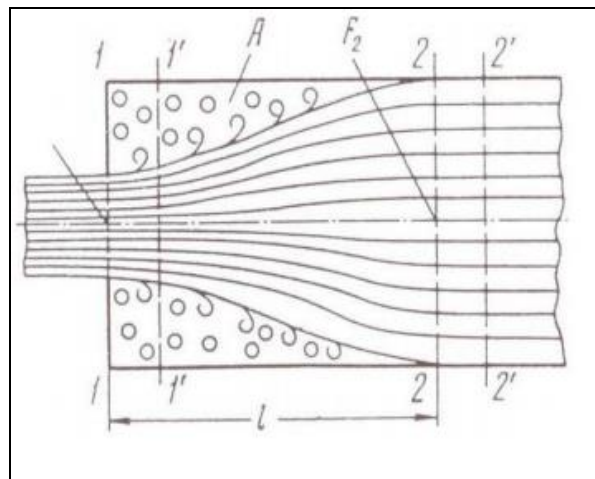


Figura 145 Representación del paso del fluido por el anillo

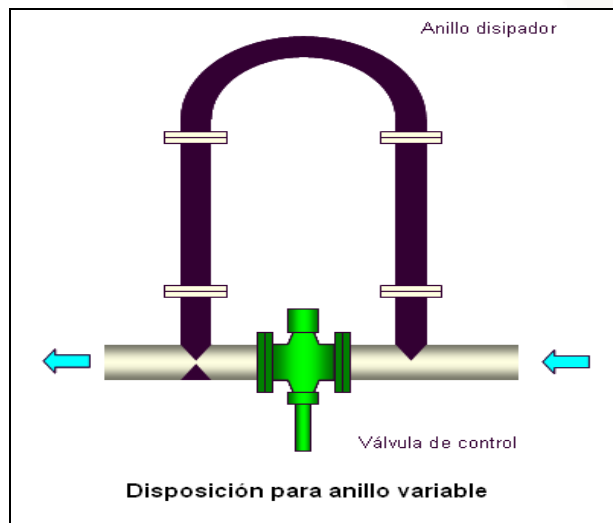


Figura 146 Disposición para un anillo disipador (Loop)

Se necesita de un sistema de disipación de energía cuando:

- Se dispone de energía en exceso para el transporte (sobra altura de carga), se debe liberar el flujo excedente.
- El sistema más utilizado es el de anillos de disipación de energía.
- Estos anillos se introducen en el interior de la tubería provocando estrechamientos y ensanches bruscos.
- Se fabrican de un injerto de material cerámico fundido sobre una matriz metálica.

La disposición de los anillos puede ser:

Anillos fijos: Estos anillos son permanentes en la línea con pérdida de carga constante.

Anillos variables: En estos anillos, la pérdida de carga se regula mediante una válvula de control.

23.1.2 Estaciones de monitoreo

Existen estaciones de monitoreo a lo largo del sistema de transporte, cada una de las cuales cuenta con transmisores de presión, y cumplen el objetivo de supervisar la presión en puntos donde se pueda producir flujo en acueducto (corte de columna), entregándole al operador una herramienta adicional para controlar el sistema de manera adecuada.

Adicionalmente, los datos de las estaciones de monitoreo (junto con la información de la Estación de Bombeo, Estaciones de Válvulas intermedias y Terminal) aportan la información de entrada que necesita el sistema de predicción en línea de gradiente Hidráulico.

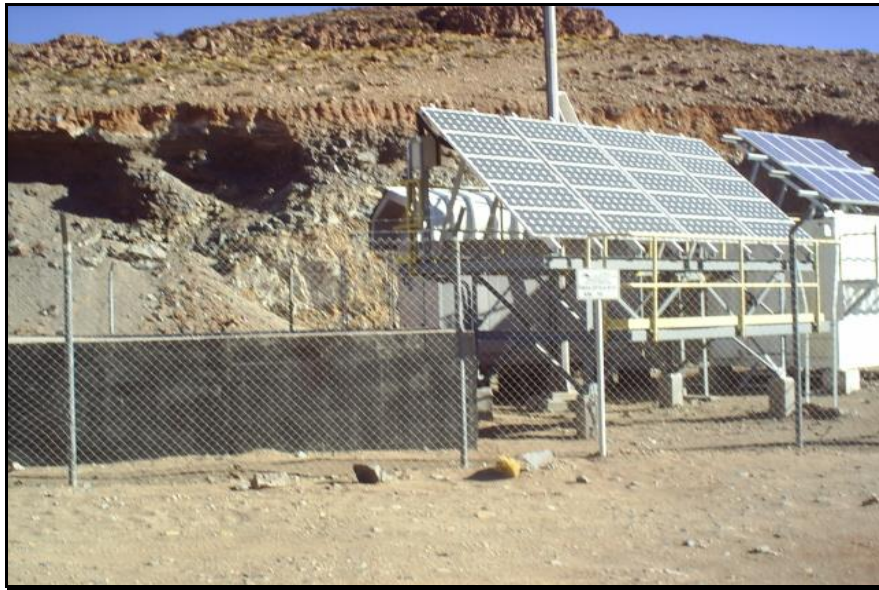


Figura 149 Estaciones de monitoreo

23.1.3 Estaciones de válvulas

Estas estaciones tienen dos funciones principales:

- Seccionar (dividir) la altura de columna hidrostática en el sistema durante las detenciones del mineroducto.

- Disipar el exceso de energía hidráulica durante la operación.

Durante las detenciones de la tubería con concentrado, las estaciones de válvulas dividen la columna presión hidrostática. Cuentan con piscinas de emergencia, que en el caso de liberar presión del sistema, los anillos de ruptura liberan el fluido hacia estas.



Figura 150 Estaciones de válvulas

23.1.4 Estaciones terminales

Es el tramo final de recorrido de la tubería. Tiene como función ajustar la presión del sistema, para eso cuenta con anillos disipadores y loops de anillos variables. En caso de presión excesiva, la línea del disco de ruptura se activará. El disco se abre a una presión determinada y dirige la pulpa a un espesador o a un estanque de almacenaje del mineroducto o a la piscina de emergencia.

23.1.5 Estación de bombeo

Es el corazón que permite que el fluido se pueda desplazar desde la planta de concentrados hacia el punto de embarque. Consta de dispositivos dinámicos y de desplazamiento positivo. Las bombas centrífugas o de carga son las encargadas de mover la pulpa de concentrado y entregar la presión de succión requerida para las bombas principales. Cada una de las bombas cuenta con un disco de ruptura en la succión y una válvula de alivio en la descarga.

El agua fresca suministrada desde las piscinas, se usa para diluir el concentrado, cuando se requiere, a la densidad deseada para el Mineroducto. Adicionalmente, el agua fresca se usa para llenar espacios vacíos entre columnas de concentrado o para retirar el concentrado de la tubería previo a detenciones prolongadas.



Figura 151 Bombas centrífugas de carga

La bomba de desplazamiento positivo (PD) impulsa la pulpa hasta el punto más alto del mineroducto y luego ésta, continúa fluyendo por gravedad hasta el Terminal.

Las bombas principales de desplazamiento positivo son un elemento fundamental del sistema de transporte de pulpa y un ítem de reparación de alto costo. Es por ello que presentan dispositivos de seguridad para proteger las bombas principales. Por ejemplo, las bombas de carga podrán operar en vacío o sin agua de sello y no se detendrán si las bombas principales están operando.



Figura 152 Bombas de desplazamiento positivo

23.2 Actividades relevantes en la operación del mineroducto

Las actividades relevantes en la operación de un mineroducto y sus parámetros son:

- Inspección operacional de espesadores de concentrado.
- Monitoreo de presiones en bombas principales de impulsión y estaciones de válvulas, y disipadoras.

- Control de variables operacionales mediante sistema experto.
- Envío de concentrado con máximo % de sólido.

Inspección operacional de espesadores de concentrado.

- En esta actividad se debe controlar el % de sólidos.
- El rango de sólido en la descarga de los espesadores.

Actividad N° 13

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en reconocer las componentes que están presentes en un sistema de transporte de concentrados de minerales. El objetivo es que los participantes se familiaricen con los diferentes componentes que cumplen una función específica en los sistemas de transporte de pulpas de concentrados.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Identificar componentes y equipos utilizados en el transporte de pulpa (concentrado de cobre) a largas distancias para normalizar la operación.

Estrategia Metodológica para el Instructor.

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 40

Tabla Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Cuaderno de actividades de los participantes.

Lápiz.


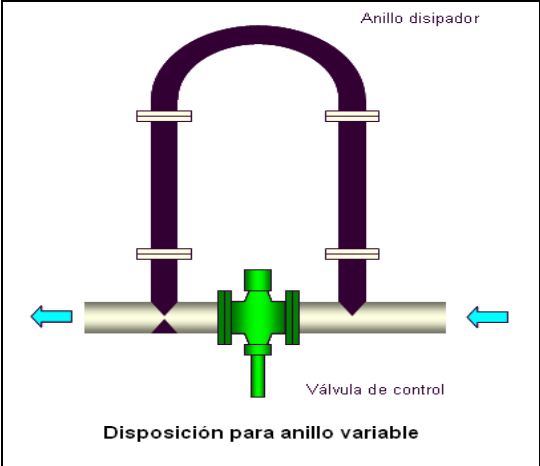
Desarrollo de la Actividad.

El instructor deberá guiar a los participantes, entregando instrucciones claras sobre cómo se procede, respondiendo cualquier duda sobre la actividad misma.

La actividad consiste en que el participante llene las dos columnas correspondientes a los componentes de un sistema de transporte de concentrados y la función que cumplen.

En todo momento, el instructor debe monitorear la realización de la actividad. Deberá contestar las dudas que aparezcan de los participantes.

Una vez terminada la actividad, el instructor invitará a cada uno de los participantes a compartir los resultados de la actividad.

Imagen	Componentes del sistema de transporte de concentrados	Función que cumple.
		
 <p>Disposición para anillo variable</p>		

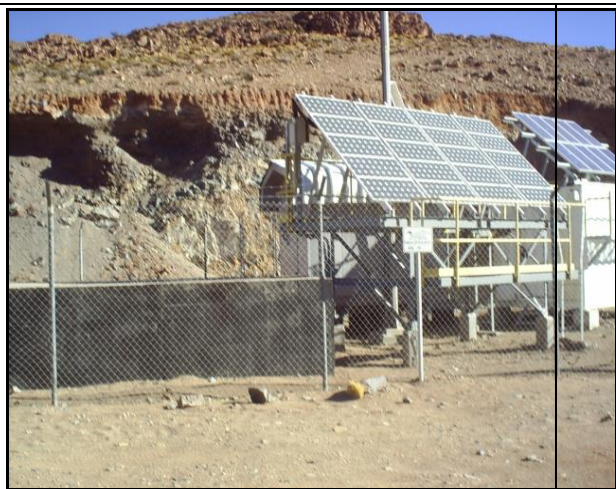




Tabla 41

Cierre.

Los componentes de un sistema de transporte de concentrados de minerales cumplen una función primordial, ya que nos apoyan en el manejo y control de una mezcla que se mueve a lo largo de un recorrido de tubería. Los participantes, al lograr identificar y comprender su funcionamiento, podrán controlar e informar cualquier desviación en el movimiento del fluido, evitando eventos que signifiquen impacto medio ambiental y retraso en los compromisos comerciales.



Módulo VI: Operación de Espesadores de Concentrados

24. Espesadores de concentrados

24.1 Sedimentación

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. El proceso se observa en la naturaleza en los procesos geológicos de formación de los depósitos de rocas y minerales y, mucho más visiblemente, en la sedimentación de gotas de agua o hielo, denominada lluvia o granizo respectivamente, o en la deposición de polvo. La figura 153 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.

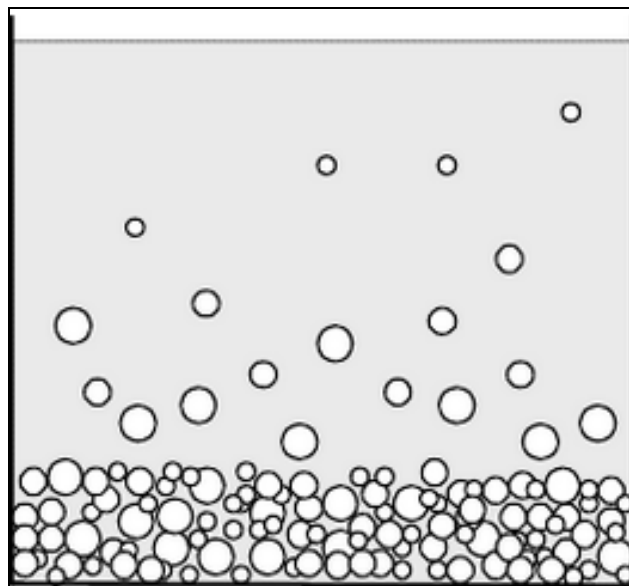


Figura 153. Sedimentación de esferas en un líquido.

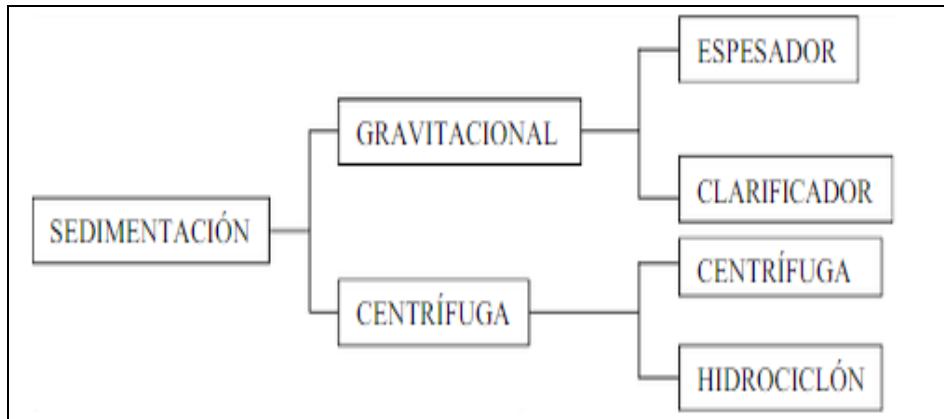


Figura 154 Fuerzas que originan la sedimentación y los equipos asociados

24.2 Tipos de sedimentación

24.2.1 Sedimentación libre o discreta (Tipo I): tiene lugar en suspensiones cuyas partículas no pueden flocular debido a su baja concentración, depositándose sin interacciones significativas entre ellas. Una partícula granular en suspensión en medio líquido está sometida a una fuerza descendente F_D , debida a la gravedad, y a una fuerza resistente F_R , debida al rozamiento con el fluido, que es la resultante de las fuerzas de viscosidad y de inercia. En un decantador vertical se retendrán las partículas cuya velocidad de sedimentación sea superior a la velocidad ascendente del líquido.

24.2.2 Sedimentación difusa de partículas floculadas (Tipo II): en suspensiones con una concentración relativamente baja de sólidos floculantes, como por ejemplo las aguas sometidas a floculación con reactivos químicos, las partículas pueden aglutinar (coalescencia), flocular y

sedimentar con una velocidad creciente en un depósito de flujo horizontal. La gráfica que representa la velocidad de sedimentación en función del tiempo es curvilínea, ya que las partículas tienden a flocular durante el transcurso de la sedimentación.

24.2.3 Sedimentación zonal, o frenada (Tipo III): es característica de suspensiones con una concentración muy elevada de partículas, floculantes o no, tales como los fangos activados o las suspensiones con concentración de sólidos superior a 500 mg/l. Las partículas se adhieren entre sí y la masa sedimenta en bloque o pistón. Las interacciones entre las partículas provocan una disminución de la velocidad de sedimentación individual de cada una de ellas, lo que conlleva la disminución de la velocidad del conjunto. Se caracteriza por una separación netamente definida entre la masa fangosa y el líquido sobrenadante.

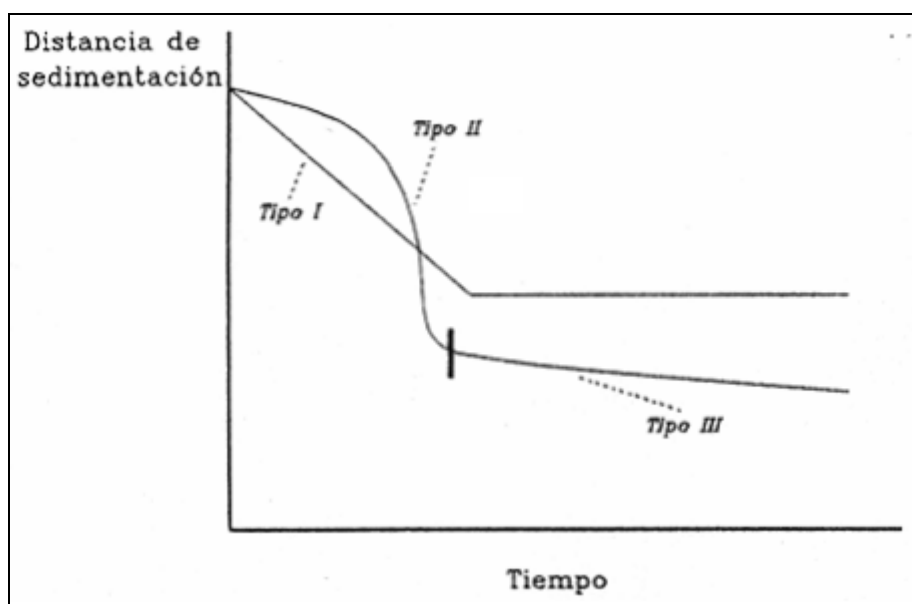


Figura 155 Sedimentación

24.3 Leyes de sedimentación

En los procesos de sedimentación juega un papel importante la relación de dilución, así como el tamaño de la partícula. De manera práctica, se observa que al verter una pulpa diluida en un cilindro y si se deja asentar, se visualiza lo siguiente:

1. Las partículas más gruesas son las primeras en llegar al fondo con relativa facilidad y con mayor velocidad que las de menor tamaño.
2. Enseguida a la sedimentación de las partículas gruesas, sigue la de los limos llenando los intersticios entre las partículas más gruesas.
3. Las partículas más finas, las cuales se asientan lentamente, permanecen en suspensión en la parte superior.

25. Clarificación

El proceso de clarificación tiene como objetivo la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas y la supresión de la flora microbiana, además de la posible corrección de algunas características físico-químicas.

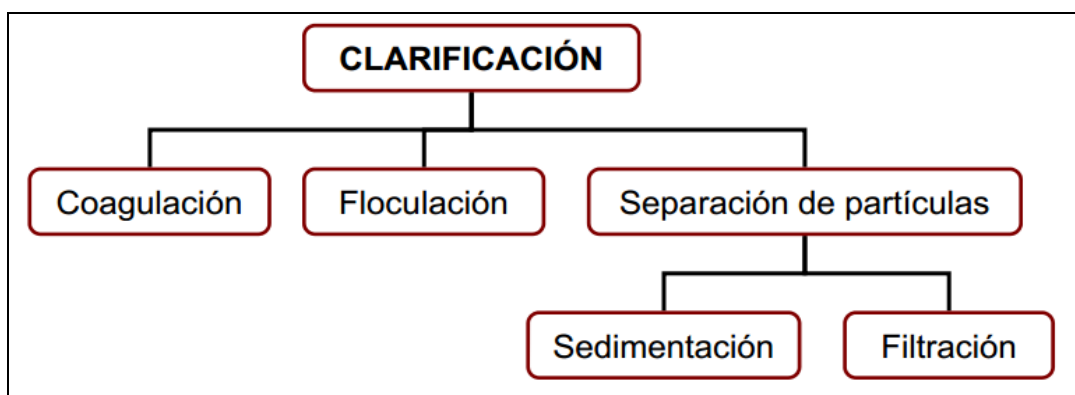


Figura 156 Etapas de la clarificación

25.1 Coagulación

Se denomina coagulación al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua.

El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es, cambiar las propiedades de los elementos insolubles, de tal manera que también más fácilmente propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables.

Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que denominaremos flóculos, para así separarlas más fácilmente.

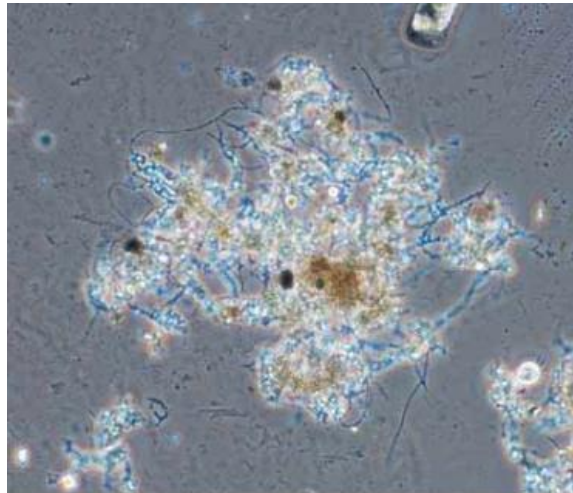


Figura 157 Aspecto de un floculo.

Los tamaños de partícula que podemos encontrar son los siguientes:

- Partículas que están en forma de suspensión, de tamaño $>10^{-7}$ m.

- Las que forman solución coloidal, de tamaño entre 10^{-7} y 10^{-9} m.
- Aquellas que forman una verdadera solución, de tamaño $<10^{-9}$ m

25.2 Floculación

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los flóculos más grandes, los que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados decantadores.

El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

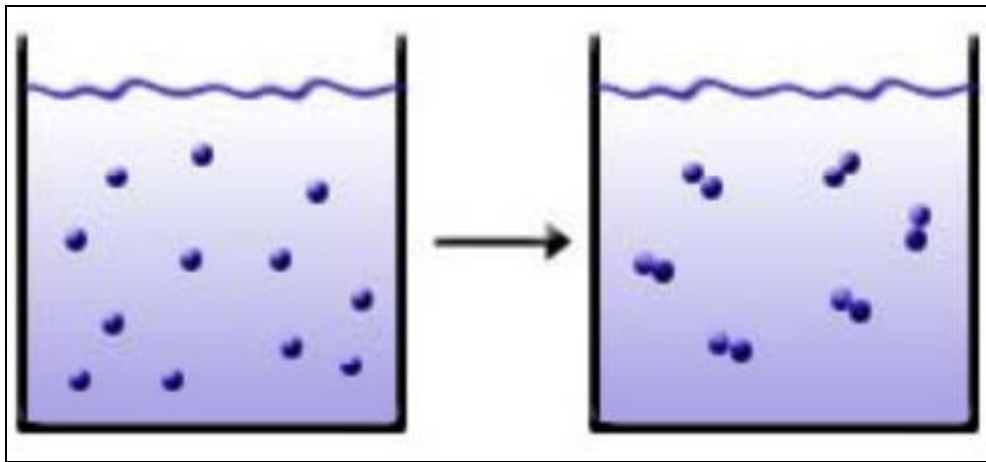


Figura 158 Floculación de partículas

En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del flóculo de mayor peso y cohesión posible ya que estas características facilitan su de mayor peso y cohesión posible.

25.3 Coloides

El término “coloide” es aplicado, generalmente, a aquellas partículas entre $0,001\ \mu\text{m}$ a $1\ \mu\text{m}$, mientras que dispersiones de partículas de mayor tamaño son llamadas simplemente “suspensiones”, sin embargo tal delimitación es sólo referencial ya que las suspensiones también pueden exhibir propiedades coloidales. Entre algunos ejemplos de coloides podemos incluir sistemas biológicos complejos, como la sangre, o sistemas funcionales, como las pinturas, la leche, la tinta, el barro, etc.

Al comprender las interacciones en un sistema coloidal, será posible modificar sus características; así por ejemplo, en ocasiones se busca incrementar las fuerzas repulsivas entre ellos para asegurar estabilidad e impedir la formación de aglomerados; mientras que por el contrario, en los tratamientos de agua, por ejemplo, se busca minimizar las fuerzas de repulsión coloidal para así fomentar su aglomeración y sedimentación.

En general, todas las partículas exhiben fuerzas de atracción entre sí, las cuales ejercen su acción sólo al estar muy cerca entre sí. Sin embargo, la naturaleza de la atmósfera eléctrica que rodea toda partícula genera fuerzas de repulsión y no permite un acercamiento, de manera que las fuerzas antes mencionadas son incapaces de atraer partículas por sí solas. La estabilidad coloidal se explica por la hipótesis de que las partículas son portadoras de una carga eléctrica, la cual proviene de la adsorción de iones, producto de la disociación de los compuestos en solución.

Por otro lado, a medida que las partículas van siendo más finas se reduce gradualmente el efecto de la gravedad, que es equilibrado por las fuerzas de movimiento, alcanzándose un estado coloidal en que las partículas dispersas se mantienen en suspensión permanente en el líquido. “En una suspensión mineral, es común un gran espectro de tamaños de partículas,

algunas de ellas son lo suficientemente grandes como para sedimentar rápidamente, mientras que otras más pequeñas, en equilibrio con las fuerzas gravitatorias y movimiento no lo hacen”.

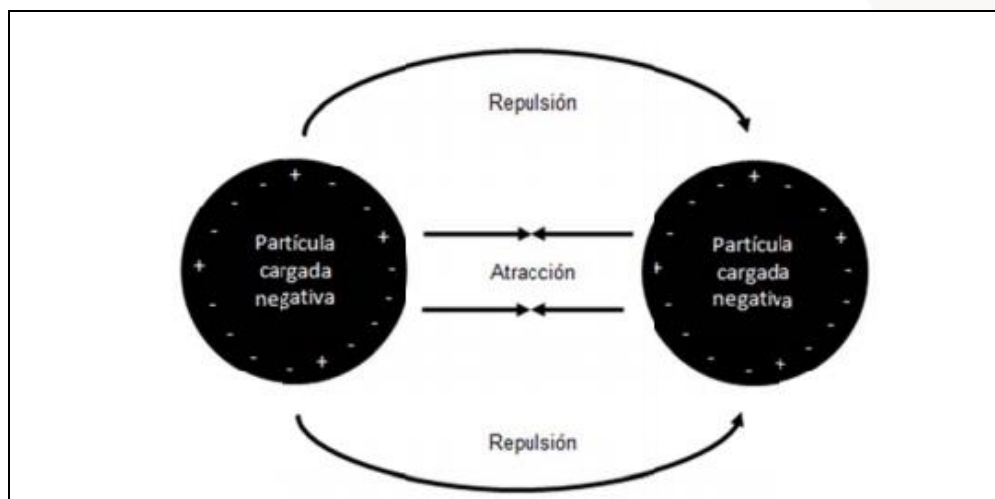


Figura 159 Interacción de fuerzas de atracción y repulsión entre partículas cargadas negativamente

26 Floculantes

Los floculantes son productos que favorecen el proceso de formación del flóculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión.

La diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que, el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflóculos, en cambio el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente.

26.1 Tipos de floculantes

1. Electrolitos o sales: los cuales generan la coagulación mediante dos mecanismos.

- a) Compresión de la doble capa eléctrica y disminución del potencial, Cuyo efecto se incrementa con la carga del electrolito, es decir cationes trivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+}) son más efectivos que los monovalentes (Na^{+}).
- b) Reacción química de contra iones y adsorción, generando la disminución de la carga de la partícula.

2. Iones metálicos hidrolizables: Son agregados en la concentración y rango de pH adecuado para que el hidróxido del metal precipite. Debido a que este método es efectivo sólo cuando se tiene un bajo nivel de sólidos en suspensión, y además por las restricciones de pH, es muy poco usado como floculante a nivel minero.

3. Polímeros: pueden actuar de dos maneras.

a) **Atracción tipo parche:** ocurre cuando los polímeros se absorben en la superficie de la partícula y ya que generalmente, la densidad de carga del polímero es mucho mayor al de la partícula, el polímero neutraliza completamente las cargas negativas y conlleva a un exceso de carga catiónica no neutralizada. El resultado es un parche cargado positivamente en un ambiente de carga negativa, de manera que es atraído a la superficie de otras partículas, aglomerándose entre sí.

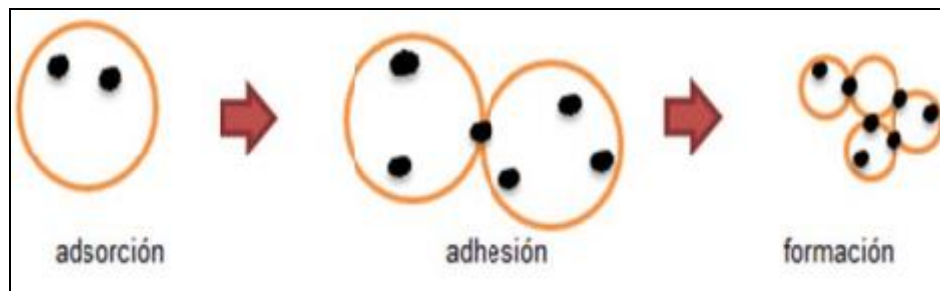


Figura 160 Atracción tipo parche

b) **Atracción tipo puente:** ocurre con la adsorción de las moléculas de polímero en las partículas y debido a que la cadena del polímero es tan grande, provoca que uno de los extremos permanezca sin adsorción sobre la partícula, quedando libre para adsorberse sobre otra partícula libre. Los tipos más comunes de polímeros que operan por este mecanismo son las acrilamidas: catiónicas y aniónicas, donde las dos últimas son las más usadas por su capacidad de generar grandes cadenas con altos pesos moleculares y por ende las más comerciales.



Figura 161 Atracción tipo puente

Tipo de floculante	Aplicaciones industriales		Consumo usual (g/t)
Aniónico	Espesamiento de pulpas minerales y concentrados	Concentrados y relaves de carbón, cobre, plomo y zinc; lamas de fosfatos y lodos de bauxita	2.5 a 5.0
	Agente filtrante para filtración a presión y a vacío.	Concentrados minerales	50 a 500
	Desaguado centrífugo	Concentrados minerales y relaves	5 a 250
No iónicos	Espesamiento de pulpas minerales y concentrados	Flotación de relaves auríferos, lamas de hierro, licores ácidos de uranio	1 a 50 g/t
	Agente filtrante para filtración a presión y a vacío.	Concentrados minerales	5 a 250 g/t
Catiónicos	Espesamiento de pulpas minerales y concentrados	Concentrados y relaves de carbón, lamas de hierro.	25 a 250 g/t
	Clarificación de agua de mina		5 a 50 g/t

Tabla 42. Tipos de floculantes en la industria minera.

Actividad N° 14

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en medir el tiempo de sedimentación de partículas en pulpas con diferentes porcentajes de sólidos. El objetivo es familiarizar a los participantes en la sedimentación de partículas sólidas en un líquido y la importancia que tiene dentro de las plantas de procesamiento de minerales.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Verificar condiciones operacionales de los espesadores y partes constituyentes para detectar condiciones fuera de régimen.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓
Taller de Trabajo	✓

Propuestas de Situaciones Problemáticas	
--	--

Tabla 43

Materiales y Recursos.

Vasos precipitados.

Cuaderno de actividades.

Lápiz.

Balanza digital.

Pulpas de concentrado preparadas.

Probetas de 1000 ml.

Cronometro.

Floculante.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá explicar el desarrollo de la actividad a realizar anotando en pizarra paso a paso el procedimiento de sedimentación de solidos de una pulpa.

Antes de ingresar al taller, los participantes realizaran un análisis de riesgo en el formulario que el instructor les entregara para control de los riesgos.

El instructor deberá realizar preguntas al participante a medida que vaya realizando la actividad, para medir el grado de conocimiento práctico.

Los elementos de protección personal obligatorios que el participante debe ocupar en el desarrollo de la actividad son los siguientes:



Figura 162 Elementos de protección personal obligatorios

El taller se desarrollara en dos etapas:

Espesamiento sin floculante.

1. Revisar el estado y limpieza de las probetas.
2. Llenar con un vaso precipitado, cuatro probetas hasta los 800 ml con pulpas de diferentes porcentajes de sólidos.
3. Medir el tiempo de separación de la fase líquida y sólida. Anote las observaciones.
4. Marcar con una cinta cada una de las probetas, para distinguirlas después de terminar el taller.
5. Cuando las fases líquida y el sedimento se distingan claramente, detener la medición del tiempo y terminar con la actividad.

Espesamiento con floculante.

1. Revisar el estado y limpieza de las probetas.
2. Llenar con un vaso precipitado, cuatro probetas hasta los 800 ml con pulpas de diferentes porcentajes de sólidos.
3. Agregar con un gotero, cuatro gotas de floculante al interior de la probeta.
4. Medir el tiempo de separación de la fase líquida y sólida. Anote las observaciones.

5. Marcar con una cinta cada una de las probetas, para distinguirlas después de terminar el taller.
6. Cuando las fases líquida y el sedimento se distingan claramente, detener la medición del tiempo y terminar con la actividad.

Una vez que los participantes terminen con ambos procedimientos, el instructor entregará las siguientes instrucciones en pizarra o por escrito en una guía lo siguiente.

- ✓ Los participantes, en individualmente o en grupos, deberán anotar las diferencias que se aprecian en cada una de las probetas.
- ✓ Describir como influye el agregar floculante a las probetas.
- ✓ Describir como influye la diferencia en el porcentaje de sólidos.
- ✓ Describir si los tiempos de sedimentación de cada probeta son diferentes entre sí o muy cercanos en valor.

Cierre.

La sedimentación es el fundamento que sustenta el aumento de concentración de sólidos en los concentrados de minerales y el tiempo que demora. El instructor con los participantes tienen la oportunidad de sacar conclusiones del proceso al comparar los tiempos en cada una de las etapas.

27 Clarificadores y espesadores

Son tanques que se utilizan para separar sólidos de un líquido por medio del fenómeno físico de la gravedad y los movimientos del agua haciendo que los sólidos floten o se hundan según su densidad.

Se habla de *clarificación* cuando hay especial interés en el fluido clarificado, y de *espesamiento* cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada. De acuerdo a las características de las partículas durante la sedimentación, podemos encontrar dos tipos de clarificadores:

27.1 Clarificadores primarios

La clarificación primaria se refiere a la sedimentación o flotación libres de partículas que no cambian de tamaño, ni forma. Los clarificadores primarios se diseñan para una separación determinada (normalmente 40 -60%) de los sólidos en suspensión en el vertido de entrada.

Desarenadores. Los desarenadores son estructuras hidráulicas que sirven para remover la arena del agua captada para un sistema de aprovechamiento.

Tienen por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, protegerlas las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm. Tenemos dos tipos de desarenadores: los longitudinales y los de vórtice.

Desarenadores longitudinales. Consisten en hacer pasar el agua residual a través de un canal, de dimensiones apropiadas que mantenga la velocidad del agua en un valor próximo a 0.3 m/s, ya que a esa velocidad se produce la decantación de las arenas en el fondo del canal, manteniendo en suspensión por arrastre los sólidos en suspensión de menor densidad.



Figura 163. Desarenador longitudinal.

Desarenadores de vórtice. Consisten en un tanque cilíndrico al cual ingresa el agua a tratar en forma tangencial, creando un vórtice dentro del cilindro. Se genera un vórtice libre por la acción del flujo tangencial de entrada. El efluente sale por el centro de la parte superior de la unidad desde un cilindro rotatorio, llamado también “ojo” del fluido. Las fuerzas centrífuga y gravitacional, presentes dentro de este cilindro rotatorio, limitan la liberación de las partículas con densidad superior a la del agua. Las partículas de arenas se sedimentan por gravedad en la parte inferior de la unidad, mientras que las partículas orgánicas y demás partículas separadas de las arenas por acción de las fuerzas centrífugas, abandonan el desarenador con el efluente.

27.2 Clarificadores circulares.

Los decantadores circulares consisten en una cuba normalmente construida en hormigón, en la cual la alimentación se realiza por la parte central, que dispone de una campana responsable de disipar la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo en todas las direcciones. La salida del agua clarificada se lleva a cabo a través de un vertedero periférico. Radialmente y pivotando sobre la columna central, se instala un puente giratorio, con el mecanismo de tracción sobre el muro exterior, sobre el cual se desplaza apoyado en ruedas.

Colgando del mencionado puente radial, se encuentran las rastras de barrido de fondo que en su avance desplazan los fangos hasta una poceta central desde la que son purgados al exterior. Igualmente del puente cuelga una barredera superficial que arrastra los posibles flotables y espumas hasta una tolva de purga. En equipos de diámetro pequeño (menos de cinco metros), estos suelen ser de tipo estático.



Figura 164. Clarificador circular.

El puente radial, así como todos los mecanismos que conlleva, se construyen en acero al carbono, protegidas sus superficies sumergidas mediante pintura epoxi bituminosas. En algunos casos se pueden ver equipos con las mencionadas partes sumergidas en acero al carbono galvanizado, o incluso inoxidable. La solera del fondo, tiene una pendiente hacia el centro para facilitar el desplazamiento de los fangos a la poceta central de fangos mencionada con anterioridad. El vertedero periférico suele ser de aluminio, con forma de dientes de sierra y está protegido por una placa deflectora que evita la fuga de los flotables. Existen en el mercado equipos de purga continua mediante extracción de los lodos a lo largo de las rastras. Estos equipos sólo se utilizan en decantadores secundarios de diámetro elevado. Igualmente existen equipos con tracción central, siendo de precio considerablemente superior a los de tracción periférica.

27.3 Clarificadores de placas inclinadas o de lamelas.

Estos equipos generalmente consisten en una cuba de tipo rectangular equipada con unos paquetes de placas paralelas, separadas entre 2 y 5 cm, en función del suministrador, o bien un conjunto de tubos en forma de panel, formando un ángulo con la horizontal entre 45° y 60° .

En estos equipos se hace pasar el agua a través de los paquetes de placas paralelas en régimen de flujo laminar y a una velocidad tal, que los sólidos presentes en el agua decanten sobre las placas, deslizándose a continuación sobre la superficie de las mismas hasta alcanzar la zona de retirada de lodos. Si se disminuye el ángulo de las placas con la horizontal se pueden llegar a producir deposiciones de sólidos sobre las placas por un mal deslizamiento del fango, y si se aumenta sobre el valor máximo indicado, la superficie total de decantación disminuye considerablemente y en consecuencia pierde una de sus grandes ventajas.



Figura 165. Clarificador de placas inclinadas.

Entre las ventajas que presentan estos equipos se encuentran:

La distancia a recorrer por los sólidos en su decantación, es la separación perpendicular entre las placas, considerablemente menor que en otros tipos de decantadores.

La superficie de decantación de un separador de este tipo, es la suma de las proyecciones en el plano horizontal de las placas instaladas. Lo indicado anteriormente, se traduce en equipos mucho más compactos y con unas necesidades de superficie considerablemente menores que en los decantadores circulares y rectangulares.

Entre los problemas que presentan este tipo de unidades es su ensuciamiento, sobre todo con fangos de tipo biológico, lo que requiere su limpieza periódica. Igualmente estas deposiciones pueden dar lugar a la aparición de malos olores.

27.4 Clarificadores rectangulares

Consisten en balsas rectangulares donde el agua entra por uno de sus extremos, saliendo por el opuesto, siendo el flujo paralelo a la dimensión más larga. Los fangos depositados en el fondo del equipo, son arrastrados hasta uno de los extremos por un sistema de rasquetas o bien, mediante puentes móviles. Las planchas consisten en unos tablones de madera o poliéster de 0,15 a 0,20 m de altura, que se extienden a toda la anchura del tanque. Las planchas de lodos en su camino de vuelta, en ciertos equipos lo hacen por la superficie, produciendo el arrastre de las espumas y flotables.

Los sólidos arrastrados por las planchas son depositados en un canal transversal, de donde son eliminados por medio de un equipo de bombeo, sifón, tubería de purga, etc. Las purgas de lodos suelen realizarse intermitentemente. La entrada de líquido a tratar debe realizarse transversalmente al tanque por medio de vertedero, para que se distribuya el agua de forma regular a lo largo de toda la sección, con el fin de no producir zonas muertas de trabajo, lo que llevaría consigo una disminución en el rendimiento de la unidad.

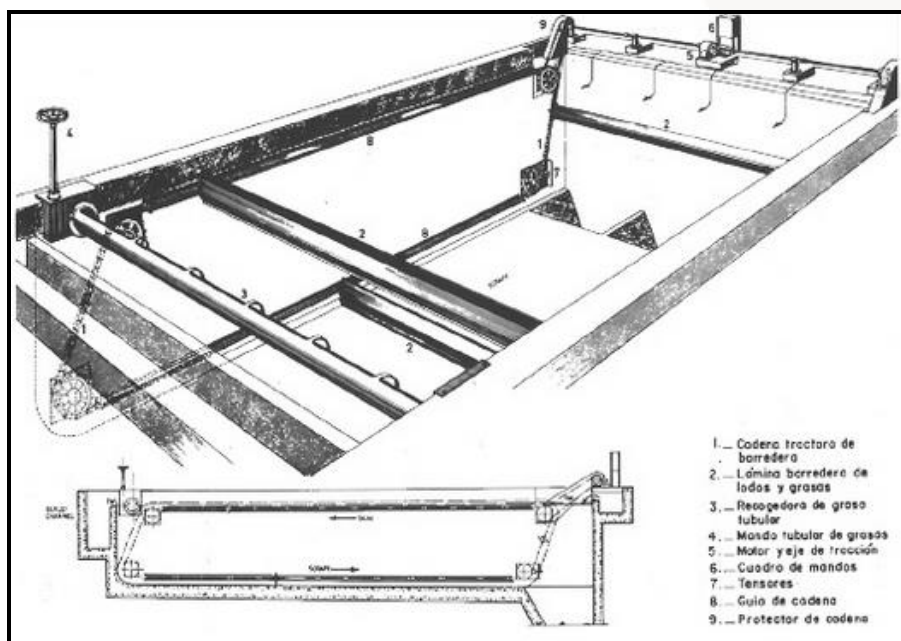


Figura 166. Clarificador rectangular.

La salida del líquido se llevará a cabo, al igual que la entrada, a lo largo de toda la anchura, mediante vertedero, en forma de dientes de sierra.

28 Espesadores

28.1 Definición

Un espesador es un aparato de separación sólido-líquido continuo, en el que las partículas sólidas contenidas en un pulpa se dejan decantar, produciendo un rebose de agua clarificada (overflow) y un lodo concentrado en la descarga (underflow). El flujo que entra en un espesador se denomina “alimentación” o “influyente”, en tanto que el rebose se denomina “efluente”, “sobrenadante” u “overflow”. El producto inferior se llama “lodo” o “underflow”. La terminología depende de la industria y aplicación donde esté instalado. El espesador consiste

básicamente de un tanque, con diámetros en un rango de 2 a 200 m, profundidades de 1 a 7 m, y con el fondo tronco-cónico con pendiente hacia el interior de éste.

El alimento en forma de pulpa es dirigida generalmente mediante un canal, con una pendiente adecuada para garantizar cero depositación de partículas, hacia el foso de alimentación (feedwell), ubicado en el centro del tanque y por debajo de la superficie del líquido sobrenadante, en el sector de sedimentación, evitando perturbaciones, desde donde se distribuye la carga uniformemente en todo el tanque. Con el reactivo y el tiempo de residencia adecuado los sólidos van depositándose en el fondo del tanque, mientras que el líquido sobrenadante se ubica en la parte superior del mismo en el sector de clarificación.



Figura 167 Espesador de concentrado

En la práctica la función del sector de clarificación es servir de amortiguador frente a posibles fluctuaciones en la alimentación o nivel de interface.

Los lodos decantados en el fondo del equipo son arrastrados hacia el cono (en la zona de compresión), por medio de un sistema de barrido de fondo, equipado de rastras suspendidas regulables, desde donde serán evacuados por bombeo o presión hidrostática, mientras que el agua ya clarificada de restos de sólidos, rebosa por un vertedero periférico.

En los espesadores modernos, el sistema de rastras puede ser levantado automáticamente si se registra un exceso en el torque permitido.

28.2 Componentes de un espesador

Los principales elementos de un espesador se describen a continuación:

Canal de alimentación: El cual conduce la pulpa hasta el foso de alimentación. Por lo general tiene una pendiente de 1,5%, y se dimensiona para que ingrese 1 metro por debajo de la superficie del nivel del tanque para minimizar la turbulencia.

Foso de alimentación (feedwell): El cual sirve para disipar la energía cinética que lleva el flujo de alimentación, así como para dirigir la pulpa a una profundidad adecuada dentro del espesador. Los diámetros generalmente empleados están entre 1,0 a 1,2m con profundidades de 1,2 a 5,0 m.



Figura 168 Feedwell con dos tubos tangenciales de alimentación

Tanque: El cual proporciona el tiempo de residencia necesario para producir la sedimentación de los sólidos. Su altura estará en función de la compactación que se desee obtener y por ende el porcentaje de sólidos en la descarga. Generalmente son de fondo cónico para ayudar el movimiento del lodo hacia el punto central de evacuación, sin embargo cuando se tiene un fondo plano, los lodos sedimentados tienden a formar su propia pendiente dependiendo del ángulo de reposo del material, de manera que se produce una pendiente natural. Pueden ser contruidos en acero, concreto o una combinación de ambos, siendo el caso de tanques de concreto para los espesadores de gran tamaño. La mayor parte de tanques son montados sobre patas o a nivel del terreno con túneles de descarga para ingreso.

Brazos: Tienen como función desplazar los sólidos sedimentados hacia el punto de evacuación, y aumentar el porcentaje de sólidos en la descarga al permitir la liberación de agua por medio de canalización en la cama compactada. Usualmente son cuatro brazos, dos largos y dos cortos, los cuales pueden ser soldado o empernados al eje central. Para el caso de brazos muy largos es común el uso de cables adicionales de apoyo.

Rastras: Tienen una función similar a la de los brazos pero en la zona de descarga. La velocidad de las rastras es normalmente 8m/min en el perímetro, lo cual representa un consumo energético muy bajo, tal que un espesador de 60 m de diámetro puede requerir apenas un motor de 10 kW. En algunas ocasiones, se colocan piques sobre las rastras, los cuales permiten que el agua atrapada sea expulsada con mayor facilidad en el caso de pulpas muy densas.



Figura 16 Rastras

Canal de rebose: El cual es un canal periférico que toma el rebose clarificado y lo conduce a un punto específico para su almacenamiento.



Figura 170 Canaleta de rebose

Grupo motriz: es de accionamiento central, formado por un grupo moto-reductor, y brinda el torque necesario para la rotación de los brazos y rastras. El elemento motriz de las rastras puede ubicarse en el centro del estanque o en la periferia del espesador.



Figura 171 Grupo motriz en el centro del espesador



Figura 172 Grupo motriz en la periferia del espesador

Dispositivo de elevación: es un mecanismo de acción mecánica o neumática que permite el ascenso de los brazos de la zona de compactación de sólidos al detectarse altos torques, por ejemplo, mayores a 5 a 30 veces el torque nominal, y tiene como fin disminuir el esfuerzo del mecanismo de accionamiento así como de protección del grupo motriz del equipo. Este es generalmente empleado para espesadores de gran diámetro.

Puente: Es común la presencia de un puente a lo largo del estanque del espesador, desde la periferia al centro o recorriendo el diámetro total de éste. El puente tienen como función de servir para las labores de mantenimiento así como soporte para el canal de ingreso para la pulpa.



Figura 173 Puente de un espesador

28.3 Clasificación de espesadores

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

En general los espesadores se clasifican en:

- Espesadores Convencionales.
- Espesadores de alta capacidad.
- Espesadores de alta densidad.

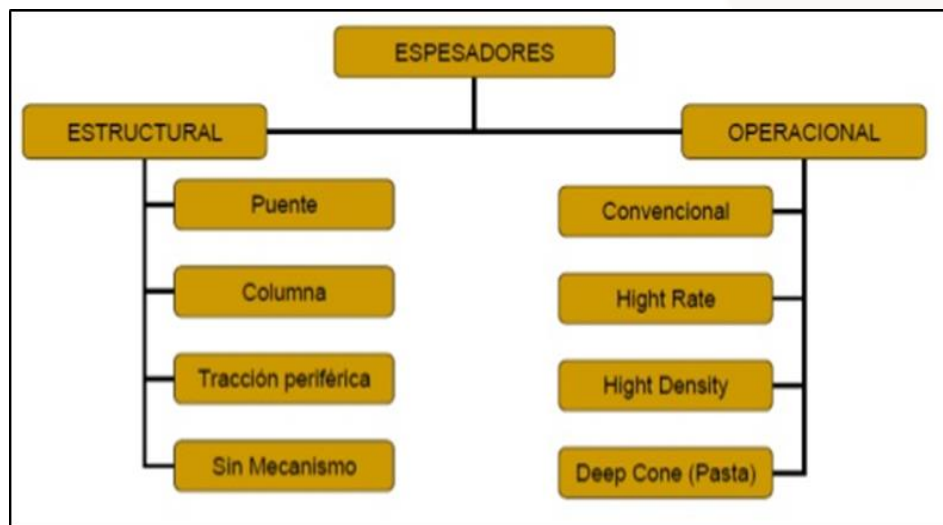


Figura 174 Tipos de espesadores

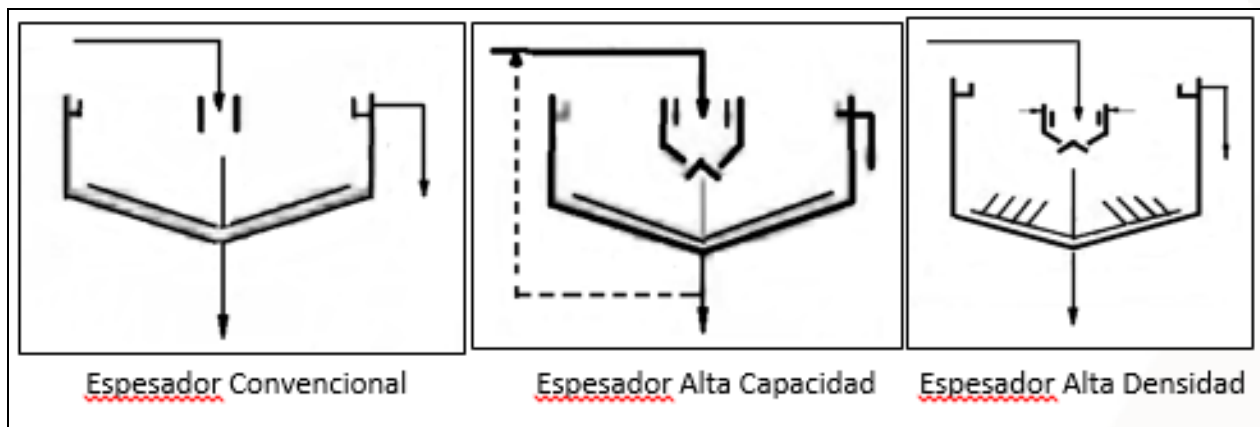


Figura 175 Esquema de espesadores convencionales, de alta densidad y de alta capacidad

28.3.1 Espesador convencional

El espesador por gravedad o convencional se emplea para aumentar la concentración de sólidos en el hundido a través de la gravedad. Los espesadores a veces actúan como elementos de almacenamiento para alimentar de forma continua a las líneas de equipos de filtrado o centrífugas.

Los elementos principales de un espesador son los motores y elementos de transmisión, el eje y los brazos giratorios. Estos últimos tienen como función el transportar los sólidos sedimentados al punto de descarga central y crear canales en el lodo para permitir la liberación de agua y obtener, de este modo, un lodo con mayor concentración en sólidos.

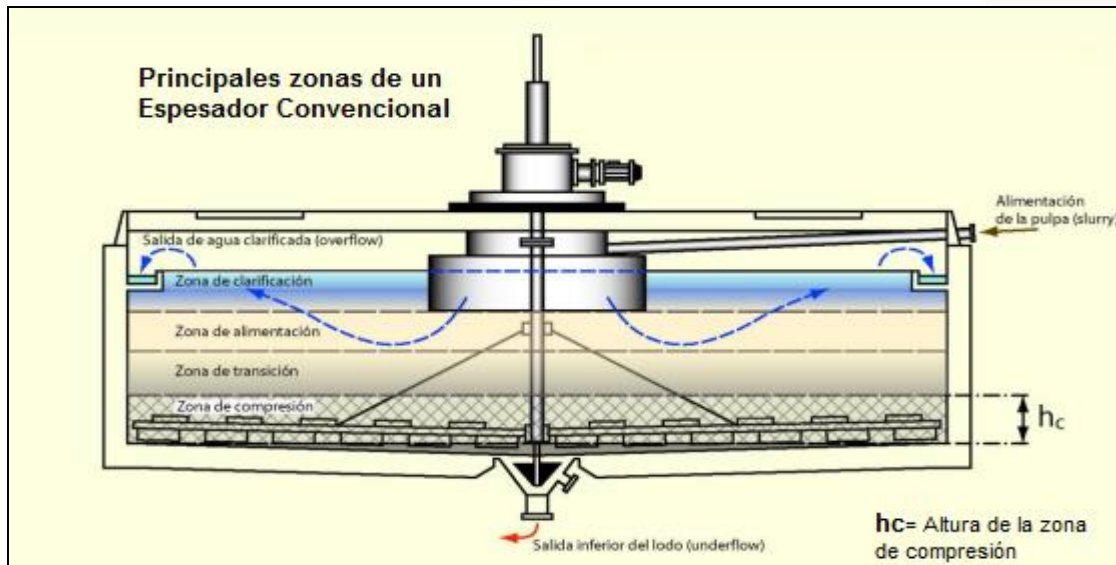


Figura 176 Zonas en un espesador convencional

Los tanques de los espesadores se construyen de acero, hormigón o una combinación de ambos. En tanques menores de 21.4 m de diámetro es más económico fabricarlos completamente de acero, tanto las paredes del tanque como el fondo del mismo. El fondo del tanque, cuando es de acero, se fabrica sin pendiente por su coste en este caso, los brazos giratorios o rastrillos tendrán cierta pendiente hacia el centro del tanque para facilitar el transporte del lodo. Se formará un lecho de lodo (bed-in) que hará de falso fondo.

Cuando las partículas sedimentadas, debido a su tamaño, son incapaces de crear el lecho de lodo hay que recurrir a un fondo en pendiente fabricado con hormigón con las paredes del

tanque o bien de acero o bien de hormigón. Este tipo de construcciones es muy común para diámetros entre 21.4 m y 30.5 m.

Los espesadores convencionales se clasifican según la posición de los sistemas de accionamiento (motor, engranajes, etc.) y el método de soporte para los mismos.



Figura 177 Espesador convencional

Su diseño va a depender del diámetro del tanque finalmente seleccionado. Así, para pequeños diámetros (hasta 30-40 m) el mecanismo de accionamiento y el eje central son soportados sobre una superestructura o puente que atraviesa el tanque y que debe ser capaz de soportar el peso del rastrillo más los sólidos depositados en los brazos giratorios y vencer los momentos que opone el lodo que está siendo rastrillado. Este tipo de espesadores presenta un cono de descarga en el centro y se les conoce como espesadores tipo puente (bridge type).

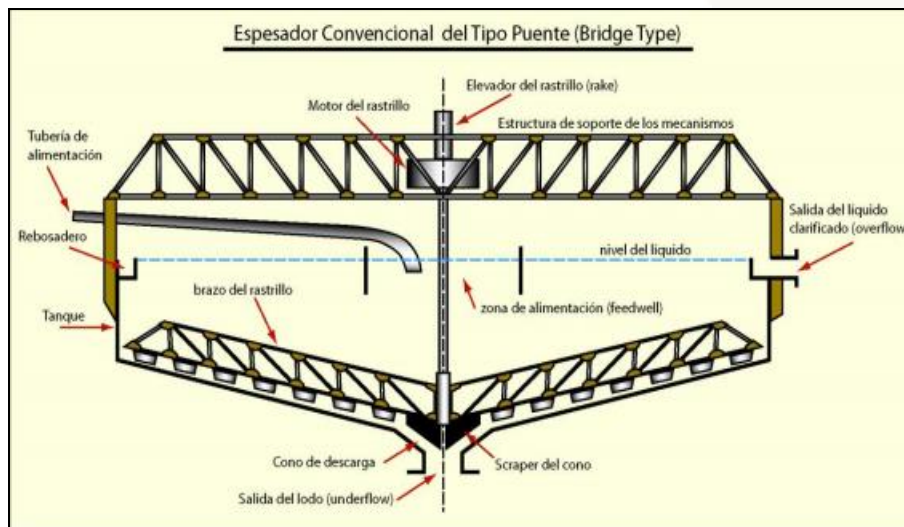


Figura 178 Espesador convencional con puente

Para los tanques con diámetros superiores a 30-40 m, se emplea un pilar estacionario central de acero u hormigón para soportar los mecanismos de accionamiento y control. El puente sólo se emplea para acceso de personal y como soporte de tuberías de alimentación. Los brazos de los rastrillos están unidos a una estructura o jaula giratoria que rodea al pilar central. El giro se lo proporcionan los elementos de accionamiento superiores; la descarga del lodo se realiza a través de un canal anular que rodea al pilar central (Figura 179). Este tipo de espesadores se les conoce con el nombre de espesadores tipo pilar central (centre pier type).

El diseño del rastrillo es importante y vendrá en función de la naturaleza de sólidos sedimentados, el diámetro del tanque, la cantidad de sólidos coloidales floculados, etc.

Hay diferentes tipos de construcción, variando desde un único brazo rígido con hojas soldadas directamente sobre él (limitado a tanques con un diámetro máximo de 15 m) hasta brazos de diferentes tipos de estructura metálica diseñados para grandes tanques (por encima de 35 m de diámetro).

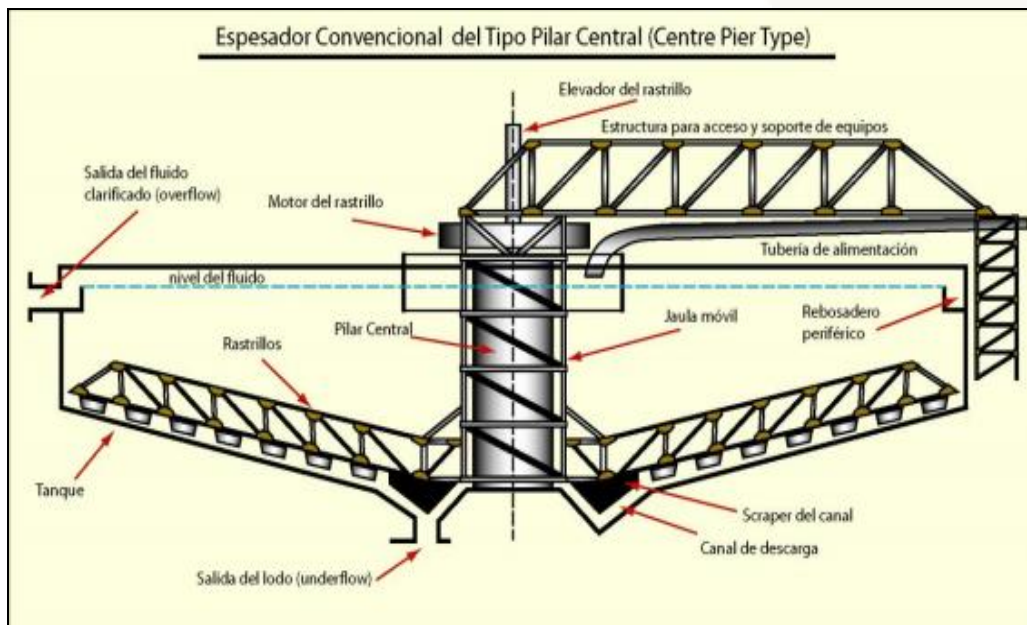


Figura 179 Espesador convencional tipo pilar central

Para eliminar grandes estructuras que lleguen hasta el material sedimentado en los grandes tanques, se puede recurrir al empleo de extensiones que parten de los brazos porta-rastrillos. Este tipo de brazos es conocido como "Thixotrópico" diseñado para el tratamiento de sustancias coloidales (arcillas) con comportamiento thixotrópico que eviten la formación de "donuts" (Figura 180). En la mayor parte de los espesadores convencionales, los brazos de los rastrillos están unidos al eje central (tipo puente) o a una estructura circular giratoria (tipo pilar central), sin embargo hay otras alternativas como son los espesadores con el guiado del rastrillo a través de cables (Figura 181).

En estos últimos el brazo de rastrillado se encuentra articulado a la base del eje central o jaula giratoria. La articulación es diseñada para permitir movimientos horizontales y verticales del rastrillo que es guiado alrededor de la columna a través de cables conectados a un brazo superior de tubo que produce el momento de giro, situado por debajo del nivel de agua. Este tipo de espesadores se emplea en sólidos de comportamiento thixotrópico o finamente divididos y parcialmente floculados.

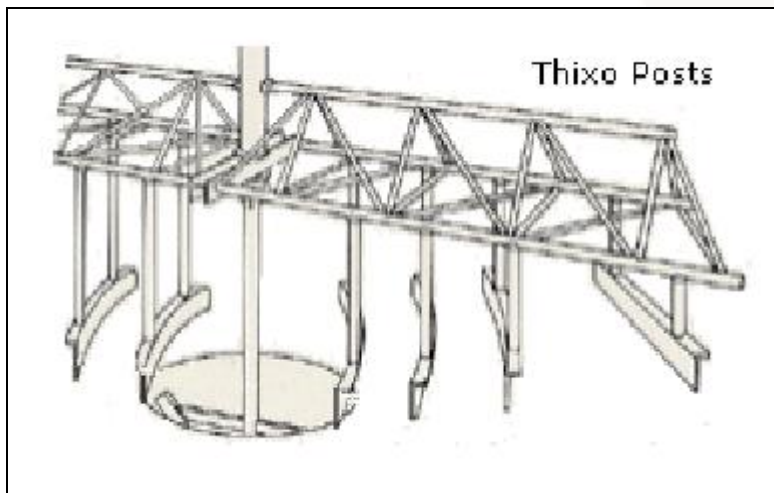


Figura 180 Rastrillo Thixo y estructura de tubo.



Figura 181 Espesador convencional de cables

Otro tipo de espesadores son los de tracción, en los cuales el pilar central sirve de apoyo para el brazo rastrillador, así como pivote para que toda la estructura de proporcionado por un mecanismo de accionamiento montado sobre riel que hace girar al brazo principal. Este tipo de espesadores se fabrica para tanques cuyo diámetro va desde los 50 m hasta los 150 m.



Figura 182 Riel periférico de un espesador de tracción.



Figura 183 Brazos de rastrillo en un espesador de tracción.

La mayor parte de los espesadores disponen de sistemas de elevación del rastrillo principalmente cuando se tratan colas de flotación. Las partículas finas de arcilla pueden convertirse en un gel que impide el flujo hacia el punto de descarga al formar anillos o "donuts" y será necesario el empleo de sistemas de elevación para subir y bajar los rastrillos que ayuden a romper estos anillos.

Estos mecanismos de elevación están regulados para actuar sobre el rastrillo cuando se alcanzan unos pares excesivos para la estructura.

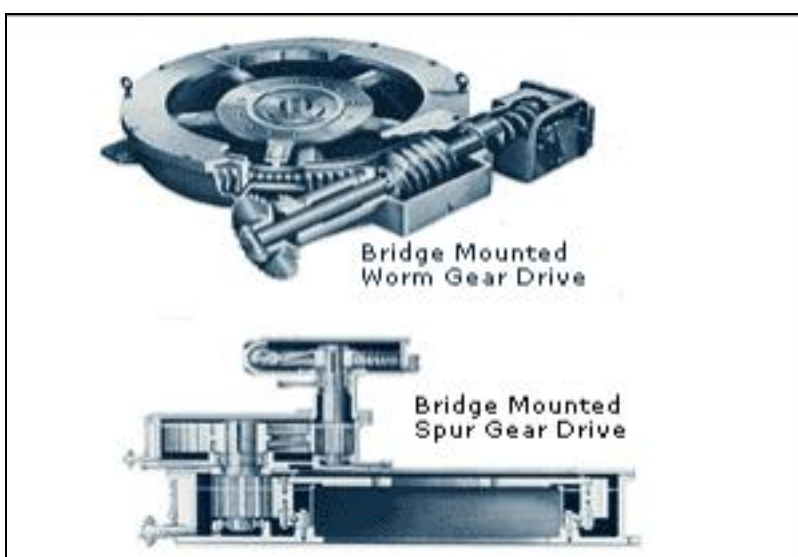


Figura 184 Mecanismo de accionamiento espesador tipo puente

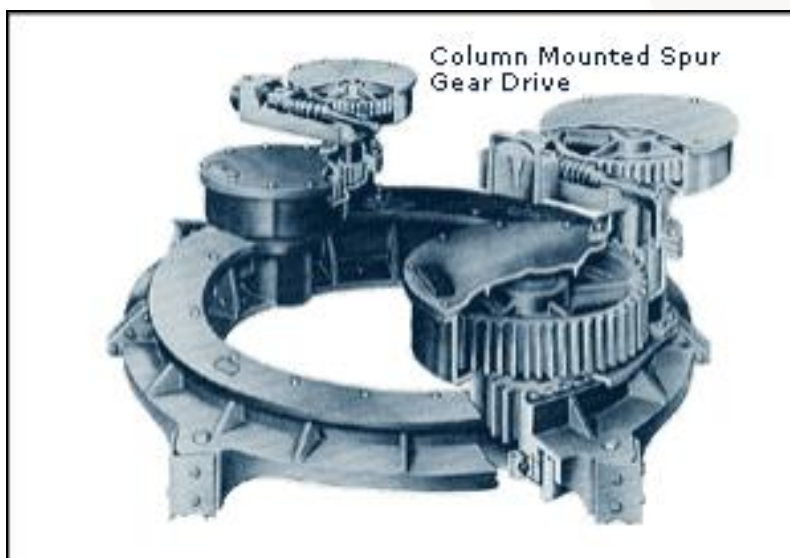


Figura 185 Mecanismo de accionamiento espesador tipo pilar central

En las figuras anteriores se muestran los mecanismos de accionamiento para los espesadores tipo puente y tipo pilar central respectivamente, movidos por motores eléctricos. Su selección dependerá del tipo de pares que han de vencer.

28.3.2 Espesador de alta capacidad o de cama profunda

Los espesadores de Alta Capacidad (high-capacity thickeners), se tratan en algunos equipos de espesadores convencionales con modificaciones importantes (figura 186), normalmente presentan tubos de alimentación más grandes y profundos, además la alimentación suele introducirse en combinación con reactivos floculantes, consiguiendo bajar la superficie del espesador requerida para obtener una tonelada de sólido seco por día desde 0,5-0,9 m^2 , para un espesador convencional, a 0,3 - 0,6 m^2 .

Con la aparición de los floculantes sintéticos han aparecido equipos con los que se consiguen rendimientos de espesado mayores que con los equipos convencionales y necesitando menores

superficies de sedimentación. Estos equipos caen dentro de las categorías de Alta Capacidad y de Alto Ratio (High Rate).

En los espesadores de alta capacidad se ha trabajado en el diseño del tubo de alimentación (feedwell) para que las partículas minerales sean floculadas y cuidadosamente mezcladas y posteriormente inyectadas de forma uniforme y radial a la zona de sedimentación obstaculizada (hindered settling).



Figura 186 Espesador de alta capacidad



Figura 187 Espesador de alto ratio

En la figura 188 se muestra sistema para el auto mezclado de la pulpa con los floculantes a través de un inyector, previo a la entrada del tubo de alimentación (feedwell).

Existen espesadores de Alto Ratio sin rastrillos que emplean tanques altos (deep tank) con el fondo muy inclinado formando un cono para obtener un lodo de alta densidad. Por lo tanto el objetivo de estos equipos será el obtener un hundido denso y un rebose perfectamente clarificado con el empleo de los floculantes. Un ejemplo de estos equipos es el espesador/clarificador E-CAT de Eimco Process. Esta unidad ofrece un bajo tiempo de residencia de la pulpa dentro del tanque y requiere muy poco tiempo para alcanzar el nivel de operación (30 minutos). Estas unidades trabajan en proceso continuo por lo que no se pueden emplear como unidades intermedias de almacenamiento. Al no disponer de rastrillo las hace como unidades mecánicamente muy simples.

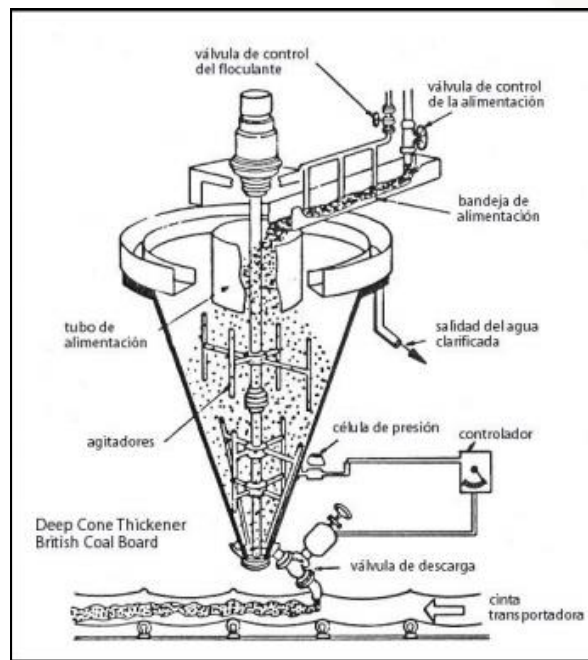


Figura 188 Espesador para la industria del carbón

En la década de los 60 surgieron unos espesadores para la industria del carbón a raíz de los estudios llevados a cabo por la British Coal Board, este tipo de equipos consiste en tanques con forma de cono invertido que proporcionan un lodo final con una elevada cantidad de sólidos, 65-70 % de sólidos en peso. Este lodo se descarga neumáticamente sobre una cinta transportadora a través de la salida inferior comandada por unos transductores de carga localizados sobre la pared del equipo. Dispone de unos agitadores que facilitan el espesamiento de la pulpa girando a una velocidad de 2 rpm. Es necesario el empleo de floculantes que pueden ser añadidos directamente al canal de alimentación o bien prepararse previamente en tanques mezcladores. Se construyen con diámetros de cono comprendidos entre 3 y 3,7 m, manejando alimentaciones con unos 5 % de sólidos en peso. En la actualidad han aparecido también otros equipos basados en este principio de funcionamiento como es el caso del Deep Cone Paste Thickeners y el HiTonnage Paste Thickener de Eimco Process (grupo GLV).

28.3.3 Espesador alta densidad

El espesador de alta densidad es un espesador convencional o de alta capacidad, pero de mucho mayor altura. Esta altura adicional permite obtener una gran presión sobre el sedimento que descarga del equipo y, por lo tanto, obtener una concentración de descarga muy grande. En muchos casos, estos espesadores tienen un cono pequeño, de modo de ayudar a evacuar la descarga. Además, la descarga del equipo cuenta con ángulos de cono pronunciados (alrededor de 60°) lo que provee una zona de alta compresión. La figura 189 muestra un de espesador de alta densidad.

Los espesadores poseen un mecanismo de rastra aún más robusto capaz de manejar los altos torques requeridos. Por lo general, requieren de un alto grado de automatización y bombas de descarga y/o recirculación de frecuencia variable.



Figura 189 Espesador de alta densidad

En resumen, los espesadores de cama profunda o de pasta como también se les denomina, maximizan la eficiencia del floculante por medio de sistemas patentados de dilución, utilizan un tanque muy alto para generar alta compresión, ángulos de cono entre 40 a 60° y sistemas robustos para sus rastras, para así manejar materiales muy densos. Además, es una práctica común industrial, el empleo de sistemas de cizallamiento y un alto grado de automatización en este tipo de espesadores, con los que se consigue un control preciso de las condiciones que se desean en la descarga, sin poner en riesgo la integridad de los equipos aguas abajo.

28.4 Velocidad de sedimentación en los espesadores

La velocidad de separación o velocidad de sedimentación está determinada por las siguientes propiedades:

Propiedades del sólido:

- Densidad.
- Forma.
- Rugosidad superficial.
- Condición eléctrica de su superficie.
- Distribución granulométrica.

Propiedades de la fase líquida:

- Densidad.
- Viscosidad.
- Naturaleza molecular.
- Sustancias disueltas.

Propiedades de la mezcla:

- Concentración de sólidos.

- Viscosidad de la mezcla.

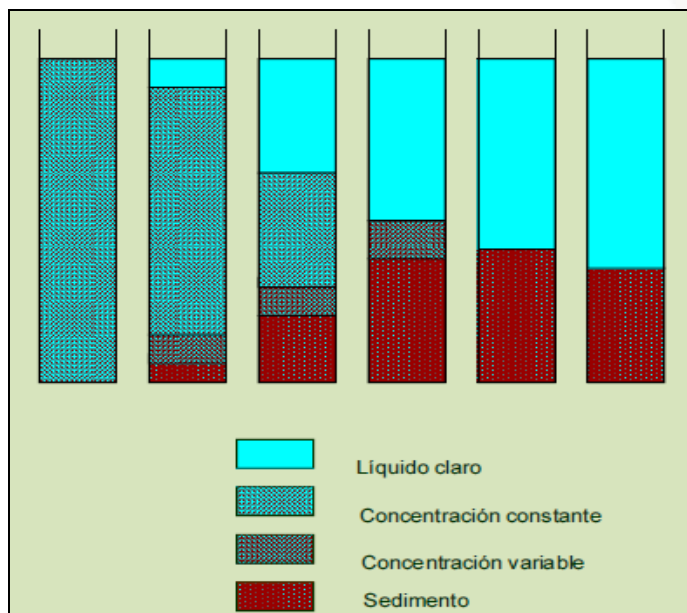


Figura 190 Zonas de sedimentación

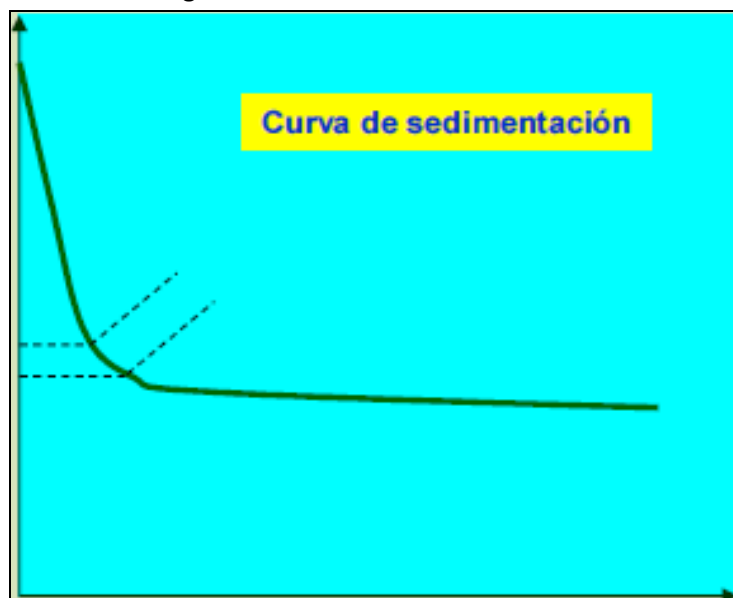


Figura 191 Curva de sedimentación.

- Las zonas de sedimentación y la del líquido claro crecen a expensas de la zona de concentración uniforme hasta que desaparece (punto crítico).
- Hasta este punto, las partículas sedimentan libremente, chocando eventualmente debido a la concentración.
- Después del punto crítico, las partículas descansan una sobre otra produciéndose una compresión final.
- Esto ocurre debido al peso de la columna hidrostática.
- La única interfase nítida es la existente entre el agua clara y la pulpa.
- La variación de esta altura respecto del tiempo se utiliza para caracterizar la sedimentación batch.
- La velocidad de desplazamiento se calcula mediante la pendiente de la curva.

La curva presenta tres zonas típicas:

- Recta al principio, en que la velocidad de la interfase es constante.
- Tramo curvo, cuando desaparece la zona de concentración constante.
- Asintótica, después del punto crítico.

28.5 Parámetros y variables en los espesadores

Las variables más relevantes que se deben controlar:

1. Presión hidráulica de giro de las rastras.
2. Amperaje del motor de la rastra.
3. Torque mecánico de la rastra.
4. Altura de la rastra.
5. Amperaje de la bomba de traspaso (descarga).
6. Porcentaje de sólidos en la descarga, flujo de descarga.
7. Nivel de líquido claro.

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: El torque mecánico se produce por el 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.



Figura 192 Espesador embancado.

Amperaje bombas 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 sólidos en la descarga: El control de la densidad y el porcentaje de sólidos se efectúa tomando muestras de pulpa por intermedio de la balanza de pulpa. Los valores de operación varían entre:

- Pulpa de alimentación fluctúa entre: 15 - 25 %.
- Pulpa de descarga fluctúa entre: 50 - 70 %.

Aunque estos valores varían, dependiendo de las características operacionales de cada planta en particular.

Nivel de rebose agua clara: La observación del rebose 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 50cm.

Presión hidráulica de las rastras: 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.

28.6 Problemas de operación en los espesadores.

Observación de líquido claro.

El rebose de estos equipos debe encontrarse limpio y libre de sólidos en suspensión, caso contrario implica:

1. Material no está decantando (abundante espuma) lo que indica un exceso de reactivos.
2. Alto nivel de sólido, lo que puede ser causado por un alto contenido de sólidos en la descarga del espesador (cercano a 85%), operación normal 45 - 60 %.

Esta situación puede causar lo siguiente:

Retención de carga dentro del espesador.

Que la rastra se detenga al aumentar el torque y estas no suban.

Aumento de la presión hidráulica de las rastras (> 5 MPa).

Que la rastra se detenga al aumentar el torque y estas no suban.

Embancamiento de la bomba de traspaso

Acciones a seguir:

Levantar rastra.

Adicionar agua en la línea de alimentación a la bomba.

Recircular espesador con flujo máximo.

Realizar cambio de bomba.

El sólido no sedimenta

Esto normalmente se soluciona agregando floculante. No se recomienda recircular el espesador.

Agregar agua sobre el espesador para eliminar la espuma que no sedimenta.
Revisar reactivos agregados en flotación.

28.7 Verificaciones de rutina en la operación de un espesador

Chequear si la claridad de rebose es la correcta.

Revisar si el torque en las rastras es el normal.

Chequear que la densidad de la descarga de la pulpa es la deseada.

Lecho de pulpa normal.

El rebose es relativamente claro, y los sólidos descargando en la salida del cono son de la densidad deseada. No se requieren acciones de operación para este punto.

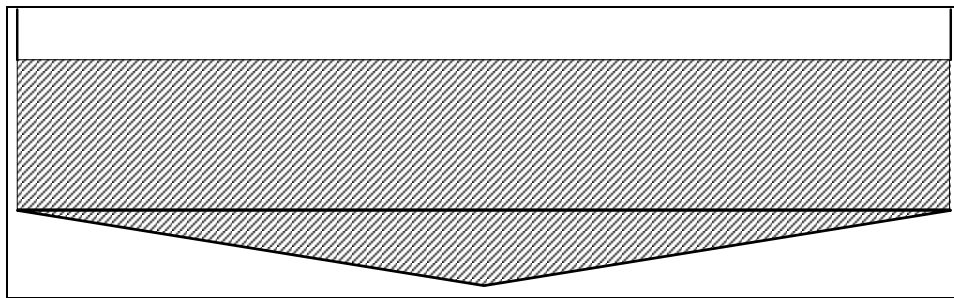


Figura 193 Lecho de pulpa normal

Lecho de pulpa superficial.

La claridad del rebose es buena, pero la descarga de pulpa lo más probable que sea baja. En este caso, la tasa de remoción de la pulpa debe ser bajada hasta alcanzar la densidad requerida por el proceso.

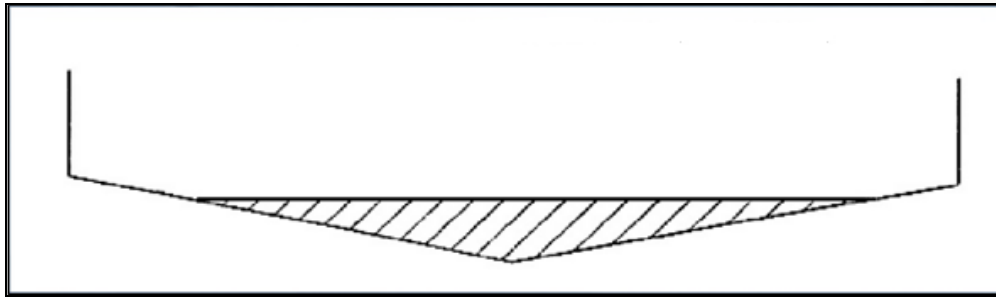


Figura 194 Lecho de pulpa superficial.

Lecho de pulpa alto

Un lecho de pulpa alto puede producir una claridad pobre en el rebose y una alta densidad de descarga en la salida de pulpa del espesador. En lo particular esto conlleva la posibilidad de un alto torque en la rastra del espesador.

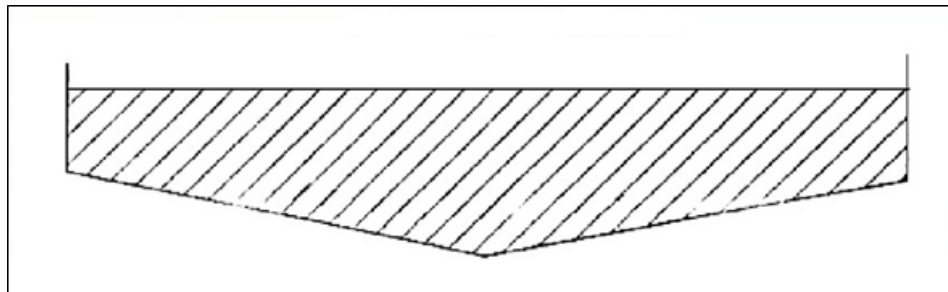


Figura 195 Lecho de pulpa alto.

Lecho aislado

La lectura del torque es alta porque la altura de la pulpa o material depositado no cubre todo el diámetro del espesador. La lectura de la densidad esta ahora baja porque el lecho esta en corto circuito a la descarga del espesador. El lecho o cama de pulpa puede ser rotado con las rastras. Esta situación es extrema y requiere de inmediata corrección. La alimentación debe ser de inmediato detenida. Las rastras deben ser levantadas muy cuidadosamente y luego deben ser bajadas para disolver la rotación del lecho y estimular a la pulpa a moverse hacia el centro.

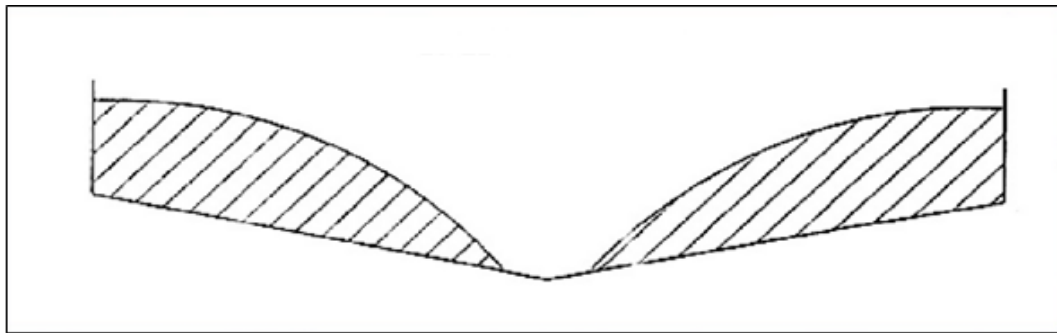


Figura 196 Lecho aislado.

28.8 Procedimiento de observación del funcionamiento espesador

1. Verificar el motor del espesador por ruido no usual, calor, ruido o vibración.
2. Verificar el torque del motor del espesador. Si el torque se incrementa rápidamente, contáctese con su supervisor.
3. Asegúrese que el nivel del lecho del espesador esté en balance la alimentación con la descarga de flujos de tal manera que no hallan alarmas de torque.
4. Verificar los rebose. Verifique que el líquido o solución este clara.
5. Verificar que la válvula de la descarga de pulpa del espesador y aire no tengan fugas.

6. Verificar el flujo y densidad indicada en el transmisor en la bomba de la línea de descarga.
7. Verificar el flujo, desde la descarga de la bomba de pulpa hacia la etapa posterior.
8. Verificar la alimentación de líquido fresca al sistema de alimentación de las líneas de descarga de pulpa en el cono, y verificar que no se está agregando líquido innecesario.

Actividad N° 15

Introducción a la actividad

La actividad consiste en que los participantes puedan reconocer en una situación ficticia, que variables están afectando la operación de un espesador de concentrados. El objetivo es que los participantes se familiaricen con estas variables que en todo espesador de concentrado, deben controlarse.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Ajustar parámetros y variables de operación en los espesadores, de acuerdo a condiciones de operación y procedimientos.

Estrategia Metodológica para el Instructor

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

Recurso Plataforma Web	
Recurso Audiovisual	
Formulación de Preguntas	✓

Taller de Trabajo	✓
Propuestas de Situaciones Problemáticas	

Tabla 44

Materiales y Recursos.

Cuaderno de actividades.

Lápiz.

Desarrollo de la Actividad

El instructor deberá guiar a los participantes, entregando instrucciones claras sobre el proceder, respondiendo cualquier duda sobre la actividad misma.

El instructor para introducir a los participantes en la problemática, se guiará por la siguiente imagen para desarrollar la situación y anotar los siguientes datos:

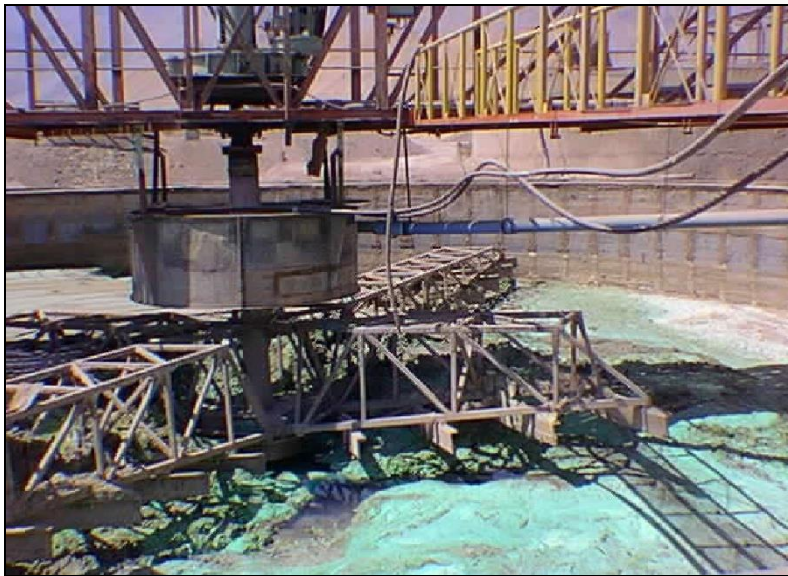


Figura 197 Fotografía de un espesador detenido por embancamiento.

1. Espesador detenido a las 23:00 horas por el turno de noche.
 2. Operador comunica a la supervisión un alto amperaje del motor.
 3. Bomba de traspaso no operativa.
 4. Presión hidráulica de rastras registrado superior a 8 MPa.
 5. Nivel de rebose de agua clara por debajo del nivel establecido por procedimiento.
- Una vez terminado lo anterior, los participantes deben contestar las siguientes preguntas.

1. De acuerdo a los datos entregados, ¿qué ocurrió en el espesador?
2. ¿Qué indica un alto amperaje del motor de las rastras?
3. ¿Qué indican los 8 MPa de presión hidráulica en las rastras?
4. ¿Cuáles son las variables que se controlaron a tiempo?
5. ¿Qué medidas implementaría usted para que no ocurra la situación planteada?

Una vez terminada esta última actividad, el instructor invitará a cada uno de los participantes a compartir los resultados y conclusiones del caso expuesto.

Cierre.

El control de variables en un espesador de concentrados, es fundamental para la operación normal de una planta de procesamiento. Tal responsabilidad recae en los operadores de

terreno. La importancia del conocimiento y manejo de las variables de operación es más que relevante para mantener la operación continua y eficiente en las plantas de procesamiento de minerales.



