



Cuaderno del Instructor Operador Proceso de Molienda

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



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 Chuquicamata

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	13
1. Aislación y Bloqueo.....	14
1.1 Procedimiento de bloqueo y aislación de equipos.....	14
1.2 Extractos Decreto Supremo 132	14
1.3 Principios básicos de seguridad	15
1.4 Definiciones.....	16
1.5 Consideraciones Importantes	20
1.6 Elementos de bloqueos de seguridad.....	21
1.7 Tipos de Candados	23
1.8 Tipos de tarjetas.....	25
1.9 Dispositivo de Aislamiento.....	27
Actividad N° 1	32
2. Procedimiento de Trabajo Seguro (PTS).....	35
2.1 Objetivo.....	35
2.2 Propósitos	35
2.3 Alcance	35
2.4 Definiciones.....	36
2.5 Trabajos que requieren Permiso de Trabajo Seguro	36
2.6 Personas autorizadas para extender Permisos de Trabajo Seguro.....	37
2.7 Trabajos que deban realizar empresas colaboradoras que requieren PTS	39
2.8 Instrucciones de Operación	40

2.9 Vigencia del permiso de trabajo seguro (PTS)	40
3. Pruebas de Energías Potenciales y Residuales	41
3.1 Aislamiento y disipación de la energía peligrosa	41
3.2 Energía	41
3.3 Dispositivos para liberar las energías residuales (acumuladas)	47
3.4 Pruebas de Energía Cero	49
Actividad N° 2	50
4. Manejo de Sustancias y Residuos Peligrosos	54
4.1 Introducción	54
4.2 Identificación y clasificación de las sustancias peligrosas	55
4.3 Manejo básico en el almacenamiento de las sustancias peligrosas	59
4.4 Elementos de Protección Personal	63
5. Aislamiento y Bloqueo de Equipos, Maquinarias e Instalaciones	64
5.1 Secuencia de aislamiento y bloqueo	64
5.2 Housekeeping del área	65
Actividad N°3	66
Módulo II: Técnicas de Muestreo	70
6. Técnicas de Muestreo	71
6.1 Propósito del muestreo	71
6.2 Importancia del muestreo	71
6.3 Relación del muestreo con el control de calidad	72
Actividad N° 4	73
6.4 Características del muestreo de pulpas	76
6.5 Características del muestreo de sólidos	80

Actividad N° 5	81
7. Métodos de muestreo	86
7.1 Manual	86
7.2 Automático.....	88
8. Tipos de Muestreo	89
8.1 Al azar	89
8.2 Sistemático.....	89
8.3 Automático en correas.....	89
8.4 Automático en pulpas	90
8.5 Estratificado	90
9. Preparación Mecánica de Muestras.....	91
9.1 Métodos reductores de muestras.....	91
Actividad N° 6	95
10. Análisis Granulométrico.....	98
10.1 Serie de Tamices	98
10.2 Tabla de distribución granulométrica.....	99
Módulo III: Operación de Equipos de Planta de Chancado	102
11. Fundamentos del Proceso de Chancado.....	103
11.1 Conminución	103
11.2 Chancado.....	103
11.3 Mineral de Mena.....	104
11.4 Mineral de Ganga o Estéril.....	104
12. Mecanismos de reducción de tamaño.....	104
12.1 Compresión	105

12.2 Abrasión	105
12.3 Cizalle	106
12.4 Impacto	106
13. Liberación del Mineral Valioso.....	107
13.1 Setting	108
13.2 Medición y Ajuste del Setting	108
14. Evaluación de la Reducción.....	109
14.1 Razón de reducción.....	109
14.2 Tamaño P ₈₀	110
14.3 Razón de Reducción del 80 %	110
15. Consumo Energético	111
15.1 Consumo de energía	111
Actividad N° 7	112
16. Tipos de Circuitos de Chancado.....	116
16.1 Circuito Abierto	116
16.2 Circuito Cerrado	116
16.3 Carga Circulante	116
17. Tipos de Chancado.....	117
17.1 Chancado primario.....	117
17.2 Chancado Secundario	117
17.3 Chancado Terciario	117
18. Equipos de Chancado y Componentes Principales.....	117
18.1 Chancador de Mandíbula.....	118
18.2 Chancador Giratorio.....	120

18.3	Chancador de Cono Estándar.....	123
18.4	Chancador de Cono Cabeza Corta.....	124
19.	Sistema de Lubricación de los Chancadores.....	125
19.1	Sistema de Hidroset Chancador Giratorio	125
19.2	Sistema de lubricación chancador giratorio	128
19.3	Sistema de lubricación chancador de cono estándar y cabeza corta	130
	Actividad N° 8	132
20.	Etapas en el Proceso de Chancado	135
20.1	Chancado con Molienda Convencional.....	135
20.2	Chancado con molienda SAG	136
21.	Parámetros y Variables a Controlar en el Proceso de Chancado	137
21.1	Setting de los chancadores	137
21.2	Velocidad de alimentación a chancadores	137
21.3	Tamaño de producto de salida del chancador	137
22.	Clasificación de Minerales	138
22.1	Fundamentos de la Clasificación.....	138
22.2	Equipo de clasificación de minerales en seco (Harnero)	138
22.3	Tipos de Harneros	139
22.4	Parámetros a controlar en la operación de un harnero	141
	Actividad N° 9	143
23.	Transporte de Minerales.....	146
23.1	Fundamentos del transporte de minerales	146
23.2	Equipos para el transporte de minerales.....	146
23.3	Características de los alimentadores de correa.....	147

23.4	Características de las correas transportadoras.....	148
23.5	Componentes de una correa transportadora.....	150
	Actividad N° 10.....	160
	Módulo IV: Operación de Equipos de Molienda.....	164
24.	Fundamentos del Proceso de Molienda	165
24.1	Razón de reducción en la molienda.....	166
24.2	Mecanismos de reducción en la molienda	166
24.3	Movimiento de la carga en el molino	166
24.4	Velocidad critica de un molino	168
25.	Consideraciones generales en el proceso de molienda	169
25.1	Velocidad de giro del molino	169
25.2	Tamaño de alimentación al molino	170
25.3	Nivel de llenado y cantidad de masa retenida en los molinos	171
25.4	Angulo de levantamiento de la carga	172
25.5	Nivel de llenado de bolas a los molinos.....	172
25.6	Efectos de la densidad de la pulpa en el molino	173
25.7	Carga de bolas.....	174
	Actividad N° 11.....	176
26.	Molienda SAG	179
26.1	Características y componentes de un molino SAG	179
26.2	Principio de operación del molino SAG.	183
26.3	Sistema de lubricación molino SAG	184
27.	Variables de Operación de Molienda SAG.....	187
27.1	Porcentaje de sólido en el molino	187

27.2	Tamaño de bolas	187
27.3	Carga circulante	187
27.4	Eficiencia de clasificación	188
27.5	Velocidad del molino	188
27.6	Pebbles	188
Módulo V: Operación de Molienda Convencional.....		190
28.	Molienda Convencional de Bolas.....	191
28.1	Características y componentes de un molino convencional de bolas.....	191
28.2	Principio de operación del molino convencional.....	192
28.3	Sistema de lubricación del molino convencional	193
28.4	Sistema de partida de un molino convencional.....	195
28.5	Sistema de embrague de partida de un molino convencional	195
29.	Variables de operación del molino convencional.....	196
29.1	Porcentaje de sólidos en la descarga molino.....	196
29.2	Potencia del motor	197
29.3	Presión de levante en los descansos.....	197
29.4	Alimentación de carga y agua al molino	198
30.	Molinos de Barras	198
30.1	Operación del molino.....	198
30.2	Medio de molienda	199
Actividad N° 12		201
31.	Equipos de Clasificación en Húmedo	205
31.1	Fundamentos	205
31.2	Clasificadores centrífugos	205

31.3	Tipos de hidrociclones	207
31.4	Eficiencia de clasificación	209
31.5	Variables operacionales	209
31.6	Fundamentos de operación del hidrociclón de fondo plano.....	212
32.	Bombas Centrifugas	215
32.1	Hidráulica de bombas	215
32.2	Componentes fijos de una bomba centrífuga.....	218
32.3	Componentes móviles de una bomba centrífuga.....	219
32.4	Sistema de transmisión.....	225
32.5	Procedimientos de puesta en marcha y detención de una bomba centrífuga ..	226
32.6	Fallas más comunes en la operación	227

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 Proceso de Molienda de nivel 3.

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 aislación 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 desde la experiencias del 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. Así podríamos nombrar muchos personajes que dedicaron 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 ésta, asumieron muchos riesgos pues desconocían verdaderamente el peligro que envolvía y mediante la prueba y error sucedieron diversos y numerosos 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 empleados en bloqueo de equipos que funcionan con energía eléctrica, y la importancia de la realización de éstos, así como también 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 (EPP), 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 para tal efecto, quienes pondrán el bloqueo de departamento que corresponde. Entonces los trabajadores a cargo de esta labor, instalarán los bloqueos personales en el bloqueo de Departamento, los que 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 con el fin de evitar contacto directo y ser intervenido en forma segura. Ésta 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 del 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: Se trata de 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 (aún 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: 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 Tipos de energía

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 / 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, verificando aguas abajo, líneas de despiche. En el caso del flujo, pruebas con instrumentación u

otros instrumentos. Para esto se llevará 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 después de finalizada 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 Contratista 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 bloqueos de seguridad

Procedimiento de bloqueo

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

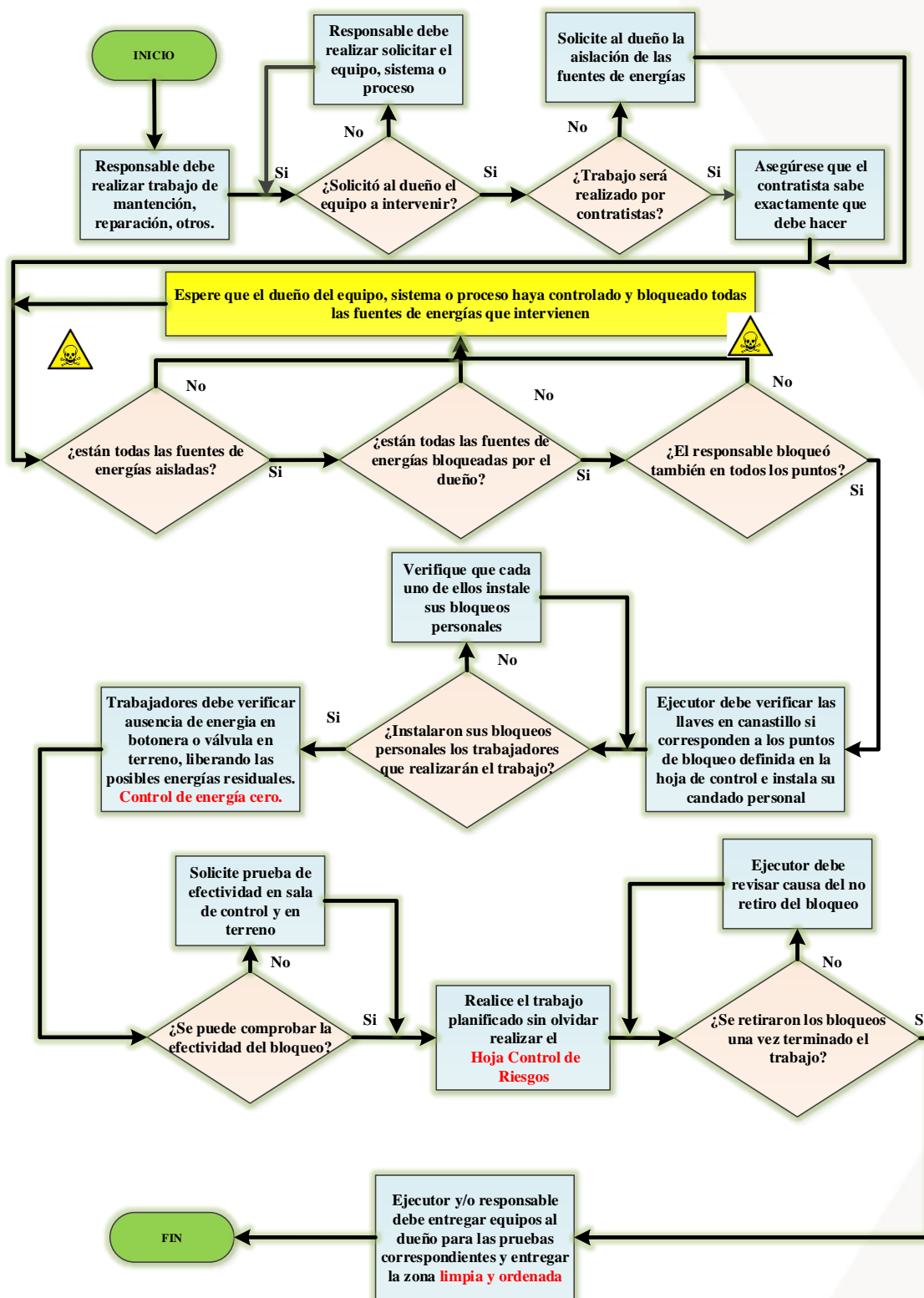


Figura 3 Procedimiento de bloqueo

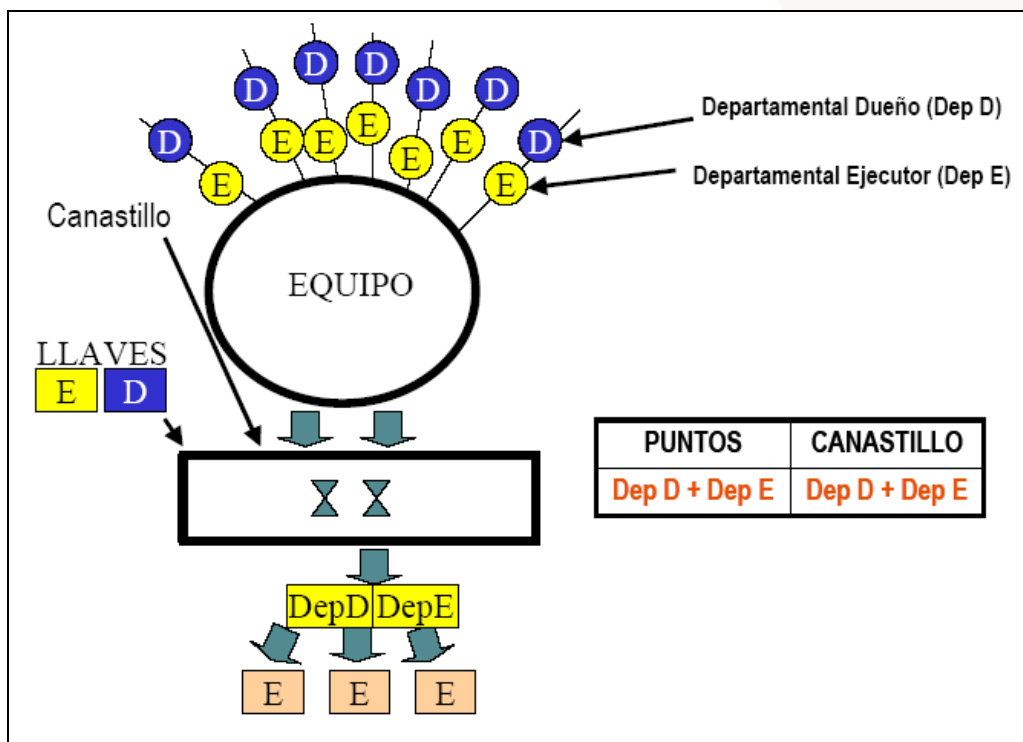


Figura 4 Uso del sistema de bloqueo en canastillo

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 en casos que estos sean insuficientes para efectuar dichos bloqueos, deberán tener nominadas a las personas a cargo de realizar el bloqueo en reemplazo 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	

Figura 5 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 6 Candados personales

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 7 Tarjetas departamentales

2) Tarjetas Personales:

Esta tarjeta es personal e intransferible e identifica a la persona que está ejecutando trabajos en el equipo bloqueado. Es de color blanco y debe contener datos del operador: 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 8 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 9 Tarjeta de fuera de servicio

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 Dispositivo 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 que así lo permita, es decir en la posición de seguridad (aislamiento) para evitar la posibilidad de asegurar, por error, 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 empresa.



Figura 10 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. Los 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 qué 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 1 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos





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

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.

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	¿Que es ?	¿Para que sirve?
		
		
		
		

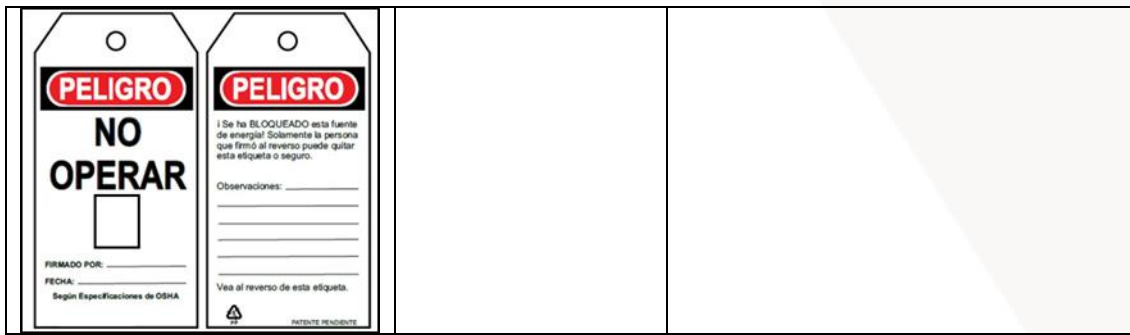


Figura 11 Identificación y usos de dispositivos de seguridad

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 respecto de 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, como a 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 en un área, sección o departamento específico, 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**

Se refiere a 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 se refiere a toda la labor que se ejecute al 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 tales como 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. Pruebas 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	AISLACIÓN DE ENERGÍA

	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.	
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.	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> <div>SEGURIDAD ELÉCTRICA</div> </div>
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.	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> </div>
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, 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.	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> </div>
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.	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> </div>
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.	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> </div>
ENERGÍA POTENCIAL	Es la energía que mide la capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo en función	<div> <div>AISLACIÓN DE ENERGÍA</div> </div>

	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.	
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. Puede ser transformada en energía mecánica	AISLACIÓN DE ENERGÍA
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. 	AISLACIÓN DE ENERGÍA

	<ul style="list-style-type: none"> • Energía Térmica (temperatura alta o baja) proveniente de sistemas de vapor, calentadores o superficies calientes o sistemas criogénicos • Energía Ionizante, proveniente de 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, la 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.	

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 2 Tipos de energías

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:

- Identificar todas las fuentes de energía peligrosas del equipo o maquinaria.
- 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.
- 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.
- Detener el flujo de fluidos (gases o líquidos) en los sistemas hidráulicos o neumáticos.
- 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. Éstos 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.

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, durante 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 3 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Notebook
Data
Actividad impresa

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.

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 describir en la siguiente tabla los escenarios reales donde se presentan los distintos tipos de energía:

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 4 Evaluación tipos de energías

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 quienes 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 1989, 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 12 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, amoniaco. Gas comprimido inflamable, gas comprimido no inflamable, gas comprimido venenoso por ejemplo Acetileno, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Cloro.

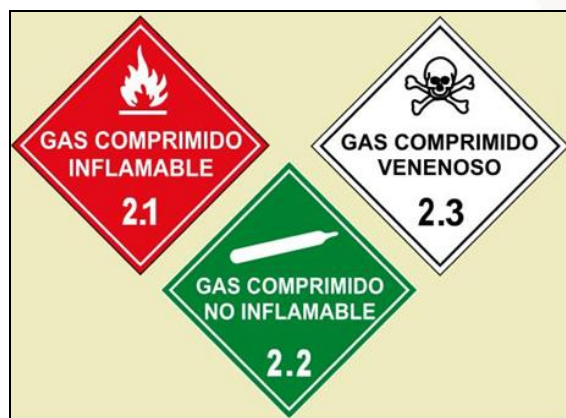


Figura 13 Rombo gases

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.

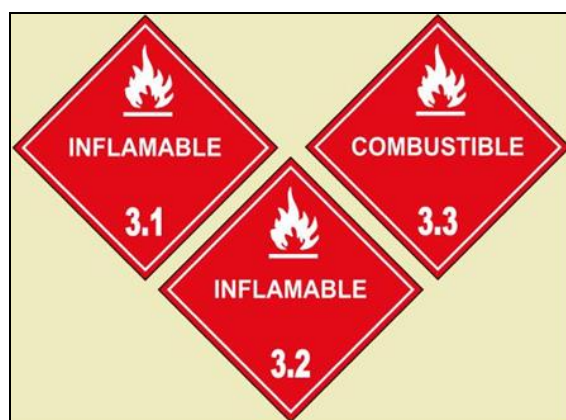


Figura 14 Rombo líquidos inflamables

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 15 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 16 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 viviente que puede causar enfermedades a los seres vivos, ejemplo Bacterias.



Figura 17 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 18 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 19 Sustancias corrosivas

Clase N°9 Sustancias Peligrosas:

Sustancias Peligrosas Varias: Corresponde a cualquier sustancia que cumpla con las características de peligrosa. Es decir, que sea 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.

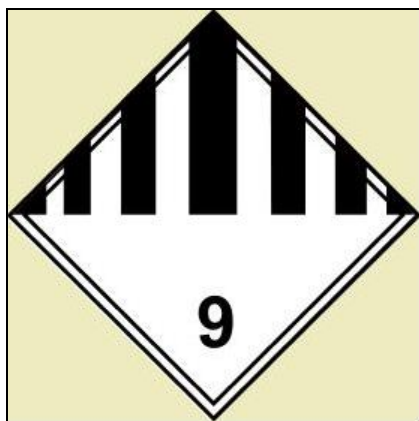


Figura 20 Sustancias peligrosas

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	Clasificación: (peróxidos orgánicos). Sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen reacción fuertemente exotérica Precaución: Evitar todo contacto con sustancias combustibles
	E Explosivo	Clasificación: sustancias y preparaciones que reacciona exotéricamente también sin oxígeno y que detonan según condiciones de ensayos fijadas, pueden explotar al calentar bajo inclusión parcial. Precaución: Evitar el choque, percusión, fricción, formación de chispas, fuego y acción del calor
	T Tóxico	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. Precaución. Evitar cualquier contacto con el cuerpo humano. En caso de malestar consultar inmediatamente al médico.
	F Fácilmente inflamable	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. Precaución: Mantener lejos de llamas abierta, chispas y fuentes de calor


	XN Nocivo	<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 5 clasificación de sustancias peligrosas y su identificación









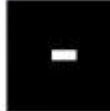

					
	+	-	-	-	+
	-	+	-	-	-
	-	-	+	-	+
	-	-	-	+	○
	+	-	+	○	+
<p>+ Se pueden almacenar conjuntamente.</p> <p>○ Solamente podrán almacenarse juntos si se adoptan ciertas medidas preventivas.</p> <p>- No deben almacenarse juntos.</p>					

Figura 21 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 22 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>

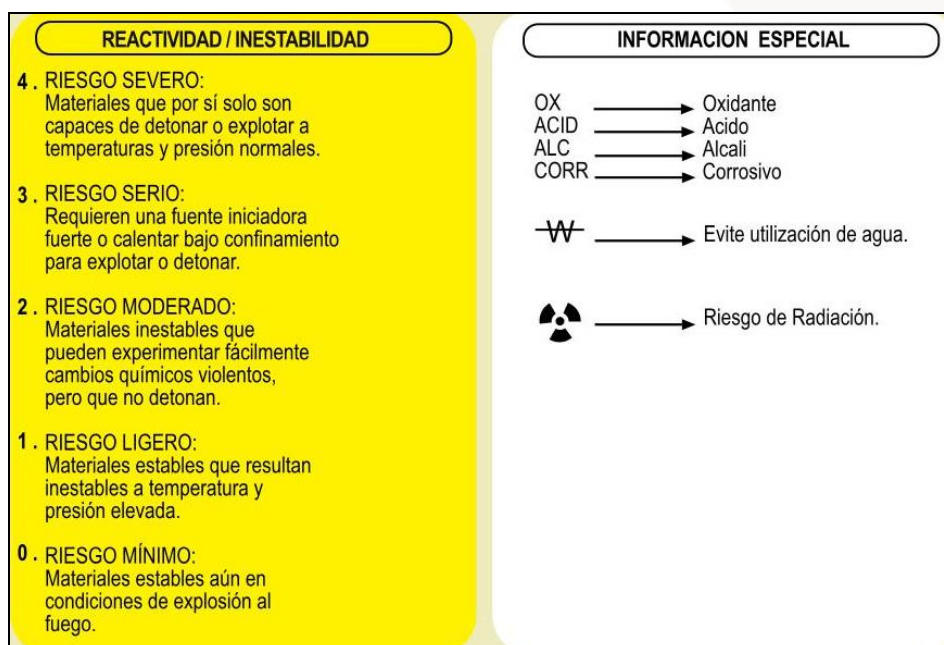


Figura 23 Detalles rombo NFPA

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 24 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 mantención, reparación, revisión, limpieza, etc. solicitará al encargado 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 y 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 encargado de área (operaciones).
- 11) El encargado 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 se 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 del 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.

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, 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 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

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




Desarrollo.

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

Los participantes 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
	
	
	


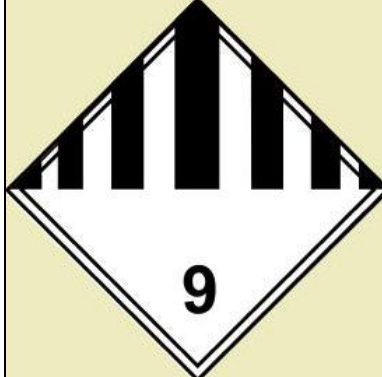
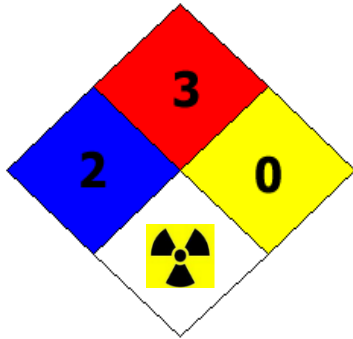
		
		
		

Figura 25 Identificación de rombos de sustancias peligrosas

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 quienes 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 cuál 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, por lo tanto 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, que 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 "qué 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.

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 7 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Probeta de 1000 cc
 Agua
 Balde
 Muestra de mineral.
 Pala de muestras JIG
 Balanza digital.

Desarrollo de la Actividad

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

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 26 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:

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

Parametro 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 8 Parámetros gravedad específica

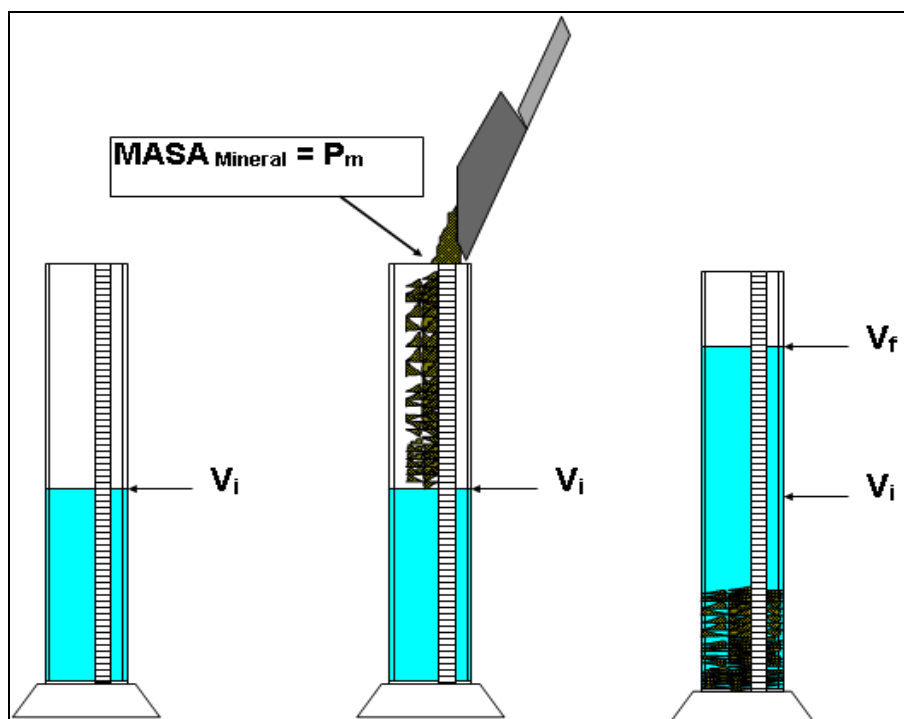


Figura 27 Representación gráfica determinación densidad de mineral

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 significa, que 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 28: 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 29: 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 28 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 29 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 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 al comienzo de cada turno.

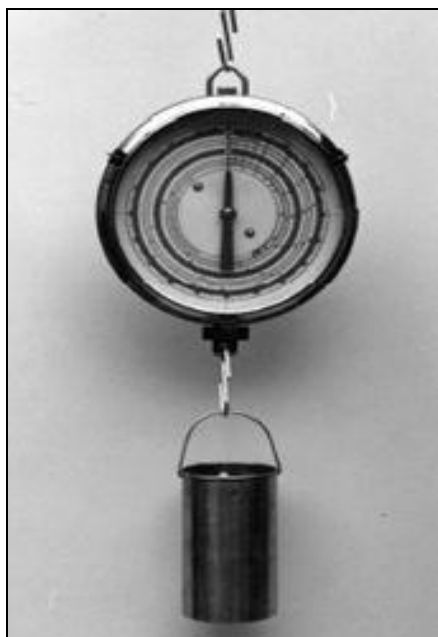


Figura 30 Balanza de pulpa

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.

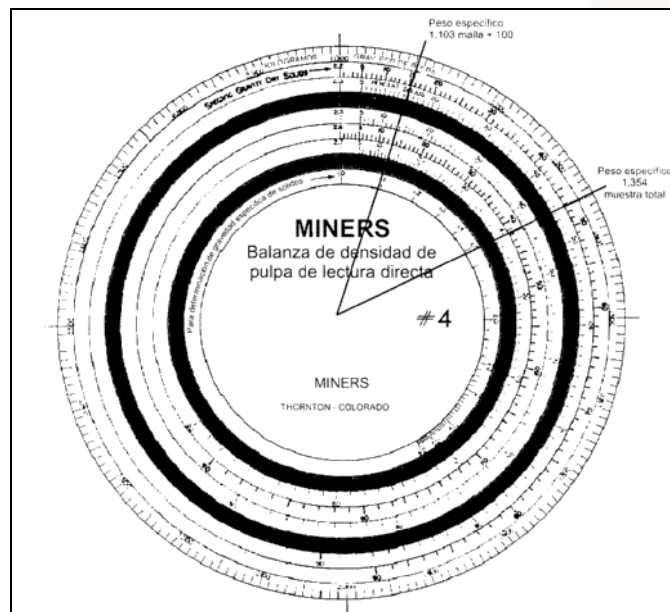


Figura 31 Escala de densidad de pulpa de una balanza

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. De acuerdo 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 sub muestras, 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.

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 9 Estrategias Metodológicas

Materiales

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

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

- Balanza para pulpas
- 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 realizaran un análisis de riesgo, para determinar los medidas de control necesarios



Figura 32 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 tamaño reducido.

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.

Las figuras siguientes muestran diferentes formas de toma de muestra de materia particulada en movimiento: caso de una cinta o correa transportadora.

Toma de muestra incorrecta: fracción del flujo del material continuamente a lo largo del tiempo (figura 33).



Figura 33 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 34).



Figura 34 Toma de muestra incorrecta

Toma de muestra correcta: todo el flujo de material en una fracción de tiempo prefijada (figura 35). Modelo dinámico, con toma de muestra unidireccional.



Figura 35 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 36).



Figura 36 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 ésta 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 37 presenta la pala de muestreo diseñada por la JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD (JIS).

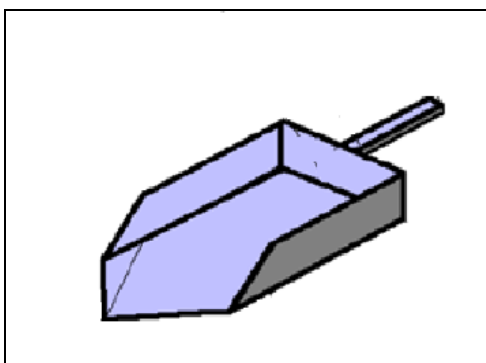


Figura 37 Pala JIS (Japanese Industrial Estándar)

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 10 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 10 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.

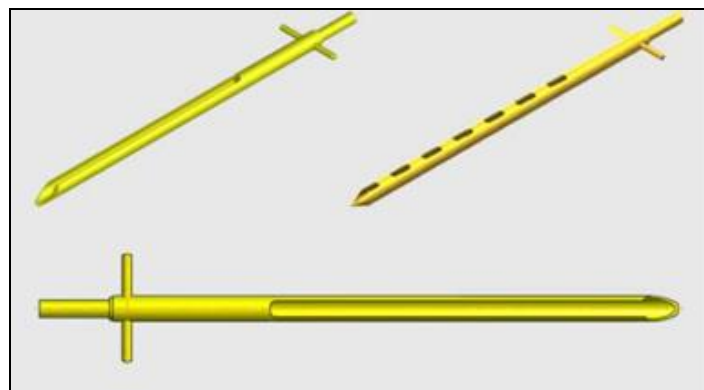


Figura 38 Sondas de muestreo

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 (paralelepípedo), 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.

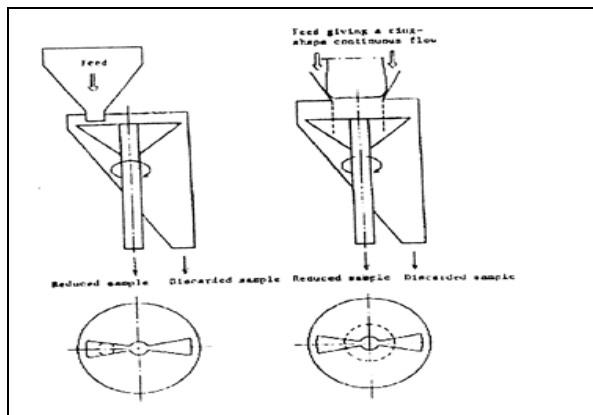


Figura 39 Muestreador tipo Vezin

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 reducidos 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 riffle.

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.
 - 1) 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.

- 1) 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 40.

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.

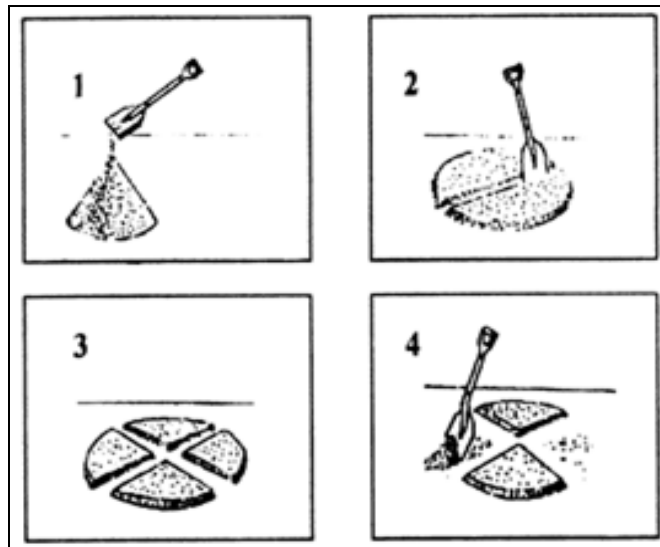


Figura 40 División por cono y cuarteo

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, figura 41.

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.

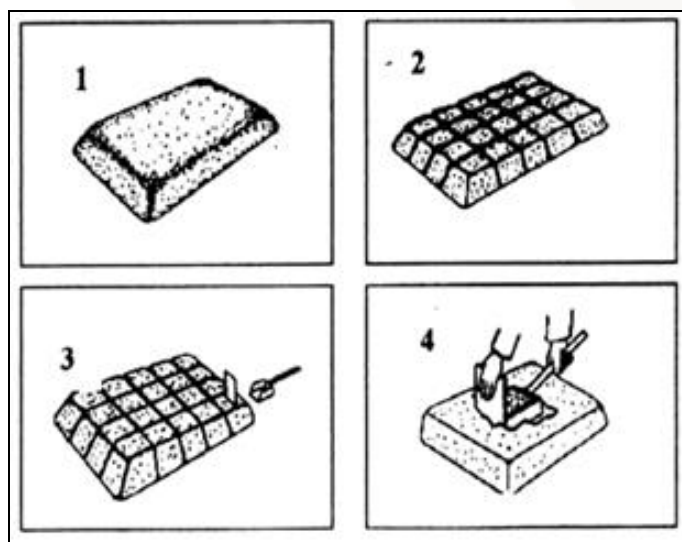


Figura 41 División por incrementos

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 42 y tabla 11.

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

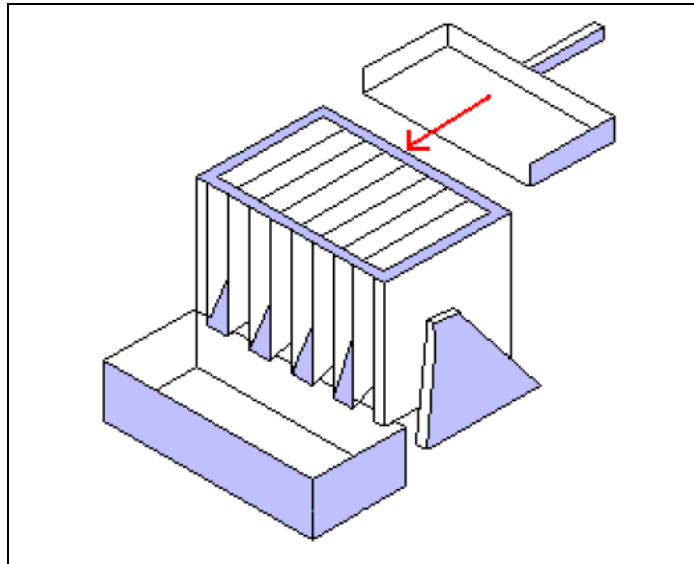


Figura 42 Cortador de muestras Riffle

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 11 Número abertura según tamaño partículas

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 12 Estrategias Metodológicas

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 instructor debería guiar a los participantes, entregando instrucciones claras sobre cómo se procede (leer el procedimiento), respondiendo cualquier duda sobre la actividad misma.

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.

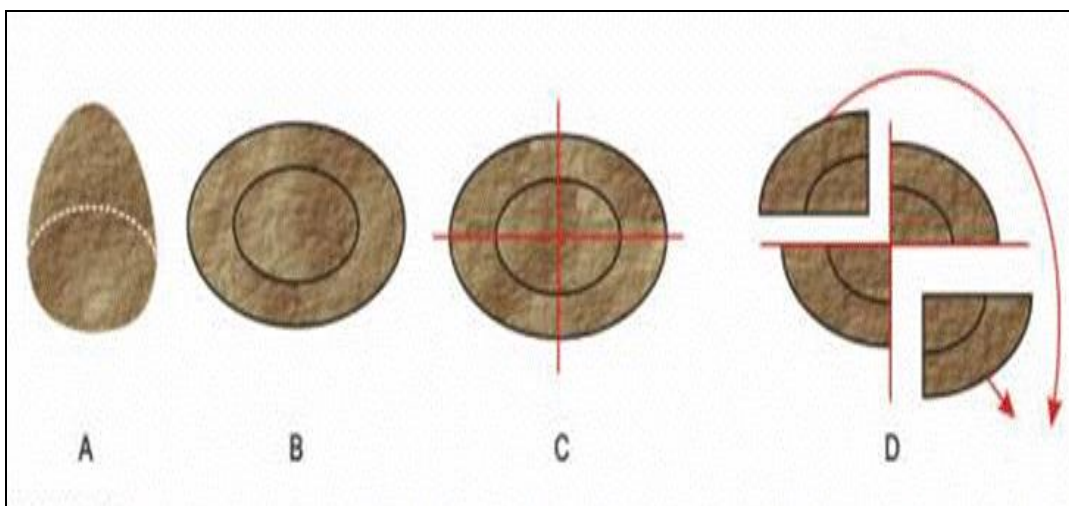


Figura 43 Método por cuarteo

Método de división por Riffle.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) La muestra deberá homogenizarse roleándola 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.

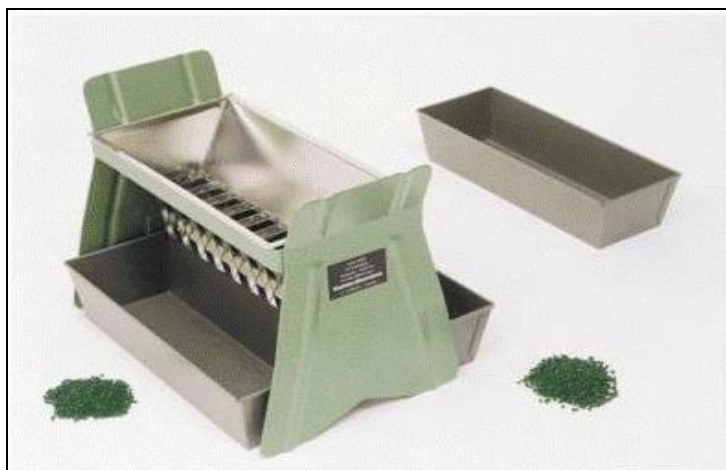


Figura 44 Cortador de muestra Riffle (Tyler)

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 45 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 46) 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 46 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 13 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 14 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

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

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

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

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

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

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

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

Módulo III: Operación de Equipos de Planta de Chancado

11. Fundamentos del Proceso de Chancado

11.1 Conminución

Debido a que los minerales se encuentran finamente diseminados e íntimamente asociados con la ganga, deben ser liberados y clasificados por diferenciación de tamaños, antes de realizar un proceso de separación. Para flotación, lixiviación, u otros procesos, interesa un determinado tamaño del material, una superficie específica o el mencionado grado de liberación.

Las primeras etapas de conminución, o reducción de tamaño, se realizan para facilitar el manejo del material proveniente de la mina y luego, en sucesivas etapas de chancado y molienda, complementadas con etapas de clasificación, para separar el mineral de la ganga.

La reducción de tamaño de partículas es una operación necesaria en una variada gama de actividades que incluye a las industrias mineras, metalúrgica, química, del cemento, entre otras. El objetivo que normalmente se persigue con la Conminución en la industria minera, es obtener un producto, de un tamaño determinado, en el cual las especies mineralógicas valiosas se encuentren liberadas y puedan ser separadas de la ganga en procesos posteriores.

Para que en un mineral las especies mineralógicas puedan ser separadas unas de otras, sin emplear medios químicos, es necesario que las distintas partículas estén físicamente separadas. Esto implica que una partícula debe representar sólo una especie mineralógica. Para efectuar esta individualización de las partículas minerales, o como se dice en Mineralurgia, para efectuar la liberación del mineral, hay que reducirlo de tamaño hasta el punto en que ellas queden libres. Este es el objetivo fundamental de las Operaciones de Reducción de Tamaño.

La diseminación de los minerales en una mena es de tal grado que el tamaño de la partícula necesario para tener liberación, varía normalmente desde 50 micrones hasta 1 milímetro.

11.2 Chancado

Es la primera etapa para el beneficio de minerales, y consiste en la aplicación de fuerzas mecánicas para romper los trozos grandes de mineral hasta reducirlos a un tamaño menor (fragmentos de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{5}{8}$ " – $\frac{3}{4}$ ") utilizando fuerzas de compresión e impacto y en menor proporción fuerzas de fricción, flexión, cizallamiento u otras.

Se realiza en máquinas que se mueven a velocidad media o baja en una trayectoria fija y que ejercen presiones inmensas a bajas velocidades, que se caracterizan porque sus elementos trituradores no se tocan y las condiciones principales de esta operación son la oscilación y la velocidad de oscilación, y el factor que influye esta condición de operación son las

características físicas, químicas, mecánicas, geológicas del mineral y sus acompañantes naturales (humedad, tamaño, abrasividad, distribución granulométrica, dureza, etc.).

11.3 Mineral de Mena

Una mena de un elemento químico, generalmente un metal, es un mineral del que se puede extraer aquel elemento porque lo contiene en cantidad suficiente para ser aprovechado y es económicamente rentable en su extracción.

Así, se dice que un mineral es una mena de un elemento químico, o más concretamente de un metal, cuando mediante un proceso de extracción a base de minería se puede conseguir ese mineral a partir de un yacimiento y luego, mediante metalurgia, obtener el metal a partir de ese mineral.



Figura 47 Ejemplo de mineral de mena. Calcopirita

11.4 Mineral de Ganga o Estéril

Se llama así al conjunto de todos los minerales sobrantes que se encuentran asociados a la mena en la roca extraída en un yacimiento y que no constituyen un valor económico rentable. La ganga hace que la ley del metal disminuya, por lo que es necesario separarla de la mena, como primera etapa en la concentración y obtención del metal.

12. Mecanismos de reducción de tamaño

Como se mencionó anteriormente la operación de disminución o reducción de tamaños, llamada Conminución, consiste en esencia en la producción de unidades de menor masa a partir de trozos mayores. Para ello, se debe provocar la fractura o quebrantamiento de los

sólidos mediante la aplicación de presiones e impactos. En los sólidos, esto se consigue provocando un deslizamiento o corte de los planos de exfoliación, según los cuales su fractura o corte se produce con más facilidad, de modo que todos los equipos utilizados para la desintegración de sólidos se basan en la compresión o en el cizallamiento, como esfuerzos desintegradores.

Los tipos de esfuerzos que pueden dar origen a la fractura y reducción de tamaño en la conminución son:

12.1 Compresión

La aplicación de estos esfuerzos es lenta, se produce en máquinas de chancado en que hay una superficie fija y otra móvil. Da origen a partículas finas y gruesas. La cantidad de finos se puede reducir, disminuyendo el área de contacto y usando superficies corrugadas. Este mecanismo es característico de equipos de chancado.

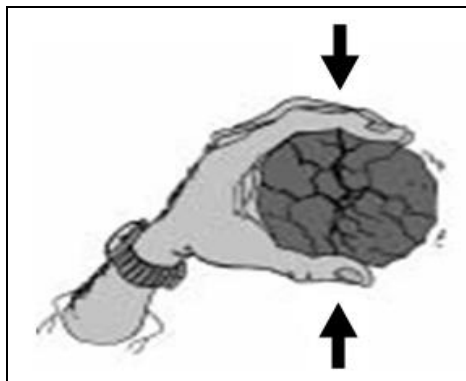


Figura 48 Esfuerzo de compresión

12.2 Abrasión

Ocurre cuando la energía aplicada es insuficiente para causar fractura significativa en la partícula. En este caso ocurren tensiones localizadas resultando fracturas en áreas superficiales pequeñas, dando como resultado una distribución de partículas de tamaño casi igual al original y partículas muy finas

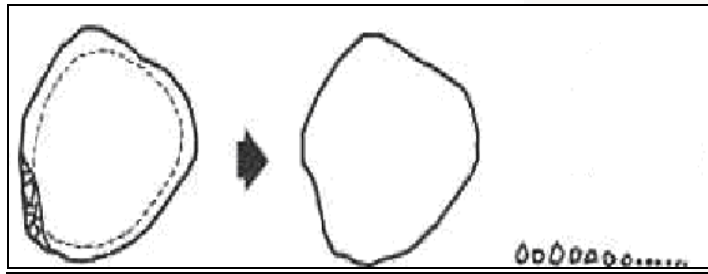


Figura 49 Esfuerzo de abrasión

12.3 Cizalle

Produce gran cantidad de finos y generalmente no es deseable. Se debe principalmente a interacción partícula - partícula.

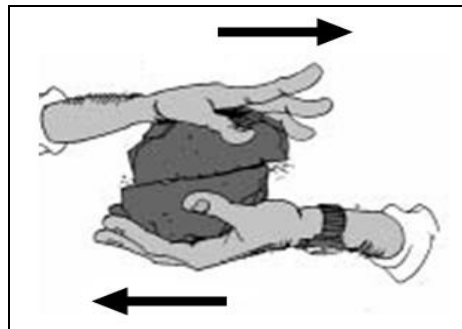


Figura 50 Esfuerzo de cizalle

12.4 Impacto

Es la aplicación de un esfuerzo en forma instantánea, así la partícula absorbe más energía que la necesaria para romperse. El producto es a menudo muy similar en tamaño y forma.

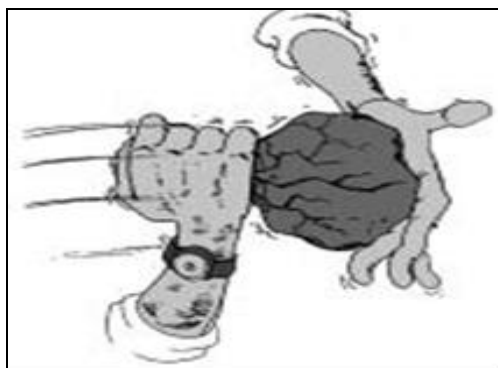


Figura 51 Esfuerzo por impacto

13. Liberación del Mineral Valioso

La reducción de tamaño es un proceso de separación física de los granos de los minerales valiosos de los minerales de ganga, para así producir una porción enriquecida o concentrada, que contiene la mayor parte de los minerales valiosos, y una descarga o colas compuestas predominantemente de los minerales de ganga. La separación de los minerales valiosos de la ganga se realiza por medio de la reducción de tamaño o conminución lo cual implica la trituración hasta un tamaño de partícula, de tal manera que el producto de la trituración sea una mezcla de partículas de mineral y de ganga relativamente limpias.

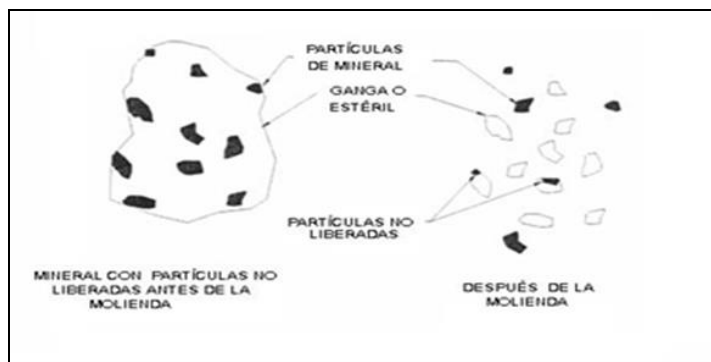


Figura 52 Liberación del mineral

Uno de los principales objetivos de la conminución es permitir la liberación o desprendimiento de los minerales valiosos para separarlos de los minerales de ganga asociados en el tamaño de partícula más grueso posible. Si se logra dicho propósito, entonces no solamente se ahorra

energía por la reducción de la cantidad de finos que se produce, sino que cualquier etapa de separación siguiente se facilita, resultando más económica la operación

El grado de liberación se refiere al porcentaje de mineral_valioso que existe como partículas libres en la mena en relación al contenido total.

13.1 Setting

Se refiere a la menor distancia que se produce entre el manto móvil (pera o poste) y las cóncavas, se le denomina ajuste cerrado (CSS por closed side setting) y la mayor distancia que se produce entre el manto móvil y las cóncavas se le denomina ajuste abierto (OSS por open side setting). El OSS y el CSS siempre están en lados directamente opuestos del manto del triturador y la diferencia entre el CSS y el OSS se logra entonces por el buje excéntrico, en el cual se mueve el eje principal por la geometría del equipo.

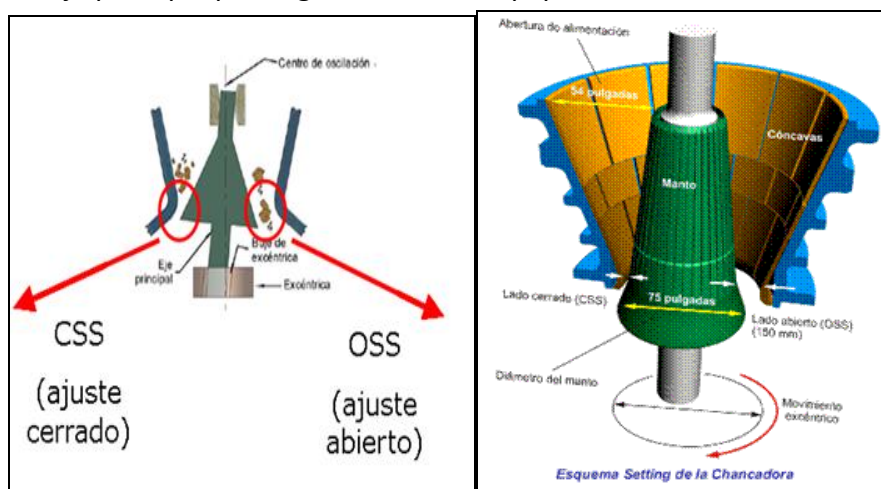


Figura 53 Setting del chancador

El tamaño máximo de un trozo de mineral descargado del triturador, deberá aproximarse al equivalente al ajuste abierto.

13.2 Medición y Ajuste del Setting

El ajuste y/o medición del setting es la forma práctica de comprobar si el equipo de trituración nos va a entregar el producto final con el tamaño adecuado. En este paso de la operación se utilizan elementos tales como: cordel de largo suficiente para efectuar la medición, pie de metro, plomada (trozos de plomo de tamaños determinados).

En algunos casos se utilizan bolas de goma, papel aluminio en forma de bolas, entre otros.



Figura 54 Plomada para ajuste de setting del chancador

La coordinación del operador de terreno con el operador de la sala de control es fundamental para detener la alimentación al equipo, en el instante de controlar el setting. El operador de terreno debe introducir la plomada al interior del chancador en servicio sin carga y luego retirar el plomo desde el interior, una vez que éste haya sido aprisionado entre el manto y la cóncava. Mide el menor espesor en la plomada, que representará la abertura del chancador CSS.

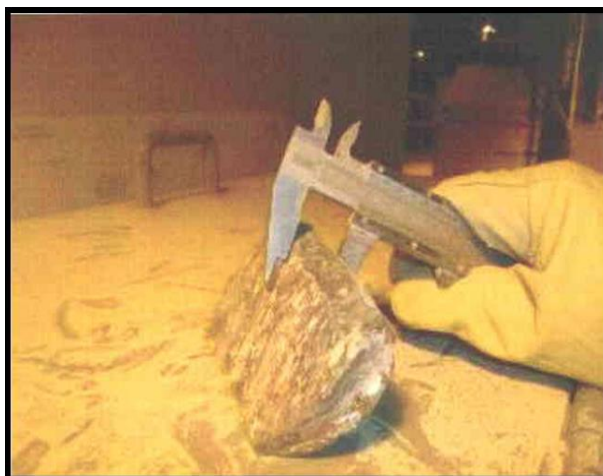


Figura 55 Medición de la plomada

14. Evaluación de la Reducción

14.1 Razón de reducción

Es el cociente entre el tamaño de la alimentación a un equipo y el tamaño del producto.

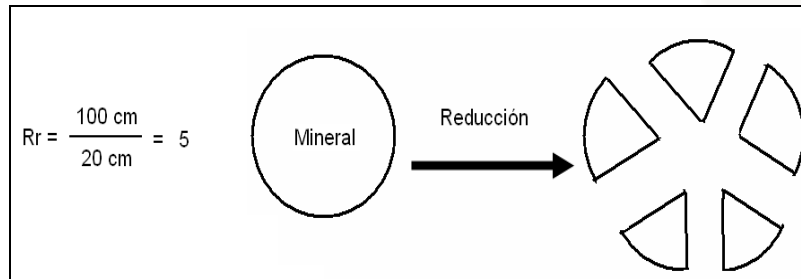


Figura 56 Razón de reducción

14.2 Tamaño P_{80}

Es el tamaño o abertura de un tamiz, por el cual pasaría el 80% del producto de un equipo de conminución o de clasificación (80 por ciento pasante).

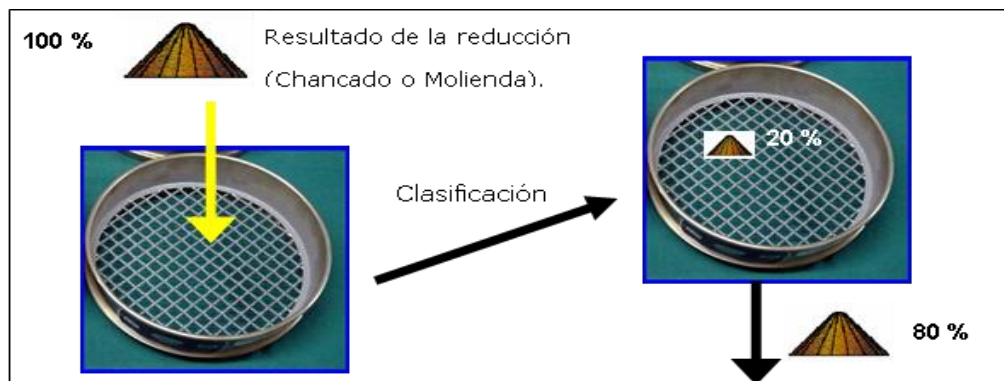


Figura 57 Tamaño P_{80}

14.3 Razón de Reducción del 80 %

- Es el cociente entre los tamaños 80% de la alimentación y el producto del equipo de reducción, respectivamente.
- Luego a mayor razón de reducción, mayor es el gasto de energía.
-

Valores típicos de razones de reducción son:

- Chancador de mandíbula : 3 - 4
- Chancador giratorio : 3 - 4
- Chancador de cono : 4 - 5
- Molino barra : 100
- Molino bola : 1000
- Molino AG y SAG : 3000

15. Consumo Energético

15.1 Consumo de energía

Las operaciones de reducción de tamaño se caracterizan por un alto consumo de energía. En general la energía consumida en los procesos de reducción de tamaño, se encuentra estrechamente ligada con el grado de reducción de tamaño de las partículas.

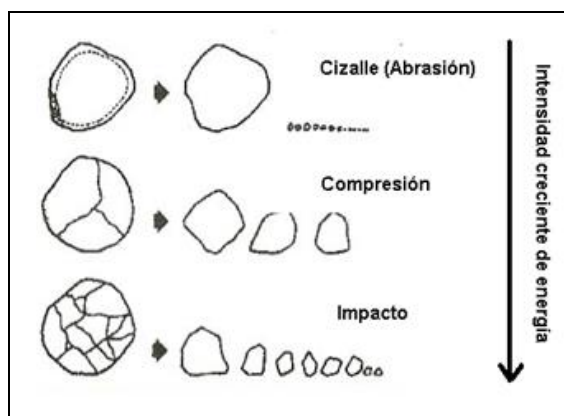


Figura 58 Consumo energía v/s grado de liberación

Los costos más relevantes del proceso global de beneficio de un mineral corresponden a la etapa de Reducción de Tamaño. Esto provoca que la operación se deba ejecutar de manera eficiente con el fin de controlar los costos de operación. En general el consumo de energía se distribuye de la siguiente manera, tal como lo describe la Tabla 15:

OPERACIÓN	KWH/TON	%

Reducción de tamaño	17,2	80,4
Concentración	1,5	7,0
Eliminación de colas.	1,2	5,6
Abastecimiento de agua	1,5	7,0
Total	21,4	100

Tabla 15 Consumo de energía en las diferentes etapas

Se observa que más del 80 % de la energía se consume en la etapa de reducción de tamaño.

Actividad N° 7

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en que el participante, con el apoyo de taller demostrativo de operación del chancador en laboratorio y de contenidos expuestos por el instructor en clases a través de computador y data show, deberá identificar y describir algunos de los principales chancadores y equipos auxiliares y, además indicar cuál es su función en el proceso.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Identificar los estándares básicos requeridos para el mantenimiento de los chancadores y equipos auxiliares.

Verificar funcionamiento mecánico de los chancadores, partes constituyentes y equipos auxiliares, para detectar anomalías y desperfectos.

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	

Tabla 16 Estrategias Metodológicas

Material y Recursos

Notebook

Data

Chancador en taller

Material audio visual de chancadores

Material de estudio impreso

Evaluación impresa

Desarrollo de la Actividad

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

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán análisis de riesgo, para determinar e implementar las medidas de control necesarios. Además usarán los EPP de acuerdo a los riesgos detectados.

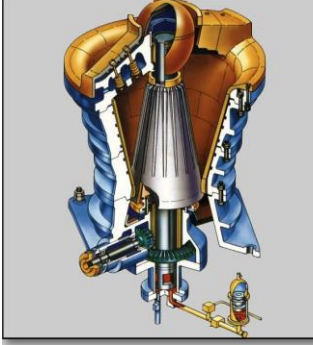
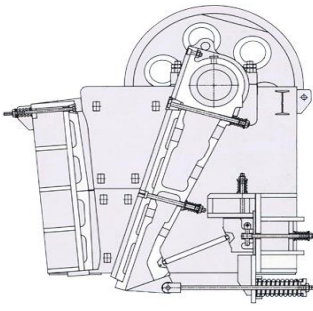
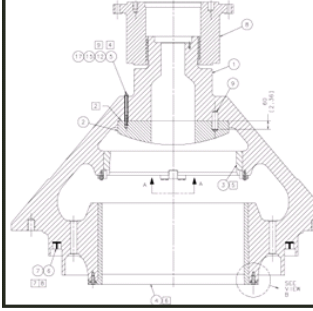


Figura 59 Elementos de Protección Personal Obligatorios

Los participantes guiados por el instructor realizarán una actividad de observación, reconocimiento y análisis de un chancador en movimiento. Este equipo deberá ser operado por el instructor en el taller.

El objetivo de la actividad es que el participante pueda identificar y describir los diferentes componentes del chancador y sus equipos auxiliares.

Los participantes deberán llenar la tabla de evaluación, respondiendo de forma detallada el nombre del componente y cuál es su función.

Equipo	Nombre del equipo	Función y componentes principales del equipo
		
		
		

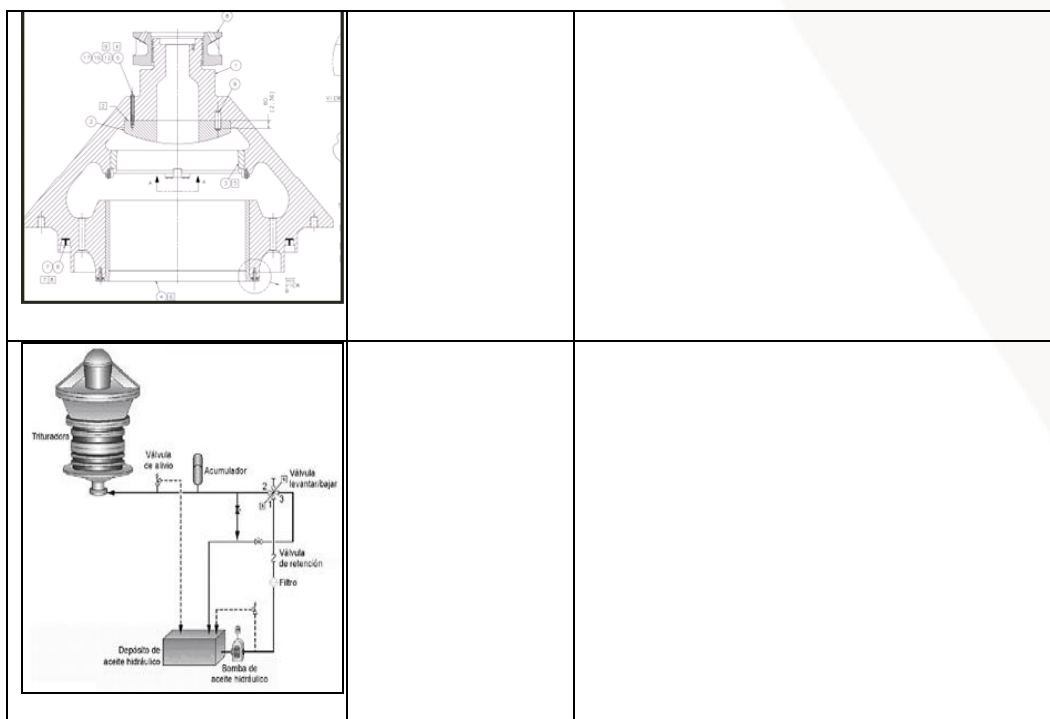


Figura 60 Identificación y función de los equipos

Cierre

Los participantes deben comprender la importancia de conocer los diferentes tipos de chancadores, cuál es su función dentro del proceso, conocer sus partes constituyentes y equipos auxiliares.

16. Tipos de Circuitos de Chancado

16.1 Circuito Abierto

La reducción se realiza sin integrar equipos de clasificación granular al sistema, o integrándolos pero sin recirculación, es decir, el material reducido no vuelve al equipo de reducción.

16.2 Circuito Cerrado

En este circuito, se integran equipos de clasificación granular en recirculación. El material reducido se clasifica, el sobre tamaño vuelve al equipo de reducción, y solo el bajo tamaño es considerado como producto.

16.3 Carga Circulante

En las operaciones en circuito cerrado se incorpora el concepto de carga circulante, normalmente expresada en %, que corresponde al peso de la carga que recircula en relación a la carga fresca. Carga circulante típica es el sobre tamaño de los harneros terciarios (oversize) que retorna a su alimentación después de haber pasado por los chancadores terciarios.

La carga determina en forma directa el número de chancadores terciarios en operación y marginalmente el número de harneros terciarios en operación. De igual modo, es un dato importante en la evaluación de la operación de la planta y una herramienta para manejar la granulometría del producto final.

Para aberturas dadas en las mallas de los harneros, los parámetros fundamentales que determinan la carga circulante son las características del mineral y la abertura de los chancadores primario, secundarios y terciarios.

La abertura de los harneros es un factor relevante, pero para una planta dada este valor se mantiene constante, ya que su cambio es una decisión que debe ser avalada por estudios previos. En forma específica, las características del mineral y la abertura de los chancadores

primarios y secundario se refleja en la granulometría de la carga fresca alimentada a los harneros terciarios, en la cual es relevante el % bajo la malla de corte de estos harneros.

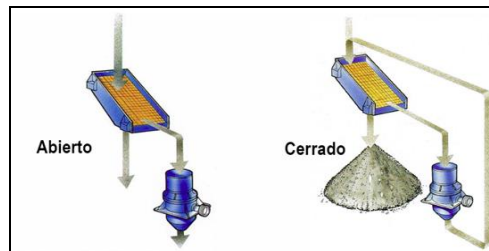


Figura 61 Circuito abierto y cerrado

17. Tipos de Chancado

17.1 Chancado primario

El objetivo de esta fase de trituración primaria es reducir el tamaño de las rocas extraídas de la mina hasta que tengan un tamaño adecuado necesario para el chancado secundario, o molienda Sag y molinos de bolas convencionales, y se sigan procesando aguas abajo.

17.2 Chancado Secundario

El objetivo de esta fase de trituración secundaria es reducir el tamaño de las rocas hasta que tengan un tamaño máximo de una pulgada, que es el adecuado para la siguiente etapa.

17.3 Chancado Terciario

El objetivo de esta última fase de trituración terciaria es reducir el tamaño de las rocas hasta que tengan un tamaño bajo la media pulgada, que es el adecuado para la etapa de molienda.

18. Equipos de Chancado y Componentes Principales

18.1 Chancador de Mandíbula

- **Componentes y principios de operación.**

Estos chancadores tienen su parte fundamental constituida por dos placas, muelas o mandíbulas, una fija y otra móvil que presiona fuerte y rápidamente a la otra fracturando el material que se encuentra entre ambas, formando un ángulo entre ellas (más o menos de 30°), las cuales actúan por aplicación de presión (compresión) para efectuar la trituración.

El tamaño de descarga del material se controla por el ajuste del chancador que es la abertura máxima de las mandíbulas en el extremo de descarga. Este se puede ajustar usando placas de articulación de la longitud necesaria.



Figura 62 Reducción de tamaño en un chancador de mandíbula

El desgaste sobre las mandíbulas se compensa moviendo el bloque de ajuste trasero que soporta la placa de la articulación posterior.

Los chancadores de mandíbula se clasifican por el método de apoyar la mandíbula móvil.

En el chancador Blake la mandíbula está apoyada en la parte superior y de ese modo tiene un área recibidora fija y una abertura de descarga variable. Tiene alta producción sin atascamiento.

En el chancador Dodge la mandíbula móvil está apoyada en la base, dándole un área de alimentación variable, pero área de entrega fija. Generalmente tienen baja producción.

En el chancador Universal la mandíbula móvil está apoyada en una posición intermedia y así tiene un área recibidora y de entrega variable

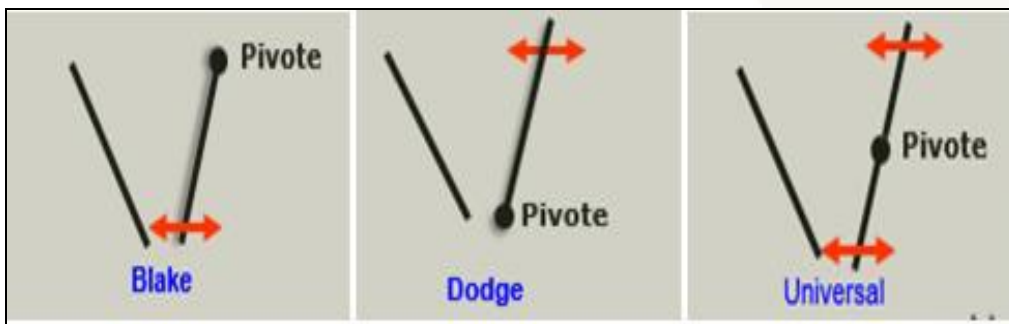


Figura 63 Accionamiento de los diferentes tipos de chancadoras

Sus componentes se detallan en la figura 64.

- A. Cuerpo rígido de acero fundido.
- B. Quijada fija.
- C. Quijada móvil.
- D. Eje excéntrico montado sobre rodamientos antifricción.
- E. Puente o toggle.
- F. Varilla de tensión.
- G. Resorte.
- H. Block de ajuste.
- I. Volantes fundidas.
- J. Tuerca de regulación para el tamaño del chancado.
- K. Contrapeso de la volante.

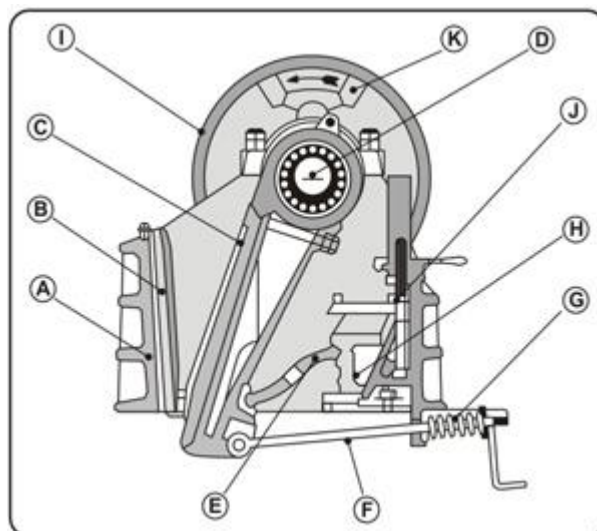


Figura 64 Componentes de un chancador de mandíbulas

Todos los chancadores de mandíbula se clasifican de acuerdo a sus áreas de abertura de admisión y el ancho de las placas o longitud de la boca. Por ejemplo, un chancador de

mandíbula de 1220 x 1830 tiene una abertura en la entrada de la alimentación de 1220 mm y un ancho de 1830 mm. Estas dimensiones pueden estar en pulgadas o milímetros.

TAMAÑO CHANCADOR	TAMAÑO ALIMENTAC. APROX.	RANGO CAPACIDAD TONS/HORA	RANGO TAMAÑO PRODUCTO	POTENCIA MAXIMA HP
48" x 60"	44"	450 - 660	5 ½" - 10"	250
42" x 48"	36"	380 - 580	5" - 10"	150
32" x 42"	26"	250 - 400	4" - 8"	100

Tabla 17 Clasificación de un chancador de mandíbulas

18.2 Chancador Giratorio

- **Componentes y principios de operación**

En el chancador giratorio, los materiales a triturar se reducen por compresión al igual que en un chancador de quijada o mandíbulas, con la diferencia de que aquí se realiza entre una pieza tronco cónica que tiene un movimiento giratorio excéntrico, al interior de un espacio limitado por una pared también tronco cónica pero invertida. De esta manera, la superficie con forma de tronco de cono se acerca sucesivamente a cada una de las generatrices de la pared cóncava fija para alejarse posteriormente. Los componentes se describen en la figura 65.

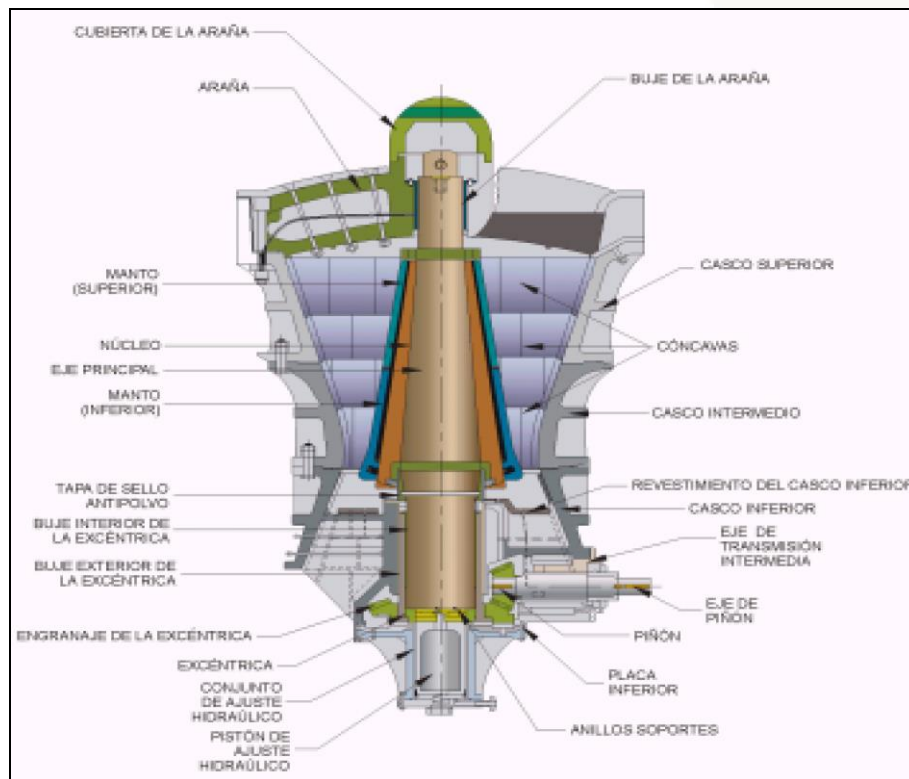


Figura 65 Chancador giratorio

Se podría considerar que su acción es la de un mortero manual. La cabeza trituradora móvil tiene forma de cono truncado invertido y está en el interior de una coraza que tiene el mismo contorno. La cabeza trituradora gira excéntricamente y el material que se tritura queda atrapado entre el cono externo fijo y el cono interno giratorio.

El chancador giratorio se considera como un número infinitamente grande de chancadores de mandíbulas, cada una de un ancho infinitamente pequeño. Puesto que el chancador giratorio, a diferencia del de mandíbulas, tritura durante todo el ciclo, tiene una capacidad mucho más alta que el chancador de mandíbulas de la misma abertura de alimentación y comúnmente lo prefieren las plantas que manejan producciones muy altas.

El mecanismo de accionamiento está compuesto por la excéntrica (la cual provee el movimiento giratorio del eje principal y manto), el engranaje, y el conjunto del contraeje (el cual incluye el piñón diferencial y su eje).

En la parte superior del triturador hay un sistema de soporte para el eje principal, conocido como *conjunto de la araña*. El conjunto de la araña incorpora un muñón maquinado que posiciona (restringe lateralmente) el extremo superior del eje principal.

El casco y eje principal están cubiertos con revestimientos de acero fundido llamados **cóncavas** en el casco y **mantos** en el eje principal. Cuando el manto se desgasta, el conjunto del eje principal se remueve y reemplaza con otro conjunto de eje principal rearmado. El manto en el

eje principal puede luego reemplazarse y alistarse para el próximo cambio. El reemplazo de las cóncavas se lleva a cabo in situ, con el conjunto del eje principal removido. Los revestimientos generalmente se reemplazan como un juego completo.

En un chancador giratorio, el extremo superior del eje principal está restringido lateralmente en la araña. Mientras tanto, el buje de excéntrica que posiciona el extremo inferior del eje principal aporta un movimiento oscilante al conjunto del eje principal o cabezal de trituración. El cabezal de trituración se acerca y aleja alternativamente de la superficie de trituración estacionaria exterior o cóncavas. A medida que el cabezal de trituración se aleja del casco, trozos de mineral caen dentro de la abertura. A medida que el cabezal de trituración se mueve hacia el casco, los trozos de mineral se rompen.

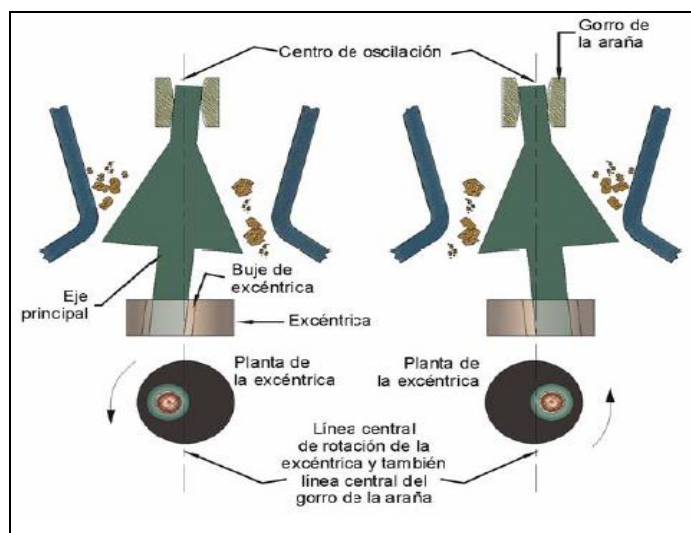


Figura 66 Movimiento excéntrico del chancador

Los chancadores giratorios se identifican por la abertura de alimentación y la anchura del manto en su base. Luego la alimentación al chancador deberá ser más pequeña que el 80% del tamaño de la abertura de alimentación, para así reducir la probabilidad de bloqueo, permitiendo una cámara de trituración llena, que distribuye en forma pareja las presiones de apoyo.

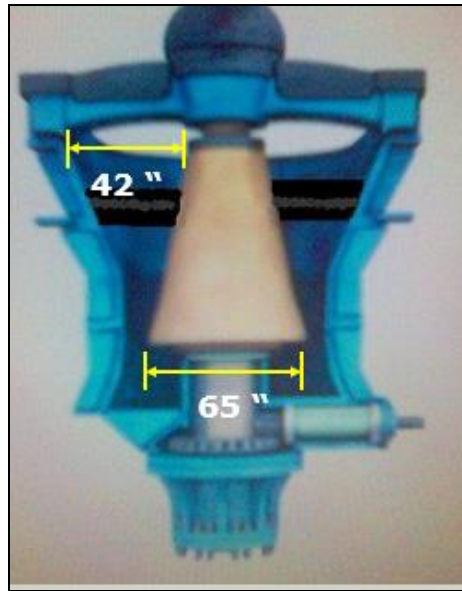


Figura 67 Chancador 42" x 65"

También se presta servicio al chancador primario mediante un pica roca hidráulico, montado sobre una pluma hidráulica. La pluma y el pica roca hidráulico se accionan por una unidad separada de energía hidráulica.

El pica roca hidráulico permite al operador romper rocas que son demasiado grandes para que ingresen a la cavidad del chancador. El pica roca está compuesto por una pluma montada sobre un rodamiento oscilante, un accionador oscilante, y un martillo de impacto hidráulico para romper aquellas rocas que son demasiado grandes. La pluma y el martillo se operan desde la sala de control usando dos palancas de mando. Una palanca sirve para realizar movimientos de inclinación y para subir y bajar la pluma. La otra palanca permite movimientos de oscilación hacia la izquierda/derecha y movimientos del brazo de la taza hacia adentro y hacia afuera para permitir que el operador coloque el martillo sobre la roca que desea romper.

La pluma del pica roca y el brazo de la taza toleran las cargas laterales. Sin embargo, no fueron diseñados para este propósito. Por lo tanto, no se recomienda que los costados del martillo, brazo de la taza o pluma se usen como martillo de impacto mientras se utiliza el accionamiento oscilante como fuente impulsora. Tampoco se recomienda usar el pica roca para empujar o tirar las rocas hacia los lados mediante la fuerza de accionamiento oscilante de la pluma. Pueden ocasionarse daños críticos. El accionamiento oscilante se debe usar solo para posicionar el martillo.

18.3 Chancador de Cono Estándar

- Componentes y principios de operación

El chancador de cono es un chancador giratorio modificado. La principal diferencia es el diseño aplanado de la cámara de chancado, con la finalidad de favorecer una alta capacidad y alta razón de reducción del material. El objetivo es retener el material por más tiempo en la cámara de chancado para realizar mayor reducción de este en su paso por la máquina.

El eje vertical del chancador de cono es más corto y no está suspendido como en el giratorio sino que es soportado por un soporte universal bajo la cabeza giratoria o cono. Puesto que no se requiere una boca tan grande, el casco chancador aumenta su diámetro hacia abajo lo cual permite el deslizamiento del mineral a medida que se reduce de tamaño, proporcionando un área seccional creciente hacia el extremo de descarga. Por consiguiente, el chancador de cono es un excelente chancador libre. La inclinación hacia afuera del casco permite tener un ángulo de la cabeza mucho mayor que en el chancador giratorio, reteniendo al mismo tiempo el mismo ángulo entre los miembros de chancado. Esto da al chancador de cono alta capacidad, puesto que la capacidad de un chancador giratorio es proporcional al diámetro de la cabeza. Componentes del chancador de cono se muestran en la figura 68

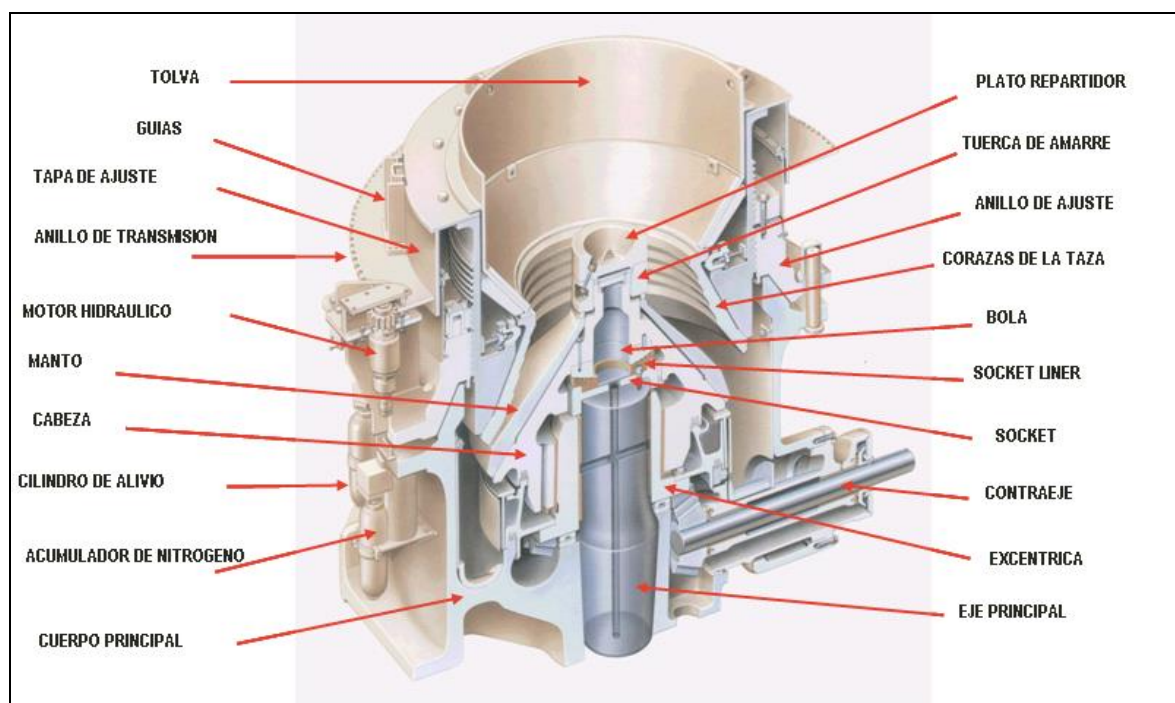


Figura 68 Chancador de cono estándar

18.4 Chancador de Cono Cabeza Corta

- **Componentes y principios de operación**

El Chancador de Cono de Cabeza Corta es un tipo de triturador de cono. Los chancadores de cono de cabeza corta, normalmente se utiliza como triturador terciario o en una cuarta etapa de trituración. Sin embargo, es posible usarla en algunos casos como triturador secundario.

Como se ve en la figura 69 el chancador de cono cabeza corta tiene un ángulo de cabeza más agudo que el estándar, lo cual ayuda a prevenir atoramiento debido al material más fino que procesa. También posee una abertura de alimentación más pequeña (máximo alrededor de 4 pulg), una sección paralela mayor en la sección de descarga, y entrega un producto entre 1/8 a 1 pulg (3 a 25 mm).

La sección paralela entre los revestimientos de la descarga es una característica de todas los chancadores de cono y son incorporados para mantener un control estrecho del tamaño del producto. La razón de reducción es este tipo de trituradora varía normalmente entre 1.5 y 2 a 1 y raramente más de 3:1.

Los chancadores terciarios normalmente operan en circuito cerrado con un harnero vibratorio.

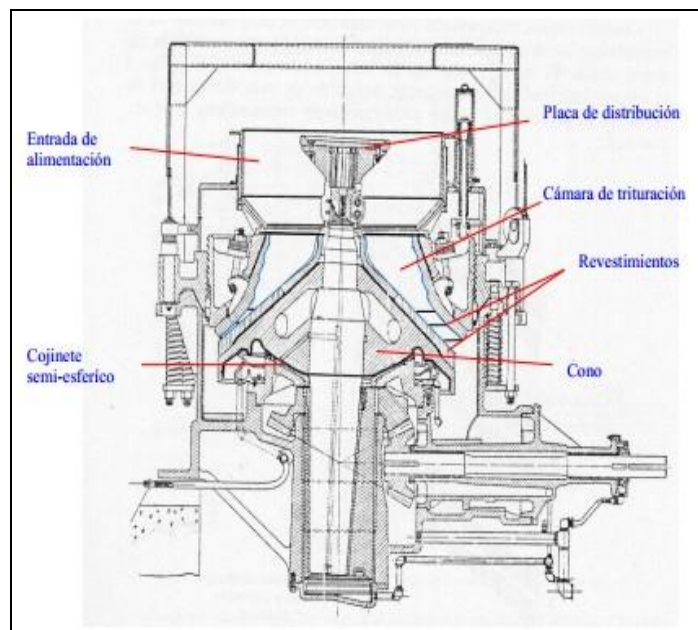


Figura 69 Chancador terciario

19. Sistema de Lubricación de los Chancadores

19.1 Sistema de Hidroset Chancador Giratorio

El chancador está equipado con un sistema de ajuste hidráulico que posiciona y soporta el conjunto del eje principal. El sistema de ajuste hidráulico consiste en un pistón hidráulico al interior de un cilindro en el fondo del conjunto del chancador que sube y baja el conjunto del eje principal para variar el ajuste abierto (OSS) del triturador. Las partes principales del sistema incluyen el conjunto del cilindro y pistón hidráulico, el sistema de suministro de aceite hidráulico y el acumulador hidráulico.

El sistema de ajuste hidráulico cumple tres importantes funciones:

- Sube o baja el manto según sea necesario para regular el ajuste de setting o despejar el chancador.
- Absorbe cargas de choque con el acumulador hidráulico a medida que la carga del chancador aumenta o disminuye.
- Aumenta el ajuste abierto (OSS) cuando un objeto inchancable pasa a través del chancador.

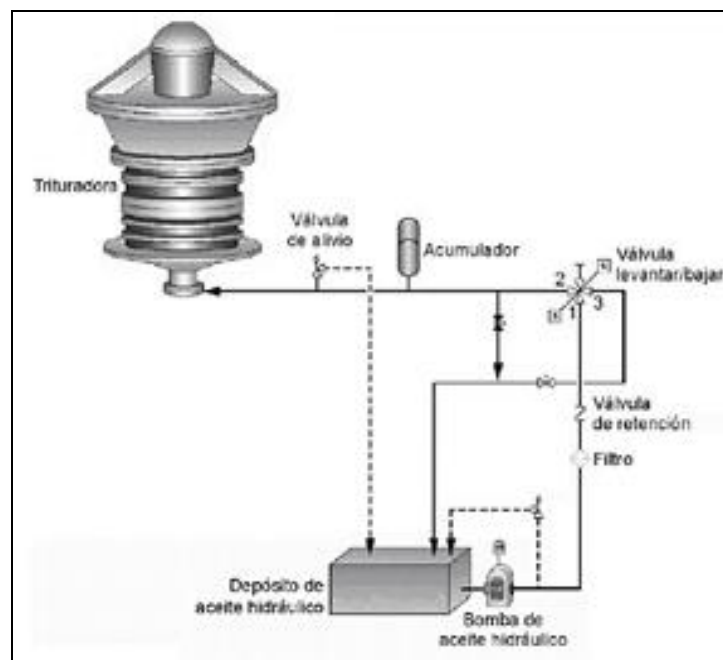


Figura 70 Sistema hidroset chancador giratorio

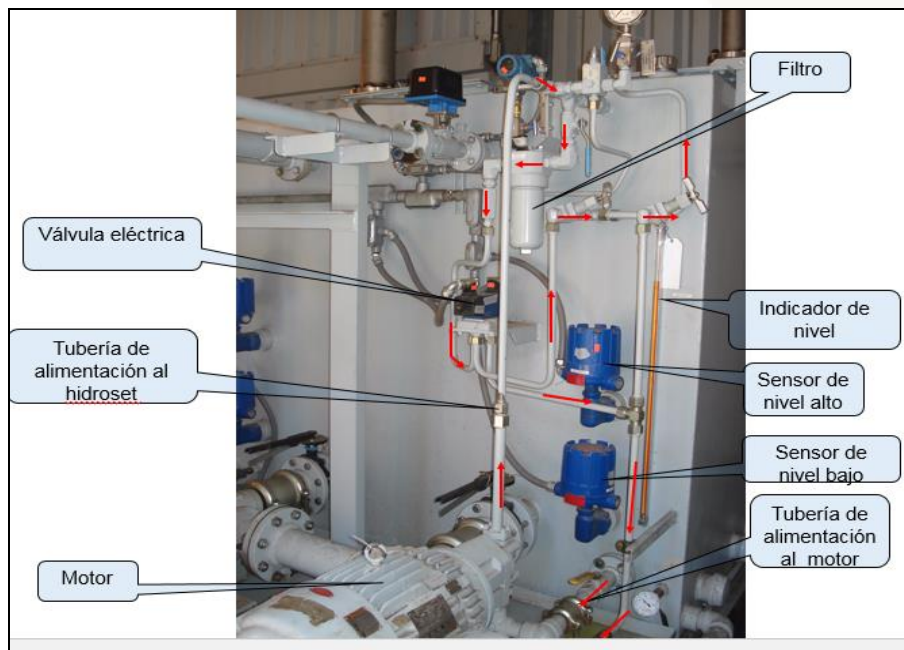


Figura 71 Estanque aceite sistema hidroset

El sistema de ajuste hidráulico combina equipos hidráulicos estándar en una disposición simple que posiciona verticalmente al manto para mantener una posición lateral abierta y constante a medida que las cóncavas y el manto se desgastan. El sistema incluye un pistón y un cilindro (estructura de cilindro hidráulico), un depósito de aceite, un par de bombas de ajuste hidráulico en una unidad de bombeo y un acumulador hidráulico.

Los trozos grandes y duros de mineral que caen en la cámara de chancado a veces fuerzan a que el eje principal se precipite "salto" hacia arriba. Cuando esto sucede, el aceite en el acumulador que se encuentra en la línea de aceite actúa para evitar que el eje principal se caiga en forma repentina y posiblemente produzca algún tipo de daño.

El acumulador cuenta con un cilindro con nitrógeno a presión en un costado y aceite en el otro. Cuando el eje principal se precipita "salto", la presión hidráulica se reduce, la presión del nitrógeno hace salir más aceite del acumulador y lo hace ingresar al cilindro hidráulico para evitar que el eje principal se caiga repentinamente.

Cuando se obtiene presión normal en el sistema, el aceite que regresa al acumulador facilita el retorno del eje principal a su posición de operación normal.

El acumulador realiza la importante función de proteger los componentes del chancador de posibles daños producidos por trozos grandes de roca o trozos sueltos de fierro (inchancables).

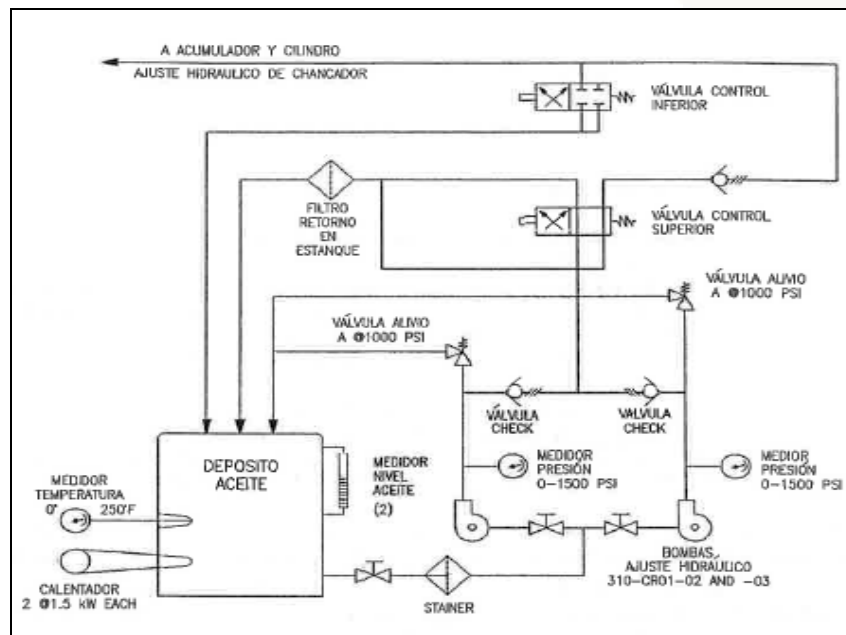


Figura 72 Sistema de ajuste hidráulico chancador giratorio

19.2 Sistema de lubricación chancador giratorio

Para funcionar correctamente, un chancador giratorio debe lubricarse con aceite limpio y frío y, con grasa.

La sección excéntrica del chancador esta lubricada con aceite que es bombeado dentro en tres puntos. Estos puntos son el pistón de soporte hidráulico, los rodamientos del contraeje y los bujes excéntricos exteriores.

El buje de araña esta lubricado con un sistema automático de lubricación de grasa.

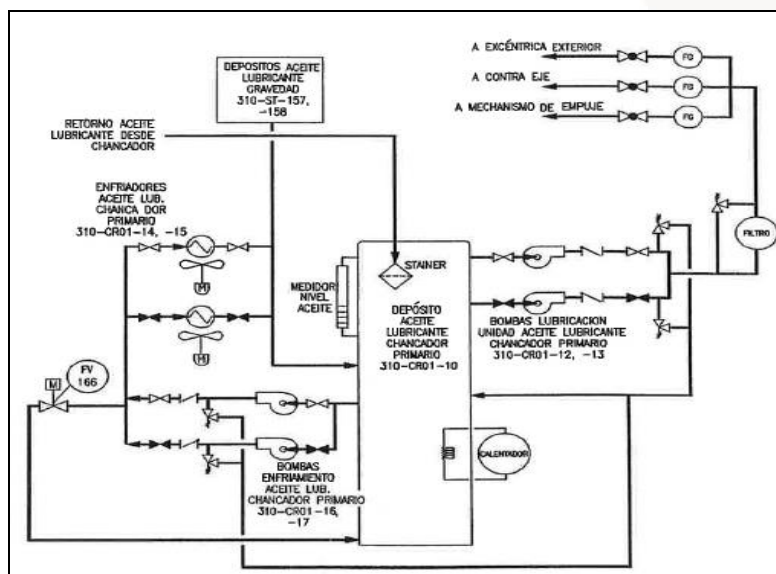


Figura 73 Sistema de lubricación chancador

La figura 73 muestra el sistema de lubricación de aceite del área excéntrica. Dicho sistema, que provee de aceite lubricante a los bujes, rodamientos del contraeje, y engranajes está compuesto de dos bombas de aceite lubricante, un filtro de aceite, dos enfriadores de aceite, dos bombas de enfriamiento de aceite lubricante y un depósito de aceite.

La mayor parte del aceite ingresa alrededor del pistón de soporte hidráulico, lubrica los anillos de soporte del eje principal y fluye hacia arriba a través de la excéntrica para lubricar el buje excéntrico interior.

En la parte superior de la excéntrica, la mayor parte del aceite fluye hacia abajo por gravedad, entre la excéntrica y el buje excéntrico exterior, lubricando estas superficies. El aceite se descarga sobre el engranaje.

La cantidad de aceite que no fluye hacia abajo por el buje excéntrico exterior es conducido por un drenaje que se encuentra detrás del buje excéntrico exterior a un punto de descarga sobre el engranaje. El aceite que es introducido en el buje excéntrico exterior también se descarga sobre dicho engranaje. Todo el aceite fluye dentro del área que se encuentra bajo el engranaje y es drenado desde el chancador por gravedad a través de una línea de drenaje de vuelta al depósito de aceite lubricante del chancador primario.

El puerto de entrada del depósito está equipado con un filtro de malla para atrapar los desechos e impurezas que pasan por la tubería del chancador.

El filtro de aceite lubricante está equipado con un indicador de presión diferencial y un switch que hace activar una alarma para indicar que hay un filtro tapado. Dos bombas de enfriamiento de aceite lubricante del chancador primario hacen circular el aceite lubricante desde el

depósito a través de dos enfriadores de aceite lubricante enfriados por aire y devuelven el aceite enfriado al depósito.

Un calentador de aceite sumergido en el depósito de aceite lubricante mantiene el aceite a no menos de 38°C. Solo debería operar a la vez una bomba de aceite lubricante, una bomba de enfriamiento de aceite lubricante, y un enfriador de aceite lubricante.

El accionamiento del chancador comenzará solo si la bomba de aceite lubricante y el soplador de sello de polvo han estado funcionando por 15 minutos y se ha establecido tanto el flujo de aceite como la temperatura.

19.3 Sistema de lubricación chancador de cono estándar y cabeza corta

Los aceites son inflamables y perjudiciales para el medio ambiente y pueden producir daños y contaminación.

Existen dos sistemas de lubricación independientes, el sistema de lubricación principal y el sistema de lubricación del porta rodamientos de collar.

La unidad de depósito independiente está compuesta por una caja de componentes y un depósito de aceite. La caja de componentes incorpora las bombas accionadas por motor, el filtro de aceite y diversos dispositivos de seguridad.

En el circuito de lubricación principal, el aceite sale por bombeo del depósito y pasa por el filtro y el intercambiador o intercambiadores de calor antes de llegar a la entrada principal de aceite del chancador. El aceite que entra en el chancador se envía por presión a través de las ranuras y sube por entre el casquillo excéntrico y el eje principal y por entre el casquillo de soporte de fondo y la excéntrica para lubricar estos apoyos. El aceite lubrica la placa de desgaste y los engranajes cónicos antes de regresar a la unidad de depósito por la acción de la fuerza de gravedad.

Pese a la prueba de funcionamiento del depósito, antes de la puesta en marcha deben controlarse todos los instrumentos e indicadores.

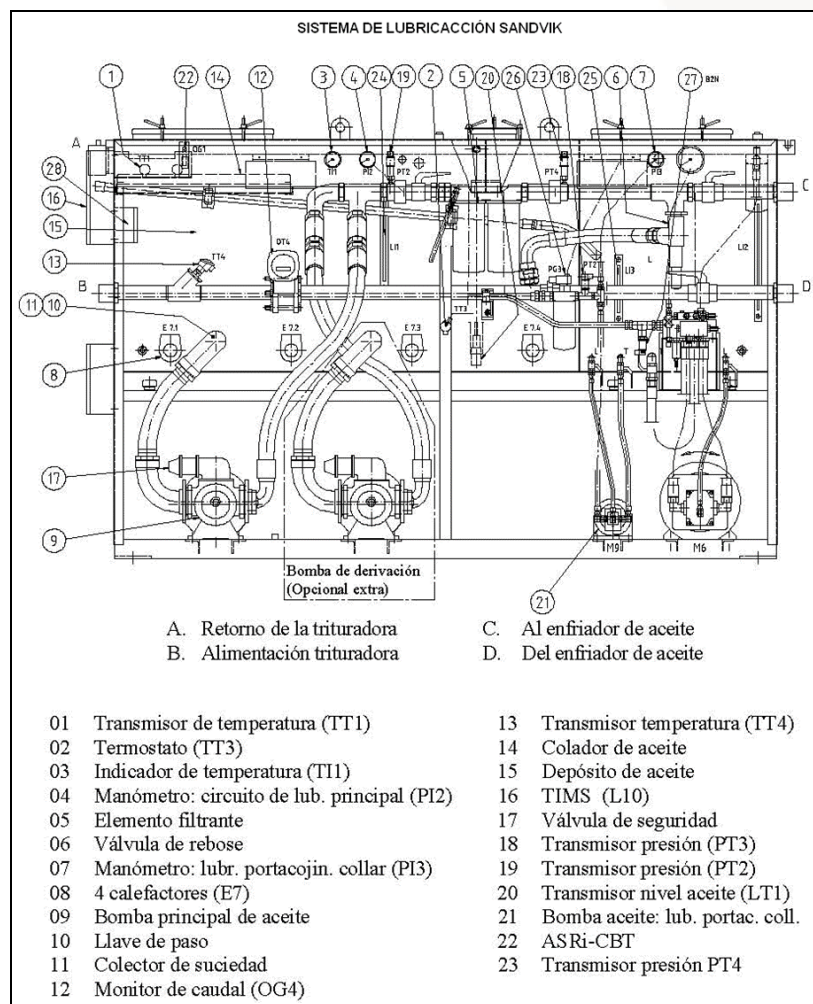


Figura 74 Sistema de lubricación chancador de cono

Introducción a la Actividad

La siguiente actividad consiste en que el participante, con el apoyo del Instructor realizará análisis granulométrico a una muestra preparada de mineral, 100 % - 10 # Tyler o -12 # ASTM, luego deberá llenar la tabla de análisis granulométrico, para posteriormente graficar los resultados para determinar el P80 de la muestra.

Esta actividad es para incrementar sus conocimientos sobre los fundamentos de la etapa de clasificación por harneros de minerales en seco, etapa que se efectúa en el proceso de chancado, de acuerdo a contenidos expuestos por el instructor en clases a través de computador y data show.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Verificar condiciones operacionales en los harneros y partes constituyentes, con la finalidad de detectar parámetros de operación fuera de rango y corregirlas. Esto se realiza simulando el proceso con la serie de tamices apoyados con un Ro tap.

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 18 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Muestra mineral.
 Tamizador Rotap.
 Serie Tamices Tyler o ASTM.
 Cubierta de plástico (pañó roleador)
 Bandejas
 Espátulas.
 Balanza digital.



Figura 75 Ro-tap y serie tamices

TYLER	ASTM	Abertura Nominal (µm)	Ø Nominal Alambre (µm)
0.371"	3/8"	9510	2240
0.312"	5/16"	8000	2000
0.263"	0.263"	6730	1800
	¼"	6350	1800
3	3	5660	1600
4	4	4760	1600
5	5	4000	1400
6	6	3360	1250
7	7	2830	1120
8	8	2380	1000
9	10	2000	900
10	12	1680	800
12	14	1410	710
14	16	1190	630
16	18	1000	560
20	20	841	500
24	25	707	450
28	30	595	400
32	35	500	315
35	40	420	280
42	45	354	224
48	50	297	200
60	60	250	160
65	70	210	140
80	80	177	125
100	100	149	100
115	120	125	90
150	140	105	71
170	170	88	63
200	200	74	50
250	230	63	45
270	270	53	36
325	325	44	32
400	400	37	30

Tabla 19 Series de tamices Tyler y ASTM

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán un análisis de riesgos, para determinar los EPP necesarios para desarrollar la actividad.

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



Figura 76 Elementos de protección obligatorios

El participante tomará desde la bolsa plástica, la muestra mineral en un recipiente limpio y seco, debiendo realizar el procedimiento de cuarteo.

Luego de lo anterior, deberá pesar, aproximadamente, 1 kg de muestra de mineral, registrando el peso exacto.

Preparará el set de tamices de mayor a menor abertura y en la parte inferior se colocará la bandeja receptora de finos.

Colocará la muestra en el tamiz superior y se deberá colocar la tapa.

Se coloca el set de tamices en el ro-tap y dará partida. Se dejará tamizando durante quince minutos.

Se descargará el set de tamices y se deberá registrar el peso de las muestras retenidas por cada malla. Es importante que el material de cada tamiz sea manejado con precaución para evitar y pérdidas en el peso total.

Ingresar los pesos obtenidos en la tabla de análisis granulométrico y lo deberá completar siguiendo las instrucciones entregada en clases por el instructor.

Con la tabla del análisis granulométrico desarrollado, los participantes deberán construir una gráfica, en donde en el eje de las ordenadas irán descritas las diferentes masas retenidas, expresadas en porcentajes acumulados y en el eje de las abscisas las aberturas de las mallas empleadas.

Tabla 20 Tabla de análisis granulométrico

MALLA No	ABERTURA DE MALL mm	RETENIDO PARCIAL (grs)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)

A partir del gráfico se deberá determinar el pasante 80 % (P_{80}) de la muestra.

Cierre de la Actividad

El instructor deberá comparar con los participantes los resultados obtenidos en los análisis granulométricos realizados. Se analizará la importancia de la obtención del P_{80} en el proceso de la clasificación de los harneros en la etapa de chancado y la incidencia en la operación aguas abajo.

20. Etapas en el Proceso de Chancado

20.1 Chancado con Molienda Convencional

Cuando se tiene estipulado un proceso con molienda convencional (molino de bolas) es necesario llevar a cabo dos o tres etapas previas de chancado. Por ejemplo: flotación

Así mismo, en algunos procesos que no requieren molienda, el tamaño óptimo para el proceso siguiente se obtiene con dos o tres etapas de chancado. Por ejemplo: lixiviación en pilas.

El material chancado se acopia en los stock pile y por medio de alimentadores, que extraen mineral desde estos acopios, a través de túneles, alimentan por correas transportadoras a los molinos convencionales con mineral de tamaño entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulg.

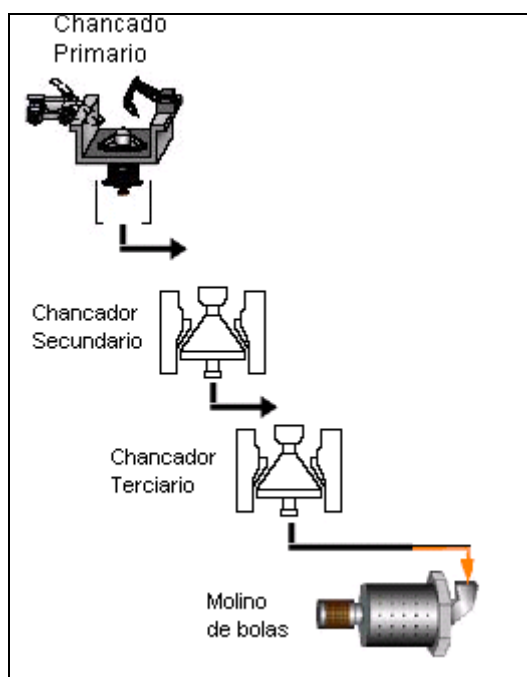


Figura 77 Chancado con molienda convencional

20.2 Chancado con molienda SAG

Cuando se tiene estipulado llevar a cabo molienda SAG, solo es necesario llevar a cabo una etapa de chancado (chancado primario). Para la molienda SAG, se requieren rocas de un tamaño intermedio que permita moler las rocas pequeñas.

En la actualidad, este circuito es el que se realiza, apoyado con el desarrollo de la tecnología SAG, preferido además por el ahorro de energía al no tener que llevar a cabo etapas secundarias y terciarias de chancado.

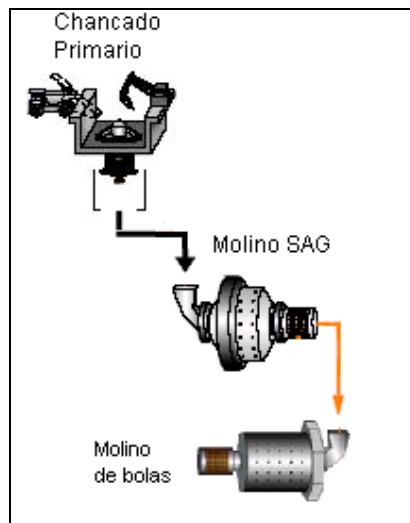


Figura 78 Chancado con molienda SAG

21. Parámetros y Variables a Controlar en el Proceso de Chancado

21.1 Setting de los chancadores

El chancador está equipado con un sistema de ajuste hidráulico que posiciona y soporta el conjunto del eje principal. El sistema de ajuste hidráulico consiste en un pistón hidráulico al interior de un cilindro en el fondo del conjunto del triturador que sube y baja el conjunto del eje principal para variar el ajuste abierto (OSS) del triturador. Las partes principales del sistema incluyen el conjunto del cilindro y pistón hidráulico, el sistema de suministro de aceite hidráulico y el acumulador hidráulico.

21.2 Velocidad de alimentación a chancadores

Es importante mantener el nivel en el acopio de mineral grueso, se realiza para satisfacer el rendimiento total requerido de la planta, sin obstruir la descarga del chancador. El mantenimiento del nivel en la tolva de compensación también asegura la velocidad de alimentación a los chancadores, además que el mineral no caerá directamente sobre el alimentador de descarga, dañándolo.

Este nivel debe mantenerse entre un 80% y 20% como nivel máximo y mínimo respectivamente.

21.3 Tamaño de producto de salida del chancador

El objetivo funcional de la trituración es reducir el tamaño máximo del mineral desde aproximadamente 1 metro hasta que el 80 por ciento pase un tamaño de aproximadamente 178 milímetros, aproximadamente (7 pulg) conforme al rendimiento total requerido. Este objetivo deberá lograrse con un mínimo de tiempo improductivo y costos de operación óptimos, manteniendo la salud y seguridad del personal de la planta.

22. Clasificación de Minerales

22.1 Fundamentos de la Clasificación

La clasificación es la operación en la que se produce la separación de un sistema particulado, con una cierta distribución granulométrica en dos fracciones, que se consiguen al pasar el sistema particulado a través de una superficie perforada con un abertura determinada, una con una distribución en que prevalecen los tamaños mayores y otra en la que prevalecen los tamaños menores.

Esta operación es de amplio uso industrial y su objetivo principal es manipular las distribuciones de tamaños de los flujos de una planta con el fin de optimizar el comportamiento de otras operaciones. El principio utilizado para producir la separación depende de la magnitud de los tamaños de las partículas que componen el sistema. Cuando se trata de tamaños gruesos la separación se produce por impedimento físico de una superficie provista de aberturas, la que retiene sobre ella aquellas partículas con tamaños mayores que su abertura, en este caso la operación de clasificación se denomina Harneado.

Existe una gran variedad de propósitos que justifican una separación por tamaños, los principales en la industria minera son:

- Prevenir la entrada de finos a las etapas de reducción de tamaño, se evita la producción de lamas y se aumenta la capacidad y eficiencia del proceso.
- Prevenir que los gruesos pasen a la siguiente etapa, en circuito cerrado en operaciones de reducción de tamaño.
- Preparar un material de rango de tamaños más estrecho para aumentar la eficiencia de otras operaciones en el procesamiento de minerales: flotación, concentración gravitacional, etc.

22.2 Equipo de clasificación de minerales en seco (Harnero)

Un harnero es una superficie con una multiplicidad de aberturas de una cierta dimensión, de tal forma que al pasar un sistema particulado pasa sobre ella, retendrá las partículas con tamaños

mayores que la abertura, dejando pasar las de tamaño menor. Estas superficies están constituidas por barras paralelas, placas perforadas o mallas de alambres.

Las superficies con aberturas pequeñas son por naturaleza más cara y de menor resistencia física, presentando además, en la operación, una alta tendencia a bloquearse con partículas retenidas. Esto hace que la operación de harneo se vea en la práctica, restringida a materiales con tamaños mayores que 250 μm .

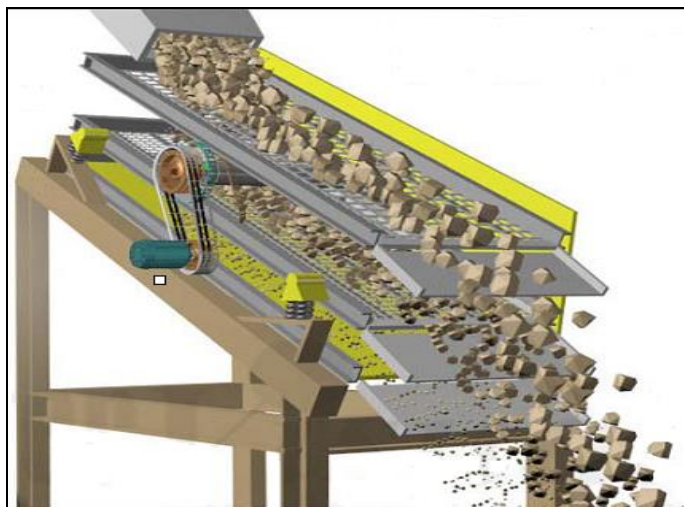


Figura 79 Harnero

22.3 Tipos de Harneros

Existe un buen número de harneros industriales que generalmente se agrupan en dos tipos, estacionarios y móviles.

- Harneros estacionarios (Parrilla o Grizzly). Son dispositivos que están constituidos por un conjunto de barras paralelas, dispuestas en un marco y ubicadas en la misma dirección del flujo de material. Se utilizan para la separación de sistemas constituidos por partículas gruesas en los circuitos de chancado. La parrilla se ubica con una inclinación que varía entre 20 y 50 grados para permitir el deslizamiento de las partículas. Así entonces mientras mayor es su inclinación mayor es la capacidad, pero menor su eficiencia.

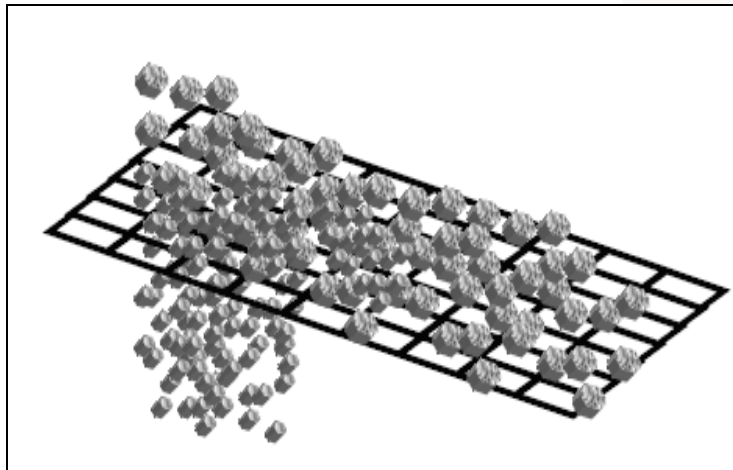


Figura 80 Parrilla o grizzly

- Harneros móviles (Trommel). Este dispositivo está constituido por una malla cilíndrica que gira sobre su eje. Suelen ubicarse en serie, uno a continuación del otro o en forma concéntrica. Al ubicarlos en línea, se genera un inconveniente, ya que la malla más fina recibe toda la alimentación (malla físicamente más débil); y en forma concéntrica, el inconveniente es que es difícil detectar y reparar fallas en las mallas interiores. Se utilizan en seco o con pulpas, son de bajo costo pero tienen una baja capacidad.

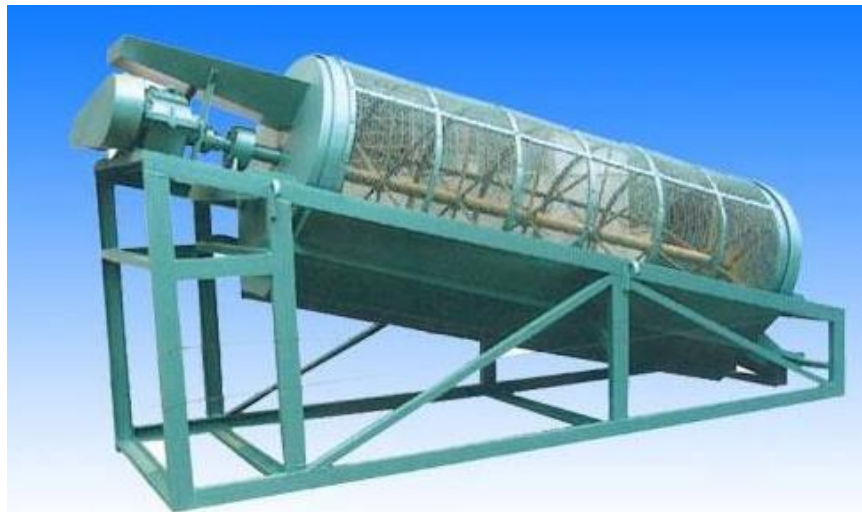


Figura 81 Harnero trommel

- Harneros vibratorios. Es el equipo más utilizado en el procesamiento de minerales. Su mayor aplicación está en los circuitos de chancado. Está constituido por una malla de acero o plancha de goma perforada montada en un marco, al cual se le induce una vibración vertical en forma mecánica o eléctrica. Esto se realiza, mediante solenoides

unidos al marco, o mediante una polea excéntrica o descompensada. Todo este sistema está montado sobre resortes o soportes de goma.

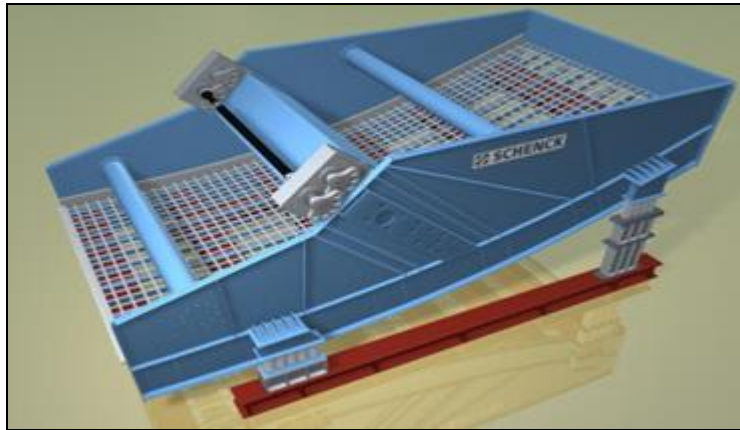


Figura 82 Harnero vibratorio

22.4 Parámetros a controlar en la operación de un harnero

La eficiencia de una operación de harneado está relacionada íntimamente con su capacidad. Así, un flujo de alimentación bajo permitirá un mayor tiempo de residencia del material en el harnero, lo que contribuirá a una separación más perfecta.

En la práctica, el factor económico lleva a operar con flujos relativamente altos, lo que reduce el tiempo de residencia y aumenta el espesor de la cama de material que fluye sobre el harnero, y a través de la cual deben movilizarse las partículas finas hacia la superficie del harnero. El efecto neto es una reducción en la eficiencia.

Una alta capacidad y eficiencia son requerimientos opuestos para una operación dada, por lo que se debe llegar a una situación de compromiso para alcanzar un resultado óptimo.

Para una capacidad dada, la eficiencia de la operación de harneado depende de la probabilidad que tiene la partícula de pasar a través del harnero una vez que ha alcanzado su superficie. Esta probabilidad está dada por el producto del número de veces que la partícula choca con la superficie multiplicado por la probabilidad de paso en cada uno de los choques.

El número de veces que la partícula choca con la superficie depende tanto del flujo de alimentación como de la vibración que se induzca al harnero. Esta tiene como objetivo aumentar la eficiencia reduciendo el bloqueo de la malla e induciendo segregación en el lecho de partículas, lo que permite al fino alcanzar la superficie.

Por otra parte, existen varios factores que afectan la probabilidad de paso de la partícula a través de la malla:

- El ángulo de aproximación de la partícula a la superficie. Mientras más perpendicular sea esta aproximación, mayor será la probabilidad de paso.
- Orientación de la partícula. Para partículas de forma irregular siempre existirá una orientación en que ésta presentará una sección transversal mínima, lo que aumenta la probabilidad de paso.
- La fracción de área libre de la superficie. Esta fracción de área decrece al disminuir el tamaño de la abertura.
- Naturaleza del material. Es otro factor muy importante, pues la eficiencia se reduce drásticamente cuando existe una alta fracción de partículas con tamaños cercanos a la abertura, ya que esta situación favorece el bloqueo de la malla reduciéndose significativamente el área libre.
- Humedad y presencia de arcillas. Estas producen aglomeración de partículas y bloqueo de las aberturas. El harneado debe realizarse, de preferencia con materiales secos o con pulpas, pero nunca con materiales con alta humedad. El harneado de pulpas es más eficiente que en seco, pues el agua lava las partículas gruesas y limpia la superficie del harnero. Pese lo anterior, el costo de secado de los productos hace que se prefiera la operación en seco.
- Es muy importante realizar inspección rigurosa y periódica del conjunto de elementos del harnero para detectar anticipadamente fallas al equipo y así asegurar buena eficiencia de clasificación.

Introducción a la actividad

La siguiente actividad se divide en dos etapas en lo que concierne a los fundamentos del Proceso de Chancado: Chancado y Clasificación de Tamaño.

De esta forma, el participante, con el apoyo del Instructor realizará un taller de chancado de mineral y posteriormente realizará análisis granulométrico a muestra chancada.

Deberá llenar la tabla de análisis granulométrico a la muestra de alimentación y producto del chancado y posteriormente graficar los resultados para determinar el F80 y P80 de la muestra.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla.

Verificar condiciones operacionales en los chancadores y equipos auxiliares para detectar parámetros de operación fuera de rango y corregirlas, según estándares 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 21 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Muestra mineral

Chancador de laboratorio.

Tamizador Rotap

Serie de tamices Tyler o ASTM

Cubierta de plástico.
Bolsas plásticas con muestras de material grueso.
Escobilla de bronce
Balanza digital
Muestreador Rifle
Bandejas

Elementos para medir setting del chancador (plomada, pie de metro)



Figura 83 Chancador de laboratorio

Desarrollo de la Actividad

Antes de ingresar al taller, los participantes realizarán análisis de riesgos, para determinar los riesgos involucrados y los EPP necesarios para desarrollar la actividad.



Figura 84 Elementos de Protección Personal Obligatorios

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

Los participantes deberán recoger una muestra de mineral grueso (2 pulg diámetro aproximadamente).

Establecer el F80 antes de ingresar a reducción de tamaño, a través de análisis granulométrico (para una muestra de aproximadamente 1 kg, aplicando técnica de reducción de muestra por roleo o cortador tipo rifle).

Procederán a chancar el mineral, en presencia del instructor y según indicaciones e instrucciones impartidas por el instructor antes de iniciar el taller.

Deberán medir y ajustar setting del chancador para obtener un P_{80} de 5mm.

Alimentarán al chancador con el mineral para la reducción de tamaño.

Realizarán el análisis granulométrico al material chancado con los tamices que indique el instructor y con los datos llenarán la tabla de análisis granulométrico para determinar el P_{80} .

Determinarán R_{80} por los datos obtenidos a las gráficas

Cierre de la Actividad

El instructor podrá comparar con los participantes, los resultados obtenidos.

Los participantes deberán comentar si los diferentes ajustes de abertura del chancador, es un factor que influyó en los resultados y si la granulometría de alimentación también influyó en la granulometría producto de la operación de chancado.

23. Transporte de Minerales

23.1 Fundamentos del transporte de minerales

El sistema de correas transportadoras es utilizado ampliamente en la minería para el transporte de sólidos, siendo diseñadas para trabajar como unidades individuales o sistema en conjunto, dependiendo de las necesidades del proceso. Su longitud puede ir desde unos pocos metros a varios kilómetros de distancia e igualmente su capacidad, la cual puede variar desde unos pocos kilos a varias toneladas.

El transporte de material mediante correas o cintas transportadoras data de aproximadamente el año 1795. La mayoría de éstas tempranas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente plano, así como en cortas distancias. El primer sistema de cinta transportadora era muy primitivo y consistía en cuero, lona, o correa de goma que viaja sobre una cama de madera plana.

Una correa transportadora es un dispositivo mecánico accionado por un sistema motriz (polea motriz, ubicada normalmente en el extremo de descarga) que consta de una correa o cinta transportadora sinfín, la que está revestida para evitar el desgaste por abrasión y reforzada para soportar la carga y la tensión, está soportada por una serie de polines, los cuales permiten su deslizamiento y transporte por su estructura.

23.2 Equipos para el transporte de minerales

La elección del equipo para transportar material sólido depende de un gran número de factores, siendo los más importantes la capacidad, la forma y tamaño del material y la forma en que el material ha de ser transportado: Horizontalmente, verticalmente o en plano inclinado.

La alimentación de la carga se debe realizar en el centro de la correa y procurando el traspaso inicial de material fino, que permita amortiguar la caída del material grueso. La correa cuenta en esta sección con polines de impacto o amortiguamiento.

Una vez descargado el material, la correa retorna para ser apoyada sobre polines de retorno y por la acción de una polea de retorno ubicada normalmente en el extremo de carga o alimentación. En el retorno de la correa se ubican dispositivos limpiadores que permiten retirar el material adherido sobre la cubierta de carga.

Las correas transportadoras están clasificadas como equipos críticos por que representan un alto riesgo de accidentes debido a sus partes en movimiento o mecanismos giratorios.



Figura 85 Correa transportadora

23.3 Características de los alimentadores de correa

El alimentador de correa se usa para remover, o recuperar, el mineral triturado del acopio y tiene muchas de las mismas características de una correa transportadora ordinaria. El alimentador de correa se ubica en un túnel debajo del acopio de mineral chancado.

El mineral chancado cae a los alimentadores a través de orificios de extracción ubicados debajo del acopio de mineral.



Figura 86 Alimentador de correa

La correa misma consiste en capas de tela y caucho adheridas entre sí. Las capas superior e inferior son de caucho para resistir la abrasión y son de un espesor apropiado para cada tarea en particular.

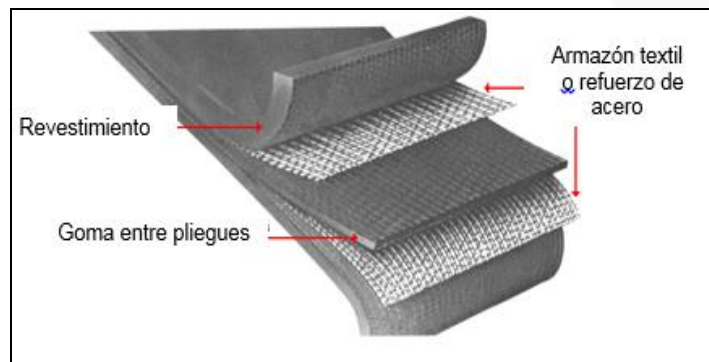


Figura 87 Configuración de una correa transportadora

23.4 Características de las correas transportadoras

Capacidad

Las correas transportadoras no tienen competencia en cuanto a capacidad de transporte. A una velocidad de 5 m/s, y un ancho de cinta de 1600 mm, ésta puede descargar más de 100 toneladas métricas por minuto de material.

Adaptación a los diferentes terrenos

Las correas transportadoras pueden seguir la naturaleza ordinaria del terreno, debido a la habilidad que poseen para atravesar pasos relativamente inclinados (pendientes y gradientes de hasta 18°, dependiendo del material transportado).

Bajo peso de la estructura del transportador

El bajo peso de carga y de la estructura del transportador por metro lineal se consigue con un diseño estructural simple que permita atravesar terrenos escabrosos o pendientes muy pronunciadas.



Figura 88 Estructura de correa transportadora

Múltiples compuertas y puntos de descarga. Estas características son importantes en la minería o en excavaciones, en donde dos o más operaciones de cavado pueden dirigirse a un mismo punto central de carga.



Figura 89 Versatilidad de la correa transportadora

Si se trata de transportar productos a granel, los siguientes datos son imprescindibles:

- El peso específico aparente del material a transportar.
- Su granulometría.
- Su configuración.
- Su dureza.
- Abrasividad y/o corrosividad
-

Estas características, incidirán en forma directa en el comportamiento de la correa en puntos tan comprometidos como las zonas de carga y descarga.



Figura 90 Humedad en correa transportadora

Trabajo a desarrollar por la correa transportadora

Se deberá valorar adecuadamente la cantidad de productos que se va a transportar. La determinación de la capacidad de transporte exige manipular adecuadamente los valores de velocidad, el ancho y grosor de la correa, la distancia entre el punto de alimentación y el de descarga, la configuración de la cuna de deslizamiento y el peso específico aparente del material a transportar.

Tensión del trabajo

La correa de un transportador está sometida a una serie de esfuerzos que deben ser absorbidos por la resistencia de la propia correa, así como también el peso del material a transportar, destacamos entre estos esfuerzos:

- El peso de la propia banda.
- Los rozamientos con la cuna de deslizamiento.
- Los eventuales raspadores, gualderas, desvíos.
- Las cargas y descargas.
- Largo de la correa.

Características de la cubierta de caucho

Las cubiertas de caucho sufren agresiones provocadas por los fenómenos físicos y químicos que intervienen en el transporte que son originados por las características del elemento a transportar, por las del ambiente que rodea la instalación y por las características técnicas del transportador.

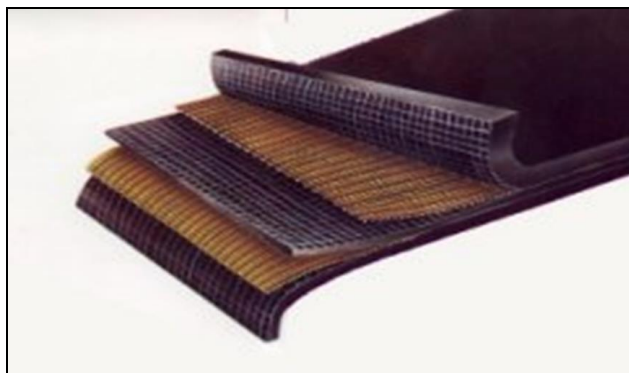


Figura 91 Cubierta de caucho de la correa

23.5 Componentes de una correa transportadora

Elementos deslizantes

Los polines o estaciones, son los elementos encargados de soportar la cinta transportadora y su carga. Se componen de una estructura base y de uno o más rodillos sobre los que se apoya la cinta. Estos elementos cumplen un rol clave en la eficiencia y durabilidad del transportador, ya que de ellos depende la continuidad del movimiento de materiales. El tramo superior generalmente está compuesto por polines dispuestos en collera de 3 polines cada una: Un polín horizontal al medio, y dos polines laterales inclinados en forma de V para formar una sección acanalada.

Los polines con que cuenta una correa transportadora son:

- Polines de retorno.
- Polines de carga o conducción.
- Polines auto alineante.
- Polines de impacto

Polines de retorno. El objetivo de estos polines es sostener la correa que regresa a tomar de nuevo carga, están soportados por cojinetes lubricados con grasa, sobre las cuales se apoya el trecho de retorno de la correa.

Son polines metálicos cubiertos por anillos de goma cuyo objetivo es limpiar el polvo y barro de la correa transportadora, ver la figura 94, y su posición es la de ofrecer una superficie recta al paso de la cinta.

Son de forma cilíndrica y generalmente se usan en conjunto como soporte. Son capaces de efectuar libre rotación en torno a su eje y son para soportar y/o guiar correas transportadoras.



Figura 94 Polines de retorno.

Polines de carga o conducción: Son un conjunto de rodillos en los cuales se apoya el trecho cargado de la correa transportadora. Tienen forma de cilindro y están contruidos de acero y

soportado por cojinetes lubricados con grasa, instalados siempre en la parte superior de la correa transportadora (ver figura 95). Su función es soportar y transportar la carga que está moviendo la cinta transportadora.

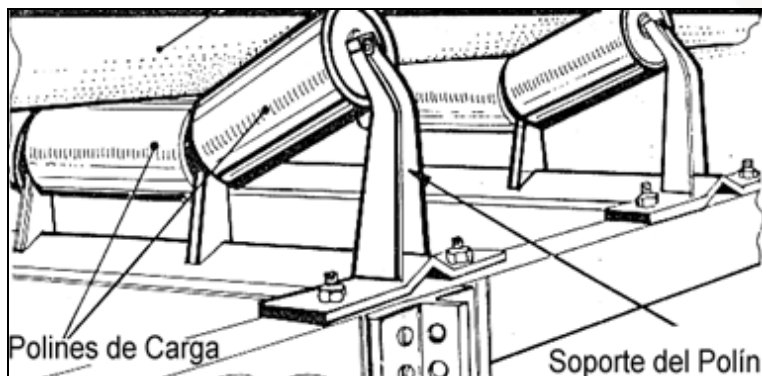


Figura 95 Polines de carga.

Polines auto alineante de carga: Son rodillos dotados de mecanismos giratorios accionados por la correa de modo de controlar el desplazamiento lateral de la misma. Son usados tanto en el trecho de carga como del retorno. Están dispuestos en puntos estratégicos en toda la cinta transportadora a objeto de mantener alineada la correa cuando está funcionando con carga. Esto significa que controlan el movimiento lateral de la correa.

Se instalan en posición vertical perpendicular a la cinta transportadora, su función es alinear la cinta transportadora. Ver figura 96.

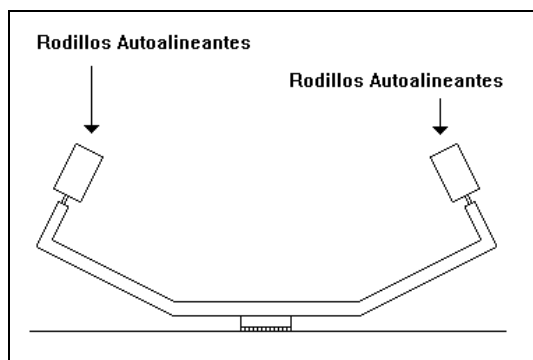


Figura 96 Disposición de rodillos.

Polines de Impacto: Conjunto de rodillos de acero montado en cojinetes lubricados por grasa, su forro exterior normalmente está construido por cilindros concéntricos de goma de mayor diámetro que el polín. Están localizados en el punto en donde la correa recibe la carga, destinados a absorber el choque resultante de impacto del material sobre la correa.

Están ubicados justo debajo de la descarga del buzón de la correa y reciben directamente la carga a medida que se descarga el suministro, están construido de material que puede amortiguar el

impacto del golpe de la carga y de esta manera proteger la correa evitando que se gaste o rompa durante el funcionamiento. Ver figura 97.

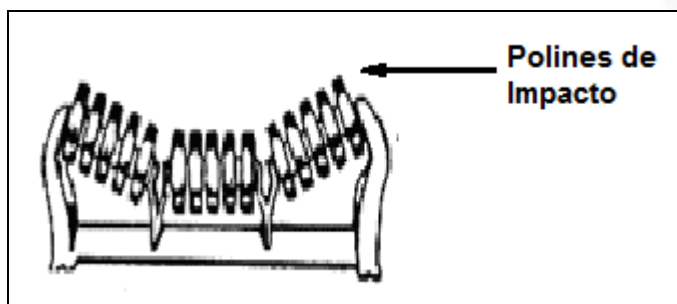


Figura 97 Polines o rodillos de Impacto.

Las poleas o tambores, son los componentes robustos de la correa transportadora y son los encargados de entregarle la tensión a la cinta. Las poleas de cola como la de cabeza se diferencian por su tamaño. Lo anterior, tiene como propósito generar mayor arco de contacto. Si las dos poleas son de igual tamaño, el arco de contacto se genera con la polea tensora. La descarga es por la polea de cabeza y la recepción es por la polea de cola.



Figura 98 Polea o tambor de cola

Las poleas en una correa o cinta transportadora son las siguientes:

- Tambor o polea de cabeza motriz.
- Polea tensora con contrapeso.
- Poleas deflectoras del tensor.
- Polea deflectora de cola.
- Tambor o polea de cola de retorno.

Polea tensora con contrapeso. La función principal de este dispositivo mecánico es mantener estirada la cinta transportadora a objeto de que no pierda adherencia y arrastre de la polea motriz y además evitar mediante esta tensión el azote de la cinta o correa transportadora evitando daños. Ver figura 99.



Figura 99 Polea tensora con contrapeso

Polea deflectora de cola

Esta polea obliga a la correa transportadora a adherirse a la mayor superficie de contacto con la polea de retorno o de cola para que ayude a que ésta permanezca centrada.

Es de mayor diámetro que los polines, normalmente se encuentra cerca de las poleas de retorno ubicada en los extremos de la banda de transporte.

Tambor o polea de cola o retorno

Su función es sostener la cinta transportadora por el otro extremo por donde siempre se posiciona la carga sobre la correa. Está confeccionada de un cilindro metálico forrado en goma apoyado en un eje concéntrico soportado por cojinetes o rodamiento, esta polea en la mayoría de las veces es conducida por la polea de cabeza.

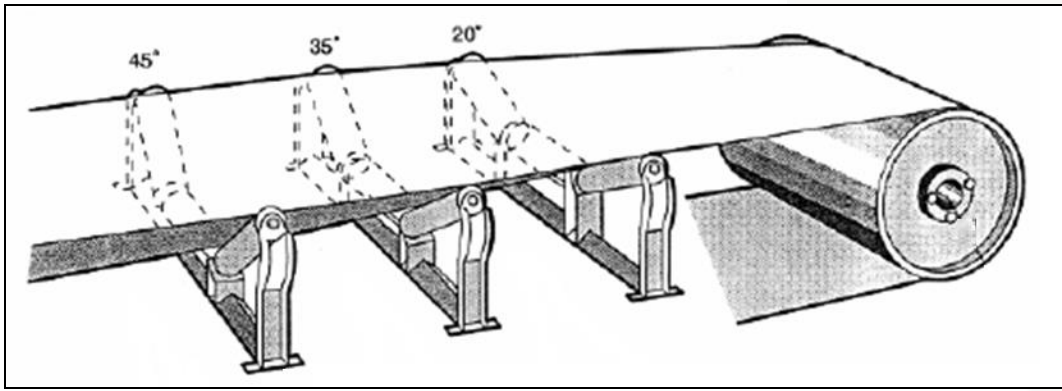


Figura 100 Polea de culata o cola

Tolva de carga o alimentación

Su función es alimentar a la correa transportadora con material en una razón uniforme que no cause sobrecarga ni rebalse de material, pero que asegure al transportador su máxima eficiencia.

Situar el material centrado en la correa y ayudarla así a moverse correctamente en los polines y poleas previniendo rebalses.

Reducir el impacto del material sobre la correa.

El material debe tener contacto con la correa a una velocidad lo más cercana a la velocidad de la correa y en la dirección del movimiento de ésta, para reducir su desgaste.

Las tolvas normalmente son revestidas en acero o gomas para evitar el desgaste de las placas madre.



Figura 101 Tolva de alimentación

Gualdera o guardapolvo

Su función es distribuir correctamente el material en la correa, evitando que este se derrame fuera de la correa en forma peligrosa.

Son guías ubicadas en forma paralela a la correa para asegurar una buena distribución del material, permite además la decantación del material debido a la turbulencia producida en la descarga.



Figura 102 Gualdera o guardapolvo

Raspador de la correa

Su función es limpiar la correa del material que queda adherido a ella después de haber descargado. Generalmente se ubica en la estructura de la tolva de descarga y está fabricada de un material que no rompa la correa durante la limpieza.



Figura 103 Raspador

Piolas de paradas o de emergencia

Su función es detener las correas transportadoras en cualquier momento y desde cualquier parte desde donde ése haya accionado. Consiste en una cuerda de acero recubierta por goma que se encuentra a ambos lados, a lo largo o en lugares estratégicamente estudiados de la cinta transportadora. Estas deben estar siempre operativas, que asegure su funcionamiento cuando se requiera utilizar, especialmente en caso de emergencia.



Figura 104 Piola de emergencia

Detector de metales

El detector de metales es utilizado para proteger y evitar daños a equipamientos alimentados por correas transportadoras, contra la presencia de objetos metálicos extraños que puedan estar mezclados con el material transportados.



Figura 105 Detector de metales

Electroimanes



Figura 106 Electroimán

Pesómetros y/o básculas

Las básculas se usan para calcular el tonelaje transportado por hora, o para calcular la carga deseada en silos de medición. El material debe tener la oportunidad de posarse antes de pasar por la báscula.

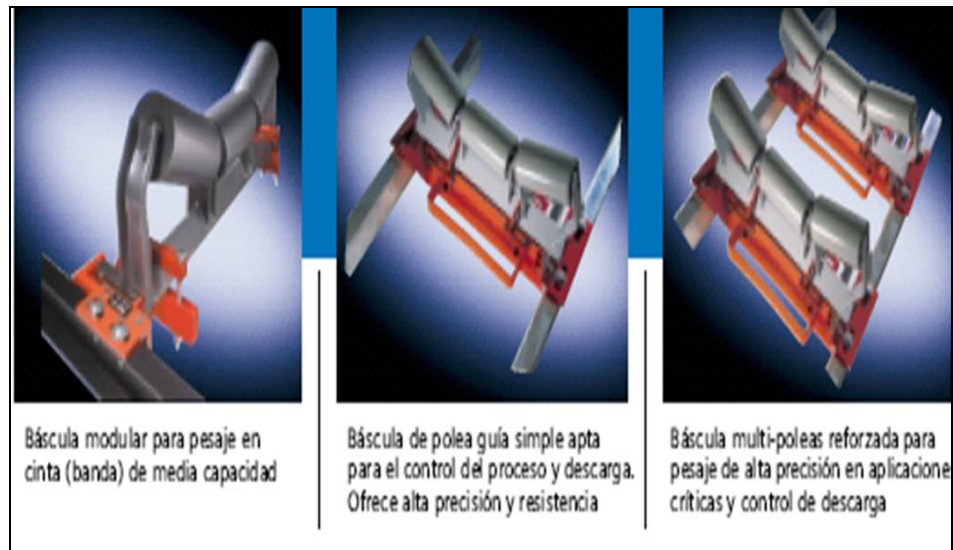


Figura 107 Diferentes tipos de pesómetros

Sensor de velocidad cero

Es un sensor eléctrico que permite detectar atascamiento de la correa y desenergizar el motor-reductor para proteger la integridad del equipo.



Figura 108 Sensor de velocidad cero

Actividad N° 10

Introducción a la actividad

La siguiente actividad consiste en identificar e indicar los componentes de una correa transportadora.

Esto se realizará en taller en compañía del instructor, donde se trabajará en una correa en el taller.

Posteriormente el participante deberá anotar en una evaluación los componentes identificados y su función en la operación de la correa transportadora.

Los participantes además, deberán desarrollar un informe corto que le permita preparar una exposición de su trabajo en el taller. La exposición debe ser realizada en forma grupal destacando tipo y componentes del sistema de transporte de sólidos.

Aprendizaje Esperado que Desarrolla

Verificar condiciones operacionales en los alimentadores y correas transportadoras para detectar parámetros de operación fuera de rango y corregirlas.

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 22 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Notebook

Data

Correa transportadora

Elementos de bloqueo

Tenazas

Tarjetas de bloqueo

Canastillo

Actividad impresa

Desarrollo de la Actividad

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

Inspeccione las medidas de seguridad asociadas.

Identifique el tipo de correa transportadora o función que cumple según lo observado en terreno.




Describa las características del equipo.

Identifique los componentes del sistema.

Determine focos de peligro durante la operación.

En el sector asignado por el instructor, desarme un componente del sistema e intercambie información con la de los demás participantes.

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

Componente	Nombre componente	Utilidad
		
		
		

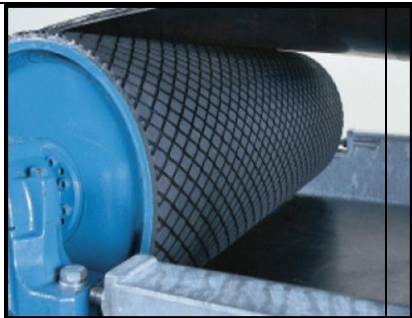

		
		

Figura 109 Elementos de correa transportadora

Cierre

Los participantes reconocerán los componentes más importantes de una correa transportadora, evaluarán los riesgos de trabajar cerca de este equipo.

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.

Módulo IV: Operación de Equipos de Molienda

24. Fundamentos del Proceso de Molienda

El objetivo fundamental de la molienda es reducir de tamaño partículas desde algunas decenas de milímetros (10 mm), hasta algunas decenas de micrones (10 μm). En el procesamiento de los minerales, el objetivo es lograr una molienda justa y suficiente para liberar las partículas útiles a concentrar. El costo de molienda es alto, por lo tanto cualquier exceso de finos, genera pérdidas económicas y desde el punto de vista técnico podría afectar la recuperación global del proceso.

Los molinos son cilindros rotatorios que se clasifican según su forma y medio de molienda. A pesar de la diversidad de tipos de molinos, el objetivo común de su utilización es lograr una fragmentación tal de las partículas de mineral, que permita separar las partículas de las especies útiles de las de ganga. Es importante entonces moler hasta alcanzar el grado de liberación del mineral, económicamente rentable.

Para desarrollar su trabajo de molienda la máquina está provista de elementos moledores. Dichos elementos son usualmente bolas de acero, barras de acero, guijarros o autógenos (el propio mineral).

Dependiendo de la fineza del producto final, la molienda se dividirá en molienda primaria, secundaria y terciaria.

Esta puede realizarse en seco o en húmedo. Se llama molienda seca cuando el mineral es alimentado en tal estado. Si se agrega agua, con lo que se forma una pulpa, se denomina molienda húmeda, con lo que se forma una pulpa. Pero en general la molienda se realiza en húmedo, y solo en casos excepcionales en seco.

La gran aplicación de la molienda en húmedo se debe a que no produce polvo, es más eficiente, permite un contacto más íntimo de las partículas con los reactivos de flotación y por último permite fácil transporte de los productos. La molienda, a diferencia del chancado, es un proceso aleatorio, en el cual debe juntarse la partícula y el medio de molienda para que la reducción de tamaño tenga lugar.

El movimiento de la carga del molino (medios de molienda, mineral y agua íntimamente mezclados) depende de la velocidad de rotación del molino. Esta velocidad de rotación proporciona la energía necesaria para moler, pero una parte importante de ella se disipa como calor y ruido. Esta etapa es la que consume mayor energía de todo el proceso de tratamiento de minerales, por lo cual debe ser estrictamente controlada.

24.1 Razón de reducción en la molienda

$$R_{80} = \frac{F_{80}}{P_{80}}$$

donde:

F_{80} = Es el diámetro que tiene el 80% del mineral de la alimentación al molino o circuito (en mm o micrones).

P_{80} = Es el diámetro que tiene el 80% de la descarga del molino o circuito (en mm o micrones).

La razón de reducción es un parámetro característico del circuito o bien de un equipo de conminución.

Se compara este valor en distintas etapas de conminución, disminuye en la medida que la conminución es realizada a partículas más pequeñas.

24.2 Mecanismos de reducción en la molienda

La molienda en molinos está influenciada por el tamaño, cantidad, el tipo de movimiento y los espacios entre los elementos de molienda en el molino. En oposición al chancado, que se efectúa entre superficies relativamente rígidas, la molienda es un proceso al azar y está sujeta a las leyes de las probabilidades.

El grado de molienda de una partícula de mineral depende de la probabilidad de que esta llegue a una zona en que actúa el agente de molienda y la probabilidad que ocurra algún efecto o evento de molienda.

Los mecanismos que se presentan son los siguientes: cizalle, impacto, compresión y abrasión.

24.3 Movimiento de la carga en el molino

Los mecanismos de molienda que actúan sobre las partículas son determinados en gran medida por el movimiento de la carga dentro del molino y por la composición de los medios de

molienda. Debido a la rotación y roce existente, los medios de molienda se elevan hasta alcanzar una altura máxima desde la cual caen. La carga dentro del molino presenta una superficie inclinada en cuyo punto más alto caen los medios de molienda hasta el punto más bajo desde donde vuelven a ascender, como se muestra en la Figura 110.

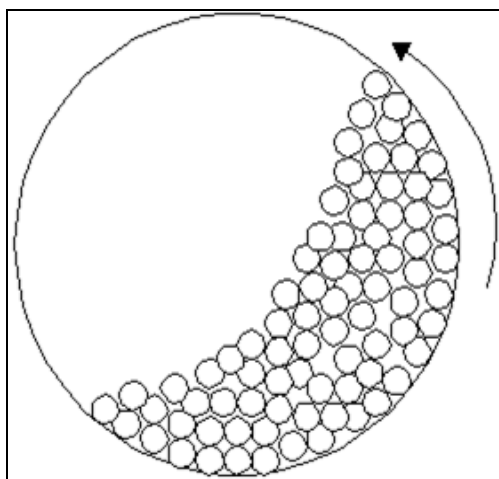


Figura 110 Movimiento de los medios de molienda

Con el movimiento, la carga se expande, permitiendo que la pulpa (partículas finas más agua) penetre entre los medios moledores. La serie de impactos entre los medios de molienda a medida que caen rodando, es el método principal de transmitir compresión a las partículas.

A bajas velocidades de rotación, los medios de molienda ruedan suavemente produciéndose una cascada. Esta cascada favorece la abrasión, generando una gran cantidad de finos y produciendo el desgaste de las corazas.

A medida que la velocidad aumenta, algunos de los medios se separan de la carga en el punto más alto y caen desarrollando una trayectoria parabólica. Este tipo de movimiento se denomina catarata y conduce a la conminución por impacto, que evita la formación excesiva de finos y el desgaste de las corazas.

Cuando el nivel de carga dentro del molino es baja los medios de molienda pueden impactar los revestimientos del molino dañándolos seriamente y generando también una ruptura de los medios de molienda. Si el molino gira a una velocidad aún mayor, la carga tenderá a pegarse a la coraza (velocidad crítica), es decir se ha centrifugado, en este caso se reduce drásticamente la fractura por impacto y sólo actúan los mecanismos de abrasión y compresión.

El tipo de movimiento de la carga depende de la velocidad con que se rota el molino y de los levantadores de carga (lifter) que tenga la coraza. De acuerdo a los movimientos que se han

descrito se distinguen varias zonas. La figura 111 se ilustra el movimiento de la carga de un molino operado a velocidad normal.

Debe notarse que en la zona de catarata los medios caen libremente y no ocurre fractura sino hasta que ellos impactan contra la carga o contra el cilindro.

Consecuentemente en la molienda en bolas conviene tener el mínimo de catarata para evitar la fractura de las bolas y desgaste de las corazas por impacto. En la molienda en barras también es deseable un mínimo de catarata para evitar el entrecruzamiento de las barras. Sin embargo, en la molienda semiautógena conviene tener una fracción de la carga en catarata para promover la fractura de las partículas más pequeñas causada por las partículas más gruesas. A su vez el material grueso, con los golpes que aplica, se desgasta alcanzando un tamaño adecuado para ser fracturado por las bolas.

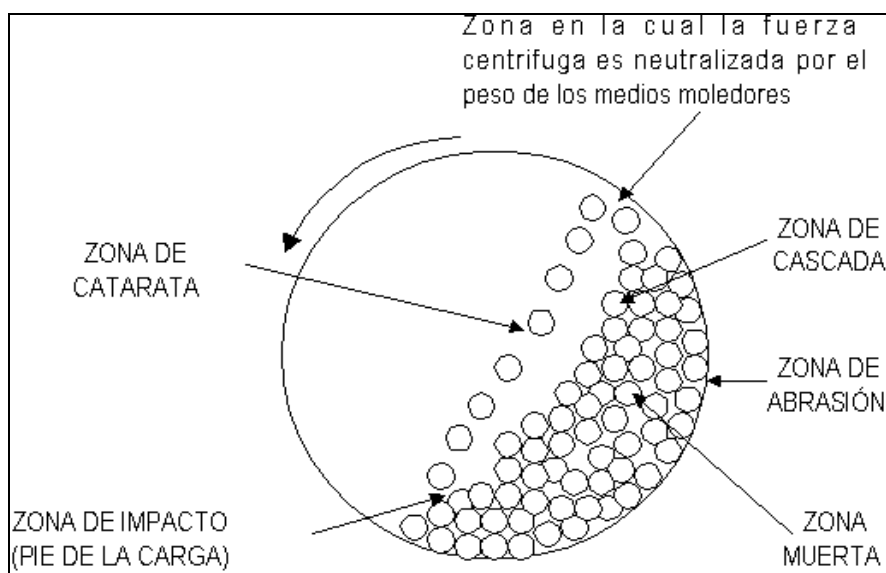


Figura 111 Movimiento de la carga dentro de un molino

24.4 Velocidad crítica de un molino

La velocidad crítica de un molino, es la mínima velocidad a la cual la carga se centrifuga y se mantiene pegada a las corazas del molino. El valor de la velocidad crítica puede hacerse mediante un balance de fuerzas entre el peso de las bolas y la fuerza centrífuga ejercida por la rotación del molino. Este balance se ilustra en la figura 112.

Podemos decir en forma sencilla que cuando la fuerza de gravedad se iguala a la velocidad de rotación, hemos alcanzado la velocidad crítica, por lo tanto se pierde la eficiencia de molienda.

Como por definición, la velocidad angular expresada en revoluciones por unidad de tiempo, N_c , está dada por:

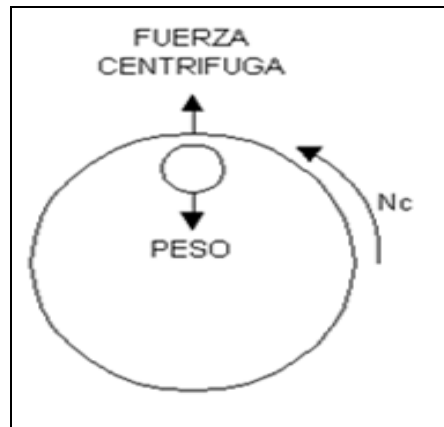


Figura 112 Diagrama de un molino girando a su velocidad crítica

$$N_c = \sqrt{\frac{2 * g}{D}} \quad \text{rad/seg}$$

Se deben considerar algunos efectos para reconocer cuando estamos en presencia de una centrifugación de la carga.

$$N_c = \frac{76.6}{\sqrt{D}} \quad \text{con D en pies}$$

$$N_c = \frac{42.2}{\sqrt{D}} \quad \text{con D en metros}$$

25. Consideraciones generales en el proceso de molienda

25.1 Velocidad de giro del molino

Al ir en aumento velocidad del molino, se produce la siguiente reacción:

- Solo un deslizamiento, produciendo molienda sólo por fricción.
- Además de fricción se produce impacto por cascada.

- Impacto por catarata.
- La gravedad se iguala a la fuerza centrífuga.

Cuando esto sucede, quiere decir que se llegó a la velocidad crítica, produciendo deslizamiento entre las distintas capas de bolas provocando molienda por fricción solamente. Un aumento en la velocidad de rotación aumenta la capacidad, pero hay poco efecto en la eficiencia de molienda (KWH/ ton).

25.2 Tamaño de alimentación al molino

Otro factor que afecta el volumen de la carga en un molino SAG (semiautógeno), es la distribución de tamaños en la alimentación.

La experiencia operacional ha mostrado que para un flujo de alimentación fijo, el volumen de la carga en el molino es menor, mientras mayor es la proporción de mineral grueso en la alimentación. Normalmente en los molinos SAG, a mayor cantidad de gruesos, el tiempo de residencia en el molino aumenta, por lo tanto baja la capacidad de tratamiento. Lo anterior se debe a que la capacidad moledora del molino, está determinada por los medios de molienda, los cuales se forman a partir de las rocas de mayor tamaño en la alimentación. Si la cantidad de gruesos alimentada no es suficiente, la intensidad de la molienda en el molino será reducida y la capacidad del molino decrecerá. Este efecto se muestra en la figura 113.

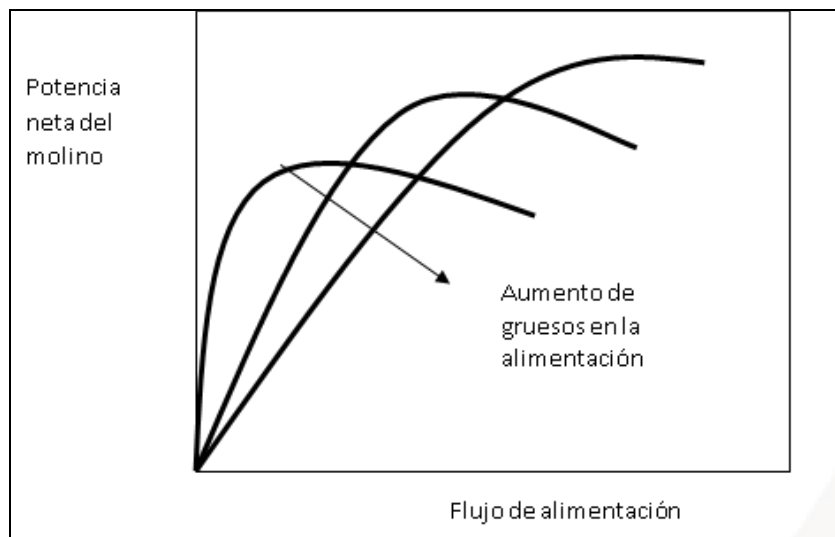


Figura 113 Potencia motor molino v/s flujo alimentación

El análisis anterior solo es válido, en el caso que la dureza del mineral permanezca constante y los cambios de granulometría correspondan a problemas de segregación natural.

Si el silo posee varias descargas y tiene el punto de alimentación fijo, entonces la descarga que se encuentre más cerca del punto de alimentación entregará mineral más fino, mientras que las que se encuentren más lejos entregarán mineral más grueso. Controlando los puntos de descarga, se puede ajustar la granulometría de alimentación fresca al molino dentro de ciertos límites.

25.3 Nivel de llenado y cantidad de masa retenida en los molinos

Es usual que el volumen que ocupan los medios de molienda, se exprese como una fracción del volumen total del molino. Operacionalmente no es fácil obtener esta fracción (o nivel de llenado), ya que no es posible lograr fácilmente el peso de la carga y su peso específico, o medir directamente su volumen. Sin embargo, es posible detener el molino y medir la altura desde la superficie de la carga hasta el punto más alto o hasta el centro del molino, como se enseña en la figura 114. La forma de calcular el nivel de llenado del molino a partir de la altura dependerá de la geometría y forma del molino (cilíndrica).

Para efectuar una medición efectiva, es necesario que el molino se lave con agua, por un lapso de tiempo, para descargar todo el mineral y solo queden los medios moledores.

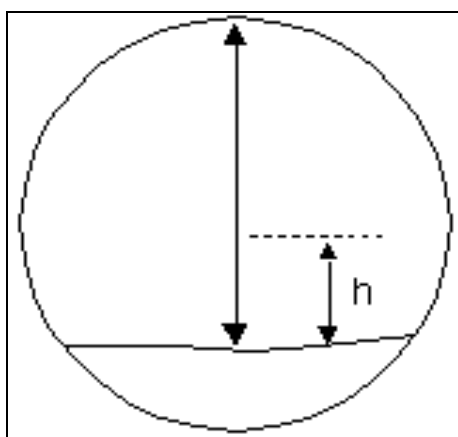


Figura 114 Medición del nivel de llenado

25.4 Angulo de levantamiento de la carga

Cuando se analiza la potencia necesaria para operar un molino, un concepto de mucha utilidad es el ángulo de levantamiento de la carga, llamado también ángulo de reposo o ángulo de apoyo. Se define así el ángulo formado por la superficie de la carga con una línea horizontal, cuando el molino se encuentra rotando a la velocidad de operación. Esto se muestra en la Figura 115.

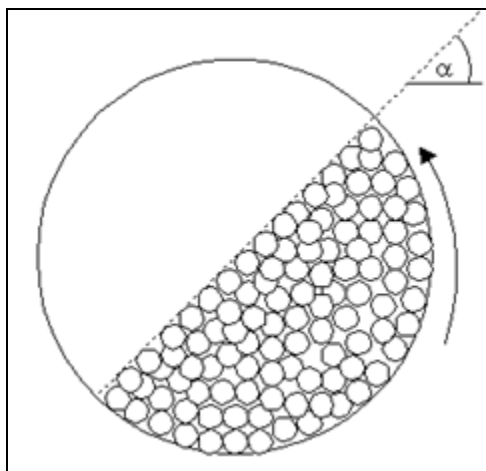


Figura 115 Representación ideal del ángulo de reposo de la carga

El ángulo de reposo está determinado por las condiciones de operación del molino, tales como: viscosidad de la pulpa (o densidad), velocidad de rotación del molino, distribución de tamaños de los medios de molienda y geometría de las revestimiento interno del molino.

25.5 Nivel de llenado de bolas a los molinos

En nivel de llenado de bolas es la fracción de llenado volumétrico de medios de molienda con respecto al volumen total del molino. Como parámetro metalúrgico en la operación del molino SAG, determina la cantidad de bolas presentes en el molino y con ello la transferencia consumida por el molino.

Con respecto a ésta variable se puede realizar los siguientes comentarios:

La figura 116 muestra, en forma idealizada, el comportamiento de la potencia del molino con respecto al nivel de llenado de bolas.

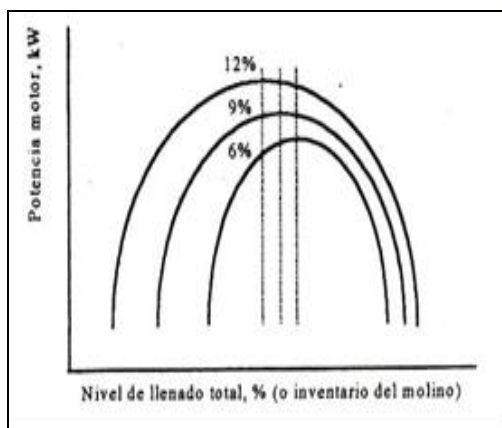


Figura 116 Potencia motor v/s % nivel llenado de bolas

Observe que la sobrecarga del sistema se produce a menor potencia en la medida que disminuye el nivel de llenado de bolas.

El nivel de llenado de bolas al igual que el llenado de mineral es una variable difícil de medir, controlar y optimizar, y sus efectos, en condiciones normales de sobrecarga, se observa más lento en comparación con las demás variables operacionales. Es claro que si se modifica bruscamente el nivel de bolas se apreciará sus efectos mucho antes en la operación.

25.6 Efectos de la densidad de la pulpa en el molino

Desafortunadamente la densidad de la pulpa dentro del molino no puede ser medida directamente, de modo que lo que se mide y controla es la densidad de pulpa en la descarga del molino. Es importante notar que ambas densidades, en la descarga y en el interior del molino, no son las mismas. La retención de agua en el molino es generalmente menos que la de sólidos finos, de allí que la densidad de la pulpa al interior sea mayor que en la descarga.

A través de la densidad de la pulpa en la descarga, es posible controlar el nivel de la pulpa en el molino. Si se aumenta el agua de alimentación es posible descargar todos los finos con mayor rapidez.

En términos de las tasas de descarga lo que ocurre es que, aumentando la densidad, se incrementa la viscosidad y se reducen las tasas de descarga, provocando un aumento del volumen de pulpa y de la potencia además de una disminución de la capacidad.

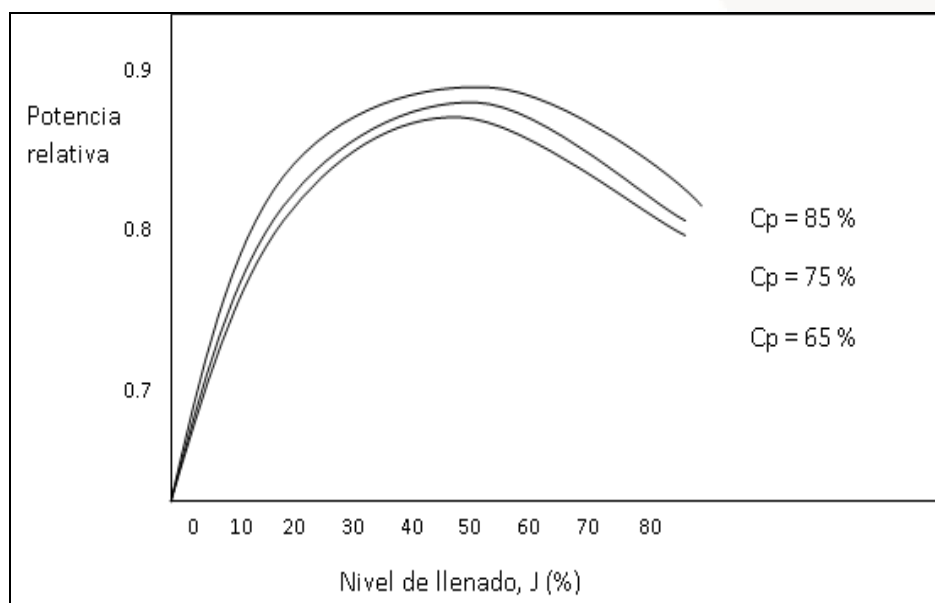


Figura 117 Potencia relativa motor v/s Nivel de llenado

25.7 Carga de bolas

Un factor que influye significativamente en la operación de un molino semiautógeno, es el volumen de la carga de bolas. Este volumen se expresa como una fracción del volumen total del molino y puede variar entre 6 y 18 %.

Existen dos casos generales en los cuales es deseable agregar bolas al molino: Cuando se tiene una excesiva acumulación de fino e intermedio, debido a una falta de colpas grandes en la alimentación al molino, que permita formar una carga apta para moler esos tamaños.

Cuando existe una acumulación de rocas grandes, debido a la incapacidad de la carga para romper esos tamaños.

En el primer caso, es preferible una distribución de bolas relativamente finas, con un tamaño máximo de 3 pulgadas es preferible. Para el segundo caso una distribución más gruesa, con bolas de tamaño máximo de 6,25 pulgadas es más adecuada. En ambos casos el uso de las bolas de incrementará las tasas de molienda de los tamaños críticos y la capacidad de tratamiento se verá favorecida.

Como ya sabemos, en la molienda autógena el medio moledor lo constituye el mineral y en la molienda SAG lo constituyen las bolas como el mineral grueso, y justamente a raíz de esta condición recibe el nombre este tipo de molienda.

En la molienda SAG la carga de mineral de tamaño grueso, es también un medio de molienda de las partículas más pequeñas que ella, pero es conveniente no manipular ésta variable para no incorporar una perturbación más a este complejo sistema de variables operacionales, las razones que sustentan ésta afirmación son las siguientes:

No todos los minerales responden en forma favorable al aumentar la carga de gruesos, ésta condición dependerá de la moliendabilidad del mineral grueso y del tamaño de la bola de recarga.

Optimizar la bola como medio moedor es mejor que optimizar la utilización de la carga gruesa.

La granulometría gruesa es un recurso limitado el cual ésta condicionada al diseño y operación de los acopios.

La granulometría de alimentación al molino SAG es recomendable que sea mantenida constante, pues afecta a la distribución de tamaños de la carga de bolas, cuya carga inicial fue obtenida en base al supuesto de una granulometría constante.

Introducción a la actividad

Los participantes guiados por el instructor deberán determinar la variable velocidad en un molino de laboratorio. El objetivo de la actividad es que el participante pueda calcular empíricamente y en forma práctica esta variable.

Uno de los parámetros a controlar en la molienda es la velocidad de giro. Los participantes determinarán experimentalmente este parámetro. Deberán medir el diámetro del molino, para determinar la velocidad crítica teórica.

En los molinos modernos, de transmisión de anillo sincrónico, donde la velocidad es no se mantiene constante, es muy importante manejar la velocidad del molino para obtener una molienda eficiente.

Aprendizaje esperado que desarrolla

Verificar condiciones operacionales en los molinos y equipos auxiliares para detectar parámetros de operación fuera de rango y corregirlas, según estándares y procedimientos.

Verificar funcionamiento mecánico del molino y equipos auxiliares, para detectar síntomas y desperfectos.

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 23

Materiales y Recursos

Muestra de mineral
Sistema motriz de rodillos.
Cubierta de plástico.
Molino de laboratorio.
Bolas de acero de una pulgada.



Figura 118 Molino de laboratorio y bolas de molienda

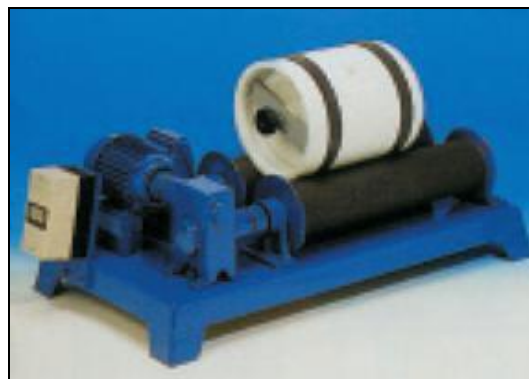


Figura 119 Sistema motriz por rodillos

Desarrollo de la Actividad

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



Figura 120 Elementos de protección personal obligatorios

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

Los participantes medirán el diámetro del molino e ingresarán este dato en la fórmula entregada por el instructor para determinar la velocidad crítica del molino.

Los participantes pesarán 1 kg de muestra ya preparada (100 – 10 # Tyler o 100 % - 12 # ASTM) y lo ingresarán en el molino (esto para eliminar nivel de ruido de la molienda).

Llenarán el molino con bolas a un 20% del volumen total y lo colocarán en el sistema de transmisión de rodillos, de acuerdo a lo enseñado por el instructor.

Determinarán la velocidad para un 70% de la velocidad crítica, ajustarán el contador de rpm en el sistema de control de los rodillos y darán partida. Contarán en 60 segundos los giros del molino.

Luego deberán calcular la velocidad para 80% de la velocidad crítica, ajustarán el nuevo dato y darán partida a los rodillos. Contarán en 60 segundos los giros del molino.

Estos datos registrarlos en sus apuntes.

Cierre de la Actividad

Junto con el instructor analizarán y compararán los datos de la velocidad crítica y los diferentes datos de velocidad determinado de forma empírica y los compararán con los datos tomados en forma práctica.

26. Molienda SAG

26.1 Características y componentes de un molino SAG

El molino está constituido por:

La carcasa, que es el cuerpo cilíndrico y se construye de acero o aleación cromo/molibdeno.

La coraza, que es el recubrimiento interior del cuerpo cilíndrico y de las tapas. Está provista para cumplir dos funciones: absorber el desgaste provocado por el roce propio del trabajo realizado, y de acuerdo con su diseño ayudar el desplazamiento de los elementos molturadores y el mineral dentro del molino. Esta coraza se fabrica de materiales diversos, según sean más adecuados a la función que realiza; se utilizan por ejemplo: acero, goma y porcelana industrial.

Los revestimientos de las corazas tienen una variedad de formas para levantar la carga. La mayoría de ellos son ondulados, de doble paso, con traslado. El costo en revestimientos es un costo importante en la operación de un molino, y es así como continuamente se están probando nuevos materiales, como por ejemplo, goma, material que posee mayor durabilidad además de facilitar su instalación, además de reducir considerablemente el ruido, aunque aumentan el desgaste de medios de molienda (ver figuras).

Las tapas, son discos de acero o de aleaciones Fe-Ni u otro material resistente al desgaste, con una leve convexidad, que cierran los extremos del cuerpo del molino; están unidos solidariamente a la carcasa y generalmente mediante pernos. Si el molino es alimentado y/o descargado por sus extremos a través de los muñones, entonces las tapas son perforadas en su centro geométrico.

Los muñones, son cilindros unidos en forma solidaria y resistente a las tapas. Actúan como ejes que permiten la suspensión y giro del molino en torno a ellos. Los muñones se apoyan en descansos de rodamientos o metales que permiten un giro eficiente. Estos muñones siempre deben estar lubricados, de forma continua.

El sistema motriz, está constituido por el motor, caja de reducción, eje - piñón y corona periférica. El motor normalmente es eléctrico y su potencia adecuada a los requerimientos impuestos por el tamaño del molino y el trabajo a desarrollar; otra característica es su baja velocidad.

La corona periférica, está ubicada abrazando solidariamente el contorno del cuerpo cilíndrico del molino y recibe el movimiento del piñón para transmitirlo al molino mismo.

Harneros móviles o trommel, este dispositivo está constituido por una malla cilíndrica que gira sobre su eje, en la descarga del molino y se le agrega agua de lavado en forma de duchas para lavar el material. Las mallas de los harneros han evolucionado a palmetas con nervios de acero

y recubiertas en gomas que dan mucha durabilidad y eficiencia. Normalmente la descarga del sobre tamaño del trommel se acompaña de harneros vibratorios del proceso de chancado de pebbles

Los diámetros oscilan entre 60 y 270 cm, y la longitud entre 0,9 y 12 metros. Las velocidades de las envueltas de la malla perforada son del orden de 35 a 40 por ciento de aquella a que las partículas se adherían a ella por efecto de la fuerza centrífuga, y que se conoce con el nombre de velocidad crítica. La eficiencia es baja y oscila entre un 15 % de paso en el rechazo para un trabajo eficaz, a un 30 a 40 % de promedio para el harneado en húmedo con abertura de malla del orden de 0,065 cm.

Sistema embrague: El embrague de aire está compuesto de un eje de transmisión que sale del motor y un eje de transmisión conectado al piñón de accionamiento del molino. Un conjunto de almohadillas de fricción con resortes se ubican en la parte exterior y giran junto con el eje del motor, el que es hueco para permitir que el aire comprimido pase al embrague. Un tambor de acero interior gira con el eje de piñón. Para operar el embrague el aire infla un tubo de caucho reforzado que está detrás de las almohadillas de fricción. El tubo comprime estas almohadillas contra el tambor transmitiendo el torque del motor al eje del piñón.

Para accionar el embrague y transmitir energía al molino se abre la válvula de solenoide de aire. Una válvula de control de flujo regulable en la línea de suministro de aire regula la velocidad de conexión del embrague y por lo tanto el tiempo de aceleración del molino. El tubo de aire activador compensa automáticamente el desgaste del patín por fricción, evitando la necesidad de ajustado. La fuerza centrífuga y los resortes de desenganche hacen que los patines de fricción se desenganchen rápidamente del tambor cuando el aire es expelido.

El motor y el embrague del molino cuentan con diversos dispositivos de seguridad para protegerlos. Comúnmente ventearán el aire desde el embrague para evitar que el molino comience a funcionar (es decir, abortarán una puesta en marcha o detendrán la partida del molino) cuando las condiciones varían de lo normal.

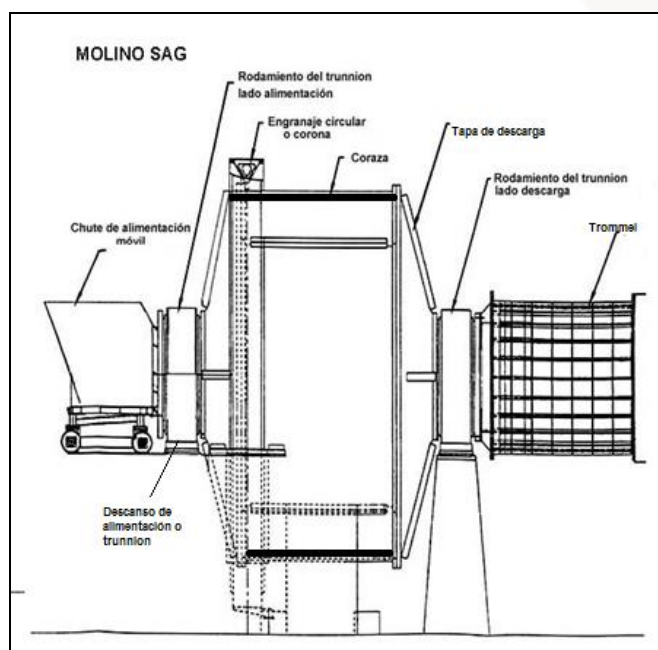


Figura 121 Componentes de un molino SAG de accionamiento piñón corona

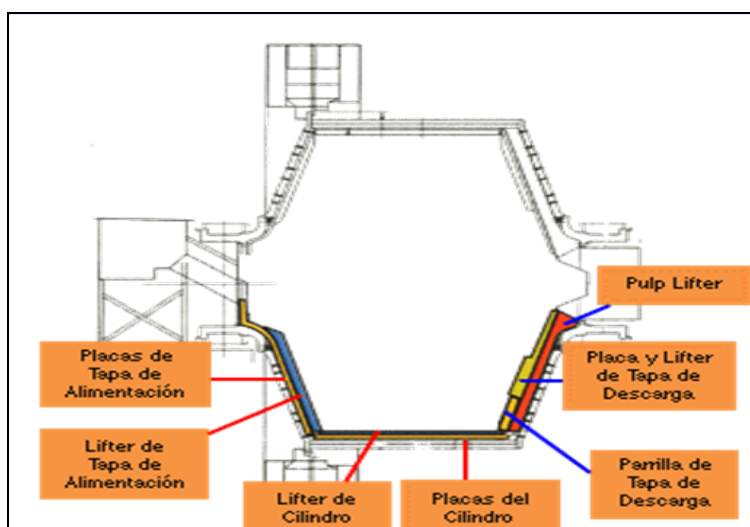


Figura 122 Componentes internos del molino SAG

El sistema de accionamiento ciclo convertidor (motor sincrónico) del molino SAG, está compuesto por un motor de anillo sincrónico, una fuente de energía para el motor, un sistema de enfriamiento y un complejo sistema de control. El motor de anillo está compuesto en segmentos; los segmentos del rotor están apernados al flange del molino y el estator es independiente. El extremo del molino sobresale del estator. Este tipo de accionamiento es de velocidad variable y con una frecuencia regulable. El rotor de este motor está incorporado al

molino y el estator está construido como un círculo alrededor del molino. En efecto, el molino se convierte en el eje del motor, tal como lo muestra la figura 123.

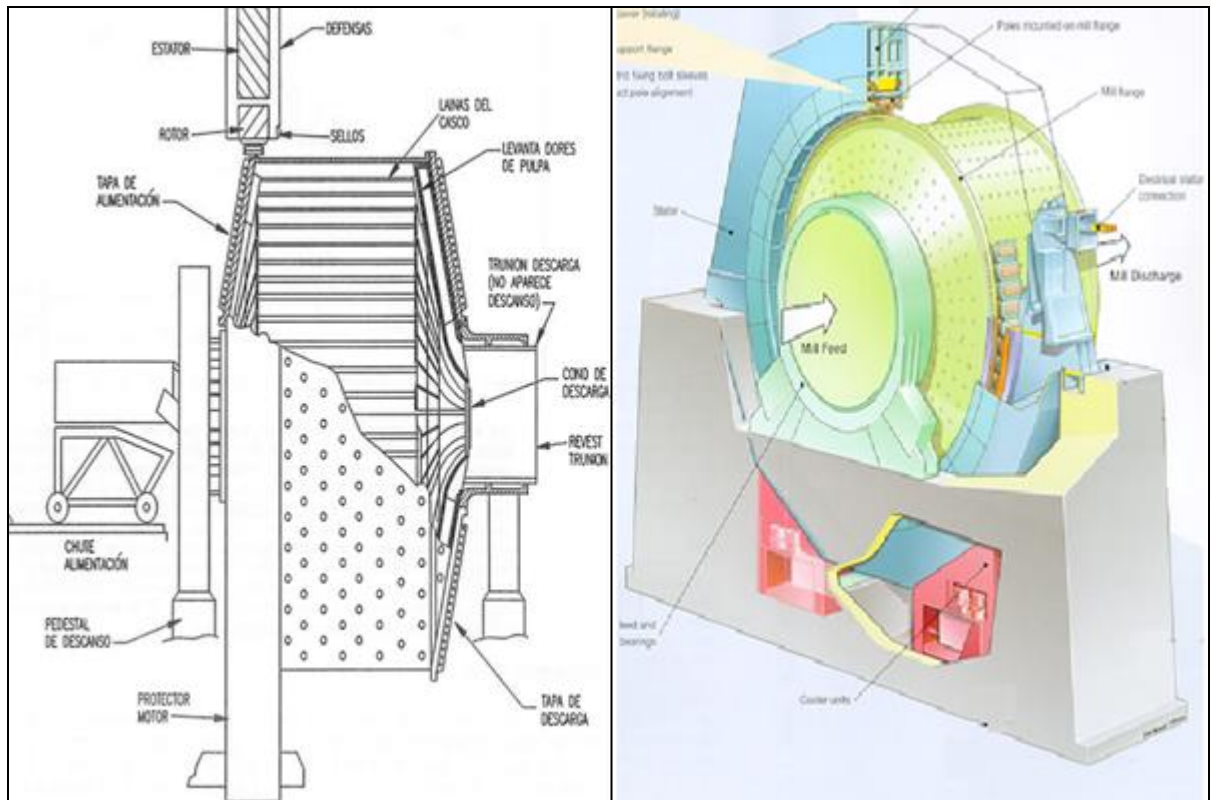


Figura 123 Molino SAG de accionamiento motor sincrónico

26.2 Principio de operación del molino SAG.

La carga del molino SAG está compuesta de mineral nuevo, bolas de molienda, carga reciclada de mineral sobre tamaño y agua. La carga total del molino ocupa 24% del volumen del molino. Sólo las bolas de molienda ocupan aproximadamente 8% del volumen del molino (esto puede variar, dependiendo del molino o diseño).

La carcasa del molino está protegida con un recubrimiento de acero con molibdeno cromo fundido para evitar que se dañe. Las corazas están fijadas por levantadores (lifters) que cierran o bloquean la carga del molino, de modo tal que ésta suba lo suficientemente alto dentro de la carcasa del molino que está girando antes de caer al tope de la carga para repetir el ciclo.

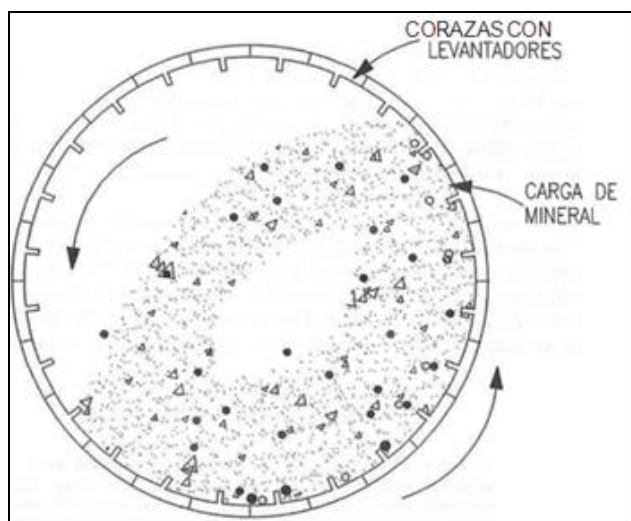


Figura 124 Corazas molinos con levantadores o lifters

La molienda dentro del molino es una combinación de quiebre de mineral mediante la acción de impacto y de cizalle del mineral entre las bolas y por la abrasión de las partículas al frotarse entre ellas y con las bolas. En un molino SAG la abrasión es mínima.

El mineral molido fluye a través de una parrilla periférica que está ubicada en el extremo de descarga del molino. La parrilla es un falso extremo de descarga del molino. Está compuesto de partes metálicas con puertas para guijarros de 63.5 mm a través de las cuales fluye la pulpa dentro de la cavidad entre el extremo falso y el extremo real. Los levantadores de pulpa radial (en efecto, paletas pesadas) suben la pulpa a medida que el molino gira. A medida que la pulpa ingresa a la parte superior de la rotación, drena fuera del trunnion.

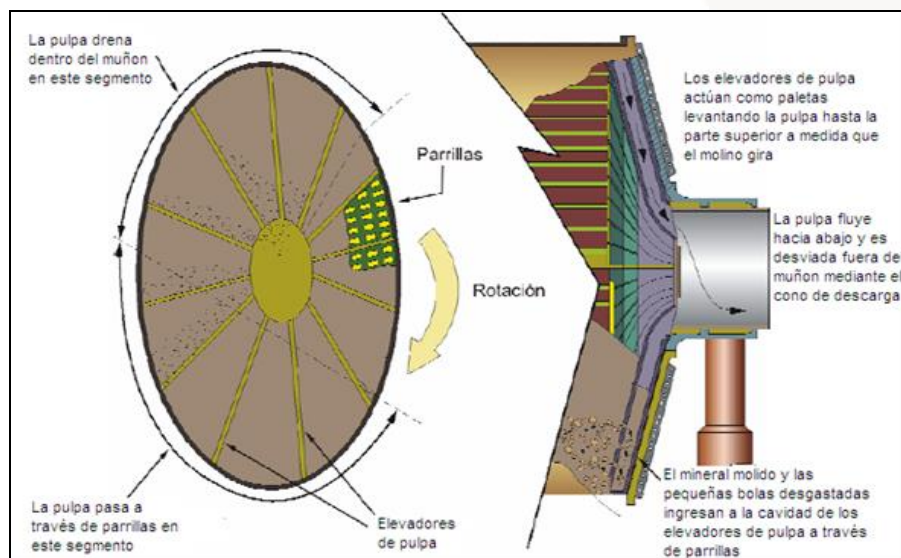


Figura 125 Parrilla de descarga interna molino

26.3 Sistema de lubricación molino SAG

La finalidad de la lubricación es evitar el contacto de metal a metal, que traería como consecuencia la formación de limaduras metálicas y finalmente la ruptura de los descansos o fundir valiosas piezas del molino causando graves pérdidas en el equipo y por ende la producción y esta es una de las razones por la cual se lubrica también constantemente el piñón y la corona que son los engranajes dentados de la transmisión del molino.

Rodamientos del molino: El molino SAG está apoyado sobre sus descansos (ejes huecos de fierro fundido, apernados a los cabezales de los molinos) a través de los cuales pasan la alimentación y la descarga. Los descansos rotan sobre rodamientos hidrostáticos. Se entiende por rodamiento hidrostático aquel que obliga a pasar al aceite presurizado en un sistema de lubricación independiente a través del espacio existente entre las superficies deslizantes. El descanso final de carga tiene rieles de empuje, que le impiden al molino desplazarse hacia atrás y hacia adelante a lo largo de su eje. El otro extremo puede moverse en su eje para permitir la expansión térmica o permitir el movimiento leve en la fundación del molino u otros componentes. Los rieles de empuje también necesitan una lubricación de aceite a alta presión.

Acondicionamiento del aceite: El sistema de lubricación de los descansos del molino SAG es una unidad independiente y autónoma. Estos molinos generalmente poseen un depósito de aceite dividido en tres secciones con deflectores. El aceite puede escurrir entre las secciones.

El aceite que se devuelve desde los descansos y el aceite nuevo ingresa a una sección a través de filtros. Luego, el aceite fluye desde placas magnéticas hasta la sección de acondicionamiento central. Esta placa magnética evita que las partículas metálicas dañen las bombas de circulación. La sección de acondicionamiento posee calentadores eléctricos que se

controla en forma termostática, para asegurar que el aceite esté lo suficientemente caliente para encender el circuito de acondicionamiento luego de producirse una detención. Sin embargo, a menudo el aceite que vuelve desde el molino está lo suficientemente caliente y no requiere del calentador.

Los sistemas de lubricación pueden ser distintos, según el tipo de molino en específico. Actualmente algunos sistemas de lubricación poseen sistema de respaldo de botellas de nitrógeno presurizado, como sistema auxiliar, que apoyan el cuidado de los descansos ante una detención imprevista (figura 126).

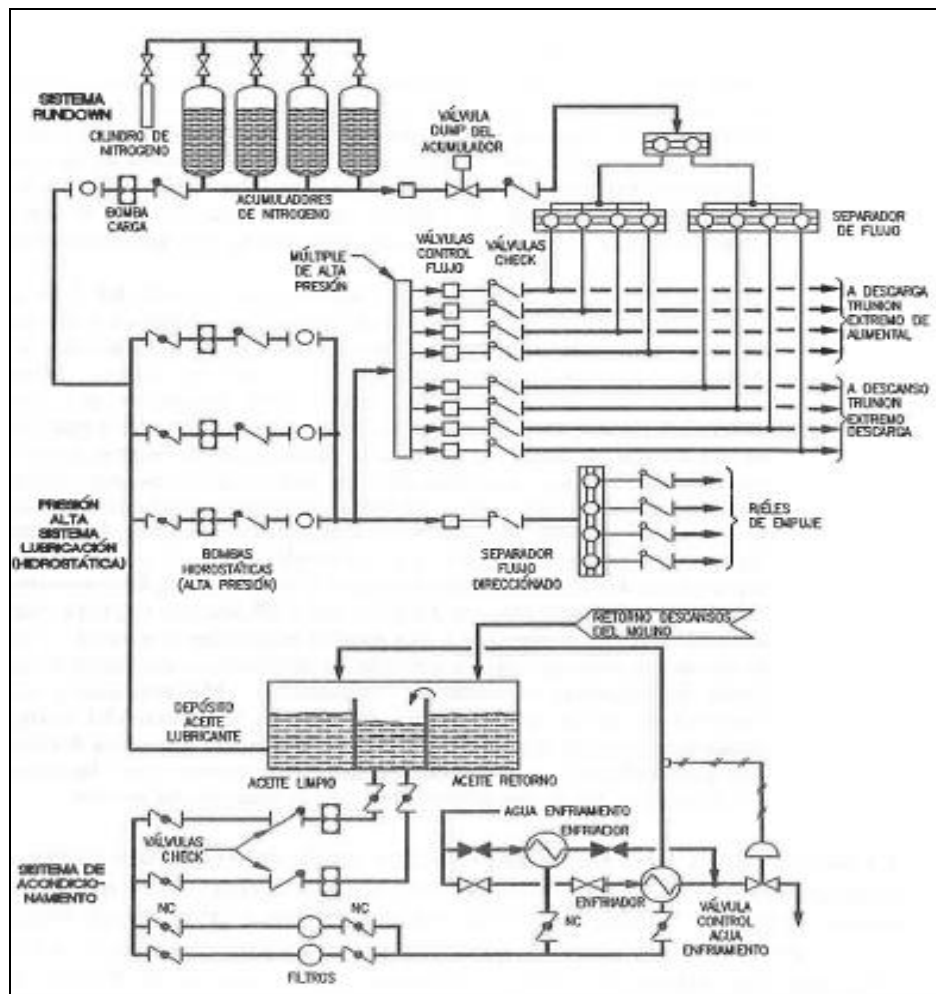


Figura 126 Sistema de lubricación molino SAG

El acondicionamiento del aceite incluye filtrarlo y enfriarlo. Una de las dos bombas de recirculación bombea aceite a través de los filtros. Un switch de presión diferencial que está en los filtros, activa una señal de alarma cuando se requiere cambiar algún filtro. Después de pasar por los filtros, el aceite ingresa a los enfriadores de aceite-agua.

Es de gran importancia mantener la temperatura del aceite constante. Al cambiar la temperatura, también lo hace significativamente la viscosidad del aceite. No sólo se debe mantener la viscosidad a un nivel apropiado para proteger los descansos, sino que también esto podría afectar la presión a través de los descansos y el control del molino se basa en esta presión (velocidad de alimentación del molino SAG y control de la presión de los rodamientos).

Una válvula de control reguladora, que es operada según la temperatura del aceite que sale de los intercambiadores de calor, controla el nivel de flujo del agua hacia los enfriadores. El aceite limpio y frío llega al compartimiento de aceite limpio.

27. Variables de Operación de Molienda SAG

27.1 Porcentaje de sólido en el molino

El porcentaje de sólido de la pulpa en el interior del molino, se regula normalmente con adición de agua. En general se desea obtener una pulpa, que no sea ni tan diluida, como para que las partículas no se adhieran a las bolas, ni tan espesas de modo que la alta viscosidad impida el choque de las bolas entre sí y con la carga.

La medición de esta variable es muy importante y se realiza pesando un litro de pulpa en una balanza metalúrgica de medición de densidad o porcentaje de sólidos de la pulpa.



Figura 127 Balanza de pulpa

27.2 Tamaño de bolas

La composición de la carga de medios de molienda, es la variable más importante del circuito; asimismo, el tamaño, densidad, forma, dureza, tenacidad y cantidad de medios de molienda, tienen marcados efectos sobre la misma. La forma de los medios de molienda es importante por dos razones; primero, puede ayudar a manipular la carga y a la vez le da máxima movilidad y segundo, su área superficial es muy importante para la producción de tamaños finos.

27.3 Carga circulante

Esta variable está relacionada a la eficiencia en la clasificación en los hidrociclones. Si la eficiencia en la clasificación baja, la carga circulante aumentará ostensiblemente, disminuyendo la capacidad de alimentar más carga fresca al molino.

27.4 Eficiencia de clasificación

Si se mejora la eficiencia de clasificación, disminuirá el corto circuito de finos y podrá por ende, disminuir la carga circulante, con el consiguiente aumento de capacidad, que es del mayor interés.

27.5 Velocidad del molino

En los molinos SAG actuales (sistema de giro por anillo sincrónico), la velocidad debe mantenerse como un parámetro constante. La velocidad puede variarse de acuerdo a la necesidad operativa del momento, y dependerá de la presión de los descansos y de la potencia del motor. Esta velocidad además está condicionada por la velocidad crítica de giro del molino y del nivel de ruido del molino.

27.6 Pebbles

Debido al considerable inventario de pebbles rechazados por los molinos SAG, se ha incorporado el chancado de pebbles.

En la operación del circuito de molienda se pueden presentar dos tipos de comportamientos, es decir, operando en circuito corto u operando en circuito largo.

El material reciclado (pebbles o sobre tamaño harnero SAG) puede volver todo o parte de él a la correa de alimentación del molino SAG, en cuyo caso se habla del circuito corto, circuito que se utiliza en caso de existir problemas en el chancado de pebbles.

Un circuito largo, es el utilizado en una operación normal, aquí el material reciclado cae a la correa, donde se somete a la acción de electro imanes de correa cruzada que retiran las bolas de molienda desgastadas.

Los fragmentos de metal sobrantes junto con algunos pebbles, caen a una serie de correas transportadoras, donde otros electro imanes atrapa las bolas. El material que permanece en el circuito alimenta a la planta de chancado de pebbles.

La descripción del circuito completo de molienda y chancado de pebbles se muestra en la figura 128.

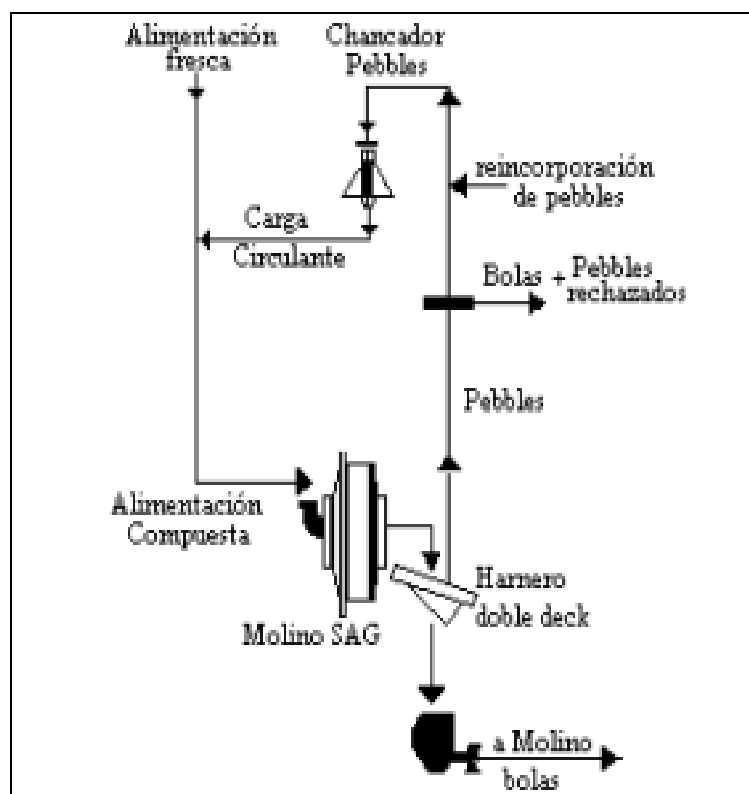


Figura 128 Diagrama de chancado de pebbles

Módulo V: Operación de Molienda Convencional

28. Molienda Convencional de Bolas

28.1 Características y componentes de un molino convencional de bolas

La etapa final de conminución se realiza en molinos cilíndricos usando bolas de acero como medio de molienda y por esa razón se conoce como molinos de bolas, ya que las bolas tienen una mayor área superficial por unidad de peso que las barras y así son más aptas para molienda fina.

El término molino de bolas se utiliza en aquellos molinos que tienen una razón largo – diámetro (L/D) de 1,5 a 1 o mayor.

Los molinos de bolas también se clasifican por la naturaleza de la descarga. Pueden ser molinos de rebose simple (overflow), operados en circuito abierto o cerrado, o molinos de parrilla de descarga (descarga de nivel bajo). Este último tipo está acondicionado con parrillas de descarga entre el cuerpo cilíndrico del molino y el muñón de descarga. La pulpa fluye libremente a través de las aberturas de la parrilla y después es elevada hasta el nivel del muñón de descarga. Estos molinos tienen un nivel de pulpa más bajo que los molinos de rebose, reduciendo así el tiempo de permanencia de las partículas dentro del molino. Existe muy poca sobremolienda y el producto tiene una fracción grande de material grueso, la cual regresa al molino por algún tipo de mecanismo clasificador.

La molienda en circuito cerrado, con altas cargas circulantes, produce un producto final estrechamente clasificado y una alta producción por unidad de volumen, si se compara con la molienda en circuito abierto. Los molinos con parrilla de descarga, generalmente toman una alimentación más gruesa que los molinos de derrame y no se requiere moler tan finamente; la razón principal es que con la formación de muchas bolas pequeñas, el área de aberturas de la parrilla se obstruye rápidamente.

El molino de rebose simple, posee la forma más simple de operar y se usa la mayor parte de las aplicaciones del molino de bolas, especialmente para molienda fina y remolienda.

El consumo de energía es alrededor de 15% menor que el de un molino con parrilla de descarga del mismo tamaño, aunque la eficiencia de la molienda en los dos molinos es la misma.



Figura 129 Molino de bolas convencional

Los molinos de bolas se clasifican por la potencia, más bien que por la capacidad. La molienda se efectúa en los puntos de contacto de las bolas y las partículas de mena y en un tiempo dado, se puede alcanzar cualquier grado de finura.

El proceso de molienda es completamente al azar, la posibilidad de que una partícula fina sea golpeada por una bola es la misma que la de una partícula gruesa. Por lo tanto, el producto de un molino de bolas en circuito abierto presenta una gran variedad en el tamaño de las partículas. La molienda en circuito cerrado en los molinos que proporcionan un bajo tiempo de residencia para las partículas, casi siempre se usa en las últimas etapas para disminuir la sobremolienda.

28.2 Principio de operación del molino convencional

El motor al recibir la energía eléctrica y al dar paso del aire al sistema de embrague del molino, se inicia el movimiento del piñón, luego éste a la corona y el molino comienza a girar sobre sus muñones de apoyo a una velocidad determinada para cada tamaño de molino (velocidad de operación debe ser menor a la velocidad crítica). Cuando el molino trabaja, las bolas de acero son elevadas por las ondulaciones (lifter) que presentan las corazas y suben hasta cierta altura, de donde caen golpeándose entre ellos, contra el mineral y contra las corazas. Vuelven a subir y a caer, así sucesivamente. En cada vuelta del molino hay una serie de golpes y fricciones, éstos son los que muelen el mineral.

28.3 Sistema de lubricación del molino convencional

La finalidad de la lubricación es evitar el contacto de metal a metal, que traería como consecuencia la formación de limaduras metálicas y finalmente la ruptura de los descansos o bien fundir valiosas piezas del molino causando graves pérdidas en el equipo y por ende la producción y esta es una de las razones por la cual se lubrica también constantemente el piñón y la corona que son los engranajes dentados de la transmisión del molino.

Para que la lubricación sea lo más efectivo posible debe ser instalado un sistema automático que en caso de averiarse esté provisto de un sistema de alarma eléctrico que indique las condiciones anómalas:

- Falta de presión de aire.
- Falta de grasa en el cilindro.
- Falta de presión en la tubería de grasa.

El mecanismo del sistema de engranaje consta de:

- Mecanismo de bomba.
- Control de tiempo (timer).
- Bomba neumática.
- Sistema de ingreso de aire de instrumentación.

Funcionamiento del sistema de lubricación y engrase del molino:

Todo el sistema funciona con aire a la presión de 100 lib/pulg² que viene de compresores, el cual llega a un filtro de aire donde se eliminan las impurezas; luego el aire a presión y limpio pasa a una válvula solenoide de tres vías o líneas.

La primera línea se conecta a un switch de presión y al mecanismo de alarma, cualquier variación de la presión o falta de ella será registrada y sonará automáticamente la alarma. La segunda línea va a los inyectores y la tercera línea suministra aire a la bomba de contrapeso y el tambor de grasa. El tiempo de lubricación se regula en el sistema automático de reloj (timer).

Al cerrar el circuito de control automático de reloj, la válvula solenoide dejará pasar aire, parte de cual ejerce presión en el tambor o recipiente de grasa y la otra parte actúa sobre la bomba haciendo salir la grasa conveniente diluida a alta presión (2000 lb/pulg²).

El lubricante una vez que llega a los inyectores es atomizado por el aire a presión, lubricando de esta manera los engranajes dentados del piñón y la corona.

Lubricación de los trunnion o muñones del molino: Todo esto es un sistema cerrado y la lubricación es permanente. La circulación de aceite en el sistema es realizado por la bomba de baja presión. La presión constante asegura una lubricación normal del molino. Cualquier caída de presión actuará sobre el circuito eléctrico del molino deteniéndolo de inmediato. De igual manera una temperatura superior al máximo establecido en el sistema hará sonar la alarma indicando con esto la necesidad de detener el molino de inmediato o de lo contrario puede fundirse los descansos principales del molino.

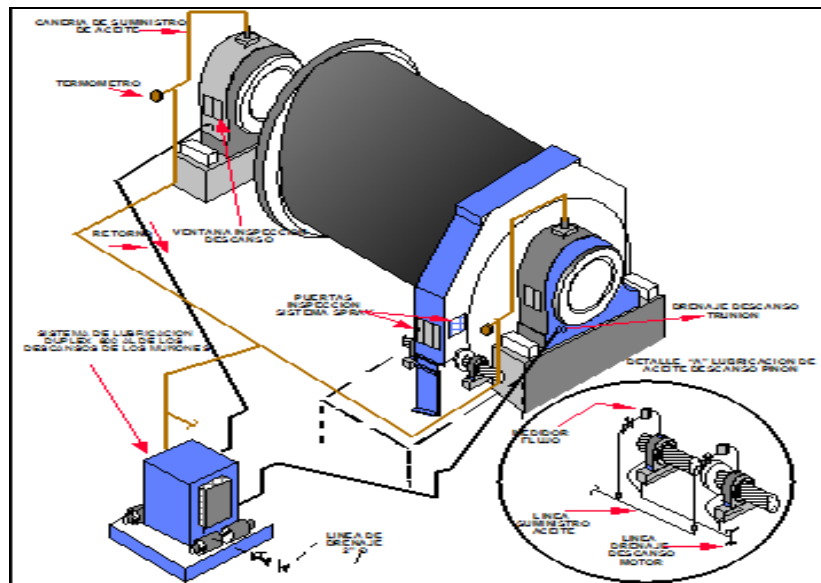


Figura 130 Sistema de lubricación automático. Circuito baja presión

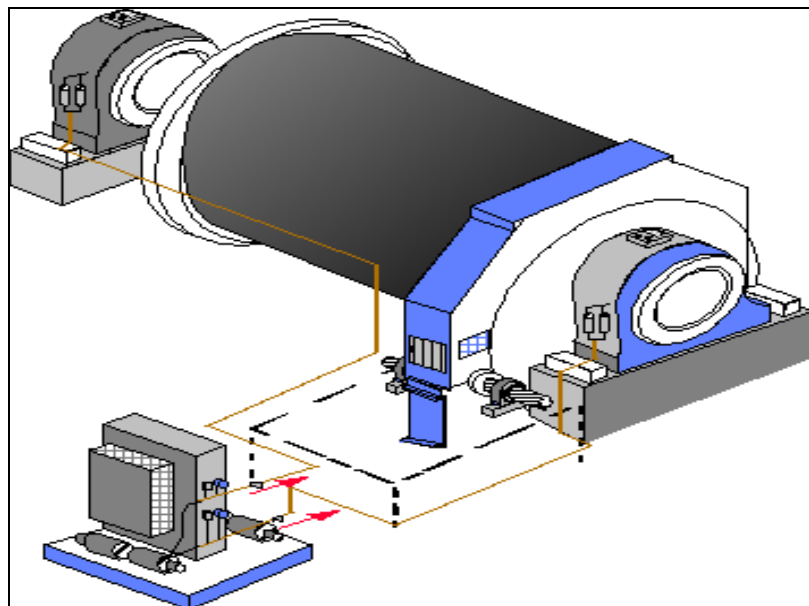


Figura 131 sistema de lubricación automático. Circuito alta presión

28.4 Sistema de partida de un molino convencional

Es el sistema que da movimiento al molino, y está formado por las siguientes partes:

- El sistema de embrague, que une los ejes de transmisión.
- El piñón, el cual está montado sobre un eje y sirve para transmitir el movimiento del motor a la corona.
- La corona, es una rueda dentada que rodea la parte exterior del casco del molino.
- El motor eléctrico, que da la fuerza necesaria para mover el molino, la cual mediante el contra eje conecta el movimiento al piñón, que a su vez da movimiento a la corona.

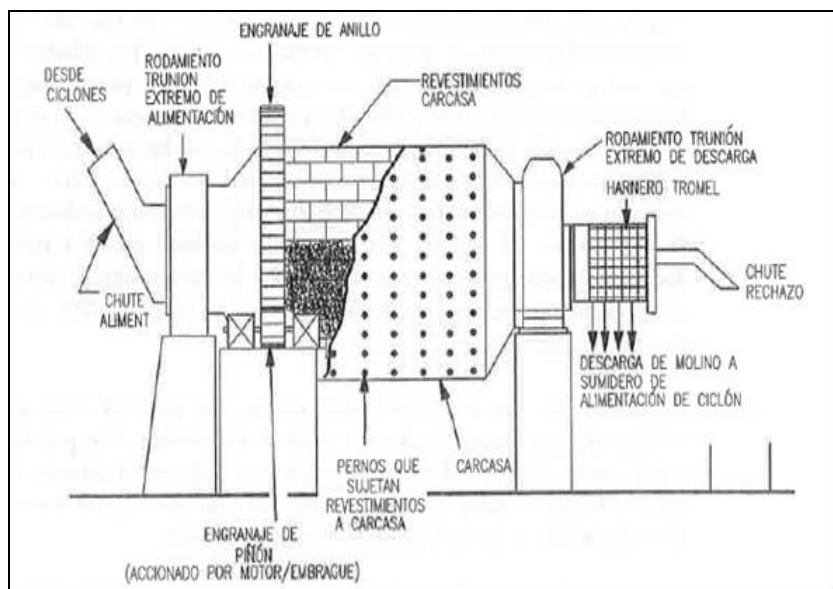


Figura 132 Sistema de acoplamiento piñón – corona

28.5 Sistema de embrague de partida de un molino convencional

El embrague de aire está compuesto de un eje de transmisión que sale del motor y un eje de transmisión conectado al piñón de accionamiento del molino. Un conjunto de almohadillas de fricción con resortes se ubican en la parte exterior y giran junto con el eje del motor, el que es hueco para permitir que el aire comprimido pase al embrague. Un tambor de acero interior gira con el eje de piñón. Para operar el embrague el aire infla un tubo de caucho reforzado que está detrás de las almohadillas de fricción. El tubo comprime estas almohadillas contra el tambor transmitiendo el torque del motor al eje del piñón.

Para accionar el embrague y transmitir energía al molino se abre la válvula de solenoide de aire. Una válvula de control de flujo regulable en la línea de suministro de aire regula la velocidad de conexión del embrague y por lo tanto el tiempo de aceleración del molino. El tubo de aire activador compensa automáticamente el desgaste del patín por fricción, evitando la necesidad de ajustado. La fuerza centrífuga y los resortes de desenganche hacen que los patines de fricción se desenganchen rápidamente del tambor cuando el aire es expelido.

El motor y el embrague del molino cuentan con diversos dispositivos de seguridad para protegerlos. Comúnmente ventearán el aire desde el embrague para evitar que el molino comience a funcionar (es decir, abortarán una puesta en marcha o detendrán la partida del molino) cuando las condiciones varían de lo normal.

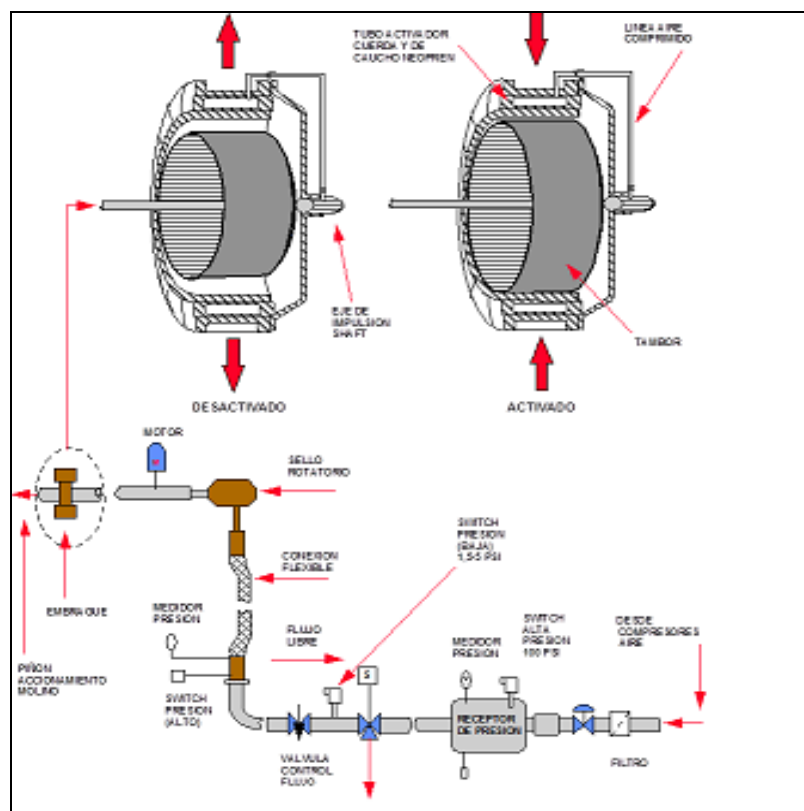


Figura 133 Sistema de embrague molino

29. Variables de operación del molino convencional

29.1 Porcentaje de sólidos en la descarga molino

Se recomienda trabajar con densidad de pulpa tan alta como sea posible, pero obteniendo una viscosidad adecuada; si es muy alta puede actuar como amortiguador de los impactos. Si es muy baja, disminuye la probabilidad de contacto del mineral con las bolas y así hay mayor

consumo de metal, se opera normalmente entre 60 - 80 % de sólidos, lo que da un mejor aprovechamiento de la energía.

La medición de esta variable es muy importante y se realiza pesando un litro de pulpa en una balanza de medición de densidad o porcentaje de sólidos de la pulpa.

29.2 Potencia del motor

Los motores de inducción de rotor bobinado (sistema de giro de anillo sincrónico) son instalados en una configuración de piñones gemelos, esta elección responde al fácil acceso a las fases del rotor mediante los anillos de deslizamiento, los cuales son conectados a un arreglo de semiconductores, en una configuración denominada accionamiento Scherbius, controlando la velocidad del molino en un rango de velocidad del 85-110% en torno a su velocidad nominal de 10 rpm (este dato varía según diseño).

El control de la velocidad se logra manipulando la potencia de deslizamiento del rotor mediante una técnica de control de flujo orientado. El control de los motores de inducción debe acelerar y repartir la carga entre los motores de manera igualitaria. La diferencia de carga entre los motores no debe ser mayor al 5%.

El motor además debe cumplir las siguientes características generales:

- Motores auto ventilados (ventiladores directamente acoplados al eje del motor).
- Grado de protección IP 55.
- 2 Unidades hidráulicas de lubricación y refrigeración de los descansos de los motores.
- Ventilador anti corrosión y anti chispas.
- Apto a ambiente de instalación: Intemperie.
- Carcasa en acero soldado.

29.3 Presión de levante en los descansos

Los descansos de los trunnion son los encargados de soportar el movimiento de rotación del molino, y están diseñados para una lubricación hidrostática. La lubricación hidrostática consiste en bombear aceite a presión entre dos superficies, con el fin de separarlas de tal forma que no se requiere el movimiento relativo entre ellas para mantener la película lubricante. Este tipo de lubricación se emplea con mucha frecuencia en rodamientos de empuje que soportan ejes verticales y reciben el nombre de rodamientos hidrostáticos.

El aceite se suministra a presión en un resalto o bolsillo ubicado en la cara inferior del eje. Si la presión aplicada es suficiente, el eje se levanta y flota sobre la película lubricante.

29.4 Alimentación de carga y agua al molino

La carga de mineral de alimentación al molino, cuanto más rápido sea, más rápido será la descarga que llega al otro extremo y el producto final será más grueso, lo cual implica de que el mineral permanecerá menos tiempo sometido a molienda. La alimentación de carga del mineral debe ser constante y uniforme, la cantidad se ajusta en la correa de alimentación según el tamaño de mineral apropiado, y depende de la trituración (aproximadamente 5% malla + $\frac{3}{4}$).

Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finalmente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por lo tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas, por ende en la operaciones se agrega un 50% a 60% de agua en peso para asegurar una descarga rápida del mineral.

El exceso de agua dentro del molino lavará las bolas y durante la operación del molino el mineral no estará pegado en las bolas, formando entonces una pulpa demasiado fluida que saca la carga de mineral demasiado rápida, no dando tiempo a moler y disminuyendo el tiempo de molienda. Esto da como resultado una molienda excesivamente gruesa, consumo exagerado de bolas y desgaste de los revestimientos internos o corazas del molino. Todas estas condiciones unidas representan un aumento del costo de producción y una baja eficiencia de la molienda.

30. Molinos de Barras

30.1 Operación del molino

Los molinos de barras se clasifican de acuerdo a la naturaleza de la descarga. Se puede hacer el enunciado general que mientras más estrecha sea la descarga en la periferia de la coraza, pasará más rápido y habrá menos sobremolienda.

Los molinos de descarga central periférica se alimentan por ambos extremos a través de los muñones y la descarga del producto medio es a través de puertas circunferenciales situadas en el centro de la coraza. El corto recorrido y el declive muy alto dan una molienda gruesa con un mínimo de finos, pero la razón de reducción es limitada. Este molino se usa para molienda en húmedo o en seco y se usan más para preparar arenas para condiciones específicas, cuando son necesarias altas velocidades de tonelajes y un producto extremadamente grueso.

Los molinos de descarga periférica extrema son alimentados por unos de los extremos a través del muñón y descargan el producto molido por el otro extremo por medio de varias aberturas periféricas dentro de un canal circunferencial adaptado.

Este tipo de molino se usa principalmente para molienda seca y húmeda, cuando intervienen productos moderadamente gruesos.

El tipo de molino de barras que se usa más ampliamente en la industria minera es el de muñón de descarga, en el cual la alimentación se introduce a través de un muñón y se descarga a través de otro. Este tipo de molino se usa solamente para molienda húmeda y su principal función es convertir el producto de la planta de trituración en alimentación para el molino de bolas. Se obtiene un declive del flujo de material haciendo el diámetro de derrame unos 10 - 20 cm más grande que el de la abertura de alimentación. El muñón de descarga frecuentemente se adapta con un trommel para eliminar el material sobretamaño.

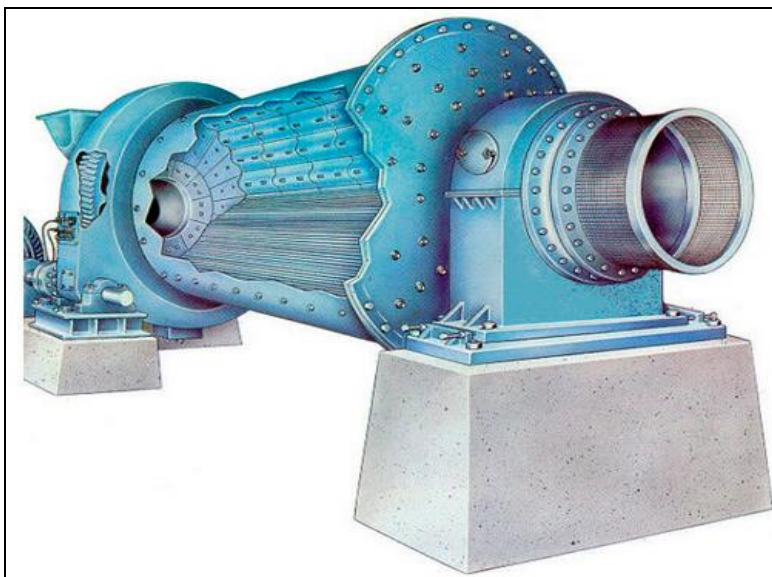


Figura 134 Molino de barras

30.2 Medio de molienda

Los molinos de barras se cargan inicialmente con una selección de barras de diámetro de todas las clases, la proporción de cada tamaño se calcula para ofrecer una superficie máxima de molienda y aproximarse a una carga equilibrada.

Una carga conveniente contendrá barras de diferentes diámetros que variarán desde las cambiadas recientemente hasta los diámetros de las barras gastadas por el rozamiento que tienen un tamaño tal que ya justifica el cambio. Los diámetros reales en uso varían de 25 a 150 mm. Mientras más pequeñas las barras, mayor es el área de la superficie total y por

consiguiente será mayor la eficiencia de la molienda. Los diámetros más grandes no deben ser mayores de lo necesario para quebrar la partícula más grande en la alimentación.

Normalmente una alimentación o producto grueso requiere barras más grandes. Generalmente, las barras se deben cambiar cuando se han desgastado hasta alrededor de 25 mm de diámetro, o menos, dependiendo de la aplicación, ya que las barras delgadas tienden a doblarse o quebrarse. Se usan barras de acero con alto carbono porque son más duras y se quiebran en vez de doblarse al desgastarse, no enredándose como las otras barras. El consumo de barras varía ampliamente con las características de la alimentación del molino, velocidad del molino, longitud de las barras y tamaño del producto.

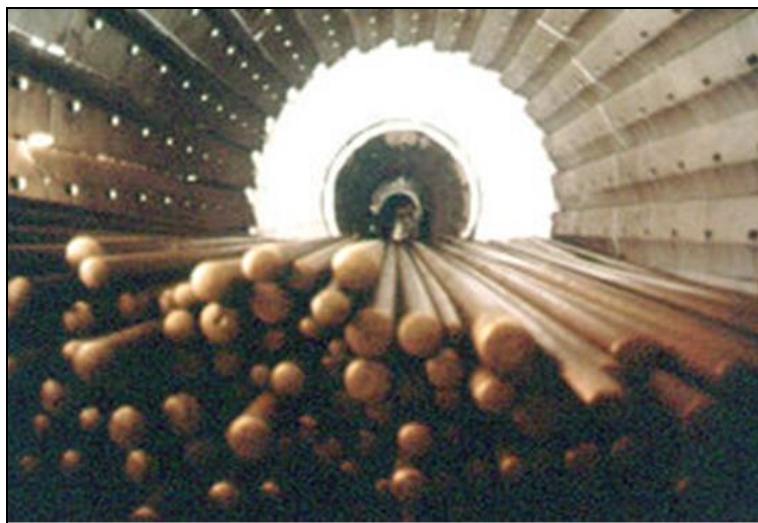


Figura 135 Barras de acero dentro del molino

Introducción a la Actividad

La siguiente actividad se divide en dos etapas en lo que concierne a los fundamentos del Proceso de Molienda: Molienda, Clasificación.

Aprendizaje Esperado que desarrolla

Operar equipos de molienda y sistemas auxiliares, según procedimiento.

Verificar condiciones operacionales en los molinos convencionales y equipos auxiliares, para detectar parámetros de operación fuera de rango y corregirlas, según estándares 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 24 Estrategias Metodológicas

Materiales y Recursos

Taller de minerales.

Mesón de trabajo.

Cubierta de plástico.

Bolsas plásticas con muestras de mineral.

Molino de laboratorio.
Bolas de acero de una pulgada.
Mesa de rodillos
Horno secador de muestras
Rotap
Serie de tamices
Agua
Balde
Material impreso (guía laboratorio)



Figura 136 Molino de bolas de laboratorio

Desarrollo de la Actividad

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



Figura 137 Elementos de protección personal obligatorios

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

El objetivo es conocer la distribución granulométrica de alimentación al molino, para ello obtener una muestra representativa por método de cuarteo y realizar análisis granulométrico.

Se pesará 1 kg de muestra.

La molienda se realizará con 60% sólidos.

El % de nivel de llenado de carga deberá ser 45% del volumen del molino.

Determinar la carga de bolas de molienda.

La carga de bolas se determina con la siguiente fórmula:

$$Mb = \left[(Vm \times Vu) - \left(\frac{m_s}{\rho_s} + m_s \times \frac{D}{\rho_l} \right) \right] \times \rho_{ap}$$

Dónde:

Mb : Masa de bolas (g)

Vm : Volumen del molino (cc)

Vu : Fracción del volumen del molino ocupado por la carga de molienda (bola más pulpa): 45%.

m_s : masa de sólido (g)

ρ_s : densidad de sólido (g/cc)

D : dilución

ρ_l : densidad del líquido

ρ_{ap} : densidad aparente de los medios de molienda (4,5 gr/cc para las bolas de acero)

Se trabajará con un 75% de la velocidad crítica, para asegurarnos que ocurra el efecto de catarata en el molino, ajustando las rpm calculadas en el sistema de rodillos.

Determinación de agua en el molino para una molienda con 60% de sólido. Se calcula la cantidad de agua a agregar en el molino con la siguiente fórmula

$$Vl = \left[\left(\frac{m_s}{X} - m_s \right) \right] / \rho_l$$

Dónde:

VI : Volumen del líquido (gr)

X : fracción en peso del sólido (% sólido/100).

m_s masa de sólido (g)

Se realizará la molienda para 30 minutos.

Una vez concluida la molienda se secará en un horno a no más de 100 °C.

Una vez seca la muestra se le realizará análisis granulométrico con la misma serie de tamices empleada en la alimentación.

Los participantes completarán las tablas de los análisis granulométricos y los gráficos correspondientes a la alimentación y descarga molino.

Cierre de la Actividad

Determinarán el F80 y P80 a partir de los datos obtenidos en los análisis granulométricos. A partir de estos datos determinar la razón de reducción R80.

El instructor deberá analizar con los participantes sobre los resultados obtenidos en los análisis granulométrico y las consideraciones que pudieron haber afectados en la experiencia.

31. Equipos de Clasificación en Húmedo

31.1 Fundamentos

El campo de la clasificación comprende aquellas operaciones de separación por tamaños que utilizan como principio de separación la velocidad de sedimentación. Se entiende por velocidad de sedimentación la velocidad relativa entre un fluido y un sólido que se produce por la acción de un campo de fuerzas externo como el gravitatorio o uno centrífugo.

El objetivo del uso de hidrociclones como clasificador es de separar la alimentación en dos productos, overflow (flujo superior) y underflow (flujo inferior). El primero conteniendo todas las partículas de diámetro menor que cierto diámetro de corte y el segundo con todas las partículas de diámetros mayores a dicho diámetro. Este tamaño o diámetro de separación o diámetro de corte se designan por d_{50} .

31.2 Clasificadores centrífugos

Dentro del grupo de equipos centrífugos se encuentra el ciclón y el hidrociclón, que utilizan un campo centrífugo generado por la rotación del fluido, para acelerar la velocidad de sedimentación de las partículas.

El hidrociclón es un estanque cilindro-cónico, con una alimentación tangencial en la parte superior. Posee dos salidas, una situada en el centro y en lo alto de la parte cilíndrica sobre el vórtex y una en el extremo inferior del cono bajo el apex.

La entrada tangencial produce un movimiento de vórtice en tres dimensiones. Las trayectorias son hacia abajo para las partículas gruesas que se ubican cerca de las paredes, y hacia arriba para las partículas finas que se ubican cerca del eje. Es decir existen dos vórtices concéntricos actuando simultáneamente y con direcciones opuestas. De acuerdo a este esquema, existe una superficie donde la velocidad vertical se hace cero y cambia de dirección.

Las partículas en suspensión están afectas a la acción de dos fuerzas opuestas: una fuerza de arrastre hidrodinámica dirigida radialmente hacia adentro y una fuerza centrífuga dirigida radialmente hacia afuera.

Dependiendo del tamaño y peso específico de las partículas, éstas tenderán a una posición de equilibrio que es más cercana al eje del ciclón mientras más pequeña o más liviana es la partícula. Las partículas que se ubican en el radio de acción del vórtice ascendente serán llevados al rebose. Aquellas que se ubican a una distancia mayor serán llevadas a la descarga del hidrociclón o underflow.

Mientras que aquellas que se ubiquen en la zona de velocidad vertical cero tendrán la misma probabilidad de aparecer en el rebose o descarga del hidrociclón.

Una columna de aire se desarrolla a lo largo del eje, normalmente conectada a la atmósfera a través del apex. El comportamiento de esta columna de aire es complejo, y su efecto en el funcionamiento del hidrociclón es bastante importante. La desaparición de la columna de aire da lugar a una descarga tipo cordón, en contraste con la descarga usual tipo "paraguas".

La descarga tipo cordón puede ocurrir si la acumulación de gruesos en el cono es excesiva debido a un diámetro muy pequeño del apex, o a un aumento del contenido de sólidos en la alimentación o del flujo de entrada al ciclón. Esta situación de operación es indeseable por empeorar la clasificación.

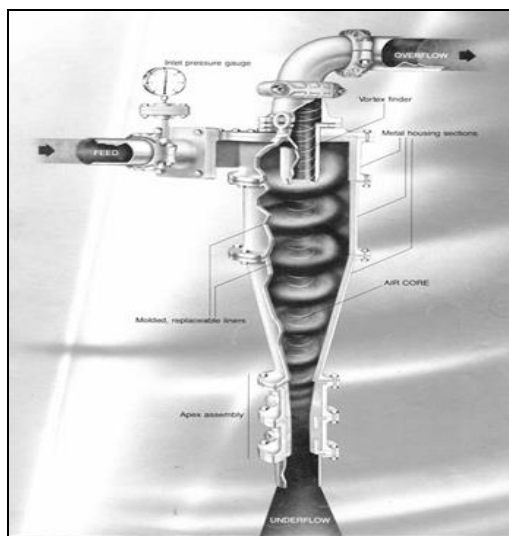
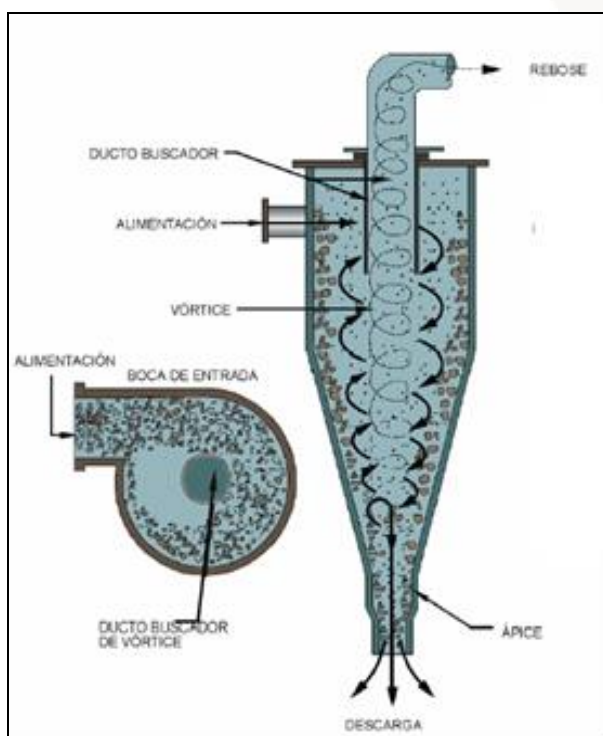


Figura 138 Corte de un hidrociclón



Figuras 139 Operación de un hidrociclón

31.3 Tipos de hidrociclones

Debido a las diferentes necesidades surgidas en el tratamiento de minerales, los hidrociclones han debido evolucionar, tanto en forma como en tamaño. Ello ha obligado a desarrollar equipos que, en ocasiones, guardan poco parecido con la imagen de un hidrociclón convencional.

De acuerdo a su geometría podrían clasificarse en dos grandes grupos:

Cónicos: Dentro de este grupo se incluirán de cono pronunciado y los de cono tendido.

Los hidrociclones cónicos, o convencionales, podrían sub clasificarse de acuerdo al ángulo de su parte cónica en: cónicos de cono pronunciado y de cono tendido.

Los hidrociclones de cono pronunciado (convencionales) comprenden aquellos hidrociclones con ángulo menor de 20° , caracterizados por un cuerpo relativamente largo debido a su conicidad. Este tipo de diseño se acompaña con partes cilíndricas de gran longitud (mayor que el diámetro), y toberas de alimentación y rebalse de pequeñas dimensiones, para aumentar el tiempo de residencia esto debido a la gran altura libre de vórtice (distancia entre el borde inferior de la tobera de rebalse y el vértice de la parte cónica), y su influencia inversamente proporcional al tamaño de corte, los que los hace más adecuados para clasificaciones finas.

Solamente los hidrociclones de pequeño y mediano diámetro, hasta 250 mm, se construyen con conicidad pronunciada. Suelen operar a presiones medias entre 22 y 58 psi obteniéndose tamaños de corte entre 2 y 30 μm .

Este es el tipo más difundido, especialmente en el tratamiento de minerales industriales donde a menudo se requieren clasificaciones más finas.

Los hidrociclones de cono tendido o ancho mayor de 20° , son usados principalmente para clasificar tanto por tamaño como por densidad (clasificación selectiva). El ángulo de su parte cónica varía entre 20° y 45° , aunque excepcionalmente pueden encontrarse hidrociclones con hasta 160° .

Se construyen en diámetros comprendidos entre 250 mm y 1250 mm.

Como es lógico, al disminuir el tiempo de residencia de la pulpa en el interior del hidrociclón, por su menor longitud, aumenta el tamaño de separación. Esto trae como consecuencia que los hidrociclones de cono tendido no alcancen una elevada recuperación de sólidos (referida a la descarga), pero sí presentan una mejor selectividad.

La presión de operación suele ser menor a 22 psi, aunque nunca menor a 3 psi, ya que no se conseguiría una columna central de vacío estable. Generalmente se opera entre 5 y 15 psi alcanzándose cortes entre 30 y 150 micras.



Figura 140 Hidrociclón de cono tendido

Hidrociclones cilíndricos: Este segundo grupo recogería los cilíndricos de fondo plano y descarga periférica, y los cilíndricos con descarga central.

Podrían incluirse dentro de la clasificación anterior como hidrociclones de cono tendido, pero debido a que exteriormente no se aprecia nada más que su cuerpo cilíndrico por su ángulo de 180° (de fondo perpendicular a la pared lateral) merece un tratamiento diferenciado.

Los hidrociclones con descarga periférica consisten básicamente en un hidrociclón convencional del cual se ha eliminado su zona cónica, reemplazándola por una parte cilíndrica de similar longitud. El fondo del ciclón es plano y la extracción del producto grueso se realiza tangencialmente por la zona baja de la pared cilíndrica.

Los hidrociclones con descarga central (fondo plano), difiere este diseño del anterior en que la descarga se realiza de modo convencional, es decir, a través de un orificio central.

31.4 Eficiencia de clasificación

La eficiencia de clasificación que realiza el hidrociclón, se evalúa por la fracción de la alimentación que se va a la descarga de este, para cada intervalo de tamaño.

Una clasificación ideal sería aquella en la que todas las partículas más finas que un tamaño de corte sean seleccionadas para el rebose y las más gruesas para la descarga del hidrociclón. Sin embargo en la práctica los hidrociclones no se comportan de esta manera y siempre habrá partículas finas en la descarga. Esto se debe a que las partículas son atrapadas y arrastradas por la pulpa densa de partículas gruesas que se mueve hacia la descarga. La fracción de finos de la alimentación que se va a la descarga normalmente se interpreta como "cortocircuito" o "bypass" directo de la pulpa de alimentación al flujo de descarga y se supone que afecta a todos los tamaños por igual.

Es conveniente la eficiencia de clasificación en un hidrociclón, por el porcentaje en peso de cada fracción de tamaño, de las partículas de la alimentación, que se va a underflow (eficiencia diferencial).

31.5 Variables operacionales

Las variables se clasifican en cuatro grupos: de diseño, parámetros del material, de operación y perturbaciones.

Las variables de diseño definen el comportamiento grueso del hidrociclón, el tamaño de corte y la nitidez de separación. Las más importantes son:

- Tamaño de la unidad (diámetro de la parte cilíndrica). Cada modelo de hidrociclón tiene asociado un rango de corte determinado, entendiéndose éste como el tamaño de gruesos que se encuentra en un porcentaje del 1 a 5 % en el overflow, y que corresponde al cortocircuito de partículas gruesa que son arrastradas en el overflow.

- Tamaño de la alimentación o área de entrada. Determina la velocidad de entrada de la pulpa. En la mayoría de los hidrociclones la forma de la entrada se desarrolla desde una sección transversal (en la entrada) hasta una sección rectangular (en la sección cilíndrica), para extender el flujo a lo largo de la pared de la cámara.
- Diámetro del vortex, que determina, según sea la presión de alimentación, el tamaño de corte: si este diámetro aumenta, el corte o tamaño de separación será más grueso y aumentará la capacidad del hidrociclón.
- Diámetro del apex. Determina la densidad de la pulpa de descarga, y debe ser bastante grande para descargar los sólidos gruesos en ella. Este orificio también debe permitir la entrada de aire a lo largo del eje del hidrociclón para establecer el remolino de aire. La descarga debe permitir formar un chorro cónico hueco, con un ángulo comprendido entre 20° y 30°.

El tamaño de corte (d50) depende principalmente del diámetro de la unidad, aumentando con un aumento del diámetro.

El d50 aumenta al aumentar el diámetro del vortex y el área de alimentación, y disminuye al aumentar el diámetro del ápex (spigot).

Un hidrociclón típico tiene un área de entrada del alrededor del 7 % del área de la sección transversal de la cámara de alimentación, el vortex tiene un diámetro de 35 - 40 % del diámetro del hidrociclón, y el diámetro del apex generalmente no es menor del 25 % del diámetro del vortex.

Las variables de operación se pueden distinguir entre variables de entrada y de salida.

Entre las variables de entrada se tiene:

La concentración, expresada como fracción volumétrica de sólidos, o como porcentaje de sólidos en peso, es la principal variable de control que permite cambiar en forma inmediata el tamaño de corte. Para separaciones finas, se logra con porcentajes de sólidos bajos y una gran caída de presión. El porcentaje de sólidos en peso de alimentación varía de acuerdo al diseño del hidrociclón. Porcentajes de sólidos más altos pueden afectar la eficiencia de clasificación, debido a un aumento de la viscosidad de la pulpa y disminución de la caída de presión efectiva. Actualmente, hidrociclones como los D33, donde la presión de trabajo es de 11 a 16 psi, se alimentan con un porcentaje de sólidos que fluctúan entre 60 a 70 % sólidos.

La presión de alimentación y el flujo de material, están relacionados íntimamente y determinan la capacidad del equipo. Un aumento en el flujo mejora la eficiencia por un aumento en la fuerza centrífuga y así partículas más finas son llevadas al underflow y el d50 disminuye. El sistema de bombeo se diseña, normalmente, para alcanzar caídas de presión del

orden de 10 psi, medida a la entrada del hidrociclón. Un aumento en la caída de presión tiene un efecto similar al del aumento del flujo de alimentación.

La concentración, expresada como fracción volumétrica es la principal variable de control que permite cambiar en forma inmediata el tamaño de corte. La presión de alimentación y el flujo de material están relacionados íntimamente y determinan la capacidad del equipo. Un aumento en el flujo mejora la eficiencia por un aumento en la fuerza centrífuga y así partículas más finas son llevadas al underflow y el d50 disminuye.

Entre las variables de salida interesa:

La granulometría del rebose y la proporción de agua que aparece en la descarga. Existe una interrelación entre ellas, ya que la proporción de agua influye en el cortocircuito y la granulometría del rebose es función de la curva de clasificación, del d50 y de la fracción de cortocircuito. La principal perturbación es la distribución granulométrica de la alimentación. Esto requiere de un ajuste rápido de la concentración para mantener el d50 constante.

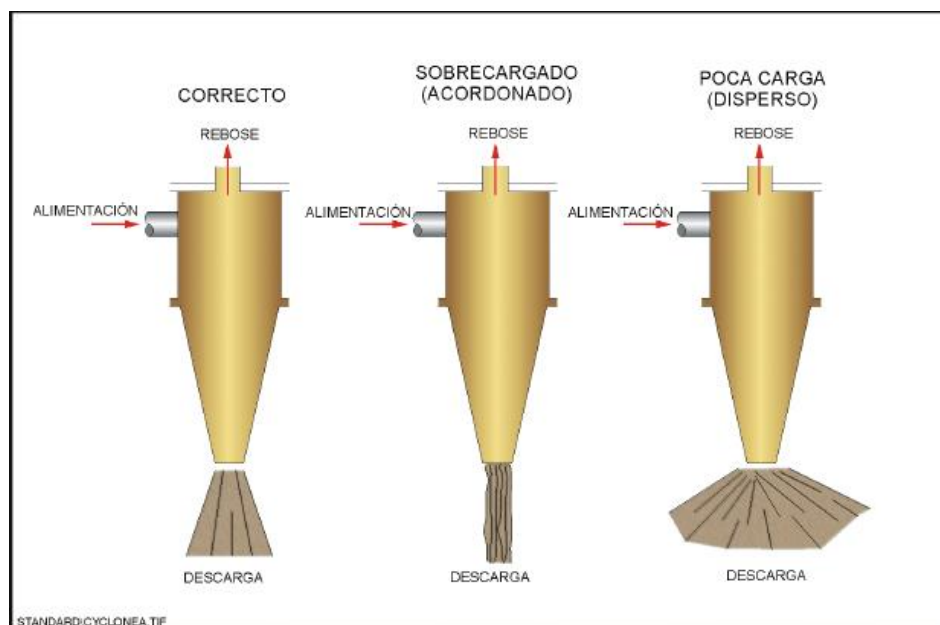


Figura 141 Tipos de descarga de un hidrociclón

Los ciclones se colocan en baterías para ahorrar espacio y asegurar una distribución igual de alimentación a cada ciclón. La pulpa proveniente de las bombas de alimentación de ciclones entra en el fondo de un distribuidor cilíndrico de alimentación, alrededor del cual las tuberías de alimentación de ciclones se colocan simétricamente.

Las válvulas de alimentación que conducen a cada ciclón pueden abrirse o pueden cerrarse independientemente. El underflow de cada ciclón descarga en una canaleta circular instalada alrededor de la tubería de alimentación. Otra canaleta circular recoge todos los reboses (overflow).

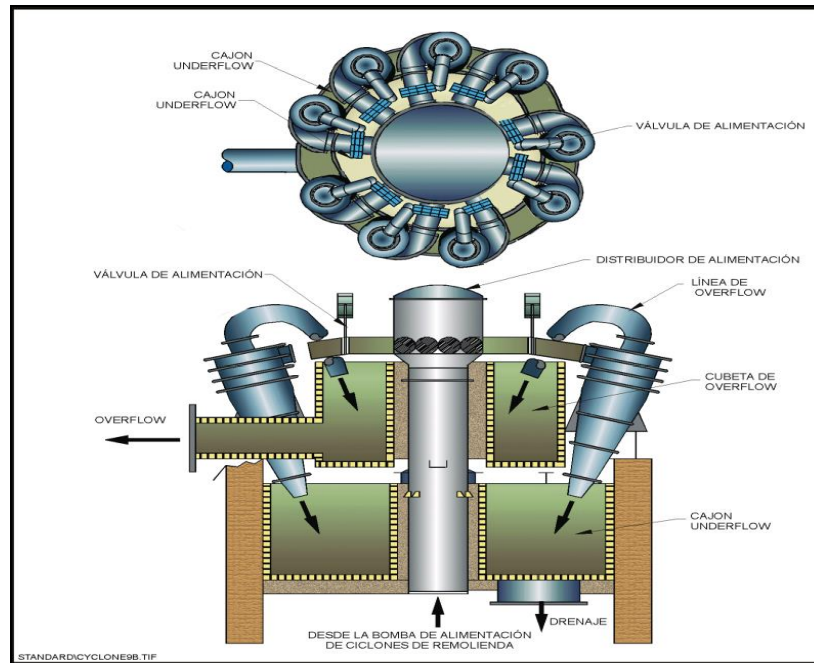


Figura 142 Batería de hidrociclones cónicos

31.6 Fundamentos de operación del hidrociclón de fondo plano

Con el fin de ampliar el campo de trabajo de los hidrociclones hacia tamaños de corte mayores, por encima de las 150 micras, surgió, basándose en la cama de sólidos que se crea en los ciclones de cono obtuso, el desarrollo de los llamados ciclones de fondo plano.

El lecho “fluido” creado en la zona inferior de los ciclones de cono ancho, no es un lecho estacionario, sino que está dotado de un movimiento de convección alrededor del núcleo central, lo que favorece la reclasificación de partículas, ligeras o de pequeño tamaño mal clasificadas, que en su movimiento constante son en algún momento arrastradas por el torbellino interior o principal, siendo finalmente evacuadas por el rebose superior.

Este principio no puede ser aprovechado en un ciclón cónico, porque un aumento de la altura del lecho provocaría rápidamente la obstrucción de la boquilla de descarga, debido a la fricción de las partículas con la pared cónica (efecto silo), pero si puede ser desarrollado alejando la pared del orificio de descarga, para lo cual se elimina la zona cónica prolongando al mismo

tiempo la zona cilíndrica y “cerrando” el ciclón con un fondo horizontal o casi, con un ángulo comprendido entre 160° y 180°. El lecho fluido creado en el fondo del ciclón actúa como un “colchón”, amortiguando las variaciones en la alimentación, tanto en caudal como en concentración de sólidos.

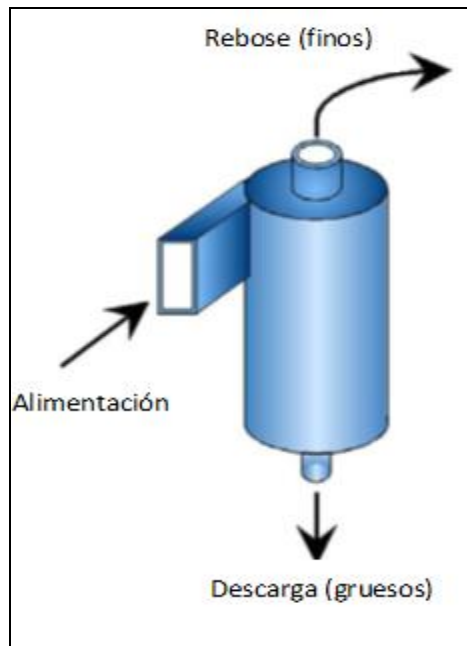


Figura 143 Hidrociclón de fondo plano

Este efecto es de sumo interés, especialmente en circuitos cerrados de molienda donde existen variaciones frecuentes de la concentración de sólidos en la alimentación, debido a los cambios de dureza del mineral y otras variables. Una disminución de la concentración de alimentación es seguida de una disminución de la concentración en la descarga, lo que provoca automáticamente una pérdida de partículas finas con el producto grueso, lo que se conoce como corto-circuito o by-pass de finos.

Contrariamente a lo que podría pensarse, la tendencia a la obstrucción de la descarga, por aumentos en el tonelaje de sólidos, es menor en ese tipo de ciclones que en los convencionales, resultando extraño llegar a la obstrucción total, lo que es bastante usual en circuitos de molienda, con las terribles consecuencias que esto trae para los circuitos de flotación posteriores que reciben el producto del rebose de los ciclones. La responsabilidad de esta “resistencia” al bloqueo debemos buscarla en los flujos de convección existentes en el lecho de sólidos que lo mantiene en rotación.

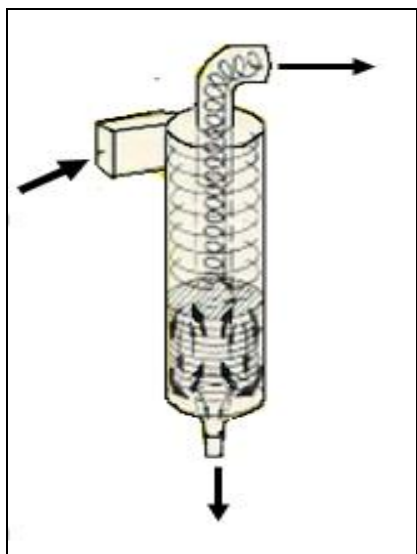


Figura 144 Operación de un hidrociclón de fondo plano

Aplicaciones del hidrociclón de fondo plano

Sería conveniente destacar tres aplicaciones muy interesantes de estos hidrociclones de fondo plano. La primera en circuitos cerrados de molienda a alta densidad, la segunda en clasificación de estériles de flotación para relleno de mina y la tercera en circuitos de concentración gravimétrica. En estos casos, y por razones distintas, este tipo de ciclón ha aportado valiosas soluciones a viejos problemas.

32. Bombas Centrifugas

32.1 Hidráulica de bombas

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.

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 145)

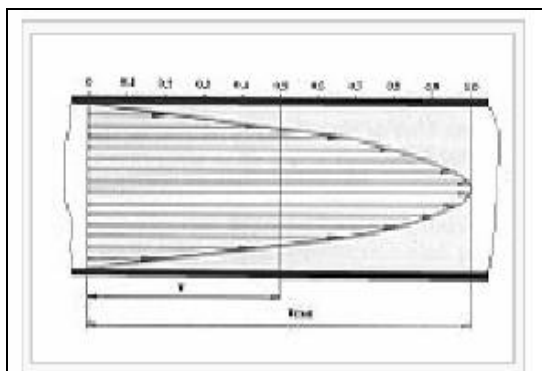


Figura 145 Distribución de velocidades en una tubería con flujo laminar

Velocidad crítica

Es aquella velocidad por debajo de la cual toda turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad del fluido, la experiencia demuestra que un límite superior para régimen laminar y

viene dada por un valor adimensional intermedio entre 2100 y 4000, es también conocido como flujo transitorio.

Flujo turbulento

La estructura del flujo en un régimen turbulento se caracterizan por los movimientos tridimensionales, aleatorios, de las partículas de fluido, supuesto al promedio, es decir, se denomina flujo turbulento cuando las trayectorias de las partículas fluidas se cruzan y entre cruzan continuamente sin guardar ningún orden. Ver figura 146.

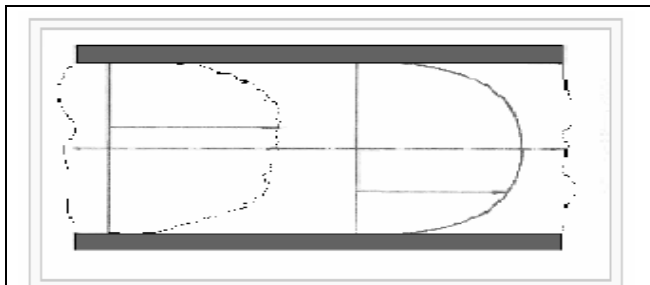


Figura 146 Distribución de velocidades en una tubería con flujo turbulento

Cavitación

La cavitación es uno de los problemas más graves que afectan a las bombas. Cuando 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 requieren 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 que permite 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 que 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 que erosionan el material llegando a perforarlo e incluso a su desintegración en los casos más severos.

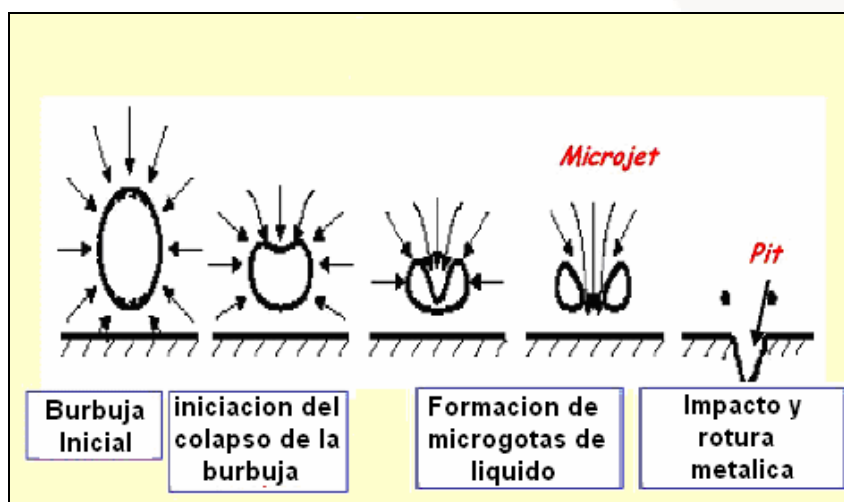


Figura 147 Colapso de la burbuja de vapor

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 valor 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.

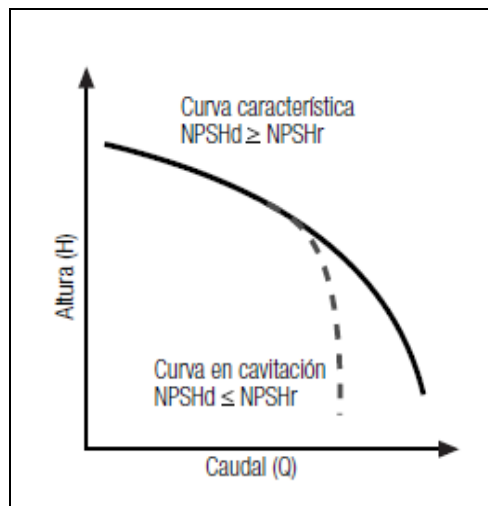


Figura 148 Curva característica en cavitación.

32.2 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.

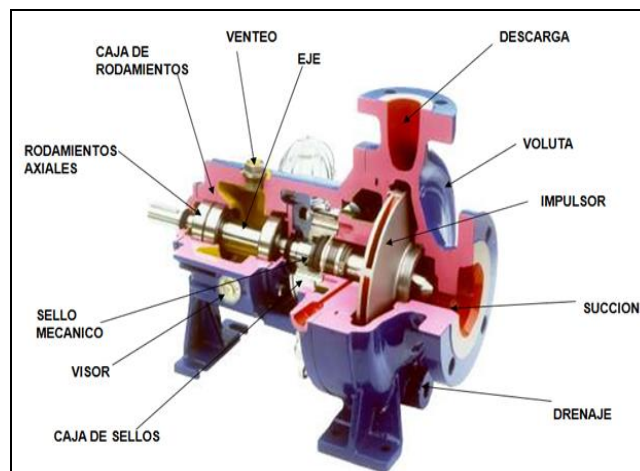


Figura 149 Componentes de una bomba centrífuga

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 1.000 PSI y a 200 °C.



Figuras 150 Partes de una bomba

32.3 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.

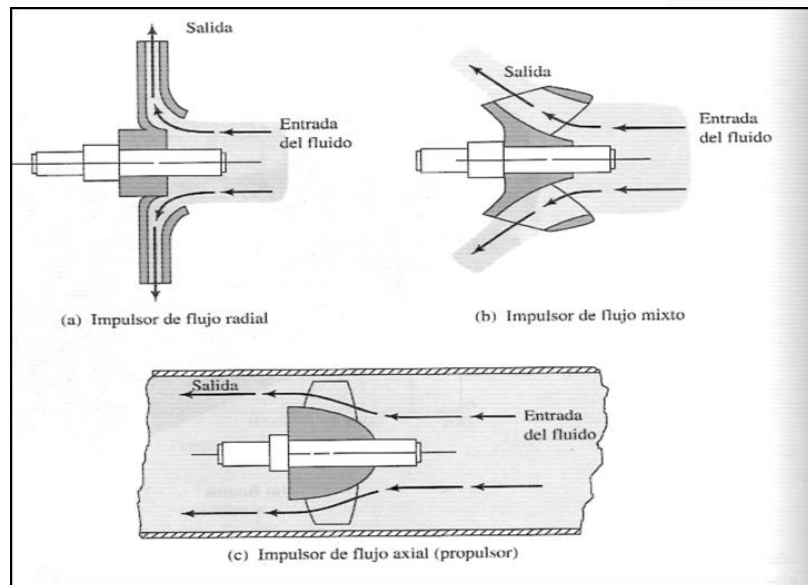


Figura 151 Impulsores según su función

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. Ver figura 152.



Figuras 152 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.

Se debe poner 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.

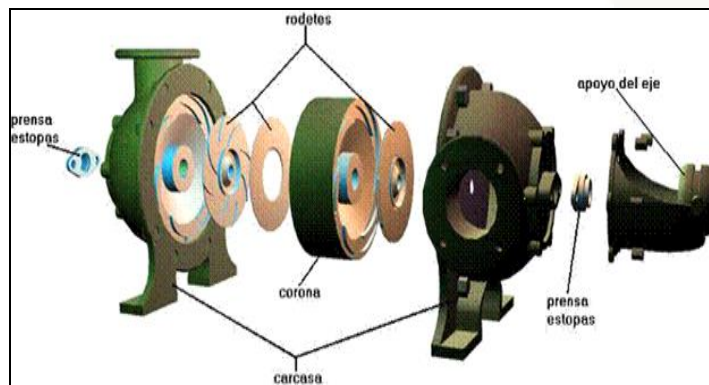


Figura 153 Piezas de bomba centrífuga

Estoperos, empaques 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.

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:

- a) El líquido es limpio y la altura de succión es negativa, el líquido lubricante es el mismo impulsado.
- b) 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.
- c) 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 154.
- 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 154 Tipos de empaques.

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 155.

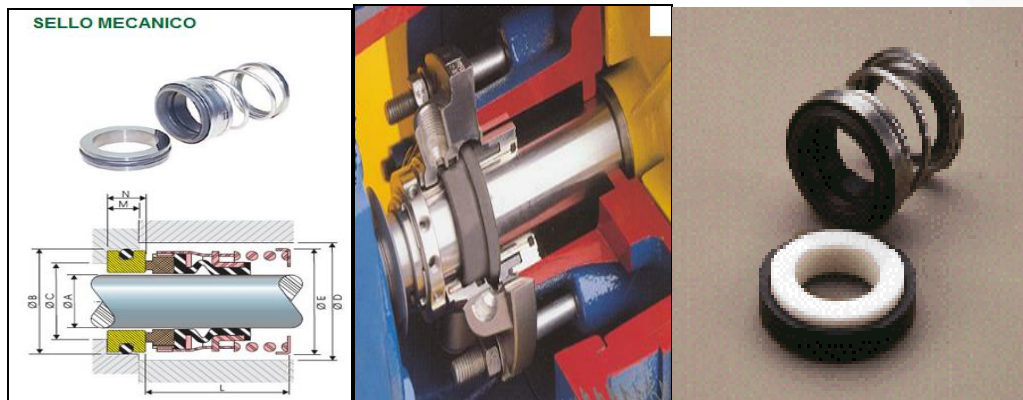


Figura 155 Sello mecánico

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 la precaución de la velocidad crítica, la cual es función del diámetro este 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 si necesita más de dos puntos de apoyo.



Figura 156 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 157; 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 157 Rodamientos.

32.4 Sistema de transmisión

Sistema de transmisión por correas

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

Es el más económico de los elementos de transmisión, ver figura 158. Aunque su eficiencia depende de la tensión, alineación y longitud.



Figura 158 Transmisión por correas

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 (ver figura 158).



Figura 158 Acoplamiento del eje

32.5 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) Que la empaquetadura esté perfectamente colocada y apretada suavemente.
- c) Que el eje gire a mano fácilmente.

d) Comprobar 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 caso 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 consumo en amperes, hasta la total abertura de la misma. En régimen normal, el consumo indicado en la placa del motor eléctrico no deberá ser superado.

Para proceder 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 está 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 bajas temperaturas (“heladas”), es necesario vaciar completamente, tanto la bomba como las tuberías, para evitar posibles roturas.

32.6 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 impulsa 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 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, solidos.
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.
Patas 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.
Hay cavitación.



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

