



Cuaderno del Instructor
Operador Base Planta
Módulo 3: Hidrometalurgia: Procesos de
Lixiviación
PFPCO-2-01/v.2-[PE01-M03/v.1]

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
Susana Gallardo S., Especialista de Formación
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos
Carolina Gutiérrez M., Consultor de Proyectos

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

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

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

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

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

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS

QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE.

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

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

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

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

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

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

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

Contribución del CCM

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

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



Para el sector minero:

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

Para las instituciones educativas:

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



Para la comunidad y el país:

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

Índice

Descripción del documento.....	8
Módulo III: Hidrometalurgia: Procesos de Lixiviación	9
1. Nociones del proceso de lixiviación	10
1.1. Descripción general	10
Actividad N° 1	17
2. Principales equipos del proceso de lixiviación	19
2.1. Descripción de los principales equipos asociados al proceso	19
Actividad N° 2	22
3. Operación y armado de sistema de riego de pilas	25
3.1. Construcción de la pila	25
3.2. Flujo de la solución de lixiviación de pilas	26
3.3. Permeabilidad de la pila	27
3.4. Aplicación de la solución de lixiviación.....	28
3.5. Tasa de aplicación de la solución de lixiviación.....	29
Actividad N° 3	31
3.6. Componentes principales del sistema de lixiviación	34
4. Sistema de distribución y bombeo.....	49
4.1. Terminología de bombas	49
Actividad N° 4	53
4.2. Sistema de bombas.....	59
4.3. Adición de reactivos	78

Actividad N° 5	84
5. Parámetros y variables de operación del proceso de lixiviación	87
5.1. Equipo de monitoreo: leer e interpretar los indicadores de equipos	87
5.2. Factores externos que influyen en las lecturas de los instrumentos	90
5.3. Técnicas de Medición	91
5.4. Equipos de medición del proceso de lixiviación	94
Actividad N° 6	113
5.5. Nociones de mantenimiento preventivo de los equipos asociados	117
6. Identificación de riesgos asociados al proceso de Lixiviación	124
6.1. Riesgos asociados a la operación del proceso de lixiviación	124
Actividad N° 7	128

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 Base Planta de nivel 2.

El documento está dividido en módulos, los cuales están organizados en secciones de temas y contenidos específicos.

El instructor podrá además, sugerir actividades como las que se listan a continuación:

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

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

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

Respecto a las evaluaciones se sugiere que éstas sean elaboradas por el instructor de acuerdo a los siguientes lineamientos:

La evaluación de los módulos y sus contenidos debe estar compuesta por a lo menos 10 preguntas, las cuales deben ser extraídas del documento “Instrumento de evaluación de proceso”.

Cada pregunta será evaluada con puntajes entre 0 y 10. La escala de calificación será de 0 a 100%. Considerando el 0% cuando el participante no tiene respuestas correctas y el 100% cuando posee la totalidad de respuestas buenas.

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

Módulo III: Hidrometalurgia: Procesos de Lixiviación

1. Nociones del proceso de lixiviación

1.1. Descripción general

La lixiviación o hidrometalurgia es el proceso de extracción de un compuesto metálico soluble a partir de un mineral mediante su disolución de manera selectiva en un disolvente adecuado. Hay una variedad de procesos de lixiviación y éstos se clasifican generalmente por el tipo de mineral y los reactivos utilizados en la operación. El tipo de reactivo utilizado, ya sea agua, ácido sulfúrico diluido, o cianuro de sodio, por nombrar sólo unos pocos, depende del mineral o el material pre-tratado a ser procesado.

Los reactivos específicos atacan sólo un (o, a lo sumo, unos pocos) elemento(s) mineral (es), incluyendo el metal o mineral objetivo. El proceso de lixiviación separa el metal del mineral permaneciendo durante un tiempo (tiempo de retención) pre-determinado para que los reactivos específicos penetren en la materia prima. El mineral debe ser triturado finamente para exponer mayor superficie del mineral deseado antes de la lixiviación. Los relaves (el material que queda después del proceso de separación de los elementos valiosos del mineral) de otro proceso de extracción, se pueden usar para eliminar metal adicional. Después del proceso de lixiviación, el metal objetivo se retira de la solución de lixiviación aplicada, llamada solución de lixiviación "cargada" por uno de varios medios electroquímicos (electro obtención) o químicos. Éste es el paso final en el proceso de extracción de diversos metales.

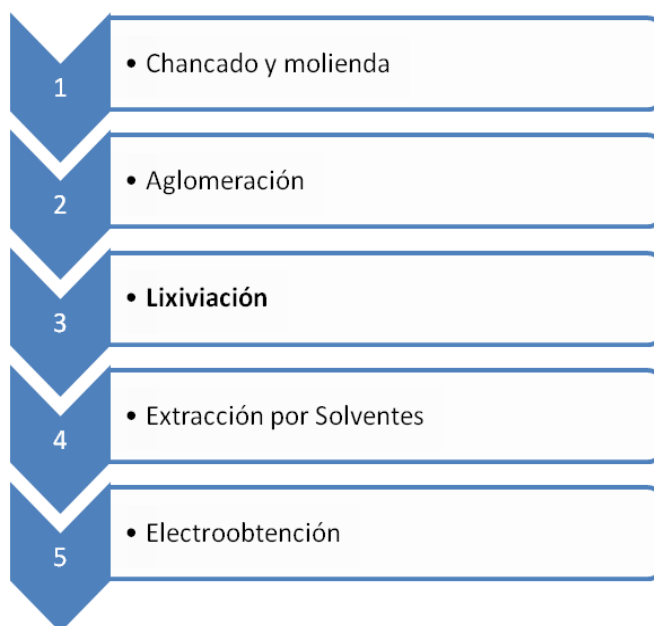


Figura 1

El proceso de lixiviación consiste en actividades previas a la lixiviación y la operación de lixiviación propiamente tal. Cada una de estas actividades es distinta de la otra y genera diferentes tipos de residuos.

Actividades previas a la lixiviación

Dependiendo de la ley del mineral y del tipo de operación de lixiviación para el que está destinado el mineral, puede ser necesario algún tratamiento previo. La conminución o chancado, trituración y molienda se utilizan para reducir el tamaño de la roca antes de que comience el proceso de lixiviación. Esto permite que el reactivo específico penetre en el metal o mineral objetivo más rápida y eficazmente. Por lo tanto, ayuda al proceso de separación permitiendo que las partículas minerales se adapten al tamaño óptimo para su posterior procesamiento.

Procesos de lixiviación

Los procesos de lixiviación pueden clasificarse por el tipo de solución de lixiviación (reactivo de lixiviación) utilizado y el material objetivo a ser extraído. En todas las operaciones de lixiviación, es esencial un sistema de gestión de soluciones, ya que el uso de una solución de lixiviación y otros reactivos puede ser muy peligroso y puede causar lesiones si no se utilizan correctamente. Hay 3 tipos principales de soluciones de lixiviación:

1. Solución de lixiviación ácida. Por ejemplo, el cobre se lixivia con un ácido sulfúrico.
2. Solución de lixiviación de cianuro. Por ejemplo, el oro se lixivia a partir de minerales de baja ley con una solución de cianuro de sodio.
3. Solución de lixiviación de agua. Por ejemplo, el agua se utiliza para separar ciertos compuestos solubles en agua tales como sales de sodio, boro, potasio y ciertas sales.

Hay 4 tipos principales de procesos de lixiviación utilizados en la extracción de minerales. Estos procesos utilizan una solución de lixiviación para separar el metal de destino o mineral a partir del mineral extraído. Estos procesos incluyen:

1. Lixiviación en tanque, cuba o por agitación.
2. Lixiviación in situ.
3. Lixiviación en vertederos.
4. Lixiviación en pilas.

Proceso de Lixiviación en tanque, cuba o por agitación

La lixiviación en tanque, cuba o por agitación, es un método de lixiviación para extraer metal y minerales valiosos de mineral extraído en bruto. Consiste en la colocación de mineral de suelo (suelo mineral a una pulpa fina), generalmente después de la reducción de tamaño y clasificación, en grandes tanques o cubas que contienen una solución de lixiviación. El mineral se introduce como suspensión o pasta en el tanque de lixiviación, donde se mezcla con una solución de lixiviación.

A menudo, los tanques o cubas están equipados con agitadores para mantener el mineral; luego la suspensión se pone en movimiento y aumenta su contacto con la lixiviación. Esto es facilitado además por el uso de tanques deflectores; una sección vertical o pared en el tanque que dirige el movimiento y mantiene la velocidad de movimiento. Este equipo aumenta la eficacia de la agitación y evita la separación de las sustancias más ligeras y más pesadas.

La lixiviación puede llevarse a cabo como un proceso por lotes, pero normalmente es realizada como un proceso continuo usando una serie de tanques o cubas. Después de la lixiviación, los sólidos lixiviados y la solución cargada suelen separarse antes del procesamiento adicional. La duración de la operación de lixiviación puede ir desde horas hasta días y se utiliza comúnmente para extraer oro, plata, cobre y níquel del mineral.

Este tipo de lixiviación da como resultado la rápida recuperación del material objetivo con tasas relativamente altas de extracción. En realidad no hay ninguna ventaja de costos para este tipo de lixiviación, ya que tiene mayor inversión inicial de capital y costos de operación en comparación con otros métodos de lixiviación. La lixiviación en tanque o cuba también puede generar grandes cantidades de contaminación industrial que pueden dañar el medio ambiente.



Figura 2

Proceso de lixiviación in situ

La lixiviación in situ, también llamada recuperación in situ o minería de solución, es un proceso de extracción utilizado para recuperar minerales como el cobre, uranio y sales solubles en agua a través de pozos perforados en un depósito. El proceso consiste en la perforación de agujeros en los depósitos de mineral para que la solución de lixiviación penetre en el metal o mineral objetivo. La solución de lixiviación se bombea en el depósito donde hace contacto con el mineral. La solución que lleva el contenido mineral disuelto, la solución cargada, se bombea luego a la superficie a través de un segundo pozo, y luego es procesada.

Este proceso permite la extracción de metales y sales de un yacimiento sin el requisito de una minería convencional que implica perforación y tronadura, rajo abierto o minería subterránea. A menudo se utiliza cuando los depósitos son demasiado profundos, o los bancos demasiado finos para la minería subterránea convencional.

Este proceso crea perturbaciones mínimas en la superficie, sin relave ni generación de residuos de roca. Los problemas con la lixiviación in situ incluyen perturbación subterránea y la posibilidad de contaminación del agua subterránea.

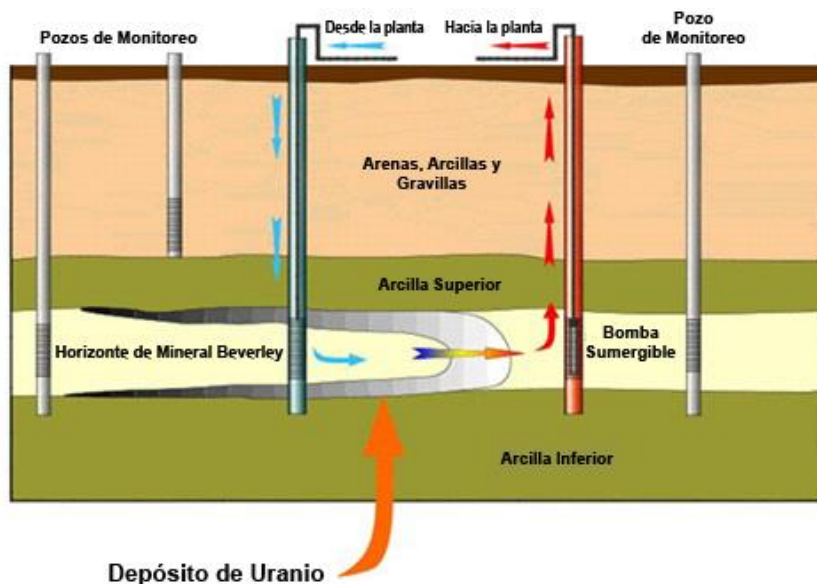


Figura 3

Proceso de lixiviación en vertederos

La lixiviación en vertederos se lleva a cabo en materiales de grado de calidad rechazados que durante la extracción normal fueron puestos a un lado en grandes vertederos en la mina. El tamaño de las partículas del mineral es generalmente grande, ya que no se ha chancado por aplastamiento o aglomeración. El mineral es procesado durante muchos años por aspersión de agua acidificada (solución de lixiviación) en la superficie de la pila. La solución de lixiviación penetra a través de los montones y se recoge en zanjás en la base del montón.

Se puede considerar que es una versión básica de la lixiviación en pilas, donde no se hacen arreglos especiales para aumentar la tasa de lixiviación. Por lo tanto, la recuperación de metales de las operaciones de lixiviación de vertederos es baja y la duración de la operación es relativamente larga. Pueden surgir problemas si la base de la pila no está preparada adecuadamente, causando pérdidas de solución. Esto podría convertirse en una fuente de contaminación ambiental si los lixiviados escapan a la recolección y fluyen a los suministros de agua naturales.

Este método de lixiviación es generalmente adecuado para minerales de baja ley (oro, plata y cobre) debido a que tiene muy bajo costo. Sin embargo, es un proceso de recuperación lento y puede demorar hasta aproximadamente 1 a 2 años el extraer 50% del mineral deseado. También puede dañar el medio ambiente.

La lixiviación en vertederos es muy similar a la lixiviación en pilas que se discute en más detalle a continuación.



Figura 4

Proceso de lixiviación en pilas

El tipo más común de lixiviación es la lixiviación en pilas. La lixiviación en pilas se utiliza para la extracción de una gama de metales de baja ley tales como oro, plata, níquel, zinc, uranio y cobre. La única diferencia con este proceso y el metal objetivo o minerales a extraer, es el tipo de solución de lixiviación que se utiliza.

Durante las últimas tres décadas, la lixiviación de minerales de baja ley ha tenido amplia difusión. La adaptación rápida y la maduración de esta tecnología se deben a su baja inversión de capital y los costos de producción que hacen rentable el procesamiento de minerales de baja ley, principalmente cuando los métodos convencionales resultan demasiado caros. La lixiviación en pilas tiene otras ventajas, como un tiempo de puesta en marcha relativamente corto, tiempos de ejecución más rápidos y la capacidad de explotar económicamente los depósitos demasiado pequeños para los métodos de procesamiento convencionales. La lixiviación en pilas tiene una huella de carbono menor que los métodos de extracción de carga intensiva de energía tradicionales. Esto es porque en la lixiviación en pilas, las canchas (pads) están más cerca de la mina, lo que puede reducir la contaminación relacionada con el transporte, la ayuda en la gestión de las fugas de solución, la rehabilitación del terreno (cultivo de árboles) y la contaminación de carbono aislada.

La lixiviación en pilas es una tecnología que es simple en principio. El mineral chancado, o tal como sale (ROM) de la mina, se apila en una cancha impermeable y se aplica una solución de lixiviación a la superficie. El mineral deseado se absorbe y la solución se convierte en "cargada" a medida que la solución se filtra a través de la pila. La solución de lixiviación cargada (PLS) se recoge mediante un sistema de drenaje en la base de la pila y se canaliza al estanque de solución cargada. El PLS se bombea a la planta procesadora, donde se recupera el valor. La solución de lixiviación "estéril" se bombea al estanque de solución estéril desde donde se vuelve a aplicar a la superficie de la pila.

En las operaciones de lixiviación en pilas, el mineral se apila en una "pila" sobre canchas recubiertas resistentes al agua. Estas canchas se hacen típicamente de material de geomembrana, un revestimiento de membrana sintética de muy baja permeabilidad. Las pilas pueden, en algunos casos, llegar a los 100 metros de altura y 85 acres de tamaño (34 hectáreas), y se diseñan con una ligera pendiente (1-3° de pendiente). Hay varios tipos diferentes de canchas o rellenos, incluyendo el reutilizable, el expandible y el valle. Estas canchas están diseñadas para prevenir la filtración química en el suelo. Las canchas se construyen típicamente de manera que la maquinaria pesada se puede utilizar para cargar el mineral lixiviado (gastado) para su eliminación antes de la colocación de un nuevo mineral en la cancha.

El mineral se coloca en estas grandes pilas de acopio o "canchas", la cual está constituida por varios niveles de 5 a 10 metros de altura o "lifts". A medida que se construye cada nivel, una red de sistemas de goteo o aspersores de tubo de plástico se extienden sobre la parte superior de la cancha para entregar una solución de lixiviación a la pila. Esta solución de lixiviación penetra a través de la pila, disolviendo los minerales contenidos en la superficie de la roca. La solución de lixiviación se puede aplicar por pulverización o goteo con unidades portátiles, regando el mineral durante un período prolongado de tiempo (semanas, meses o años) para disolver los metales buscados.

El PLS que contiene el metal precioso sigue penetrando a través del mineral chancado hasta que alcanza el forro en la parte inferior de la pila donde se canaliza en un sistema de recuperación o un conjunto de estanques de recolección. Este sistema separa el metal precioso de la solución de lixiviación cargada y luego vuelve a utilizar la solución estéril para penetrar más mineral chancado. El metal precioso se bombea a continuación a los tanques en una planta de extracción de solución para su posterior procesamiento.

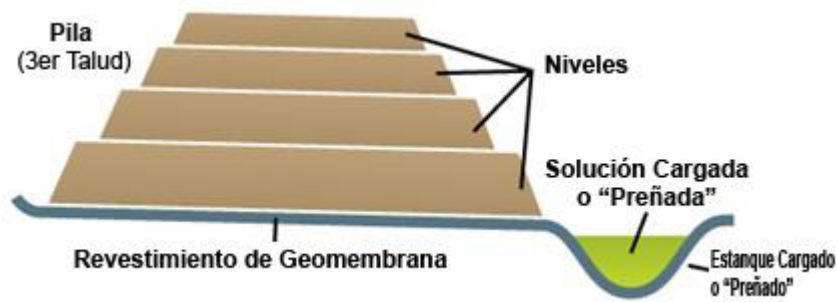


Figura 5

Esencialmente, hay cinco etapas de la lixiviación en pilas. Éstos incluyen:

1. Preparar el sitio mediante el apilamiento y compactación del suelo sobre un terreno ligeramente inclinado.
2. Cubrir terreno con una capa impermeable, como una capa de asfalto, material de geomembrana o una lámina de plástico flexible.
3. Apilar el mineral chancado en grandes montones en la cancha. Usar partículas finas y aglomeradas para aumentar la permeabilidad.
4. Regar la pila con una solución de lixiviación o reactivo de lixiviación.
5. Recoger el lixiviado (solución de lixiviación cargada) de la pila en un estanque en la parte inferior de la pila y bombearlo para su posterior procesamiento.

Hidrometalurgia: Proceso de lixiviación**Estrategias metodológicas para el instructor**

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

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

Objetivos de aprendizaje

- Apreciar el fenómeno de la lixiviación de cobre.

Descripción de la actividad

Los participantes observarán un experimento de lixiviación de cobre el cual podrán replicar en clases.

Materiales y recursosRecurso audiovisual:

- Experimento lixiviación:
<http://www.youtube.com/watch?v=Ha20Vs-KWAg>

Materiales:

- 300 gramos de gravilla

- 1 cucharada de sulfato de cobre
- 2 vaso precipitado
- Papel gofrado
- Embudo
- Ácido sulfúrico (200 ml)

Desarrollo:

Los participantes deberán seguir las instrucciones que aparecen en el video. Estas son:

- Preparar mezcla de gravilla con 1 cucharada de sulfato de cobre, se revuelve.
- Se prepara un filtro de papel doblando una hoja de papel gofrado en 4 y se corta una de las esquinas.
- Se pone el filtro sobre el embudo y en ella la mezcla de sólidos.
- Se vertió sobre la mezcla solida el ácido sulfúrico cautelosamente.
- Registrar lo que se observa.

“Experimento: Lixiviación”



Cierre

La palabra **lixiviación** viene del latín: “*Lixivia, -ae*” sustantivo femenino que significa **lejía**. Los romanos usaban este término para referirse a los jugos que destilan las uvas antes de pisarlas, o las aceitunas antes de molerlas.

El proceso hidrometalúrgico consiste en la obtención del cobre que se encuentra en minerales oxidados, los cuales son separados a través de la aplicación de una disolución de ácido sulfúrico y agua.

La lixiviación habitualmente se realiza en pilas en donde se inyecta una solución rica en ácido sulfúrico que atrapa el cobre contenido en las rocas apiladas. Como resultado se obtiene una solución ácida rica en cobre llamada PLS.

2. Principales equipos del proceso de lixiviación

2.1. Descripción de los principales equipos asociados al proceso

A continuación se describen algunos de los principales equipos involucrados en la aglomeración y lixiviación de mineral. Cabe mencionar que los equipos asociados a la construcción de pilas de lixiviación, así como algunos componentes asociados a la operación de lixiviación, se revisarán en detalle en secciones posteriores.

El tambor aglomerador

El material chancado es llevado mediante correas transportadoras hacia el estanque de aglomeración y curado, cuya finalidad es formar grumos de material fino, medianos y gruesos, producto de una irrigación con una solución de agua y ácido sulfúrico y que además, inicia el camino del proceso de sulfatación del cobre contenido en los minerales oxidados antes que se produzca la lixiviación en la pila. Posteriormente, estos grumos se transportan por una correa transportadora hacia el lugar donde se formará la pila.

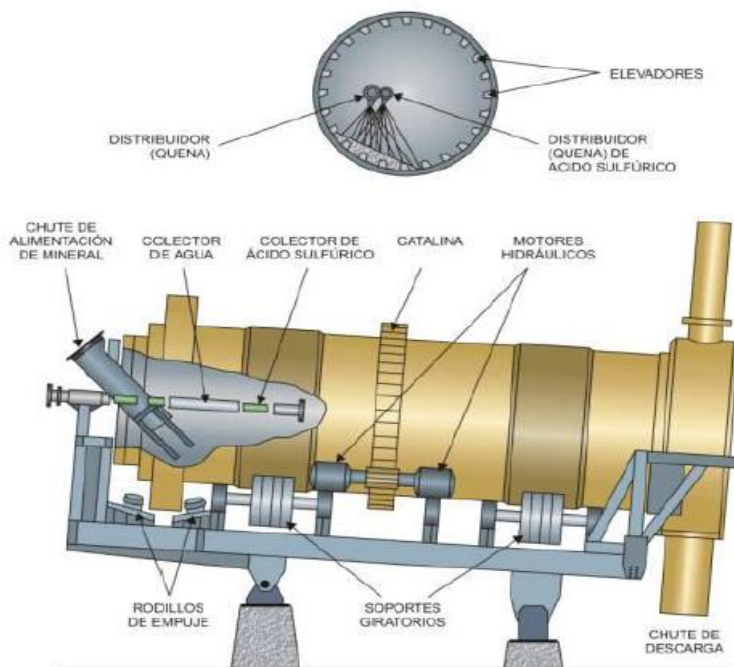


Figura 6

Tambor Aglomerador

Apilador o Stacker

En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcidor gigantesco (stacker o apilador), que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: que corresponde a la pila de lixiviación.



Figura 7

Equipo apilador o Stacker

Sistema de irrigación

Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y/o aspersores que van cubriendo toda el área expuesta.



Figura 8

Sistema de irrigación

Membrana Impermeable

Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenaje (tuberías con ranuras) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.



Figura 9

Membrana impermeable

Rotopala

El equipo de rotopala recoge el mineral, de las pilas de lixiviación, el cual ya pasó por su ciclo. Se busca reutilizar ese espacio en una nueva la pila de lixiviación fresca.



Figura 10

Equipo Rotopala.

Principales equipos del proceso Lixiviación**Estrategias metodológicas para el instructor**

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

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

Objetivos de aprendizaje

- Reconocimiento de equipos e identificación de componentes principales asociando las condiciones estándares de funcionamiento.

Descripción de la actividad


Los participantes deberán describir algunos de los principales equipos involucrados en la aglomeración y lixiviación de mineral a través de imágenes.

Materiales y recursos

Material didáctico (imágenes).

Desarrollo

a) El participante deberá describir algunos de los principales equipos involucrados en la aglomeración y lixiviación de mineral.

	<p>Tambor aglomerador.</p> <p>Es el equipo más común en la hidrometalurgia. Consiste en un cilindro inclinado girando a baja velocidad, ocasionando el deslice (cascada) y la aglomeración del mineral previamente mojado con agua y/o adherentes.</p>
	<p>Apilador o Stacker:</p> <p>En su destino, el mineral es descargado mediante un equipo esparcido gigantesco (stacker o apilador), que lo va depositando ordenadamente formando un terraplén continuo de 6 a 8 m de altura: que corresponde a la pila de lixiviación.</p>
	<p>Sistema de irrigación</p> <p>Sobre esta pila se instala un sistema de riego por goteo y/o aspersores que van cubriendo toda el área expuesta.</p>
	<p>Membrana impermeable:</p> <p>Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la cual se dispone un sistema de drenes (tuberías ranuradas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.</p>

**Rotopala:**

El equipo de rotopala recoge el mineral, de las pilas de lixiviación, el cual ya pasó por su ciclo. Se busca reutilizar ese espacio en una nueva la pila de lixiviación fresca.

Cierre

El instructor deberá enfatizar la importancia de la mirada de procesos, es decir lo que entra a la planta y lo que sale de ella. En conjunto con lo anterior, es fundamental que un operador reconozca el instrumental que utilizará en terreno, ya que será el primero en notar cualquier anomalía en el proceso y para ello se apoyará de la instrumentación disponible en la planta (flujómetros, manómetros, entre otros).

3. Operación y armado de sistema de riego de pilas

3.1. Construcción de la pila

Los métodos de construcción de la pila desempeñan un papel crucial para garantizar una hidrología satisfactoria de la pila y el éxito de los proyectos de lixiviación en pilas. Se debe poner todo el esfuerzo en la construcción de la pila para producir pilas que sean similares y suficientemente permeables. Es decir, las pilas que no están compactadas y libres de capas de material separado u otras anomalías estructurales que promuevan el flujo preferencial (flujo que no es uniforme - flujo de solución que no haga contacto con todo el material de mineral y por lo tanto reduce la velocidad de recuperación y la eficiencia). Los problemas con la compactación normalmente se producen cuando se utilizan camiones pesados y tractores para la construcción de la pila. En este caso, los camiones que circulan por la parte superior de la pila provocan compactación. Este problema puede mitigarse en parte al "dividir" los caminos de acarreo con una retroexcavadora.

También se pueden usar cargadoras y excavadoras para colocar el material. Este método permite que el material sea colocado en una condición no compactada, pero es más lento y la altura de la pila está limitada por la capacidad de elevación de las cargadoras. Las cargadoras tienen el potencial de compactar montones de cargas individuales durante la colocación, produciendo así grandes bloques consolidados con baja permeabilidad dentro de una pila de mineral aglomerado.

Un tercer método de construcción de pilas utiliza transportadoras y apiladores móviles. Estos sistemas permiten la colocación "suave" del mineral y se pueden minimizar tanto la compactación como la separación. La consolidación en la base de las pilas como resultado de alturas de descarga excesivas es también un problema que puede abordarse mediante la minimización de la altura de elevación. Dejar la apiladora a la altura total de la pila y permitir que los aglomerados caigan en cascada hacia abajo de la pila existente produce entonces el resto de la pila.

En muchos casos se coloca una capa de roca gruesa directamente sobre el revestimiento con el propósito de mejorar el drenaje de la pila. Algunas operaciones también construyen capas de mineral grueso (generalmente de 1 metro de espesor) en la superficie de la pila para asegurar la infiltración satisfactoria en la pila.



Figura 11

Un camión de transporte preparando una pila

3.2. Flujo de la solución de lixiviación de pilas

Las pilas de lixiviación son ambientes no saturados y por lo tanto la gestión de dichas pilas de lixiviación debe abordar todas las condiciones de flujo complejas inherentes a la gestión de pilas no saturadas. Existen dos preocupaciones principales en la gestión del flujo de solución de lixiviación en los canchas de lixiviación en pilas: si existe flujo adecuado y parejo o flujo uniforme de solución a través de la pila. Es necesario un flujo adecuado para que la pila sea lixiviada en un tiempo económico, mientras que se necesita un flujo uniforme para permitir que todo el mineral sea lixiviado a fondo.

El proceso requiere un material relativamente permeable y uniformemente estructurado que no promoverá la canalización de la solución o una interrupción en el circuito (flujo preferencial). Algunas porciones de la pila no reciben suficiente contacto con la solución y se mantienen sin lixiviación si la solución no fluye uniformemente a través de la pila y en vez de esto, fluye preferentemente a través de caminos distintos.

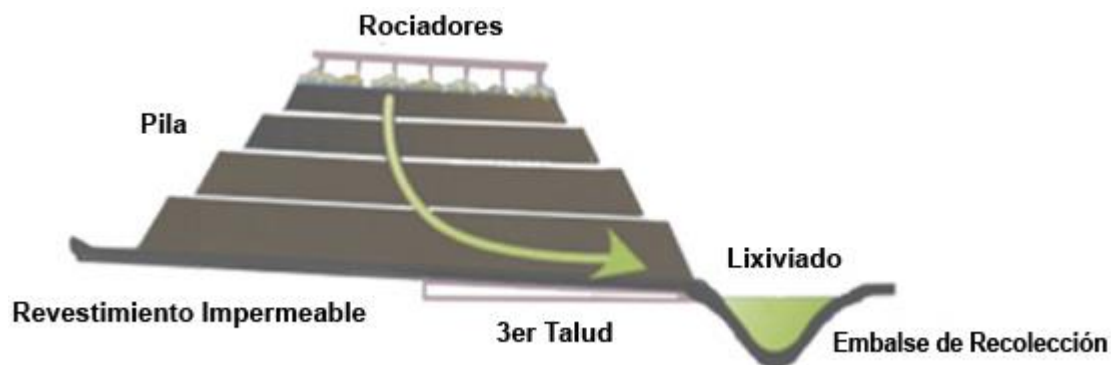


Figura 12



Figura 13

Sistemas de irrigación en la pila

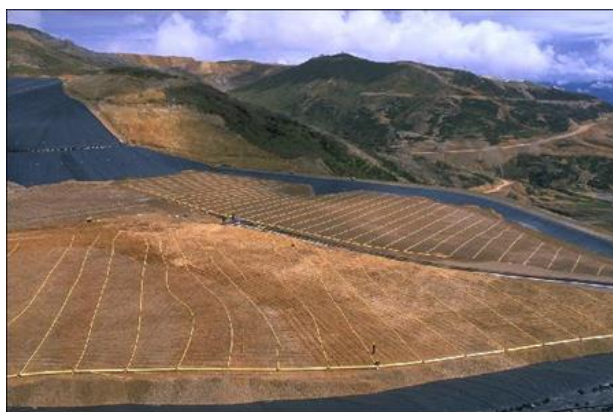


Figura 14

Canchas de lixiviación en pilas y sistemas de riego

3.3. Permeabilidad de la pila

La permeabilidad insuficiente de la pila es una de las causas más comunes del fracaso de los proyectos de lixiviación en pilas. Una mala permeabilidad significa un flujo de solución lenta y resultados poco rentables en los tiempos de ciclo de lixiviación. Además de esto, la recuperación se reduce debido a la humectación incompleta de la pila. La baja permeabilidad también limita la entrada de aire, una necesidad para las operaciones de lixiviación bacteriana. Si las pilas son demasiado permeables, el tiempo de contacto de la solución con el mineral será insuficiente, lo que también resulta en una reducción o recuperación lenta.

Uno de los principales contribuyentes a la baja conductividad son las partículas finas y las arcillas en el mineral. Las partículas finas en el mineral bloquean los espacios de los poros entre

las partículas, lo que reduce los espacios vacíos en general y por lo tanto la permeabilidad del mineral. En casos extremos, las pilas pueden "taponearse" cuando las partículas finas son transportadas por la solución y se aglomeran en una capa impermeable más profunda en la pila.

Los problemas de permeabilidad de la pila también surgen en las pilas donde el mineral se ha compactado debido a prácticas descuidadas o inadecuadas de colocación de material. La consolidación del material de la pila durante la vida de una pila también dará lugar a problemas de permeabilidad. La precipitación interna de especies como el calcio y el hierro, si se permite que se produzca, también puede reducir significativamente la permeabilidad. En la lixiviación en pilas de cobre se disuelve una proporción considerable del mineral durante la lixiviación. Esta degradación también resultará en una reducción de la permeabilidad.

3.4. Aplicación de la solución de lixiviación

Los dos medios más comunes utilizados para aplicar la solución de lixiviación son los aspersores y los emisores de goteo. Las altas energías de impacto de las gotas de los aspersores sueltan las partículas más finas de los aglomerados y los lavan en la pila o a un punto bajo en la superficie de la pila. Este proceso puede producir barreras que fluyen dentro de la pila o sellar la superficie de la pila. En cualquiera de los casos, habrá una reducción significativa en la recuperación de metales ya que se mantienen porciones de la pila sin lixiviar. Este problema no ocurre con el uso de emisores de goteo.

Puede ser necesario comenzar la aplicación de la solución poco después de colocar el mineral aglomerado (dentro de 48 horas), con el fin de evitar que los aglomerados se sequen. Esto se debe a que tras la re-humectación pueden colapsar, creando permeabilidad insuficiente, particularmente en la superficie de secado, donde sería mayor. Esto reduciría la infiltración en la pila y limitaría la velocidad de aplicación de solución máxima alcanzable.

Aunque los aspersores y los goteros pueden lograr una distribución uniforme de solución de lixiviación, su idoneidad se ve afectada por el tamaño de las partículas, la composición de la solución de lixiviación, la composición del agua y factores ambientales. Los goteros son particularmente favorables cuando se debe minimizar la evaporación o para la aplicación de la solución de subsuelo en la operación en clima frío. Afortunadamente, por lo general, es factible cambiar de una a la otra con un impacto mínimo en el funcionamiento.

El sistema de goteo suministra la solución de lixiviación y utiliza un regulador de presión para asegurarse de que los emisores de goteo operan a la presión correcta, lo que resulta en una tasa de aplicación adecuada de la solución. Los reguladores de presión son una necesidad con los sistemas de goteo porque una de las principales causas de la sobre aplicación de la solución

de lixiviación es no controlar las presiones de funcionamiento de las líneas de goteo. Las líneas de goteo se fijan con un espaciamiento predeterminado en donde los emisores están instalados en las líneas de goteo de modo que la solución se aplica a una distancia determinada entre emisores y líneas. El espaciado siempre depende de la tasa de aplicación ideal predeterminada para el mineral en particular. Los emisores están diseñados de tal manera que no puede ocurrir ningún taponamiento (bloqueo) y la solución puede fluir continuamente a través de la pila.



Figura 15

Línea emisora de goteo y regulador de presión

3.5. Tasa de aplicación de la solución de lixiviación

La selección de la tasa de aplicación óptima requiere del conocimiento del rango de permeabilidad de capacidad de retención de la humedad existente dentro de la pila. La zona de permeabilidad mínima (a menudo la capa de superficie) determina la tasa de aplicación máxima efectiva. Las tasas de aplicación en exceso crearán una interrupción del circuito y canalización (flujo preferencial). El aumentar la tasa de aplicación una vez que las interrupciones del circuito han reducido la eficacia del lavado no aumentará la tasa de lixiviación en el largo plazo. De hecho, una tasa de aplicación más alta sólo va a diluir la PLS (solución de lixiviación cargada) y hará que el procesamiento de la solución sea más difícil, así como inducir el flujo a través del material separado de textura más gruesa. El uso de bajas dosis de riego durante todo el ciclo de lixiviación proporcionará el mejor control del grado de PLS para minerales de baja permeabilidad inherente. En general la tasa de aplicación de la solución sólo debe ser suficiente para "lavar" las especies de interés disueltas.

La recuperación económica de pilas antiguas puede ser prolongada mediante el uso de ciclos de lixiviación/descanso. Esto es debido al hecho de que después de que la lixiviación cesa y la pila drena gran parte de los más pequeños elementos, los espacios vacíos permanecen llenos de solución. Por lo tanto, la disolución del material de interés continúa durante el ciclo de descanso provocando que se acumulen concentraciones en los vacíos llenos de agua. Un período relativamente corto de aplicación de solución puede lavar el material solubilizado de la pila. De esta manera, se puede mantener económicamente un flujo cargado limitado de mezcla de alta gradación.

El oxígeno es un elemento esencial en el proceso de lixiviación en pilas, así como la solución de lixiviación. Esto es porque el mineral respira y se disuelve en la solución. La penetración de la solución es fundamental para las tasas de recuperación de una pila. En general, cuanto mayor sea el nivel de oxígeno, mayor será la recuperación de minerales cuando se combinen con una solución de lixiviación. Aplicar demasiada solución de lixiviación satura el mineral triturado, haciéndolo muy compacto, y por lo tanto, empujando hacia afuera el oxígeno. En este caso, sin la ayuda del oxígeno, el tiempo de operación de lixiviación aumenta ya que la solución de lixiviación sólo penetrará lentamente a través de la pila.

Si la penetración de la solución de lixiviación en la pila no es uniforme, la solución de lixiviación podría causar canalización (flujo preferencial), dejando partes de la pila sin tratar. Por lo tanto, las partículas finas de mineral a menudo se aglomeran antes del proceso de lixiviación para asegurar una penetración buena y uniforme.

La máxima eficiencia de lixiviación se consigue cuando la solución de lixiviación se mueve de manera uniforme a través del mineral. Por lo tanto, es necesario tener un suministro constante de solución de lixiviación para garantizar una eficaz y eficiente extracción de mineral.

Operación y armado de sistema de riego de pilas**Estrategias metodológicas para el instructor**

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

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

Objetivos de aprendizaje

- Reconocer el proceso y componentes del proceso de riego.

Descripción de la actividad

Los participantes guiados por el instructor conocerán las principales características de los equipos y componentes del proceso de riego. El objetivo de la actividad es familiarizar al participante con la despegadora de cátodos y para esto observarán una serie de videos, que apoyarán los contenidos vistos en clases.

Materiales y recursosRecursos audiovisuales:

- Acidulado:
<http://www.youtube.com/watch?v=rK0aKbCKZAg>
- Lixiviación en Barrick Zaldívar: <https://www.youtube.com/watch?v=pxrWYrAiRsU>

Desarrollo

El instructor en base a su experiencia podrá guiar la observación de los videos sugeridos. El instructor podrá adoptar un estilo de dirección que ayude a construir aprendizajes a partir del video y la conversación respecto a éste, utilizando técnicas como: clarificar, profundizar, reformular. Para esto deberá pedir aclaraciones cuando intervienen los participantes, profundizará en los temas, escribirá en la pizarra u otro soporte para destacar lo relevante, dará la palabra a la mayor parte posible de participantes y resumirá lo relevante durante el cierre de la actividad.

Junto con la exhibición de estos, el instructor solicitará a los participantes que se fijen atentamente e intenten reconocer equipos, procesos y riesgos.



Algunas de las preguntas que el instructor podrá realizar son las siguientes:

¿De qué se trata el proceso de Lixiviación?

Es un proceso que permite sacar el cobre que viene del yacimiento, a través de un proceso que se basa en aplicar una solución de ácido sulfúrico y agua.

¿Qué pasa si los goteros se tapan?

Es importante que llegue la solución requerida, definida en el proceso, ya que si se tapan no se puede sacar mineral.

¿Cuál eran son los riesgos de realizar mediciones en las pilas de lixiviación de forma manual?

Caídas y contacto con ácido.

Para ahondar en los riesgos a los que se expone el operador durante la lixiviación, el instructor podrá invitar al participante a trabajar en la siguiente actividad, donde deberá mencionar las medidas de precaución a adoptar de acuerdo al riesgo.

Riesgo: Superficie sinuosa:

- Medida a adoptar: No correr. Siempre caminar observando el terreno.

Riesgo: Salpicadura de solución ácida de líneas de goteo:

- Medida a adoptar: Manipular con precaución líneas de goteo.

Riesgo: Rotura de líneas de goteo

- Medida a adoptar: Cubrir las partes expuesta a la salpicadura usando los EPP adecuados y en buen estado.

Riesgo: Instalación de tuberías

- Medida a adoptar: Al cortar con cuchillo las tuberías hacerlo hacia afuera del cuerpo, nunca apoyarlas en los muslos.

Cierre

El instructor podrá destacar que los métodos de construcción de la pila desempeñan un papel crucial para garantizar una hidrología satisfactoria y el éxito de los proyectos de lixiviación en pilas. Se debe poner todo el esfuerzo en la construcción para producir pilas que sean similares y suficientemente permeables. Es decir, las pilas que no están compactadas y libres de capas de material separado u otras anomalías estructurales que promuevan el flujo preferencial (flujo que no es uniforme - flujo de solución que no haga contacto con todo el material de mineral y por lo tanto reduce la velocidad de recuperación y la eficiencia).

3.6. Componentes principales del sistema de lixiviación

Dentro de los principales componentes de los sistemas de lixiviación destacan:

Bombas

Las bombas son una de las máquinas más antiguas utilizadas por el hombre para el transporte de energía de una forma a otra. Hay varios tipos diferentes de bombas, pero la forma más sencilla de clasificarlas se basa en el método utilizado para transmitir energía al líquido bombeado, el principio mecánico detrás de esta transferencia de energía, y el dispositivo mecánico para mover el fluido.

Las soluciones de lixiviación varían según el yacimiento, desde agua dulce para los depósitos de sal a las soluciones de ácido de cobre y lixiviados de ácido o bicarbonato de sodio para el uranio. Las bombas de extracción específicas tienen que ser confiables y deben tener la capacidad de soportar aguas tanto corrosivas como abrasivas, exigiendo a fondo la construcción de la bomba. Muchas bombas se construyen a partir de acero de alto grado o, en algunos casos, de titanio. Las bombas necesitan manejar niveles de pH muy bajos y ácido sulfúrico en concentraciones bajas o en concentraciones altas superiores al 90%.

Hay muchos tipos diferentes de bombas utilizadas en el proceso de lixiviación. Las más comunes se describen aquí.

Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo proporcionan un flujo constante aproximado a velocidades fijas, a pesar de los cambios en la contra presión. Hay dos tipos principales de bombas de desplazamiento positivo, (1) bombas reciprocantes y (2) bombas rotativas. El flujo de una bomba rotativa cambiará poco, mientras que el flujo de una bomba reciprocante apenas cambia. Por lo tanto, hace a estas bombas esenciales para la dosificación de soluciones de lixiviación en pilas.

Las bombas de desplazamiento positivo tienen una cavidad de expansión en el lado de succión y una cavidad de disminución en el lado de descarga. El líquido fluye en las bombas a medida que la cavidad en el lado de succión se expande y el líquido fluye fuera de la descarga a medida que la cavidad colapsa. El volumen es constante debido a cada ciclo de funcionamiento. Las bombas de desplazamiento positivo son "máquinas de flujo constante". Ellas, a diferencia de las bombas centrífugas, producirán el mismo flujo a una velocidad determinada (RPM) sin importar la presión de descarga.

Una bomba de desplazamiento positivo no debe ser operada con una válvula cerrada en el lado de descarga de la bomba, ya que no tiene cabezal de parada (de detención), como las bombas

centrífugas. Una bomba de desplazamiento positivo que opera con una válvula de descarga cerrada, continuará produciendo flujo hasta que la presión en la línea de descarga se incremente hasta que línea explote o la bomba se dañe severamente - o ambas.

Por lo tanto, una válvula de alivio o de seguridad en el lado de descarga de la bomba de desplazamiento positivo es absolutamente necesaria. La válvula de alivio puede ser interna o externa. El fabricante de la bomba normalmente tiene la opción de proveer válvulas de alivio o de seguridad internas. La válvula interna debe, en general, utilizarse solo como medida de seguridad; se recomienda una válvula de alivio externa instalada en la línea de descarga con una línea de retorno conectada a la línea de succión o tanque de alimentación.

El principio de desplazamiento positivo se aplica si la bomba es:

- bomba de lóbulo rotativo.
- bomba de cavidad progresiva.
- bomba de engranaje rotativo.
- bomba de pistón.
- bomba de diafragma.
- bomba de tornillo.
- bomba de engranajes.
- bomba de paletas.
- Bomba regenerativa (periférica).
- Peristáltica.



Figura 16

Las bombas de desplazamiento positivo comunes utilizadas en la lixiviación en pilas son:

- **Bombas de medición o dosificadoras**

Una de las bombas más importantes que usted como operador de lixiviación manejará en un sitio de lixiviación en pilas es una bomba de medición o dosificación. Estas bombas están diseñadas específicamente para controlar el volumen y transferir con precisión un volumen predeterminado de fluido (es decir, solución, reactivos, gas o suspensión) a una tasa especificada en un proceso o sistema (por aspersión o goteo). Las bombas dosificadoras aseguran una dosificación fiable y exacta, y son capaces tanto de medir el flujo continuo como de efectuar dispensación. Las bombas dosificadoras son capaces de manejar una amplia gama de líquidos, incluidos los que son tóxicos, corrosivos, peligrosos, volátiles y abrasivos.

Son un tipo de bomba de desplazamiento positivo y son generalmente del tipo diafragma. Esto significa que no tienen fugas debido a que el diafragma forma un sello entre el líquido y los alrededores. El diafragma está equipado con dos válvulas antirretorno - una en el lado de succión (aspiración) y una en el lado de descarga de la bomba.



Figura 17

Tipos típicos de bombas dosificadoras

Tipos de bombas dosificadoras

a) Émbolo embalado

La bomba de émbolo es el tipo utilizado de forma más común debido a su diseño relativamente simple y a su amplia gama de capacidad de presión (alta presión). Las bombas de émbolo consisten de un cilindro con un émbolo reciprocante dentro de ella. En la cabeza del cilindro se montan las válvulas de succión y descarga. En el golpe (ciclo) de succión (aspiración) se retrae el émbolo y las válvulas de succión se abren, provocando la succión del líquido en el cilindro. En el golpe (ciclo) de avance, el émbolo empuja el líquido fuera de la válvula de descarga.

Con un solo cilindro, el flujo del fluido varía entre el máximo flujo cuando el émbolo se mueve a través de las posiciones intermedias y flujo cero cuando el émbolo está en las posiciones finales. Una gran cantidad de energía se desperdicia cuando se acelera el líquido en el sistema de cañerías (piping). La vibración y los "martillazos de agua" pueden ser un problema grave. En general, los problemas se compensan mediante el uso de dos o más cilindros que no trabajen en fase entre sí.

b) Diafragma

Las bombas de diafragma son bombas reciprocantes que utilizan un émbolo para presurizar el aceite hidráulico que se utiliza para flexionar un diafragma en el cilindro de bombeo. Las bombas de diafragma son capaces de manejar agua sucia de mala calidad, así como fluidos peligrosos y tóxicos. Requieren poco mantenimiento el cual por lo general se lleva a cabo en terreno cuando es necesario. Las bombas de diafragma pueden funcionar por largos períodos de tiempo sin agua en la bomba. Hay varios tipos diferentes de bombas de diafragma.

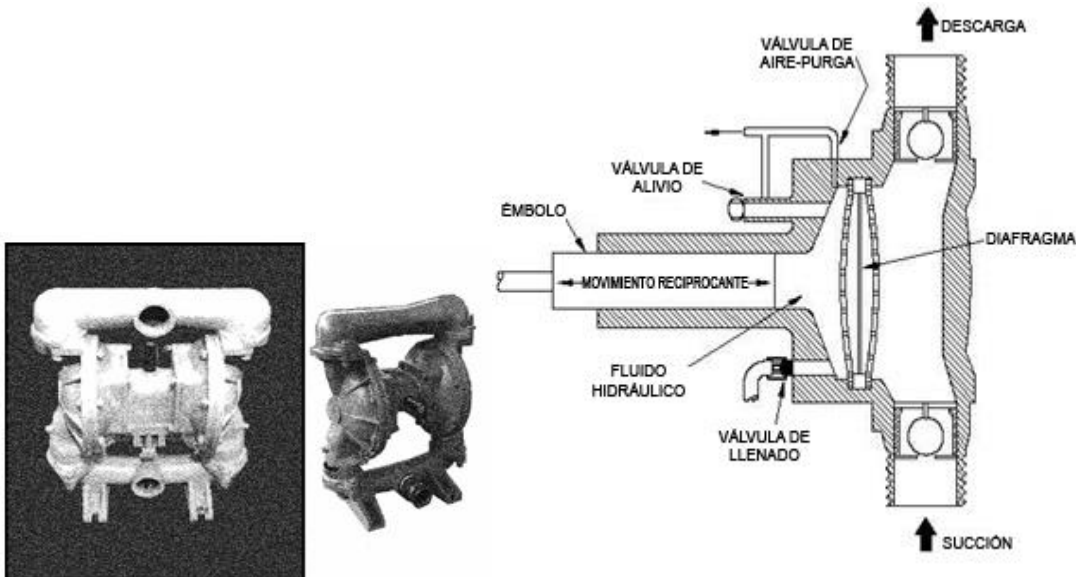


Figura 18

Bombas de diafragma

○ Diafragma accionado mecánicamente

La bomba de diafragma de accionamiento mecánico se utiliza comúnmente para servicio de baja presión, donde la ausencia de fugas es importante. Esta bomba usa un diafragma sin base o apoyo, que se mueve en la dirección de descarga por una leva y es devuelto por un resorte.

○ Diafragma accionado hidráulicamente

La bomba de diafragma de accionamiento hidráulico es un diseño híbrido que proporciona las principales ventajas de los otros tipos. Un émbolo empaquetado (embalado) se utiliza para pulsar aceite hidráulico contra el lado posterior del diafragma. La acción reciprocante impartida al diafragma hace que se bombee de forma normal sin ser sometido a diferencias de alta presión.

c) Bombas de tubo peristáltico

Las bombas peristálticas trabajan forzando fluido a lo largo de las ondas de contracción producidas mecánicamente en cualquiera de los tubos flexibles o mangueras. Las bombas de tubo utilizan una pieza giratoria única que incorpora rodillos que comprimen una pieza extruida de tubo elastómero sintético. En cada pasada entre rodillos, el tubo se abre para crear un vacío y atrae el fluido bombeado. Este efecto dinámico continuo crea un flujo de desplazamiento positivo, empujando el fluido a través de la bomba.

En una bomba de manguera, una zapata deslizante con bordes de salida y entrada perfilados o en forma de media luna da una entrada y terminación gradual a cada oclusión de la manguera. Esto evita la imposición y liberación abrupta de la presión y aumenta la vida útil de la manguera. Un lubricante especialmente desarrollado en el cabezal de la bomba elimina el desgaste de la manguera externa por el contacto con las zapatas deslizantes.

Las bombas peristálticas de alto desempeño de hoy en día están diseñadas para funcionar durante las 24 horas y combinan flujo preciso y bajos requerimientos de mantenimiento con la capacidad de manejar fluidos muy abrasivos y agresivos.



Figura 19

Una instalación de bomba peristáltica dosificadora química

Material de construcción de la bomba

Hay una gama de materiales de construcción utilizados para hacer estas bombas. Esto es debido a la variedad de productos químicos utilizados en la minería y su potencial corrosivo. En general, las bombas de émbolo y las bombas de diafragma accionado hidráulicamente están disponibles como estándar de construcción en acero dulce, fundido o hierro dúctil, acero inoxidable, y plástico (polietileno de alta densidad, HEPP). Las bombas de diafragma accionadas mecánicamente están generalmente disponibles como estándar de construcción en acero inoxidable y plástico.

Protección de la bomba

Las bombas de desplazamiento positivo debería, en teoría, ofrecer el mismo volumen de fluido no importa cuánto se restrinja la salida. Si el flujo de la bomba se bloqueara, la presión se elevaría a niveles enormes y dañaría la bomba. El sello del eje puede reventarse o la carcasa podría agrietarse. En cualquiera de los casos, la primera línea de protección sería una válvula de alivio de presión en la salida de la bomba. Otro método es el uso de un interruptor de presión en la salida de la bomba para apagar el motor.

Componentes básicos de bombas dosificadoras

1. Motor

Muchas bombas de dosificación son impulsadas por un motor de CA de velocidad constante. También existen motores de velocidad variable, neumáticos e hidráulicos.

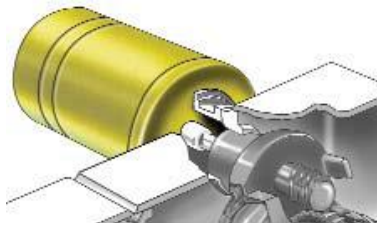


Figura 20

2. Mecanismo de accionamiento

El mecanismo de accionamiento traduce el movimiento de rotación de la unidad en movimiento recíproco.

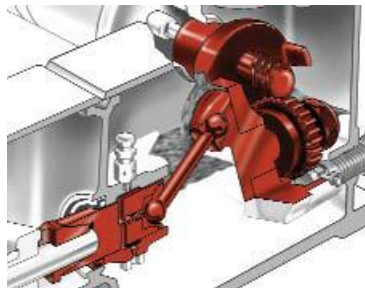


Figura 21

3. Regulación del caudal (flujo)

La tasa de flujo de la bomba se puede regular variando la longitud de carrera (ciclo), de carrera efectiva o la velocidad de la carrera.

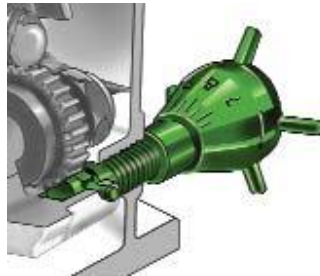


Figura 22

4. Extremo líquido

El diseño del extremo líquido y los materiales de construcción están determinados por las condiciones de servicio, y la naturaleza del fluido que se maneja. Se consideran la temperatura, tasa de flujo, la viscosidad del fluido, la corrosividad y otros factores.

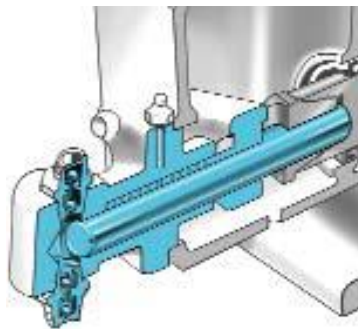


Figura 23

Bombas centrífugas

Una bomba centrífuga convierte la potencia de entrada en energía cinética al acelerar el líquido mediante un dispositivo giratorio - un rotor. Este grupo de bombas consiste en un rotor montado en un eje(s) giratorio(s) unidireccional(es) dentro de una carcasa. El líquido entra en la bomba a través del ojo del rotor, el cual gira a alta velocidad y adquiere energía en forma de velocidad a medida que pasa a través de los pasajes del rotor. Se crea un vacío en el ojo del rotor que atrae continuamente más fluido a la bomba. La altura de velocidad se convierte en altura de presión por la voluta o carcasa espiral externa de la bomba, el cual dirige el líquido desde el perímetro exterior del rotor a la descarga de la bomba.

Estas bombas no son bombas autocebantes y tienen que ser cebadas antes de operar. Es decir, el extremo de la manguera de succión de la bomba tiene que llenarse con líquido antes de que comience el bombeo. Para producir la succión en el puerto de entrada es necesario pre-llenar la línea de succión y la carcasa de la bomba con el líquido antes de hacer partir la bomba. Se

utilizan en condiciones en las que el nivel de líquido puede variar en operaciones continuas. Es decir, si el agua se seca durante un corto período, la bomba continuará girando y tomará agua inmediatamente cuando esta regrese. Sin embargo, estas bombas nunca deben hacerse funcionar en seco.

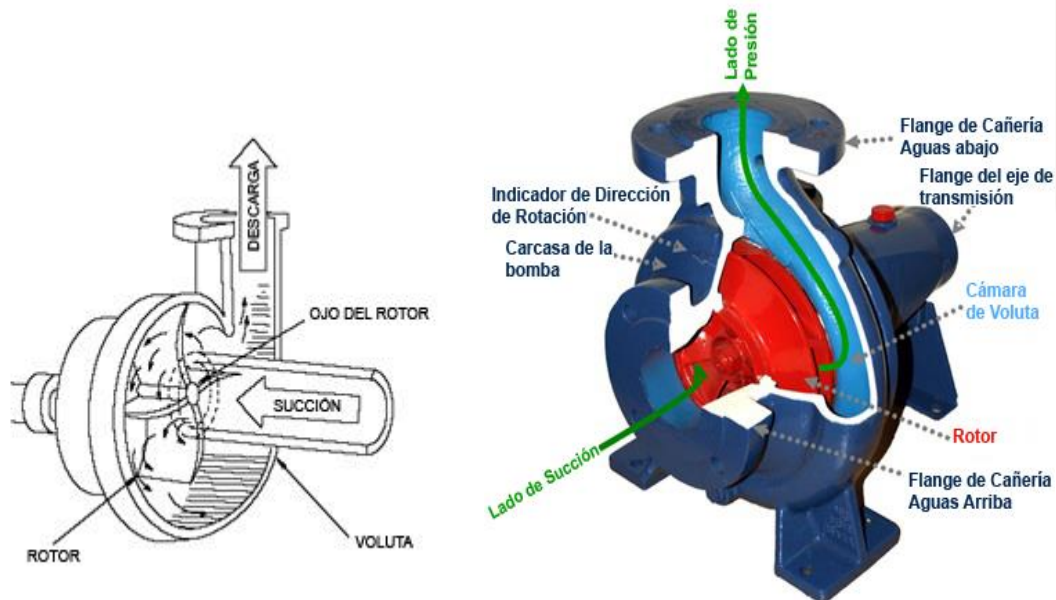


Figura 24

Bombas centrífugas

Tipos de bombas centrífugas utilizadas en la lixiviación en pilas:

- **Bombas sumergibles**

Las bombas sumergibles se componen de una bomba centrífuga multietapa y un motor eléctrico de corriente alterna. Son impulsadas principalmente por un motor eléctrico, aire comprimido o el sistema flex drive de un motor de gasolina o diésel. Esta bomba está diseñada para operar cuando está completamente sumergida en agua. Las bombas sumergibles funcionan mediante la protección de sus motores del líquido (agua) que se bombea. Por lo general, los motores se colocan en un compartimiento lleno de aceite, hermético al agua. Estos tipos de bombas se utilizan para bombear la solución de lixiviación cargada a la planta de recuperación para su posterior procesamiento.

Una ventaja de estas bombas es que son autocebantes porque la sustancia que ceba, generalmente agua, está allí mismo en la propia bomba. Sin embargo, debido a que estas bombas están sumergidas, están sujetas a desgaste al igual que todas las demás bombas. Hay una posibilidad de que la bomba se corra y pierda sus sellos, permitiendo de este modo que el

líquido penetre en la carcasa del motor causando daños considerables. Desafortunadamente, su ubicación bajo el agua hace difícil observar este desgaste.

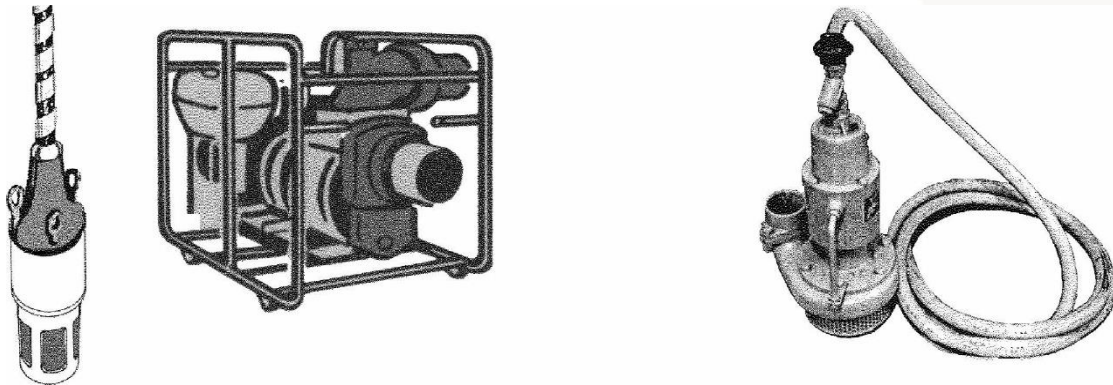
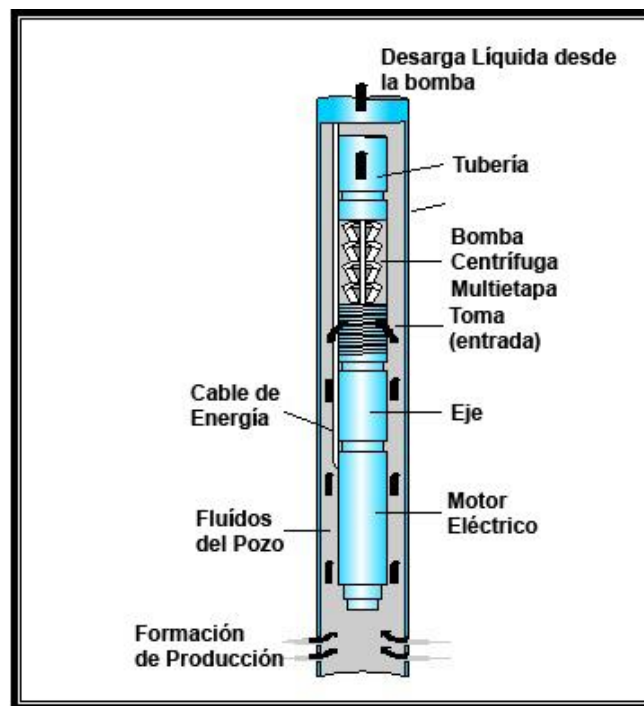


Figura 25

Sumergible (Flex Drive)

Sumergible (Aire comprimido)



Bomba Eléctrica Sumergible

Figura 26

- **Bombas de sondeo o perforación**

Las bombas de sondeo o de perforación son un tipo de bomba sumergible que puede asegurar el bombeo efectivo de la solución estéril o cargada a la planta de procesamiento de minerales.

Existen dos tipos de bombas de perforación: El tipo de bomba de perforación sumergida con un motor sumergible, y la bomba de pozo profundo con un motor seco, el cual está conectado a la

bomba por un eje largo. Ambos tipos de bombas están hechas para ser instaladas en pozos de perforación profundos y estrechos y tienen por lo tanto un diámetro reducido, lo que las hace más largas que otros tipos de bombas.

Las bombas de sondeo están diseñadas especialmente para ser sumergidas en un líquido y por lo tanto están equipadas con un motor sumergible protegido.

Sin embargo, hoy en día la bomba de pozo profundo ha sido más o menos sustituida por la bomba de tipo sumergida. El largo del eje de la bomba de pozo profundo es un inconveniente, lo que la hace difícil de instalar y difícil para llevar a cabo el servicio. Debido a que el motor de la bomba de pozo profundo es refrigerado por aire, la bomba se utiliza a menudo en aplicaciones industriales para bombear agua caliente desde tanques abiertos. La bomba sumergible no puede manejar altas temperaturas debido a que el motor está sumergido en el líquido, el cual tiene que enfriarlo.



Figura 27

Una bomba de sondeo sumergible

Cañerías y mangueras

Las cañerías (piping) se utilizan para transmitir los fluidos (líquidos, gases) de un lugar a otro. Se han utilizado para ello, de una forma u otra, por más de dos mil años.

Las cañerías para procesos industriales (y sus componentes en línea acompañantes) pueden ser fabricadas a partir de acero, aluminio, plástico y hormigón. Los componentes en línea habitualmente sienten y controlan la presión, la tasa de flujo y la temperatura del fluido transmitido, y por lo general están incluidos cuando se discute el concepto de diseño de cañerías.

La "plomiería" es la forma de cañería con que la gente no-técnica está más familiarizada, ya que constituye el medio de transporte que se utiliza para proporcionar líquidos (agua) y gases (gas natural utilizado para la calefacción y la cocina, por ejemplo) a su hogar. Las cañerías también eliminan los desechos domésticos en forma de drenaje.

Las cañerías también tienen innumerables aplicaciones industriales, que son cruciales para mover fluidos sin tratar y semi elaborados para refinarlos y transformarlos en productos más útiles. Algunos de los materiales más exóticos de construcción son el titanio, cromo-molibdeno y varias otras aleaciones de acero. Los tamaños de cañerías de proceso típicas van de 5 mm a 75 mm de diámetro y algunas son incluso mucho más grandes. La disciplina de la ingeniería de diseño de cañerías (piping) es la que lleva el fluido a donde usted lo necesite, ya sea agua, gasolina, hidrógeno, aceite de combustible, o cualquier otro fluido que se pueda imaginar.

El diseño de un sistema de cañerías puede tener un efecto importante en el buen funcionamiento de una bomba centrífuga. Tales elementos como el diseño del sumidero, el diseño de las cañerías de succión, el tamaño de las cañerías de succión y descarga, y los soportes de cañería deben todos ser considerados cuidadosamente.

La selección del tamaño de la cañería de descarga es principalmente una cuestión de economía. El costo de los diversos tamaños de cañería debe ser comparado con el tamaño de la bomba y el costo de la energía requerida para vencer la carga de fricción resultante.

El tamaño y el diseño de la cañería de succión son mucho más importantes. Las malas condiciones de succión son la causa de muchos de los problemas de las bombas centrífugas. La función de la cañería de succión es suministrar un flujo distribuido de manera uniforme de líquido a la succión de la bomba, con la suficiente presión a esta bomba para evitar la cavitación excesiva en el rotor de la bomba. La cavitación es la formación y luego implosión inmediata de las cavidades del líquido (burbujas) que son la consecuencia de las fuerzas que actúan sobre el líquido. Por lo general, se produce cuando un líquido se somete a cambios de presión rápidos que causan la formación de cavidades donde la presión es relativamente baja.

La cañería de succión nunca debe ser más pequeña que la conexión de succión de la bomba, y en la mayoría de los casos debe ser de al menos una unidad de medida más grande. Las cañerías de succión deben ser lo más cortas y rectas posibles. Las velocidades de las cañerías de succión deben estar entre el rango de 1 a 2 metros por segundo, a menos que las condiciones de succión sean excepcionalmente buenas.

Velocidades más altas aumentarán la pérdida por fricción y pueden dar como resultado la separación problemática de aire o vapor. Esto se complica aún más cuando los codos o T se encuentran adyacentes a la boquilla de aspiración de la bomba, en la que los patrones de flujo irregular o la separación de vapor evitan que el líquido llene uniformemente el rotor. Esto altera el equilibrio hidráulico, conduciendo a la vibración, posible cavitación, y una excesiva flexión del eje. Especialmente en las bombas de energía de alta y muy alta succión. Puede ocurrir una rotura del eje o el fallo prematuro del rodamiento.

En las instalaciones de bombas donde se produzcan elevación de succión, las bolsas de aire en la línea de succión pueden ser una fuente de problemas. La cañería de succión debe ser exactamente horizontal, o con una pendiente uniforme hacia arriba desde el sumidero a la bomba. No debe haber puntos altos donde el aire pueda concentrarse y hacer que la bomba pierda su cebado. Reductores excéntricos y no concéntricos se deben utilizar siempre en instalaciones horizontales, con la parte plana situada en la parte superior.

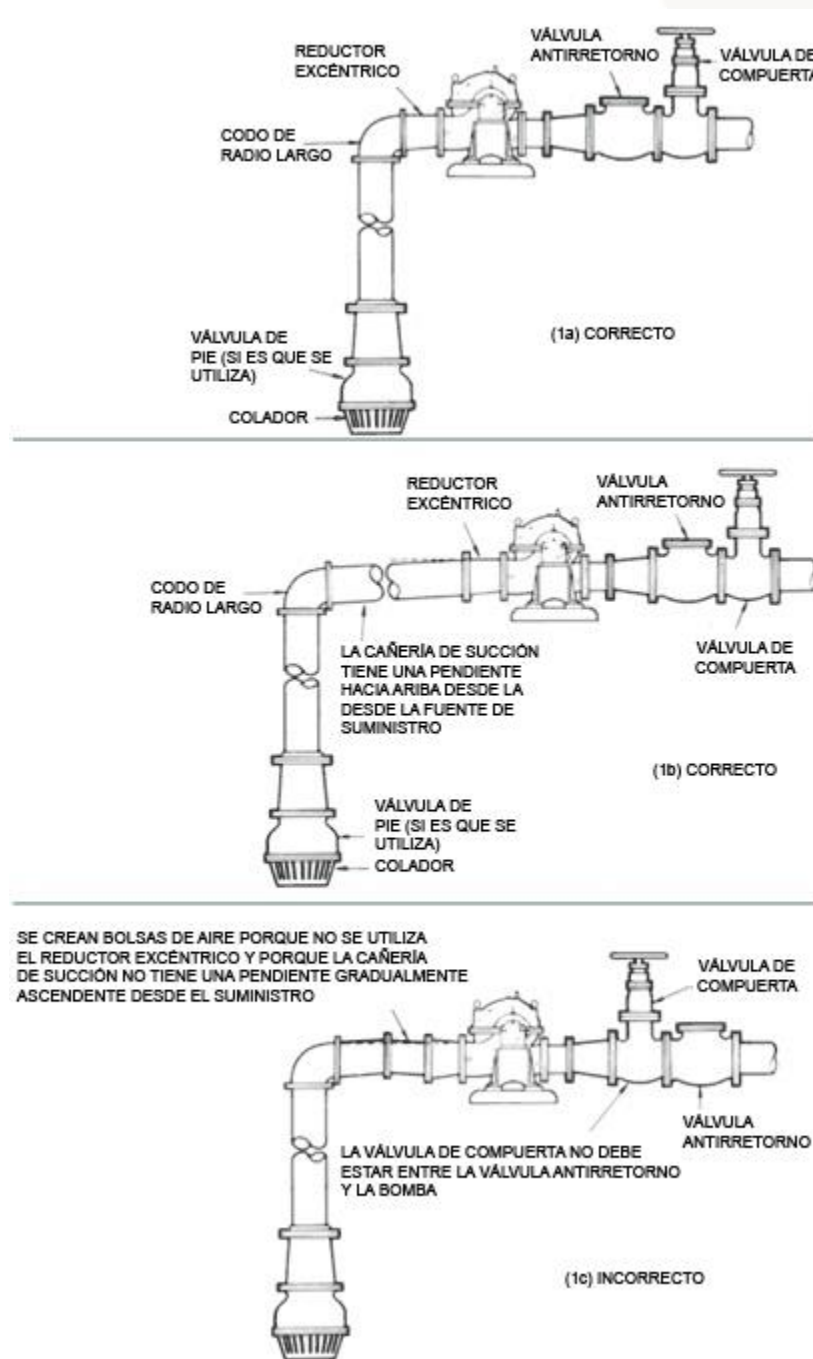


Figura 28

Bolsas de aire en la cañería de succión

Si se requiere un codo en la succión de una bomba de doble aspiración, debe estar en una posición vertical si es posible. Cuando sea necesario usar un codo horizontal por alguna razón, debe ser un codo de radio largo y debe haber un mínimo de tres diámetros de cañería recta entre el codo y la bomba para bombas de succión de baja energía, y cinco diámetros de cañería para bombas de alta energía de succión.

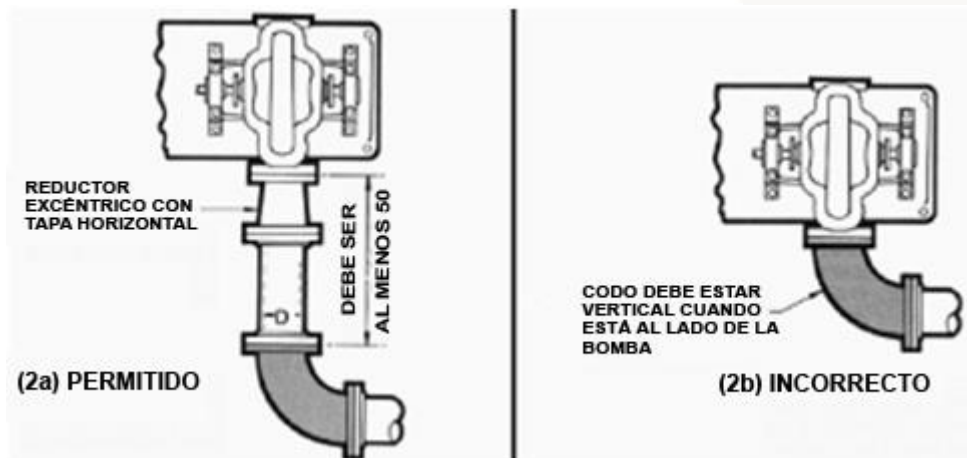


Figura 29

Uso correcto del codo de cañería

A continuación se muestra el efecto de un codo directamente en la succión. El líquido fluirá hacia el exterior del codo y dará como resultado una distribución de flujo no uniforme en las dos entradas del rotor de doble aspiración. Dará como resultado ruido y excesivo empuje axial.

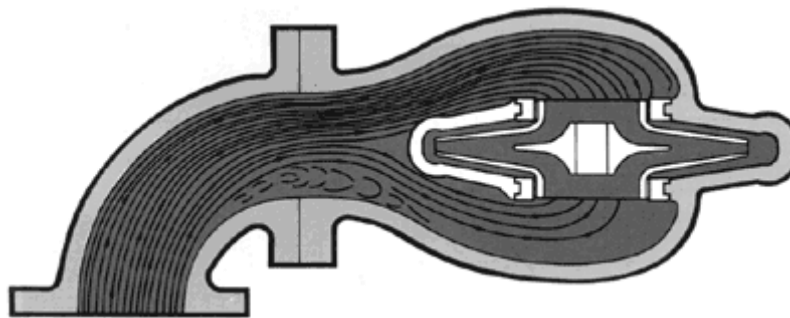


Figura 30

Efecto del codo directamente en la succión

Algunas cosas que usted debe saber acerca de los sistemas de cañería de la bomba:

- Debe haber al menos 10 diámetros de cañería entre la succión de la bomba y el primer codo. Esto es especialmente crítico en diseños de bombas de dos extremos ya que el flujo de entrada turbulento puede causar empuje del eje, y problemas posteriores en los rodamientos. Si debe instalar un codo asegúrese de que está en un plano en ángulo recto con el eje de la bomba para evitar un flujo desigual a ambos lados de un rotor de doble succión (aspiración).
- El tubo debe ir desde el flange de succión de la bomba al rack de cañerías, y no al revés.
- Asegúrese de que los reductores excéntricos no se instalen al revés en la succión de la bomba. La parte superior del reductor debe entrar directamente al flange de succión.

- Las cañerías deben colocarse con el menor número de curvas posible. Si se requieren curvas, utilice un radio largo siempre que sea posible.
- Los vástagos de las válvulas, ramas en T y los codos deben instalarse de forma perpendicular al eje de la bomba, no en ángulos rectos.
- Si se instala una junta de expansión en la cañerías, entre la bomba y el punto de anclaje más cercano de la cañería, hay que señalar que una fuerza de presión igual al área de la zona de la junta de expansión (que podría ser mucho más grande que el tamaño normal de la cañería) multiplicado por la presión en la cañería se transmitirá a la bomba. Los acoplamientos de cañería que no proporcionan una conexión axial rígida tienen el mismo efecto. Si se debe utilizar una junta de expansión o acoplamiento no rígido, se recomienda instalar un anclaje de cañería entre esta y la bomba.
- Tenga en cuenta que las fuerzas radiales se generan en la carcasa de la bomba debido a la presión en el sistema de cañería que actúa sobre el área de la voluta. La magnitud y dirección de las fuerzas dependen de la disposición de las cañerías junto con las áreas y presiones involucradas.
- Siempre es una buena idea aumentar el tamaño de las cañerías de succión y de descarga en la boquilla de la bomba a fin de disminuir la pérdida de altura causada por fricción en la cañería.
- La cañería de succión debe ser por lo menos una medida de tamaño más grande que el flange de succión en la bomba.
- Si se utilizan incrementadores en el lado de descarga para aumentar el tamaño de la cañería de descarga, se deben instalar entre la válvula de retención y la bomba.
- Deben instalarse una válvula de retención así como una válvula de compuerta en la cañería de descarga con la válvula de retención colocada entre la bomba y la válvula de cierre para proteger la bomba de flujo inverso y una contrapresión excesiva. Las válvulas de descarga de accionamiento manual que son de difícil acceso deben tener alguna facilidad para el cierre rápido. Dos alternativas que se pueden considerar son una llanta de rueda dentada y una cadena o un motor a control remoto.
- La cañería de succión debe estar libre de fugas de aire.
- Se debe evitar la instalación de válvulas de retención en la cañería de succión a pesar de que a menudo se utilizan para reducir el número de válvulas que deben operarse al cambiar entre la operación de una bomba en serie y una bomba en paralelo.
- A menudo se instala una válvula de pie en la cañería de succión para ayudar a cebar. No las instale si la bomba está funcionando contra una gran altura estática porque una falla en el motor permitiría que el líquido volviese rápida y repentinamente, provocando un golpe de agua. Esto es especialmente cierto para la cañería vertical y las bombas sumergibles que no están diseñadas para ser usadas con una válvula de pie.
- Una línea de succión horizontal debe tener un aumento gradual o una pendiente hacia la succión de la bomba.

- Las bombas de hierro fundido nunca deben estar provistas de flanges de cara elevada. Si se utilizan cañerías de succión o de descarga de acero, los flanges de la cañería deben ser del tipo de cara plana y no del tipo de cara levantada. Las juntas de cara completa deben usarse con flanges de hierro fundido.
- La ubicación óptima de la válvula de control debe ser dentro de 1,5 metros de la descarga de la bomba para evitar demasiado incremento de fluido en el sistema cuando se estrangula la descarga.
- El tamaño óptimo de la cañería tendrá en cuenta el costo de instalación de la cañería (los costos aumentan con el tamaño) y los requisitos de potencia de la bomba (los requerimientos de energía aumentan con la fricción de la cañería).
 - Trate de limitar la pérdida por fricción en el flujo de diseño a 1-2 metros por cada 30 metros de cañería.
 - Para evitar la sedimentación de los sólidos, usted necesita una velocidad mínima de aproximadamente 1,5 a 2,5 metros por segundo.
 - Se recomiendan velocidades de no más de 3 metros por segundo en la cañería de succión para evitar el desgaste abrasivo.

4. Sistema de distribución y bombeo

Como operador de lixiviación, es importante asegurarse de que la solución de lixiviación se distribuye uniformemente de modo que pueda realizarse una reacción óptima. Es esencial para las operaciones mineras el que usted comprenda el equipo que opera y cómo ajustarlo para optimizar la eficiencia de lixiviación y el tiempo de reacción. Cabe mencionar que el equipo típico que usted puede usar como un operador de lixiviación en pilas es la bomba. A continuación se describe de manera general el sistema de distribución y bombeo (terminología de bombas, sistemas de bombas, adición de reactivos).

4.1. Terminología de bombas

Altura

Se refiere a la altura de una columna de agua que puede soportarse por la presión o el vacío ejercida en la bomba.

Altura de succión estática

La distancia vertical entre el rotor de la bomba y la superficie del líquido en el lado de succión de la bomba.

Altura de succión dinámica

La altura de succión estática más la altura de succión adicional creada por la fricción del líquido que fluye a través de las cañerías, conexiones, etc. La presión atmosférica permite que las bombas eleven el agua. Como resultado, una presión atmosférica de 14,7 psi a nivel del mar limita la elevación de la altura dinámica de succión a menos de aproximadamente 26 pies en cualquier bomba.

Altura de descarga estática

La distancia vertical entre el puerto de descarga de la bomba y el punto de descarga, que es la superficie del líquido si la manguera está sumergida o bombeando en la parte inferior de un tanque.

Altura de descarga dinámica

La altura de descarga estática más la altura de descarga adicional creada por la fricción o resistencia (normalmente conocida como pérdida) del líquido que fluye a través de las mangueras, accesorios, aspersores, boquillas, etc.

Altura total

La altura de succión dinámica más la altura de descarga dinámica.

Presión

La presión es la fuerza por unidad de área y por lo general está se entrega en psi (libras por pulgada cuadrada). La presión se incluye a menudo en las curvas de rendimiento de la bomba. La presión y la altura están directamente vinculadas al referirse al rendimiento de la bomba. La presión ejercida (en psi) en la base de una columna de agua es $0,433 \times \text{Carga o altura (en pies)}$. Si conecta el manómetro en la base de una cañería de 100 metros llena de agua clara, usted mediría 43,3 psi. Nótese cómo el diámetro de la cañería no afecta al valor de la presión. La presión máxima (en descarga cero) de cualquier bomba puede determinarse multiplicando la altura máxima por 0.433.

Pérdidas por fricción

La presión o altura adicional creada en la bomba debido a la fricción del líquido que fluye a través de las mangueras, cañerías, accesorios, etc. Las pérdidas por fricción siempre se producen cuando un líquido fluye a través de cañerías y se hace mayor a medida que aumenta la longitud de la cañería y/o el diámetro disminuye. Las pérdidas por fricción resultan en una reducción de flujo en la descarga de la bomba y se pueden minimizar utilizando tuberías de

mayor diámetro y/o de menor longitud. Las pérdidas por fricción se incluyen en la succión dinámica y altura de descarga dinámica.

Rotor

Un rotor es un disco giratorio que contiene aspas acopladas al cigüeñal del motor. Todas las bombas centrífugas contienen un rotor. Las aspas del rotor lanzan líquido hacia afuera a través de la fuerza centrífuga, causando un cambio de velocidad y presión. Este cambio de velocidad y presión da como resultado que el líquido fluya a través de la bomba.

Voluta

La voluta es la carcasa estacionaria que encierra el rotor. La voluta recoge y dirige el flujo de líquido desde el rotor y aumenta la presión del agua a alta velocidad que fluye de las aspas del rotor.

Autocebante

La mayoría de las bombas centrífugas requieren que se llene con agua la carcasa de la bomba antes de partir. Autocebante es un término comúnmente utilizado para describir las bombas que tienen la capacidad de purgar el aire de la carcasa y crear un vacío parcial, permitiendo que el agua comience a fluir a través de la línea de succión.

Sello mecánico

Éste es un sello de resorte que consta de varias partes que sella el rotor giratorio en la carcasa de la bomba y evita que se escape el agua, y dañe el motor. Los sellos mecánicos se desgastan cuando se bombean abrasivos que contienen agua y se sobrecalentará rápidamente si la bomba funciona sin rellenar la cámara de la bomba con agua antes de arrancar el motor.

Cavitación

La formación de burbujas que explotan cerca de los álabes se produce por la caída de presión del líquido a tal punto que cambia su fase y se transforma en vapor. Con las bombas centrífugas, la cavitación puede ocurrir cuando el vacío de succión se vuelve lo suficientemente grande como para permitir que el vapor o las burbujas de agua comiencen a formarse en el rotor. Cuando este vapor de agua se desplaza mediante el aumento rápido de la presión a través del rotor, una gran cantidad de energía se libera, la cual puede causar daños al rotor. La minimización de pérdidas de succión y el uso de un diámetro más largo y práctico en la manguera de succión reducirá la probabilidad de cavitación. Nunca se debe utilizar una tubería de succión con un diámetro más pequeño que el puerto de succión de la bomba.

Golpe de ariete (martillo de agua)

El golpe de ariete o martillo de agua es energía que se transmite a la bomba debido a la parada repentina del agua que fluye desde la bomba. Es más probable que ocurra un golpe de ariete cuando se utiliza una tubería de descarga muy larga. Si el flujo de agua en el extremo de la tubería de descarga se corta de manera repentina, la energía se transmitirá de nuevo a la bomba causando un gran tope de presión en la carcasa de la bomba. El golpe de ariete a menudo produce daños a la carcasa de la bomba.

Terminología de bombas

Estrategias metodológicas para el instructor

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

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

Objetivos de aprendizajes

- Reconocer las características principales del sistema de bombas.

Descripción de la actividad

Esta actividad ofrecerá a los participantes una idea de las principales características asociadas a los sistemas de bombas en los equipos de lixiviación.

Materiales y recursos

- Documento: "Catálogo, lixiviación de minerales"
- Documento: "Catálogo, sistemas de bombeo en minería"

Desarrollo

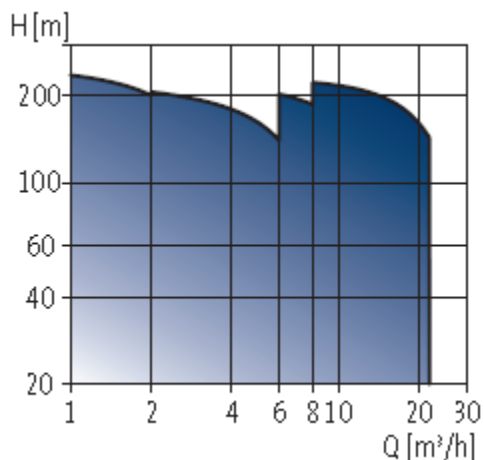
Se sugiere que el instructor prepare una actividad de observación, reconocimiento y análisis con los recursos sugeridos, manteniendo en mente los objetivos de aprendizaje. Deberá trabajar con la información de los catálogos y ayudar a los participantes a entender las diferencias entre los equipos y componentes del proceso de lixiviación. Los equipos relevantes a reconocer en los catálogos son: bombas, aspersores, fittings, mangueras, válvulas comunes, manómetros, flujómetros, termómetros.

Por ejemplo, deberá reconocer entre las bombas verticales (CTR) que usualmente están flotando en las piscinas y las bombas centrífugas horizontales que extraen la solución de la piscina y la lleva a pilas o procesamiento.

 CRT	 MAXA and MAXANA
Bomba vertical	Bomba horizontal

Otro aspecto a estudiar junto con los participantes, son las curvas características: estos son los movimientos esperados de la bomba frente a diferentes condiciones de operación.

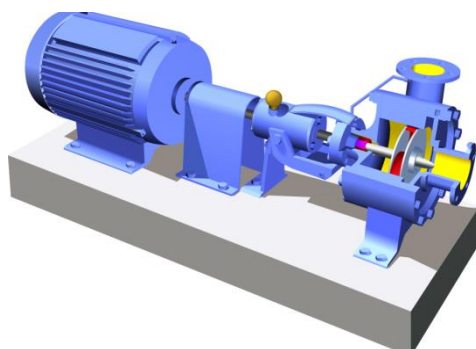
Por ejemplo:



En este caso el participante debe conocer las características técnicas de la bomba y entender datos tales como:

Flujo, Q : máx. 22 m ³ /h
Altura, H : máx. 250 m
Temp soluciones.: -20°C to +120°C
Presión de operación.: máx. 25 bar

El participante de acuerdo a los contenidos vistos en clases, deberá contestar a las siguientes preguntas en relación a la bomba centrífuga:



1) ¿Cuál es la función de la bomba centrífuga?

Bomba centrífuga. Su función es impulsar un caudal de líquido por medio de la aplicación de fuerza centrífuga aplicada por medio de un rodete.

2) Identificar cual es la parte o partes más peligrosa (s) del equipo.

Hay riesgo de electrocución porque el motor es eléctrico y otro riesgo es el movimiento del eje. Hay transporte de líquidos y puede haber transporte de

	<p>ácido por los que los riesgos son similares al sistema de piping (fugas, residuos en la bomba).</p> <p>3) Cuál es la parte del cuerpo humano que se encuentra más expuesta o en riesgo a sufrir un accidente al operar el equipo. Las extremidades y en el caso del pelo largo si se agarra en el eje. En el caso del ácido, la piel.</p> <p>4) Cuál es el equipo de protección personal adecuado que debería usarse. Depende del caso, si se trabaja con ácido se necesita buzo antiácido, en el caso de agua o líquidos no corrosivos se necesita el equipo completo.</p>
--	--

El instructor decidirá si los participantes trabajaran en grupos, pares o individualmente y al final de la actividad entregará las respuestas correctas y deberá destacar que la actividad más recurrente durante la mantención es el cambio de empaquetadura de la bomba centrífuga.

Respuestas instructor:

Partes básicas	Nombre	Función y/o uso
	Impulsor (álabes)	Es el corazón de la bomba centrífuga, recibe líquido y le imparte velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.
	Voluta	Se llama así por su forma de espiral tipo caracol, su función es convertir energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor de energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de velocidad por un aumento gradual del área.

	Eje	Es el soporte de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo además el movimiento que le imparte el eje del motor.
	Rodamientos	Los rodamientos de las bombas centrífugas soportan las cargas hidráulicas que se producen sobre el impulsor, la masa del impulsor y el eje.
	Descansos	Los descansos son la zona donde “descansa” el eje. Su función es servir de soporte desde la base de la bomba hacia el eje aplicando fuerza transversal para sostenerla.
	Prensa Estopa	Su función es presionar las empaquetaduras que se instalan dentro del cuerpo de la bomba, en la parte trasera del cuerpo de esta, para que no haya fugas de agua.

Cierre

El instructor podrá ahondar en relación a los contenidos relacionado a las bombas centrífugas y explicar que la bomba es una turbo máquina que emplea la fuerza centrífuga para forzar el bombeo de líquidos. El líquido entra generalmente al centro (ojo) del impulsor y es conducido por los álabes y acelerado a una alta velocidad por la rotación del impulsor y lanzado por la fuerza centrífuga a los canales o voluta. La voluta es la cámara o carcasa en forma de espiral de una bomba centrífuga. La denominación es debida a que su forma recuerda al molusco del mismo nombre. La operación de bombas es una actividad que todo operador deberá conocer y realizar a lo largo de toda la faena.

4.2. Sistema de bombas

Bombas centrífugas

Puesta en marcha

Controles/inspecciones para la puesta en marcha:

1. Fugas en la carcasa de la bomba - Inspeccionar toda la carcasa de la bomba, anillos tóricos (O-rings), juntas, sellos.
2. Inspeccionar el sello rotatorio en busca de fugas y daños.
3. Inspeccionar la condición de la válvula de entrada.
4. Inspeccionar la condición del tapón de drenaje.
5. Inspeccionar las áreas internas de la bomba en busca de corrosión.
6. Determinar la distancia mínima y/o máxima del rotor.
7. Usar cuñas para establecer la distancia de seguridad correcta.
8. Pruebe la presión principal.
9. Asegúrese de que la válvula de descarga está cerrada.
10. Ceba la bomba.

Antes de la operación general de rutina, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Cebado

Las bombas que no sean bombas autocebantes o sumergidas requieren de cebado antes de la operación. Esto significa que la cañería de aspiración, junto con la carcasa de la bomba deben estar llenas de líquido. La bomba no debe ser operada a menos que esté completamente llena con el fluido a bombear.

Con muy pocas excepciones (bombas autocebantes y algunas instalaciones especiales de gran capacidad, baja altura y baja velocidad donde no es práctico cebar), ninguna bomba centrífuga debe hacerse partir hasta que no esté totalmente preparada. Para cebar una bomba centrífuga:

- a. Llenar con el líquido que ha de ser bombeado
- b. Permitir que salga todo el aire contenido en la bomba

- Rotación

Debe revisarse la dirección de rotación de la bomba. Esto se determina al mirar desde el extremo de succión de la bomba, en la mayoría de los casos, y se dice entonces que está funcionando en sentido antihorario. Se puede hacer un nuevo control girando con la mano en la unidad de acoplamiento para ver que las piezas giratorias están libres.

- **Cañerías**

La limpieza de cañerías es necesaria para el buen funcionamiento de la bomba. Las bombas centrífugas tienen partes con espacios pequeños que deben protegerse de materiales abrasivos como rellenos, que a menudo se encuentran en los nuevos sistemas de cañerías. Es aconsejable completar el lavado de las cañerías antes de hacer funcionar la bomba.

- **Lubricación**

La lubricación puede depender de grasa o aceite, y deben llenarse los contenedores que contienen el medio lubricante. Las empaquetaduras pueden unirse o calentarse, si es así, las prensaestopas deben liberarse lo suficiente como para permitir que el agua se escurra de ellas. Las empaquetaduras deben mantenerse constantemente mojadas.

- **Ruidos**

Otros ruidos que no sean los ruidos mecánicos normales de la bomba son una indicación segura de problemas. Estos ruidos pueden ser causados por una serie de razones y en la mayoría de los casos, son producto de diseños pobres, mala instalación o problemas mecánicos. El ruido de cañerías, cavitación, golpes de ariete y un rotor desequilibrado son los principales factores responsables del ruido no deseado.

Operación

Los requerimientos de operación varían según los tipos de bombas, así como las instalaciones y aplicaciones específicas. Los pasos necesarios para iniciar una bomba centrífuga dependen de su tipo y de la aplicación en la que se va a utilizar. Como operador, es importante seguir los procedimientos recomendados especificados por el fabricante de la bomba para garantizar operaciones de bombeo eficientes.

Hay varios métodos diferentes para operar bombas centrífugas. Éstos dependen del tipo de bomba.

- Bomba accionada por motor con energía de apagado no mayor a la energía segura del motor, y puesto en marcha ante una válvula de compuerta cerrada:
 1. Ceba la bomba, abra la válvula de succión, cierre los drenajes y prepare la bomba para el funcionamiento.
 2. Abrir la válvula en el suministro de refrigeración para el rodamiento, si aplica.
 3. Abrir la válvula de suministro de enfriamiento si las cámaras de sellado son refrigeradas por líquido.
 4. Abrir la válvula en el suministro de líquido de sellado, si la bomba está equipada con éste.

5. Abrir la válvula de calentamiento de una bomba de manejo de líquidos calientes si la bomba no se mantiene normalmente a temperatura de funcionamiento. Cuando la bomba se caliente, cierre la válvula.
 6. Encienda el motor.
 7. Abra lentamente la válvula de descarga.
 8. En bombas equipadas con sellos mecánicos, verifique si hay fugas en el sello (no debe haber ninguna).
 9. Verificar el funcionamiento mecánico general de la bomba y el motor.
 10. Cerrar la válvula en la línea de recirculación cuando hay flujo suficiente a través de la bomba para evitar el sobrecalentamiento.
- Bomba accionada por motor que debe ponerse en marcha frente a una válvula de retención con su compuerta de salida abierta:
 - Como el anterior, excepto abrir la válvula de la compuerta de descarga durante un tiempo antes de encender el motor

En ciertos casos, el enfriamiento de los rodamientos y la descarga de líquidos a los sellos mecánicos o a las jaulas de embalaje sellado, es proporcionado por la bomba. Si es el caso, entonces se elimina la necesidad de los pasos indicados anteriormente en relación a la refrigeración y suministro de sellado.

Puntos de seguridad para la operación de una bomba centrífuga

- Nunca toque la bomba o las cañerías durante la operación cuando bombeea. líquidos calientes - esto puede causar quemaduras en la piel.
- Nunca haga funcionar la bomba con el lado de succión y el lado de presión bloqueados.
- Asegúrese de que la bomba no funcione en seco.
- Nunca acelere el lado de entrada.

Ajustar el flujo

Las bombas centrífugas pueden funcionar en una amplia gama de capacidades, desde poco flujo a más allá de su capacidad nominal. Debido a que una bomba centrífuga siempre funcionará en la intersección de sus curvas altura-capacidad y sistema-altura, la capacidad de funcionamiento de la bomba puede alterarse, ya sea por el estrangulamiento de la descarga de la bomba o mediante la variación de la velocidad de la bomba (dependiendo del tipo de bomba y de la aplicación). Esto hace que la bomba centrífuga sea muy flexible en una amplia gama de servicios y aplicaciones que requieren que la bomba funcione con capacidades y alturas que difieren considerablemente de las condiciones nominales.

Apagado

Al igual que en la puesta en marcha de la bomba, el procedimiento de parada depende del tipo de bomba y su aplicación. En general, los pasos que se siguen para detener una bomba que puede operar frente a una válvula de compuerta cerrada son:

1. Abra la válvula en la línea de recirculación.
2. Cierre la válvula de compuerta.
3. Cierre lentamente la válvula de descarga.
4. Detenga el motor.
5. Abra la válvula de calentamiento si la bomba tiene que mantenerse a temperaturas de operación.
6. Cerrar la válvula en el suministro de refrigeración a los rodamientos y las cámaras de sellado.
7. Si no se necesita el líquido de sellado mientras la bomba está en reposo, cierre la válvula en la línea de suministro.
8. Cerrar la válvula de succión, abrir la válvula de drenaje, etc., si es necesario y si la bomba se ha de abrir para inspección.

Si la bomba es de un tipo que no permite la operación con una válvula cerrada, los pasos 2 y 3 se invierten.

Tabla 7: Solución de problemas generales en una bomba

La siguiente tabla de solución de problemas es una guía para los problemas más comunes que pueden surgir al operar una bomba. Esta tabla le ayudará a identificar las causas probables y posibles soluciones en caso de problemas.

Problema	Causa probable	Posible Solución
No hay descarga	La bomba no está cebada (bombas centrífugas). Velocidad demasiado baja.	Revise el cebado. Corrija las conexiones eléctricas malas o deficientes. Revisar los diámetros de las correas y poleas o deslizamiento excesivo. Comprobar el estado del motor y el rendimiento.

	<p>Altura de descarga demasiado alta.</p> <p>Altura de succión mayor que aquella para la que fue diseñada la bomba.</p> <p>Rotor completamente bloqueado.</p> <p>Dirección de rotación incorrecta.</p>	<p>Compruebe diámetro de las cañerías de descarga y elimine los obstáculos, si los hubiere.</p> <p>Reubicar la unidad para reducir la altura de succión.</p> <p>Retrolavar con agua limpia.</p> <p>Desmontar la bomba para eliminar la obstrucción, si es necesario.</p> <p>Corregir dirección de rotación</p>
Descarga Insuficiente/baja	<p>Fugas de aire en succión o prensa estopa.</p> <p>Velocidad demasiado baja.</p>	<p>Localizar y sellar.</p> <p>Corrija las conexiones eléctricas incorrectas o deficientes.</p> <p>Revisar los diámetros de las correas y poleas o deslizamiento excesivo.</p> <p>Comprobar el estado del motor y el rendimiento.</p>
	<p>Altura de descarga demasiado alta.</p> <p>Elevación de succión muy alta o NPSH insuficiente.</p> <p>Rotor parcialmente tapado.</p> <p>Defectos mecánicos.</p>	<p>Compruebe diámetro de las cañerías de descarga y elimine los obstáculos, si los hubiere.</p> <p>Revisar con medidores.</p> <p>Compruebe si la línea de succión está obstruida.</p>

	<p>Piezas muy desgastadas.</p> <p>Dirección de rotación incorrecta.</p> <p>Rotor de diámetro demasiado pequeño.</p>	<p>Retrolavar con agua limpia.</p> <p>Desmontar la bomba para eliminar la obstrucción, si es necesario.</p> <p>Revisar y reemplazar de ser necesario.</p> <p>Corregir dirección de rotación.</p> <p>Ajustar rotor con diámetro mayor.</p>
Presión insuficiente	<p>Velocidad demasiado baja.</p> <p>Aire o gases en líquidos.</p> <p>Defectos mecánicos.</p> <p>Piezas muy desgastadas.</p> <p>Rotor de diámetro demasiado pequeño.</p> <p>Dirección de rotación incorrecta.</p> <p>Fuga en la línea de succión.</p> <p>Sello de agua tapado.</p> <p>Elevación de succión muy alta o NPSH insuficiente.</p> <p>Aire o gases en líquidos.</p> <p>Junta (empaquete) de carcasa defectuosa.</p>	<p>Corrija las conexiones eléctricas incorrectas o deficientes.</p> <p>Revisar los diámetros de las correas y poleas o deslizamiento excesivo.</p> <p>Comprobar el estado del motor y el rendimiento.</p> <p>Comprobar la aplicación de la bomba y tratar de evitar la entrada de aire o gases.</p> <p>Revisar y reemplazar de ser necesario</p> <p>Ajustar rotor con diámetro</p> <p>Corregir dirección de rotación.</p> <p>Localizar y sellar.</p> <p>Remover y colocar</p>

		<p>empaque nuevo.</p> <p>Revisar con medidores.</p> <p>Compruebe si la línea de succión esta obstruida.</p> <p>Comprobar la aplicación de la bomba y tratar de evitar la entrada de aire o gases.</p> <p>Cambiar la junta.</p>
Consumo de energía excesivo	Velocidad demasiado alta.	<p>Corrija las conexiones eléctricas malas o deficientes.</p> <p>Revisar los diámetros de las correas y poleas o deslizamiento excesivo.</p> <p>Comprobar el estado del motor y el rendimiento.</p>
	Altura más baja que el valor nominal; bombea demasiado líquido.	<p>Si el acoplamiento es directo - reducir el diámetro del rotor.</p> <p>Si usa correas - reducir la velocidad mediante inserción de una polea de bomba más grande.</p>
	Gravedad específica o viscosidad del líquido demasiado alta.	Colocar controlador nuevo con mayor capacidad.
	<p>Defectos mecánicos:</p> <p>Eje doblado o roto.</p> <p>Elemento rotatorio atascado.</p> <p>Prensaestopas demasiado apretadas.</p>	<p>Reemplazar el eje.</p> <p>Re establecer tolerancia de los rotores.</p> <p>Reemplazar y/o reajustar las empaquetaduras.</p>

Tabla 8: Solución de problemas en bombas centrífugas

Problema	Solución
La bomba no gira.	
El controlador no opera.	Compruebe los fusibles y disyuntores.
Juntas rotas o dañadas.	Reemplazar.
La correa de transmisión se resbala.	Revisar y ajustar.
Falla de acoplamiento.	Compruebe si se desliza o está rota; reemplazar si es necesario.
Eje o engranajes rotos.	Revisar; reemplazar si es necesario.
La bomba no ceba.	
Válvula de entrada/admisión cerrada.	Abrir la válvula.
Entrada tapada o bloqueada.	Revisar y limpiar.
Fuga de aire en el lado de la succión.	Reemplazar sellos; revisar las líneas en busca de fugas.
Líquido drenado o succionado desde el sistema.	Instale una válvula de retención o contención para prevenir el drenaje.
Rotor desgastado.	Inspeccionar y reemplazar; aumentar la velocidad de la bomba; Instalar válvula de contención (de pie).
No hay descarga.	
Falta de cebado.	Ver las soluciones anteriores. Abrir llaves de purga para liberar el aire atrapado y llenar la bomba y las cañerías de succión con líquido completamente.
Elevación de succión excesiva.	Comprobar entrada de la bomba en busca de una obstrucción, revisar altura de succión.
Altura de descarga excesiva.	Verificar que las válvulas estén abiertas, comprobar obstrucción en las cañerías, comprobar la altura total.
Velocidad demasiado baja.	Revisar rpm de la bomba.
Bomba tapada.	Revisar que el rotor no esté tapado.
Bloqueo de vapor.	Purgar el tubo de aspiración para limpiar la esclusa de aire, comprobar que el tubo de succión está sumergido adecuadamente.
Válvula de alivio ajustada de manera inadecuada.	Revisar el ajuste; revisar en busca de polvo en el asiento de la válvula.

Fuga de aire.	Revisar sellos; revisar las líneas en busca de fugas de aire.
Baja salida (entrega).	
Fugas de aire.	Revise las cañerías de succión y la bomba en busca de fugas de aire, comprobar las juntas de la bomba.
Bloqueo de vapor.	Revisar la temperatura del NPSH y el flujo para garantizar que el líquido en las cañerías de aspiración no es intermitente.
Bajo NPSH o daño.	Véase solución más arriba y revisar la cañería de aspiración y la válvula de pie o contención.
Filtro obstruido.	Revisar y limpiar.
Fricción de entrada excesiva.	Línea de succión demasiado pequeña o demasiados fittings, lo cual añade fricción al fluido.
Válvula de alivio mal configurada o atascada.	Revisar y ajustar.
Contrapresión excesiva del sistema.	Reducir fricción del sistema.
Rotor desgastado.	Revisar y reemplazar.
Anillos de desgaste desgastado.	Revisar y reemplazar.
Dirección de rotación incorrecta.	Revisar dirección de rotación.
Constricción en la línea de succión.	Comprobar que la válvula es la adecuada; comprobar si hay obstrucciones.
Tamaño incorrecto de la bomba.	Revisar especificaciones de la bomba.
Succión pobre.	Compruebe que la cañería de aspiración esté sumergida adecuadamente y en posición correcta.

Algunas de las causas más comunes de rendimiento insatisfactorio de la bomba son las siguientes:

No se entrega líquido:

- La línea de succión y la carcasa no se han cebado correctamente.
- Velocidad demasiado baja
- Altura de descarga demasiado alta (Compruebe la altura de fricción)
- Succión muy grande. (insuficiente Altura de Succión Neta Positiva disponible).
- Dirección de rotación incorrecta.
- Rotor, cañerías de aspiración o válvula de contención (de pie) atascada.
- Fuga de aire en la línea de succión.
- Burbuja de aire en la línea de succión.

- Entrada de las cañerías de succión no sumergida.

Capacidad menor a la nominal:

- Revise todas las posibilidades mencionadas anteriormente.
- Válvula de contención o de pie muy pequeña.
- Sellos del rotor desgastados.
- Rotor dañado o desgastado.
- Viscosidad o densidad relativa superior a la especificada.
- Fuga de aire en la caja de empaquetaduras (de relleno).
- Cañería de entrada y/o de succión demasiado pequeña en diámetro. (Pérdida por fricción excesiva).

La bomba funciona durante un tiempo y luego no produce (entrega):

- La bomba no fue cebada debidamente.
- Sello líquido bloqueado o empaquetadura gastada, permitiendo que el aire se filtre en la bomba.
- Burbuja de aire o fuga en la línea de succión.
- Aire o gases en líquido.

Poder de absorción de la bomba por encima de la potencia nominal:

- Velocidad demasiado alta.
- Demasiada capacidad, debido a que la altura total es más baja de lo previsto. (Reducción de la capacidad mediante el uso de la válvula de compuerta en la cañerías de descarga o, siempre que sea posible, reducir el diámetro del rotor).
- La carcasa puede distorsionarse debido a la tensión de las cañerías de succión y/o de descarga.
- Tamaño incorrecto del diámetro del rotor.
- Rotor roza la carcasa.
- El eje puede estar doblado.
- Bomba y motor desalineados.
- Gravedad específica o viscosidad demasiado alta.
- Prensaestopas (si están instaladas) muy apretadas.
- Problemas eléctricos.

Bomba hace ruido durante el funcionamiento:

- Altura de succión demasiado alta (cavitación).
- Altura de descarga demasiado baja (cavitación).
- Eje doblado.
- Rotor suelto en el eje.
- Rodamientos desgastados.
- Bomba y motor desalineados.
- Material extraño rotando con el rotor.

La bomba vibra durante el funcionamiento:

- NPSHA Insuficiente. (Altura de succión demasiado baja).
- Aire o gases en líquido.
- Bomba y motor desalineados.
- Rodamientos desgastados.
- Elemento giratorio dañado.
- Rigidez insuficiente del cimiento.
- La bomba funciona por debajo de la capacidad mínima recomendada.
- Rotor obstruido.
- Cañerías de descarga o de succión no compatible.

La caja de relleno (prensaestopas) se calienta:

- Empaquetadura muy apretada.
- Empaquetadura no lubricada.
- Tipo de empaquetadura incorrecto.
- Empaquetadura montada.

Los rodamientos se calientan:

- Exceso de grasa.
- Placa base apretada hacia abajo de manera desigual, causando distorsión en los rodamientos.
- Acople no alineado correctamente.
- Rodamientos demasiado apretados.
- Rodamientos precargados.
- Suciedad en los rodamientos.
- Oxidación en los rodamientos debido a que entra agua en la caja.
- Presión o altura de succión excesiva.
- Cañerías no compatibles tensionan la bomba.

Bombas dosificadoras

Puesta en marcha de una bomba dosificadora

Controles/inspecciones de la puesta en marcha

1. Revise la cañería del tanque a la bomba y de la bomba al extremo de descarga.
2. Fugas en la carcasa de la bomba - Inspeccionar toda la carcasa de la bomba, anillos tóricos (O-rings), sellos, empaques.
3. Compruebe que no haya daños en la bomba, no haya tornillos sueltos, ni fugas de aceite.
4. Revise si el medidor de aceite está lleno hasta el nivel especificado.
5. Asegúrese de que todos los rodamientos tienen el lubricante correcto y que las cajas de relleno están bien empaquetadas.
6. Abra las válvulas externas de servicio de agua a los rodamientos y/o cajas de relleno.
7. Asegúrese de que la válvula de succión y las válvulas de descarga están abiertas.

Funcionamiento de una bomba dosificadora

Los requisitos de funcionamiento varían según los tipos de bombas, así como las instalaciones y aplicaciones específicas. Los pasos necesarios para iniciar una bomba de dosificación dependen de su tipo y de la aplicación en la que se va a utilizar. Como operador, es importante seguir los procedimientos recomendados especificados por el fabricante de la bomba para garantizar operaciones de bombeo eficientes.

Después de las revisiones previas a la puesta en marcha, hacer partir una bomba de dosificación incluye:

1. Encender el motor (esto se puede hacer ya sea manual o electrónicamente por medio de un botón de encendido/apagado).
2. Mientras la bomba está en funcionamiento, ajustar la bomba a la velocidad y tasa de flujo correctas (de forma manual a través de perillas en la bomba o por vía electrónica a través de los controles del panel electrónico y la pantalla de LED). Asegúrese de seguir las instrucciones del fabricante. Vea la sección "ajustar el flujo" a continuación para obtener más información sobre la configuración correcta de la velocidad y tasa de flujo de las bombas.
3. Deje que la bomba inyecte la solución en la línea de descarga

Puntos de seguridad para la operación de una bomba dosificadora

- Nunca toque la bomba o las cañerías durante la operación cuando bombeea líquidos calientes - esto puede causar quemaduras en la piel.
- No toque los elementos rotativos o reciprocantes, ya que pueden causar lesiones.
- Las bombas dosificadoras pueden comenzar a funcionar tan pronto como estén conectadas a la fuente de energía principal.
- Nunca haga funcionar la bomba dosificadora con una válvula cerrada en el lado de descarga y de succión.

Regulación del flujo de una bomba dosificadora

Como operador de la planta de lixiviación, es importante asegurarse de que las bombas que está operando distribuyan el nivel correcto de solución de lixiviación. Utilice la información basada en las instrucciones de trabajo, procedimientos operativos estándar (SOP), lecturas, y las instrucciones del fabricante para ajustar las bombas para que el flujo de la solución sea correcto y para que la pila no se vuelva demasiado seca o saturada.

Las bombas de desplazamiento positivo no pueden funcionar a ningún flujo mayor que el nominal, excepto por el aumento de la velocidad. Tampoco pueden funcionar a tasas de flujo más bajos, excepto por la reducción de su velocidad de funcionamiento o por enviar (bypassear) algo del flujo de vuelta a la fuente de suministro.

Las bombas dosificadoras permiten al operador variar la capacidad de acuerdo a lo que el proceso requiere. El control de movimiento permite ajustar el porcentaje máximo de solución descargada durante cada actuación de la bomba. Dependiendo del tipo de bombas utilizadas, variará el ajuste del flujo y la longitud de la carrera.

Hay cinco métodos comúnmente utilizados para ajustar la capacidad de las bombas dosificadoras. La elección del método a utilizar se determina por la aplicación para la que está destinada la bomba.

Ajuste manual mientras está detenida

Este control se encuentra generalmente en las bombas de émbolo empaquetadas de diseño convencional. Los cambios de capacidad se consiguen mediante el movimiento del pasador del cigüeñal dentro o fuera del cigüeñal del motor, mientras que la bomba no está en movimiento. Éste es el método menos costoso y se utiliza cuando no se requieren cambios frecuentes en el desplazamiento de la bomba. En general, la longitud de la carrera (diafragma) en las bombas dosificadoras se puede ajustar girando un dial que se fija al eje de control para cambiar la longitud de la barra deslizante para que esta regrese.

Ajuste manual mientras está funcionando

Esta característica se encuentra con más frecuencia en bombas de diafragma accionadas mecánicamente, donde se logra mediante la limitación de la carrera de retorno del diafragma con un tornillo micrométrico. El flujo de una bomba de diafragma se ajusta ya sea cambiando la longitud de la carrera y/o la frecuencia de los golpes. En las bombas de émbolo empaquetadas, es relativamente complicado ajustar la carrera mientras la bomba está en funcionamiento. La longitud de la carrera se establece por algún tipo de pivote ajustable, unión compuesta o placa de inclinación, que se coloca manualmente girando un tornillo de calibración. En las bombas de diafragma de accionamiento hidráulico, se proporciona un control relativamente simple mediante una válvula manualmente ajustable que cambia la cantidad del líquido intermedio redirigido en cada carrera.

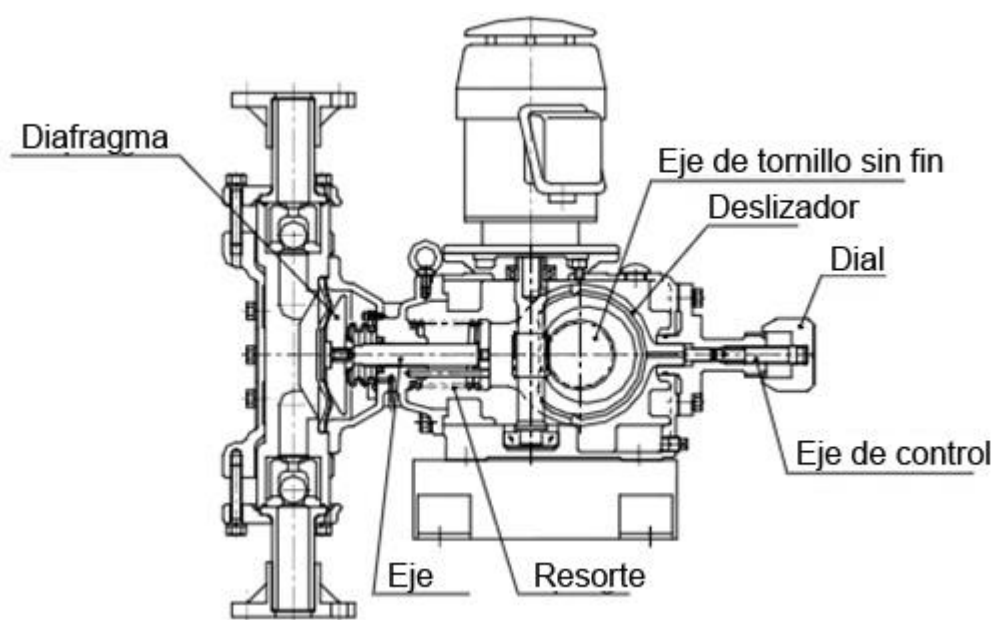


Figura 31

Ajuste manual de la bomba de dosificación - Regulador, control de eje y deslizador

Neumática

Las bombas dosificadoras utilizadas en procesos continuos deben controlarse de forma automática. En los sistemas neumáticos, se utiliza la señal estándar de calibre de aire de 21-103kPa para accionar los cilindros de aire de los diafragmas directamente conectados con el mecanismo de ajuste de la carrera.

Eléctrico

En los sistemas de control eléctrico, el ajuste de la carrera se hace a través de servos eléctricos que accionan el mecanismo de ajuste mecánico de la carrera. Estos aceptan señales de control electrónico estándar. El uso de sistemas PLC ayuda en el control y monitoreo del flujo de la solución. El sistema de PLC está diseñado para permitirle, mientras está en un solo lugar, controlar y supervisar la tasa de flujo de los líquidos a través de todas las bombas, el depósito o

estanque de reactivos, y vigilar el pH, la temperatura, y los niveles en los sistemas de goteo. Las bombas dosificadoras se activan y desactivan a través del sistema de PLC. La calibración de la tasa de flujo para cada bomba se determina mediante la prueba inicial y luego, periódicamente.

Velocidad variable

Este método de ajuste de capacidad se logra mediante la conducción de una bomba de émbolo con un motor principal de velocidad variable. Debido a que es necesario reducir el rango de la carrera para reducir la entrega, los impulsos de descarga están muy separados entre sí cuando la bomba gira lentamente. Las cámaras de sobretensión o los tanques de retención se utilizan cuando este factor es objetable.

En situaciones de control que implican pH y clorinización, existen dos variables a la vez, por ejemplo, tasa de flujo y la demanda química. Esto se maneja fácilmente mediante una bomba dosificadora accionada por un motor principal de velocidad variable. La tasa de flujo se puede ajustar cambiando la velocidad de la bomba, y la demanda química mediante su desplazamiento.

Calibración

La calibración, que es un ajuste fino de la capacidad, se puede realizar de la misma manera que el control de la capacidad mencionado anteriormente, mediante el uso de un mecanismo de ajuste fino de la carrera. Sin embargo, se puede lograr de una mejor manera mediante los equipos electrónicos vinculados a la pantalla de visualización (display) de volumen bombeado. Un codificador de eje está conectado al medidor que entrega los impulsos proporcionales al volumen bombeado. El número de impulsos seleccionados es relativo a la resolución requerida de la pantalla. Los pulsos se introducen en el recuento y el procesamiento de los equipos electrónicos. Los componentes electrónicos están en modo de calibración y en una medida fija bombeada en un recipiente calibrado. Los equipos electrónicos cuentan el número de pulsos que reciben para el volumen bombeado conocido, y calculan un factor de ajuste para esa bomba. La electrónica de calibración también puede almacenar lotes y volúmenes totales históricos bombeados, y suministrar esta información a una pantalla local o remota. Esto puede ayudar con la mantención de registros y la supervisión del rendimiento de las bombas.

Otra forma de calibración es el micrómetro manual. Se puede utilizar para ajustar la capacidad de la bomba de dosificación, en cualquier lugar entre 0 a 100%. Si bien no es directamente proporcional al flujo, este ajuste de calibración se puede utilizar para establecer con precisión la capacidad de la bomba sobre la base del rendimiento de la bomba.



Figura 32

Diferentes tipos de calibradores y codificadores de desplazamiento

Apagar una bomba dosificadora:

Al igual que en la puesta en marcha de la bomba, el procedimiento de parada depende del tipo de bomba y su aplicación. En general, los pasos a seguir para detener una bomba son:

1. Apague la bomba de la misma manera que la encendió (es decir, de forma manual o con el botón “apagado” ("off") en el panel electrónico).
2. Asegúrese de que las válvulas de succión y de descarga están abiertas.
3. Si no va a volver a usar la bomba durante algún tiempo:
 - a. Desconéctela de la fuente principal de energía.
 - b. Vacíe el extremo líquido y permita que la solución (reactivo/químico líquido) salga completamente.
 - c. Purgar el extremo líquido con un medio adecuado, al usar insumos químicos peligrosos y limpie el cabezal de dosificación cuidadosamente.

Puntos de seguridad al apagar una bomba dosificadora

- Tenga cuidado con los residuos químicos en el extremo líquido de la bomba estos pueden ser peligrosos.
- Tenga cuidado con las salpicaduras de químicos de alimentación alrededor de los componentes hidráulicos como consecuencia de componentes abiertos debido a la presión o procedimientos de apagado - despresurice la bomba antes de realizar

trabajos de mantenimiento o reparación.

- Tenga cuidado con los derrames químicos y ponga atención a sus alrededores y al impacto ambiental que los productos químicos derramados pueden tener.

Tabla 9: SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LA BOMBA RECIPROCANTE (De pistón o diafragma)

Problema	Solución
Temperatura excesiva del fluido	Reduzca la velocidad y/o la entrega, disminuya la altura de succión.
Velocidad demasiado baja	Compruebe las rpm respecto de las especificaciones para el funcionamiento de la bomba
Las prensaestopas se sobrecalientan	Compruebe que la empaquetadura no está apretada o mal instalada; compruebe el lubricante de la empaquetadura; compruebe que la empaquetadura está conforme con las especificaciones del fabricante; compruebe el flujo de refrigeración
Rodamientos sobrecalentados	Revise el nivel o condición del aceite lubricante, compruebe si se está utilizando el lubricante correcto, compruebe la ubicación de la desalineación o tensión excesiva; revise los accesorios y condición de los sellos de aceite, compruebe que la velocidad de funcionamiento no es excesiva
Baja entrega Fluido demasiado viscoso Alta viscosidad del fluido	Reduzca la viscosidad Compruebe que la viscosidad del fluido no es demasiado alta para la manipulación económica Compruebe que la viscosidad del fluido es consistente con el rendimiento requerido
Presión excesiva	Reducir la velocidad de las bombas; aumentar el tamaño del conducto de suministro
Vibración y ruido	Posible cavitación. Ver las condiciones de funcionamiento del circuito y del eje de la bomba.

Excesiva viscosidad del fluido	Compruebe la idoneidad de la bomba
Aire arrastrado	Compruebe si hay fugas de aire
Montaje incorrecto de la bomba	Revisar y corregir
Rotor desbalanceado	Compruebe si hay daños u obstrucción
Desalineación Desgaste excesivo	Compruebe la alineación de la bomba, el motor y los cimientos
Ensamblaje no-rígido	Revise la rigidez del ensamblaje
Eje doblado; rodamientos defectuosos	Revise y reemplace
Desgaste de la bomba	Desarme y revise el desgaste
Golpeteo en la válvula de alivio	Ajustar, reparar o reemplazar
Falta de lubricación	Compruebe la cantidad y la calidad de lubricante
Suciedad en la bomba	Utilizar filtro para eliminar
Corrosión	Comprobar que los materiales de la bomba sean compatibles con el fluido que se bombea
Presión de trabajo demasiado alta	Verifique en base a las recomendaciones de viscosidad del fluido
Velocidad de trabajo muy alta	Reducir la velocidad o la presión
Abrasivo en el fluido	Compruebe la idoneidad del producto/bomba
Bomba requiere velocidad demasiado alta	Compruebe en base a las rpm máximas recomendadas la factibilidad de trabajar a esas velocidades
Fricción interna	Revisar si hay frotamiento y obstrucción
Rodamientos apretados	Revisar los rodamientos y empaquetaduras (la temperatura del rodamiento es una pista)

Tabla 10: SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE LA BOMBA ROTATIVA (de engranes, de paletas o de tornillos)

Problema	Solución
Elevación de succión excesiva	Reducir la altura de succión o instalar cañerías de succión más grande
Bloqueo	Compruebe el ajuste y la configuración
Desgaste excesivo	Revisar desgaste de los componentes respecto de las tolerancias del fabricante
Desgaste excesivo	Líquido Abrasivo. Revisar que la bomba es capaz de manejar líquidos con sólidos abrasivos presentes, comprobar que el filtro es el adecuado
Deterioro	Compruebe si hay desgaste excesivo o espacios en los componentes
Velocidad insuficiente	Compruebe la velocidad del eje
Capacidad reducida/altura de succión excesiva	Reducir la altura de succión o instalar cañerías de succión más grandes
La configuración de la válvula de derivación o alivio puede ser demasiado baja	Revisar y resetear
Fugas de aire	Revisar y corregir, revisar las juntas
Inclusión de aire	Vuelva a colocar la toma de succión
Ruido excesivo	Compruebe la alineación del motor, bomba y uniones
Daño interno	Reemplazar el rotor doblado o roto
Desbalanceo	Examinar el rotor para mantener el equilibrio estático y dinámico
Cavitación	Comprobar las condiciones de funcionamiento de la bomba
Presión excesiva	Válvula de seguridad demasiado alto, ajustar para corregir la configuración acorde con el rango de la bomba
Presión excesiva del sistema	Si la presión del sistema es demasiado alta para la capacidad de la bomba, ir a una mayor presión de descarga de la bomba

Velocidad excesiva	<p>Comprobar que la velocidad es compatible con las especificaciones de la bomba para la viscosidad del líquido manejado</p> <p>Comprobar la capacidad de la bomba respecto de la viscosidad del fluido manejado</p>
No hay flujo	La válvula de descarga puede estar parcialmente cerrada o el sistema parcialmente bloqueado
Descarga con poco flujo	Un flujo en bucle a través de la válvula de alivio causará recalentamiento, puede aliviarse mediante una válvula de alivio independiente de descarga al tanque
La bomba se sobrecalienta	Válvula de alivio o redirección (bypass) Revisar configuración
Daño de entrada excesivo	Revisar si hay eje doblado u otras piezas dañadas
Excesiva viscosidad del fluido	Verificar los valores de velocidad respecto de la viscosidad real del fluido, reducir la velocidad para viscosidades más altas

4.3. Adición de reactivos

Los reactivos son sustancias químicas conocidas por reaccionar de una manera específica. Los reactivos se usan para producir, detectar, o medir, otras sustancias. Los reactivos se presentan por lo general en forma de un sólido, gas o líquido y se añaden a un líquido o sustancia con el fin de lograr un cambio químico. En la lixiviación en pilas, se añaden reactivos a la pila a través de un sistema de bombeo. Su función es disolver el mineral y extraer el metal objetivo.

Cuando se añaden reactivos a las bombas dosificadoras u otras bombas, asegúrese de seguir los procedimientos del lugar de trabajo, las instrucciones del fabricante y la información proporcionada en la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (HDS). La HDS proporciona información acerca del químico, sus propiedades y, sobre todo, cómo debe usarse y manipularse de forma segura. La mayoría de las HDS proporcionarán la siguiente información sobre el producto químico:

- El nombre del químico.
- Su código de producto.
- Sus ingredientes principales.
- La descripción física y las propiedades del químico (por ejemplo: color, olor).

- Información del riesgo de la sustancia química y sus efectos en los seres humanos.
- Equipo de seguridad y EPP a utilizar al manipular el producto químico.
- Métodos seguros para almacenar y transportar el producto químico.

Debe consultar la HDS de un producto químico si usted necesita saber:

- Cómo almacenar el químico.
- Cómo manipular el químico.
- Qué hacer en caso de una emergencia (como un derrame de sustancias químicas).

Muchas sustancias químicas pueden hacerle daño si entran en contacto con la piel, o si accidentalmente respira sus vapores o las traga. Por esta razón, usted debe seguir todas las precauciones de seguridad y la información que proporciona la HDS.

Medidas de seguridad al usar o manipular reactivos y productos químicos peligrosos:

- Siempre use equipo de protección, como guantes, lentes y mascarillas cuando manipule productos químicos. Algunos químicos pueden ser absorbidos por la piel y enfermarle gravemente. Otros productos químicos pueden matarlo en pocos segundos si se ingieren.
- Asegúrese de tener disponibles kits para derrames, extintores de incendios/mantas y botiquines de primeros auxilios en caso de emergencia.
- Siempre tenga su mano debajo del recipiente de productos químicos cuando lo transporte. De lo contrario, podría caerse y derramar su contenido sobre usted y causar lesiones.
- Siempre lea la etiqueta del producto y asegúrese que la botella tiene el producto correcto dentro de la misma y que está etiquetada correctamente. No utilice productos químicos no etiquetados. Reemplace las etiquetas que estén dañadas o ilegibles. Notifique a su supervisor.
- En caso de duda, tírelo a la basura - Si usted no está seguro de un producto, la etiqueta, etc., no lo utilice, notifique a su supervisor para que pueda ser eliminado adecuadamente.
- Siempre utilice productos químicos de acuerdo con las instrucciones de la etiqueta, hojas de información de productos, gráficos murales y la Hoja de Datos de Seguridad de Materiales.
- No mezcle los productos químicos a menos que se especifique en el HDS - es peligroso hacerlo innecesariamente y puede causar lesiones.
- No apile productos químicos - es peligroso y puede conducir a la contaminación cruzada, malas reacciones químicas y lesiones.
- Utilice siempre un recipiente limpio y vacío al mezclar productos químicos apropiados.
- Mezcle las sustancias químicas según la HDS. Tenga cuidado de sobremezclar la mezcla.

- Nunca trate de oler directamente una sustancia química. Si tiene que oler un químico, manténgalo lejos de su cara y use un movimiento de abanico con la mano para enviar algo del olor a su nariz.
- Ventilación - asegúrese de que haya ventilación adecuada en el almacén y cuando utilice productos químicos. Use una campana extractora de humos al manipular productos químicos. La campana ventilará los humos nocivos emitidos por la sustancia química. Si su lugar de trabajo no tiene una campana de humos, entonces, manipule los productos en un área bien ventilada. Si usted está manejando productos químicos en una habitación, abra todas las ventanas para que circule el aire y se mueva a través de la habitación.
- No comer, beber ni fumar cuando manipule productos químicos. Usted podría tragarse accidentalmente algún producto químico o, si usted está fumando, encender accidentalmente productos químicos inflamables.
- Lávese siempre las manos después de manipular productos químicos (incluso si se usan guantes).
- Si un producto químico se derrama sobre usted, lávelo inmediatamente. Algunos lugares de trabajo tienen una ducha química que se puede utilizar para asearse rápidamente. Notifique a su supervisor de inmediato.
- Reporte todos los derrames, accidentes y efectos dañinos a sus supervisores o funcionario de Higiene y Seguridad.
- Cuando haya terminado con los productos químicos, limpie la botella y guárdela de forma segura en el lugar y de la manera correcta como se describe en la HDS.
- Nunca apile los productos químicos en más de 2 tambores de alto - apilar bidones químicos y cajas en más de 2 de tambores de alto es peligroso, pueden caerse y provocar daños. Es aconsejable almacenar los polvos arriba de los líquidos.
- Uso de contenedores - Selle los recipientes cuando no estén en uso. No abrir los envases dañados, devuélvalos o consulte a su proveedor
- Seguridad - en caso de duda en cuanto a la correcta utilización del producto químico, **NO LO UTILICE.**
- Lo más importante es usar el sentido común - todos tenemos que tomar todas las precauciones al utilizar productos químicos para asegurar que se optimiza la seguridad individual y la responsabilidad.

NOTA Estos pasos son "generales" y son sólo una guía.
Consulte SIEMPRE las instrucciones del fabricante del equipo y la HDS.

A continuación se presentan algunas **medidas "generales"** para añadir reactivos a las bombas.

1. Calibrar todos los sensores de pH para asegurar que la solución va a lograr la reacción requerida del mineral extraído.
2. Ajustar la bomba a la velocidad y tasa de flujo correctos.
3. Añadir los reactivos/solución de lixiviación al tanque o recipiente apropiado
4. Cebear la bomba (si es necesario dependiendo de la bomba).
5. Encienda la bomba (según las instrucciones del fabricante de la bomba) y empiece a bombear solución a la pila.
6. Supervise la bomba para asegurarse de que funciona correctamente y que no hay obstrucciones o signos de problemas.

Esto es sólo una guía y puede variar de una faena a otra y desde un equipo a otro y de reactivo a reactivo.

Tabla 11: Tipos típicos de reactivos comúnmente utilizados y su aplicación

REACTIVO	APLICACIÓN
Cal (CaO)	Se utiliza para regular el pH en el proceso. Se añade cal al circuito de chancado y el circuito de destrucción de cianuro.
Amil Xantato (C_nH_nOS₂K)	Se utiliza como un colector durante el proceso de flotación.
Floculante aniónico (Percol 727)	Se utiliza en el espesante para mejorar la decantación de los sólidos y la clarificación del agua.
Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅)	Se utiliza para oxidar el cianuro en el circuito de destrucción de cianuro según sea necesario.
Sulfato de cobre (CuSO₄ * 5H₂O)	Se utiliza como catalizador en el proceso de destrucción de cianuro para la decantación de los complejos de cianuro de hierro.
Nitrato de plomo	Se utiliza para activar el polvo de zinc durante el proceso de Merrill Crowe.
Antiescalante	Se añade a las mezclas de productos químicos para evitar la acumulación de sedimentos en los tanques y las cañerías.
Polvo de zinc	Se utiliza en el proceso Merrill Crowe.
Ácidos (sulfúrico, clorhídrico)	El contacto con líquidos ácidos fuertes o humos es un peligro para la salud humana y también puede causar daños estructurales en una instalación. Las emisiones de ácido en el medio ambiente pueden tener efectos

	directos en la biodiversidad, y también puede solubilizar y por ende movilizar a los tóxicos de metales pesados.
Bórax, soda cáustica, y nitrato de potasio	Estos reactivos son componentes del fundente y se utilizan en el proceso de refinado del concentrado de oro-plata.
Fluoruro de calcio (CaF₂)	Se utiliza como un aditivo en el proceso de refinación.

La acción de la solución de lixiviación en las pilas

A continuación se presenta un paso a paso del efecto general de la solución de lixiviación en el mineral presente en las pilas.

Paso 1

El mineral seco se compone de muchas partículas finas. Entre estas partículas hay áreas vacías llamadas poros. Los poros contienen oxígeno.

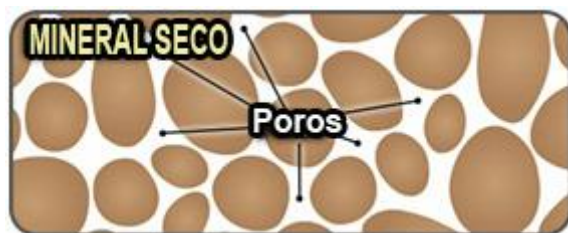


Figura 33

Paso 2

El mineral, humedecido por el nivel correcto de solución de lixiviación, penetra en su camino a través de la pila por medio de la vía de paso, dejando bolsas de oxígeno en los poros entre las partículas. Esta es la forma más eficiente de lixiviación del metal y minerales objetivos a partir del mineral en bruto. La actividad de la reacción se muestra en rojo en la imagen siguiente.



Figura 34

Paso 3

El mineral saturado, con demasiada solución de lixiviación, dificulta el tiempo de reacción y la capacidad de lixiviación. Cuando la solución ha entrado completamente en los poros, se dice que el mineral está "saturado" y no hay oxígeno disponible para trabajar con la solución para aumentar el tiempo de reacción. Las bacterias, las cuales son cruciales para el proceso de lixiviación, mueren por falta de oxígeno. La actividad de la reacción se muestra en rojo en la imagen siguiente.



Figura 35

Agentes humectantes de la solución de lixiviación

Los agentes humectantes son agentes químicos que actúan para reducir la tensión superficial de los líquidos. Una reducción en la tensión superficial puede producir un aumento del flujo y una humectación más completa de la pila al añadir agentes humectantes a la solución de lixiviación de las operaciones de lixiviación en pilas. De esta manera, los agentes humectantes tienen el potencial para producir los siguientes beneficios.

1. El aumento de la recuperación como resultado del flujo de la solución en las regiones de la pila que de otro modo serían "zonas secas" o regiones sin lixiviado.
2. Aumento de la solución - contacto del metal como resultado de una mejora en la penetración en los huecos y grietas de las partículas de mineral, lo que produce una mayor disolución y recuperación de metales.
3. Reducción del tiempo de lixiviación que a su vez reduce el agente de lixiviación y los costos de bombeo.
4. Menor necesidad de aglomeración o tratamiento especial de ciertos minerales.

Los agentes humectantes tienen también la desventaja potencial de reducir la recuperación de metales. Esto puede ocurrir si los agentes humectantes forman una barrera en la interfase solución/aire o solución/sólido y dificultan el flujo de los reactivos a la superficie metálica.

Sistema de bombas

Estrategias metodológicas para el instructor

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

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

Objetivos de aprendizaje

- Conocer procedimientos de operación y medición de las bombas.

Descripción de la actividad

El participante trabajará en un circuito hidráulico con bomba centrífuga inspeccionándolo y viendo cómo opera. Practicará el arrancar y parar el motor de la bomba, realizará accionamiento de válvulas y lecturas de los instrumentos. Deberá usar el PPE correcto para trabajar de manera segura.

Materiales y recursos

Una bomba centrífuga con características similares a las siguientes:

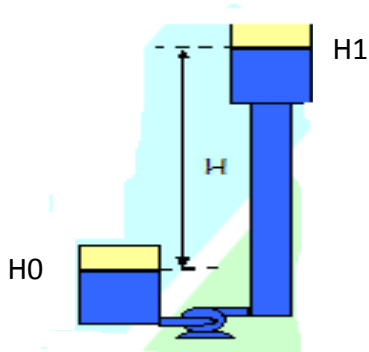
- Carga máxima: 21m H₂O
- Caudal máximo: 1,35 litros/seg
- Potencia nominal del motor: 0,36kW
- Intervalo de medición de presión: 0 a 45m H₂O
- Intervalo de medición compuesta: -10 a + 45m H₂O

Equipos asociados al circuito que se requieren son:

- 2 estanques
- Cañerías acorde con el diámetro de salida de la bomba
- Uniones (fittings)
- Herramientas de taller

Desarrollo

El instructor deberá preparar un sistema de bombeo que saque agua de un tanque a una altura H_0 y la bombee a otro estanque a una altura H_1 ($H_1 > H_0$). Observe la imagen como referencia:



La finalidad de la actividad es que reconozcan los componentes y el sistema de piping que llevará las soluciones a la pila.

Para comenzar el instructor deberá hacer una demostración de cómo funciona el sistema, desde energizar el motor de la bomba, abrir las válvulas necesarias y verificar que el fluido está llegando al estanque de descarga. Esta inspección también deberá considerar si hay fugas y tomar acciones correctivas cuando sea el caso. Deberá también mostrar a los participantes los instrumentos asociados para que reconozcan cómo funcionan (por ejemplo: flujómetro o manómetro).

Antes de arrancar la bomba hay varios puntos que el participante deberá revisar. No hacerlo podría resultar en daños a la bomba.

Remueva el acoplamiento y verifique que el motor gira en la dirección esperada.

- Realice un chequeo de la bomba y la sección de tubería a ser probada.
- Asegurarse que los niveles de líquido en el estanque sean los apropiados.
- Cerciorarse que la succión de la bomba siempre tenga fluido
- Tener el cuidado de eliminar todo el aire del sistema

Pasos sugeridos a practicar:

Cerrar la válvula de drenaje y abrir la válvula del sistema en el recipiente de prueba.

Accionar el motor eléctrico para que la bomba comience a mover el fluido.

Verificar que la presión aumenta en el manómetro de la descarga de la bomba.

Revisar la bomba y la tubería por fugas de agua. Si encuentra algo, drene el sistema y solicite apoyo en la reparación antes de continuar con la prueba.

Registre la lectura de los instrumentos instalados.

Sugerencia de práctica de fallas en el sistema:

De haber uniones roscadas entre las cañerías y los fittings, quitar parte del teflón o bien quitar el O-ring de la unión o la goma que sirve para sellar la unión. El objetivo de esto es que los participantes puedan detectar fugas en el sistema.

Cierre

El instructor enfatizará que la Bomba Centrífuga es el equipo común denominador tanto para óxidos como para sulfuros. Las bombas en instalaciones minero-metalúrgicas constituyen un alto porcentaje del equipamiento encargado del transporte de mineral.

En el caso de óxidos, la lixiviación utiliza bombas para regar las pilas con refino, por otra parte la bomba también impulsa los flujos de electrolito hacia la planta de electro obtención.

En el caso de los sulfuros, desde la etapa de molienda se genera una solución viscosa (pulpa), que requiere ser impulsada mediante bombas a todas las siguientes etapas en el procesamiento del mineral. Ejemplo: flotación, espesamiento, recuperación de agua, entre otros.

5. Parámetros y variables de operación del proceso de lixiviación

5.1. Equipo de monitoreo: leer e interpretar los indicadores de equipos

Los indicadores y medidores son instrumentos de medición con los que va a entrar en contacto como parte de su trabajo. Usted tendrá que entender cómo leer estos instrumentos y qué significan sus lecturas. Esto es importante para garantizar que el equipo que usted está operando funciona correctamente. El consultar las instrucciones del fabricante y los procedimientos operativos estándar le ayudará en su interpretación de las lecturas.

A continuación se enumeran los numerosos tipos de lecturas y mediciones que debe llevar a cabo a partir de diversos indicadores y medidores:

- Flujos de Aire.
- Corriente.
- Densidad.
- Flujo.
- Niveles de fluidos.
- Energía o Potencia.
- Presión.
- Humedad.
- Velocidad.
- Temperatura.

Tabla 12: Unidades métricas e imperiales de medida

Hay dos patrones de medición utilizados en todo el mundo: el sistema internacional y británico. La siguiente tabla muestra cómo se miden las unidades en cada uno.

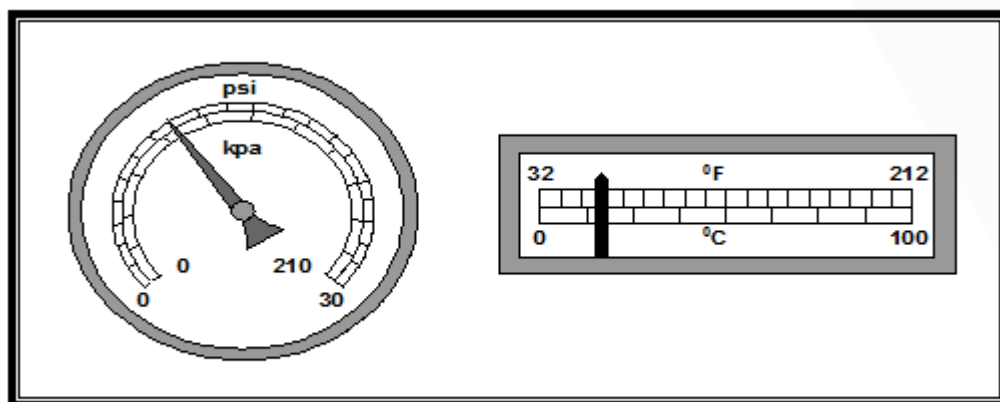
MEDIDA	Sistema internacional	UNIDADES BRITÁNICAS
MASA	→ gramos → kilogramos (kg) → toneladas	→ Onzas → Libras → Cuartos → Toneladas
MEDIDAS DE LÍQUIDOS	→ metros (m ³)	→ Pinta → Cuarto de Galón → Galón → Barril
TEMPERATURA	→ Grados Kelvin (°K). Usualmente se utiliza el grado Celsius (°C)	→ Fahrenheit (°F.)
FLUJO	→ terajoule por día. Un millón de millones (10 ¹²) de joules, abreviado como TJ/d	→ Pies cúbicos por minuto (pcm) → Pies cúbicos por día

	→ metros cúbicos (m ³) por día/hora/minuto/segundo(m ³ /sec) → Litros por hora/minuto/segundo (L/s)	(pcd) → Libras por minuto → Galones por minuto
PRESIÓN	→ Pascal (Pa) → kilopascales (kPa)	→ Libras por pulgada cuadrada (psi)

Tabla 13: Términos y unidades de medida usados comúnmente

Unidades de Medida	Definición	Unidades comunes	Abreviaciones
Fuerza	Cuando se acelera una masa, se ha aplicado una fuerza (Fuerza = masa x aceleración)	• Newton	• N
Peso	El peso es la fuerza con la que una masa es atraída y jalada hacia el centro de la tierra por la gravedad (Peso = masa x aceleración de gravedad)	• Kilogramo fuerza • Newton	• kg _f • N
PRESIÓN	La presión es la fuerza aplicada a un área de superficie (Presión = fuerza/área)	• pascal • kilo pascal • Libras por pulgada cuadrada	• Pa • kPa • PSI
Vacío	El vacío se considera como la presión menor a la presión natural ejercida por la atmósfera	• kilo pascal	• kPa
Temperatura & Calor	La temperatura es el grado de calor tal como se mide en grados Celsius (°C) El calor es la energía que se transmite como resultado de las diferencias de temperatura, según lo determinado en Joule.	• Grados Celsius • Grados Fahrenheit • joule, calorías	• (°C) • (°F) • J, cal
Flujo	El flujo es el volumen de un fluido que se mueve a través de un tubo o conducto en un intervalo de tiempo determinado. De manera adicional se puede hablar de flujo másico y tiene unidades de masa en unidad de tiempo	• metros cúbicos por segundo • metros cúbicos por minuto • Litros por	• m ³ /s • m ³ /min • L/s

Unidades de Medida	Definición	Unidades comunes	Abreviaciones
		segundo • kilogramo por segundo • kilogramo por minuto	• kg/s • kg/min
Velocidad	La velocidad es la tasa a la que una masa se mueve en un intervalo de tiempo dado	• metros por segundo • kilómetros por hora	• m/s • km/h
Volumen	El volumen es una medida de la cantidad de una sustancia	• metros cúbicos • Litros	• m ³ • L
Masa	La masa es la cantidad de materia que ocupa espacio	• kilogramo • gramo	• kg • g



Los instrumentos pueden tener medidas métricas o imperiales, o ambas.

Figura 36

5.2. Factores externos que influyen en las lecturas de los instrumentos

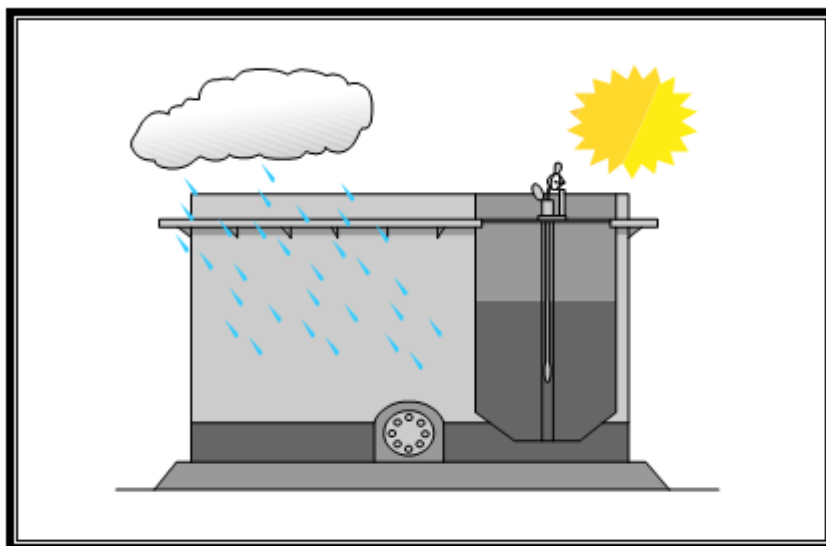
Al leer los instrumentos, los operadores también deben tener en cuenta los factores externos que podrían influir en el resultado. Los factores externos tienen el potencial de causar un error en la lectura que, a su vez, podría ser perjudicial para la calidad del producto, seguridad y operación de la maquinaria.

Los factores externos que podrían influir en las lecturas son los siguientes:

- Condiciones ambientales.
- Condiciones de procesamiento.

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales tales como la temperatura, la lluvia y el viento tienen el potencial de causar errores al tomar las lecturas. Por ejemplo, una lectura de la temperatura del líquido dentro de un recipiente (o pila) puede cambiar si el recipiente está expuesto a temperaturas ambientales altas, al viento o a la lluvia.



: Los factores ambientales pueden influenciar las lecturas de temperatura de un producto

Figura 37

Condiciones de procesamiento

El equipo y las condiciones de procesamiento también pueden afectar a la medición, y causar errores en las lecturas. Por ejemplo, las bombas pueden causar fluctuaciones en el flujo y la presión que pueden afectar los niveles de medición o solución correctos en otros puntos en el sistema de procesamiento.

Operaciones externas

Aparte de los factores ambientales mencionados anteriormente, otros factores externos pueden influir y afectar a las lecturas. Por ejemplo, las lecturas de pruebas de gases tomadas dentro de espacios confinados pueden cambiar con el tiempo como resultado de factores externos. Las fugas cercanas o tubos de escape de los motores pueden entrar en espacios confinados y causar cambios en la composición del gas.

5.3. Técnicas de Medición

Todas las medidas deben ser:

1. Tomadas de manera segura.
2. Tomadas con precisión.
3. Revisadas cuidadosamente.
4. Registradas con precisión.

Seguridad

Los equipos y ambientes de minería suelen ser potencialmente peligrosos. Los riesgos potenciales de tomar mediciones y lecturas dentro de este entorno de trabajo incluyen:

- Trabajos a una altura considerable del suelo.
- Trabajar en espacios confinados para tomar medidas.
- Atmósferas potencialmente explosivas.
- La electricidad estática, que puede ser una fuente de ignición.
- Otras fuentes de ignición.
- Otros peligros del equipo tales como maquinaria móvil.

Precisión

La medición y lectura de los resultados deben ser precisas. Como se ha discutido anteriormente en esta sección, hay varios factores externos que pueden afectar a la precisión de la medición y que deben tomarse en cuenta.

Además de los factores externos, también hay varios problemas con respecto al equipo de medición que pueden afectar a la precisión de la lectura de la medición.

- Calibración del Equipo:

Los distintos equipos utilizados para medir y tomar las lecturas deben ser precisos.

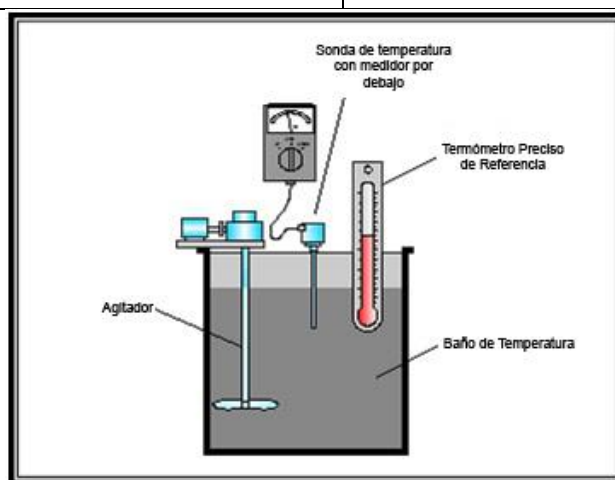
La manera de asegurar su exactitud es a través de la "calibración". La calibración es el proceso de comprobación de lecturas de un dispositivo de medición contra las lecturas de un equipo similar que se sabe que es preciso.

El equipo que normalmente se calibra con regularidad incluye:

→ Medidores de flujo de cañería y totalizadores	→ Cromatógrafos de gas
→ Probador de medición de flujo	→ Equipo de prueba de laboratorio
→ Detectores de gas	→ Cintas de medición de nivel
→ Comprobadores de peso muerto	→ Termómetros
→ Manómetros	

El equipo calibrado suele ir acompañado de un certificado de calibración que detalla:

→ Fecha de calibración	→ Tabla de Calibración
→ Método o estándar de calibración	→ Tablas de corrección o compensación
→ Número de serie o identificación	→ Fecha de la próxima calibración
→ Datos de Calibración	

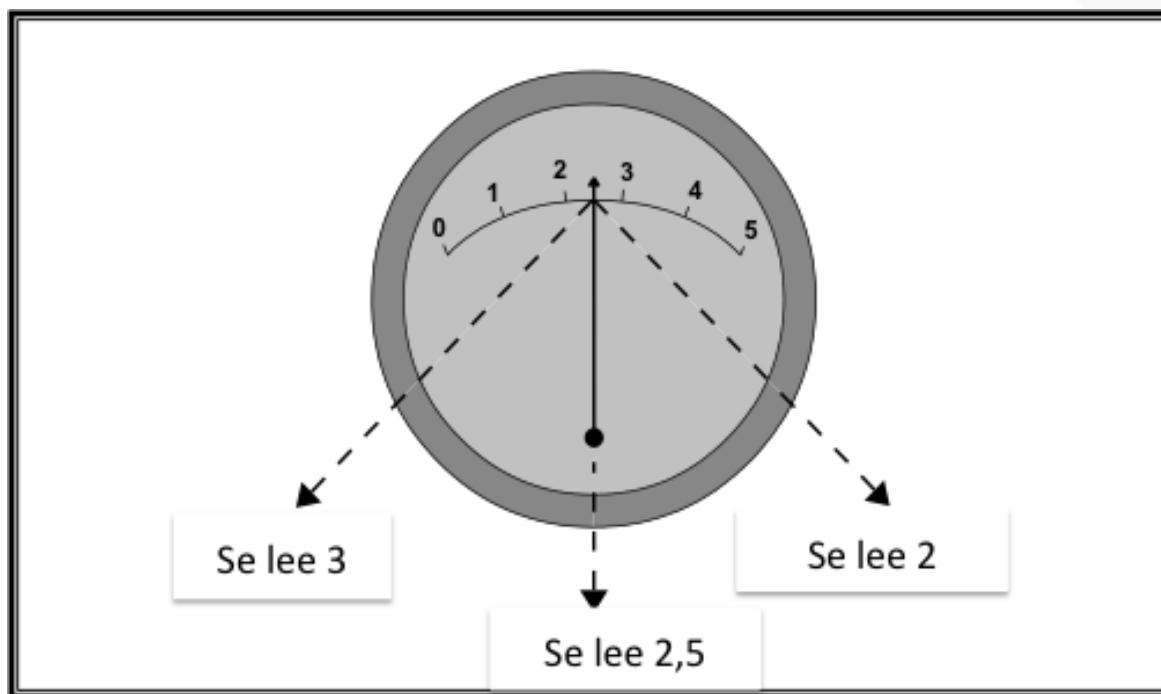


La calibración involucra comparar las lecturas del instrumento con las lecturas de un instrumento más preciso

Figura 38

- Error de Paralaje

El error de paralaje se produce cuando el operador no puede leer un medidor analógico directamente desde adelante o de frente. Visualizar la lectura desde el lado puede causar un error en la interpretación. Un ejemplo típico de esto es cuando un pasajero en un auto ve el velocímetro del auto desde el asiento del pasajero. El ángulo de visión distorsiona la lectura.



Siempre lea los medidores análogos de frente para evitar un error de paralaje

Figura 39

Comprobar cuidadosamente las mediciones y lecturas

Las mediciones completas deben cotejarse con el rango de los resultados esperados. Las mediciones y lecturas que se encuentran fuera del rango esperado pueden indicar:

- Error humano.
- Factores externos.
- Técnica de medición incorrecta.
- Equipo de medición defectuoso.
- Condiciones de procesamiento anormales.

Las mediciones y lecturas anormales deben ser investigadas y/o reportadas. Si los errores son causados por material defectuoso, el equipo debe etiquetarse y repararse siguiendo el procedimiento normal de operación.

Registro preciso

Todas las técnicas correctas para la recolección y verificación de las lecturas de medición se pueden deshacer por culpa de un registro descuidado. Después de que se toma la medida, es esencial que se registre con precisión en el formato adecuado de la hoja de informe, libro de registro (bitácora), hoja de prueba o el sistema informático.

Cuando los resultados retornan a la sala de control, los resultados deben registrarse en el informe correspondiente, bajo el estándar requerido según se especifica en los procedimientos operativos estándar.

5.4. Equipos de medición del proceso de lixiviación

Dispositivo de medición de humedad

Tensiómetros

Los tensiómetros proporcionan información precisa sobre el estado de humedad de la pila de lixiviación para que pueda ver si está aplicando demasiada (saturación) o muy poca (en seco) solución. El tensiómetro mide el potencial de agua o tensión. El potencial del agua se mide comúnmente en unidades de bares (y centibares en el sistema Inglés de medición) o kilopascuales (en unidades métricas). Una lectura alta significa un suelo más seco y una lectura más baja significa un suelo más húmedo. Los tensiómetros ayudan a prevenir la saturación de la pila.

Es importante medir el contenido de humedad de su cancha de lixiviación en todo momento. Esto le dará la información que necesita para gestionar adecuadamente su aplicación de solución.

Las siguientes imágenes son de un tensiómetro típico. Demuestran cómo se utiliza el tensiómetro y cómo leer el indicador.

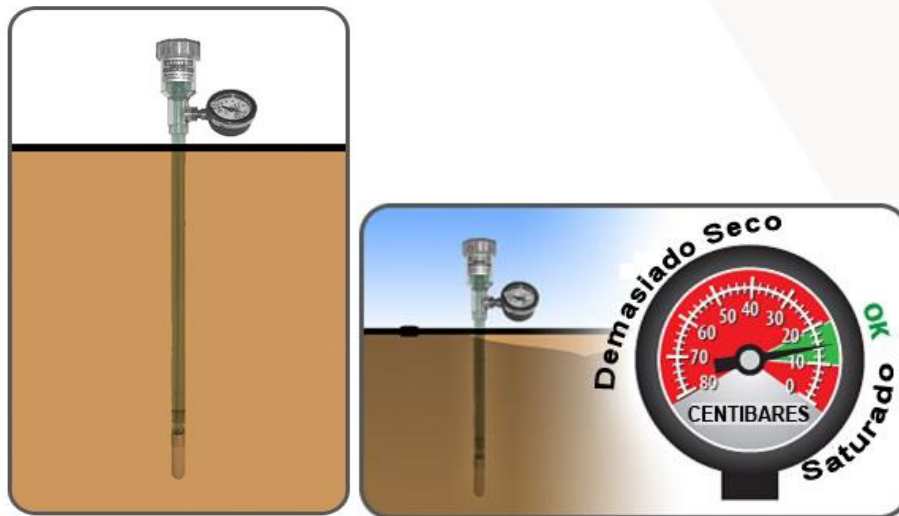


Figura 40

Tensiómetros y sus indicadores

Principios y técnicas de medición de presión

Presión manométrica

Las medidas de presión son a menudo contrastadas con la presión atmosférica. Esto se conoce como "presión manométrica".

- "La presión manométrica positiva" es la presión que está *por encima de* la presión atmosférica.
- "La presión manométrica negativa" es la presión que está por debajo de la presión atmosférica.



Figura 41

Manómetro de tope

Presión absoluta

La presión absoluta se mide a partir de una base diferente a la presión manométrica. La presión absoluta no hace referencia a la presión atmosférica, sino que *incluye* la presión atmosférica. Por ejemplo:

- La presión manométrica a presión atmosférica debería indicar cero.
- La presión absoluta a presión atmosférica mostraría 14.7psi (o 102.9kPa).

Los instrumentos de medición de presión absoluta no se corrigen para que indiquen cero a presión atmosférica. Los instrumentos de medición de presión absoluta siempre leerán la presión atmosférica actual.

Presión de vacío

La presión de vacío es la presión que es menor que la presión atmosférica.



Figura 42

Presión de gas

Presión de gas y volumen

La presión de un gas en un recipiente o contenedor es inversamente proporcional al volumen del recipiente o contenedor.

A medida que aumenta el volumen, la presión disminuirá.

→ A medida que se reduce el volumen, la presión del gas dentro del recipiente aumentará.

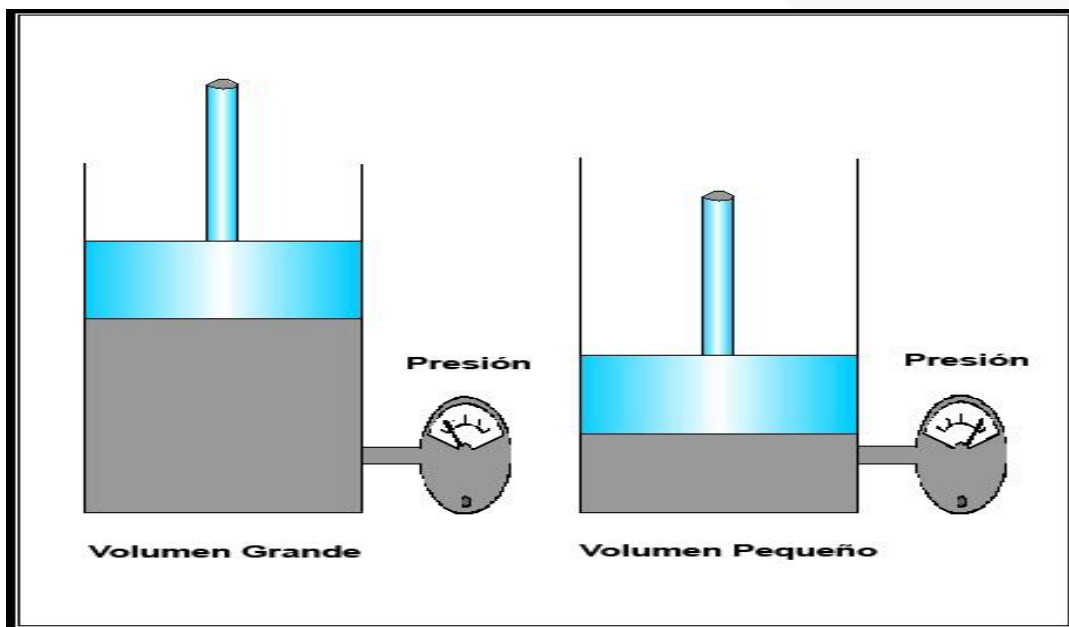


Figura 43

Presión de gas y temperatura

La presión de un gas en un recipiente o contenedor es proporcional a la temperatura aplicada.

- A medida que aumenta la temperatura, la presión aumentará.
- A medida que disminuye la temperatura, la presión disminuirá.

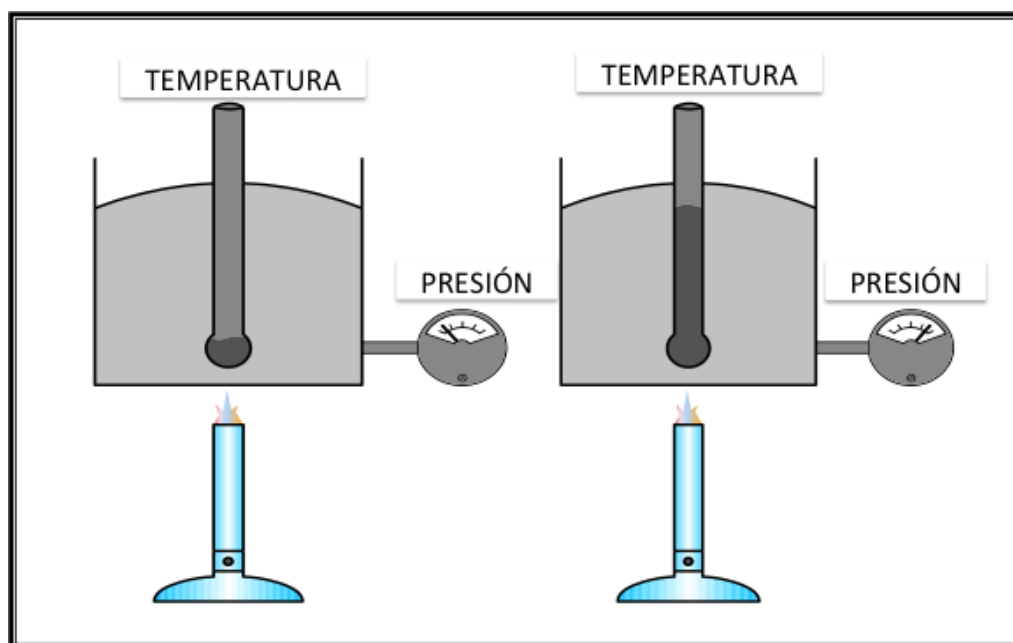


Figura 44

Dispositivos de medición de presión

Tubo de Bourdón

La mayoría de los medidores de indicadores de presión se construyen con tubos de Bourdón para medir la presión y el vacío. El tubo de Bourdón, que es un tubo metálico hueco sellado en un extremo, se flexiona cuando se aplica presión. Se dobla, ya que, naturalmente, quiere estirarse, pero no puede porque está vinculado a un movimiento dirigido. Como se trata de flexionar, este movimiento lineal se cambia a uno de rotación por medio de pequeños engranajes. Esto hace que el puntero indique la presión medida. Indicadores como éste, están diseñados para líquidos y gases no obstruidos y limpios.



Figura 45

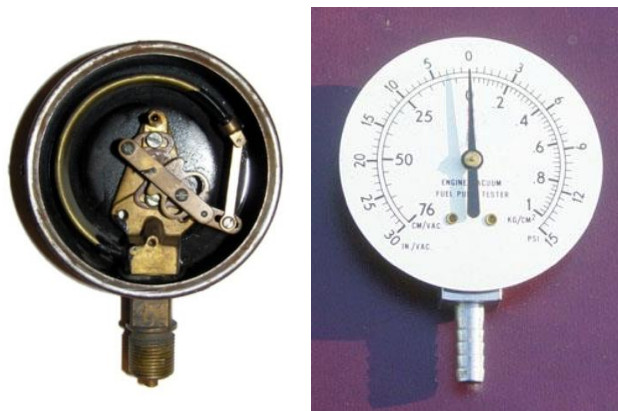


Figura 46

Tubo de presión Bourdón e indicador mecánico

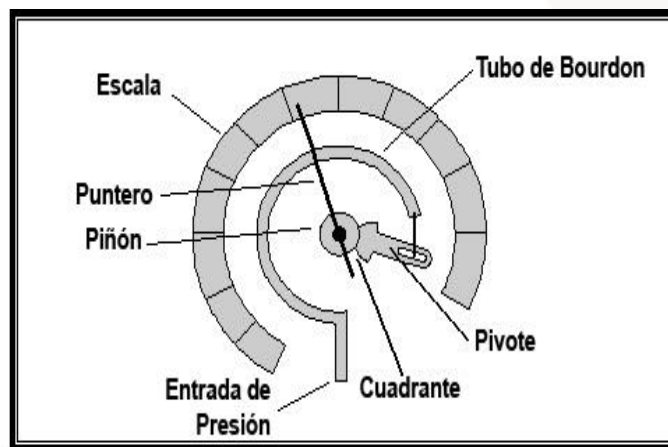


Figura 47

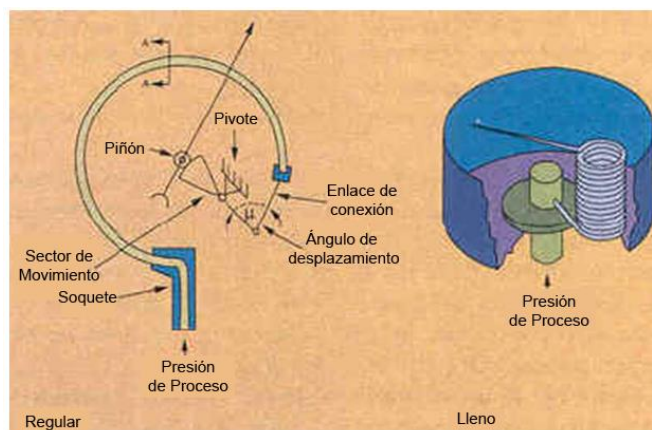


Figura 48

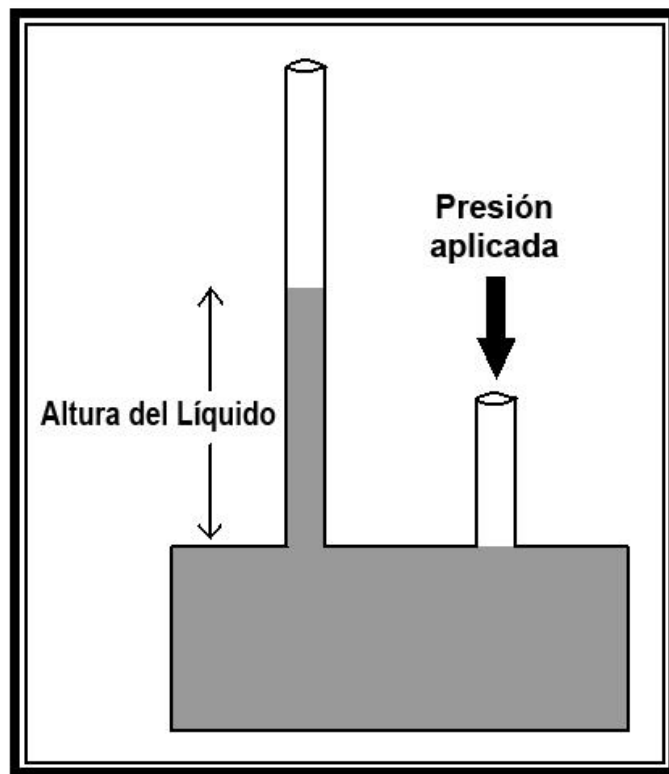
Manómetros

Un manómetro es un dispositivo de medición de presión que utiliza la altura de una columna de líquido para representar la presión que se está midiendo. Los manómetros miden la presión del aire, gases o vapores.

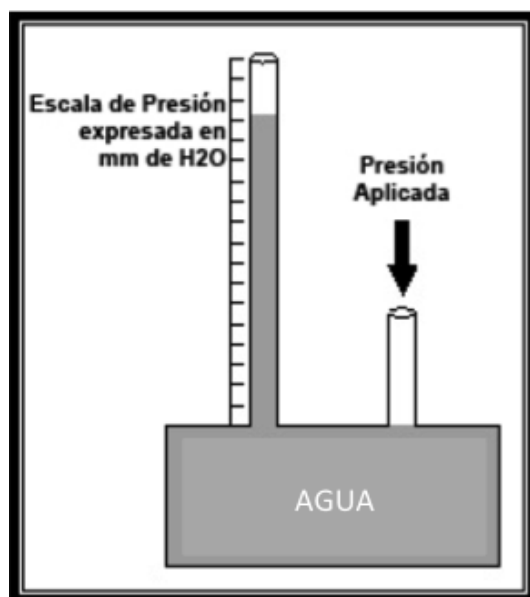
Cuando se aplica presión a un manómetro, el líquido en la columna se elevará de forma proporcional a la presión aplicada. Cuanto mayor sea la columna de líquido, mayor es la presión.

Las dos formas más comunes de manómetro son el manómetro de agua y el manómetro de mercurio. El mercurio es más denso que el agua. Cuando se aplica la misma cantidad de presión al agua, el agua se elevará más alto que el mercurio en la columna de un manómetro.

Por lo tanto, los manómetros de mercurio se utilizan para medir presiones más altas que los manómetros de agua.



Manómetro
Figura 49



Manómetro lleno de agua



Manómetro lleno de mercurio

Figura 50

La sección curvada de un tubo de manómetro se llama menisco.

- En los manómetros de agua, el menisco es cóncavo (con forma de tazón) y la lectura de la presión debe ser tomada desde el *punto más bajo* en la curva (a partir de la parte inferior de la curva)
- En manómetros de mercurio, el menisco es convexo (en forma de un recipiente boca abajo) y la lectura de la presión debe ser tomada desde el *punto más alto* de la curva (de la parte superior de la curva).



Figura 51

Manómetro tipo indicador Manómetro de tubo Slack

Medición de flujo

El flujo de fluido (líquido o gas) se puede medir a través de la medición de la presión. Esto se logra al obstruir el flujo de fluido y medir la presión antes y después de la obstrucción.

A medida que fluidos fluyen más allá de la obstrucción, la presión contenida dentro del fluido disminuye a medida que la velocidad del fluido se incrementa debido a un área de flujo reducida. Se puede obtener el rango de flujo mediante la medición de la presión del fluido antes y después de la obstrucción.

Los métodos de obstrucción utilizados para lograr mediciones de presión y caudal (flujo) son:

- La colocación de placas sólidas colocadas dentro del tubo (placa de orificio de canto afilado).
- El estrechamiento del tubo (tubo Venturi).
- La colocación de un pequeño tubo que se coloca en ángulo recto con el flujo (tubos de Pitot y Annubar).

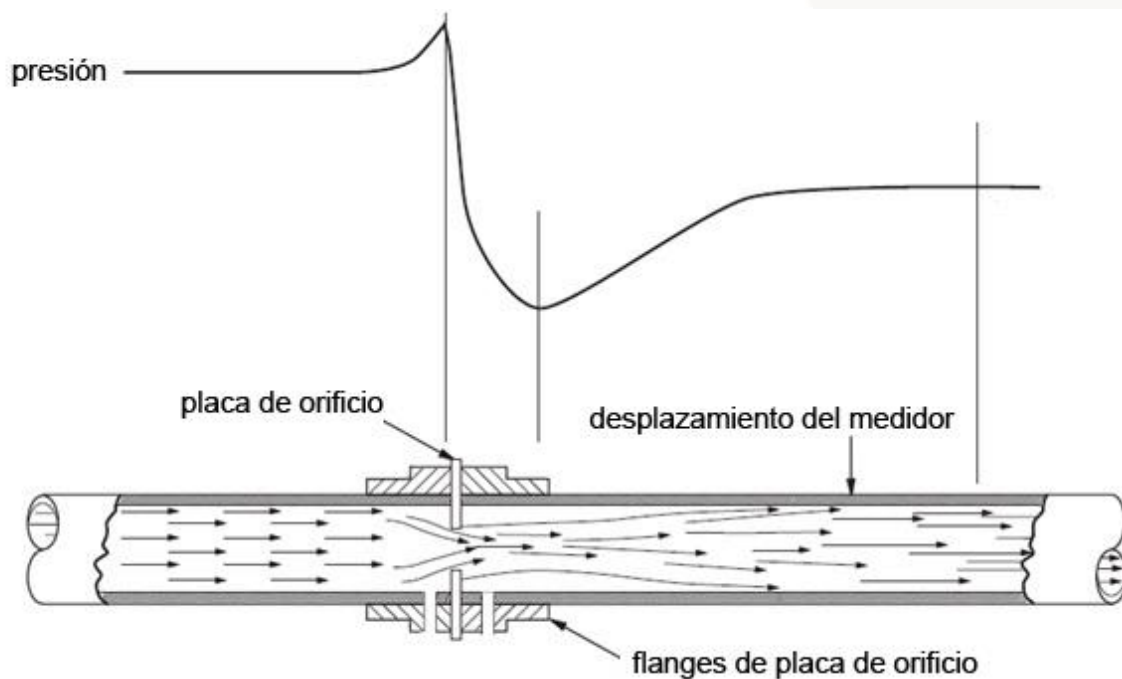


Figura 52

Placa de orificio de canto afilado

El fluido en una línea de flujo que tiene una placa de orificio de borde (canto) afilado instalada tendrá tanto velocidad (V_1) y presión (P_1) aguas arriba de la placa.

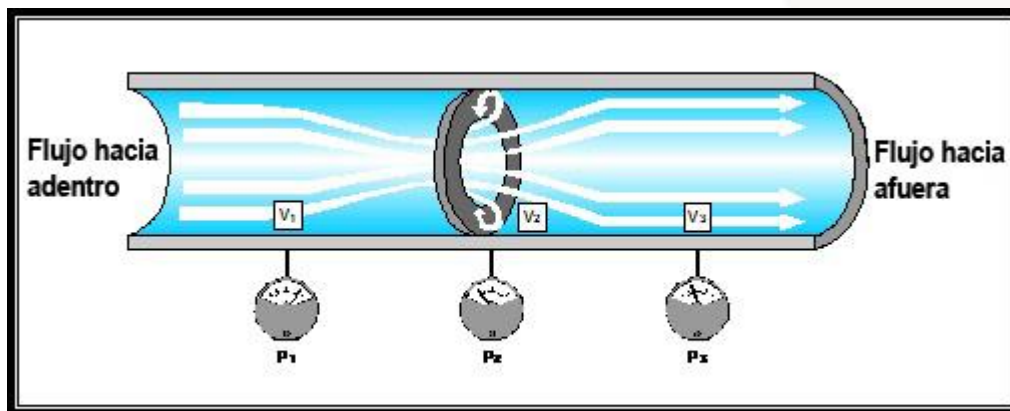
A medida que el fluido fluye en el lugar del orificio, la velocidad del fluido aumenta a medida que llega a la obstrucción (reducción en el área de flujo) causada por la placa (V_2). A medida que aumenta la velocidad, la presión del fluido (P_2) se reduce.

Cuando el fluido ha pasado fuera de la placa de orificio y está de vuelta en la línea de flujo, su velocidad se reduce de nuevo (V_3) con un aumento correspondiente en la presión (P_3).

Tenga en cuenta que la presión después de la placa de orificios (P_3) nunca será tan alta como la presión antes de la placa de orificio (P_1). La turbulencia y los remolinos en la placa de orificios causan una pérdida de energía.

Se mide la diferencia de presión creada por la placa de orificios ($P_1 - P_2$) para calcular la tasa de flujo.

En resumen, la velocidad de flujo de entrada es igual a la velocidad de flujo de salida si los tubos son del mismo diámetro. En esta situación, la velocidad V_1 y V_3 son la misma. La velocidad a través del orificio (V_2) se incrementa debido al área de flujo reducida.

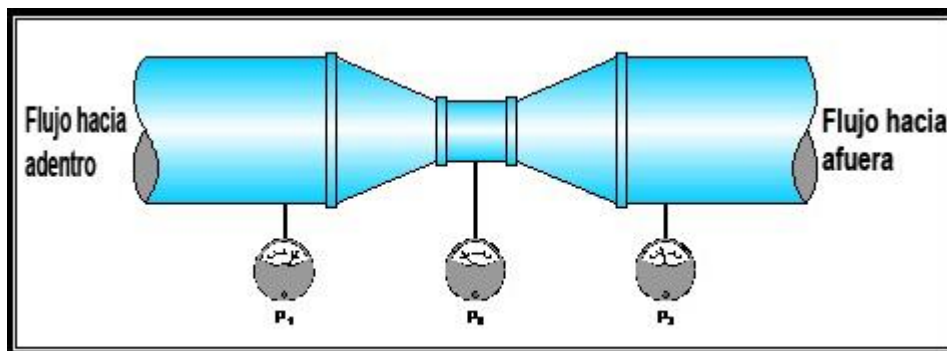


Placas de orificio de borde afilado

Figura 53

Tubo Venturi

El tubo Venturi mide la velocidad de flujo en la misma forma que la placa de orificio de borde afilado. La velocidad aumenta debido al estrechamiento del tubo.

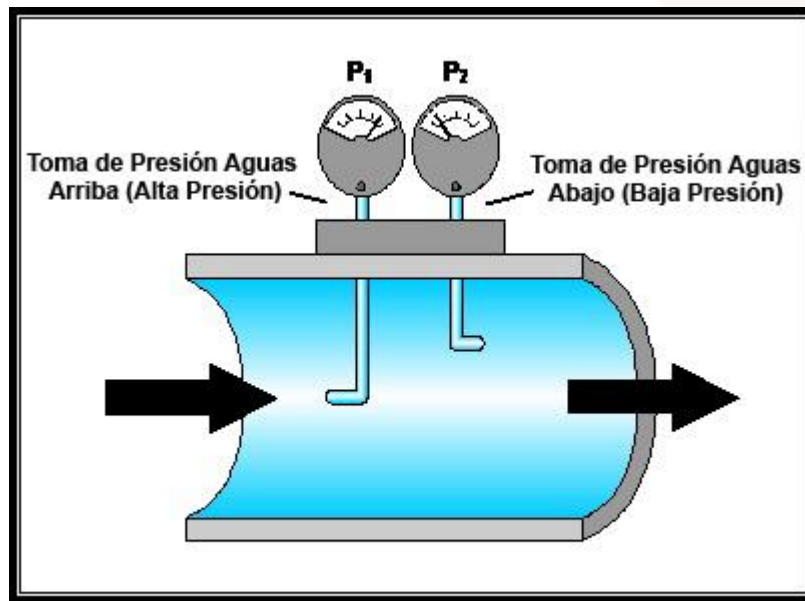


Tubo de Venturi

Figura 54

Tubos Pitot y Annubar

Los tubos de Pitot miden tasa de flujo mediante el uso de pequeños tubos que se colocan dentro de la corriente de flujo. Cuanto mayor sea la tasa de flujo, mayor es la presión de impacto en el punto del tubo de Pitot (P_1). Se hace referencia a esta presión a continuación, contra un tubo semejante, colocado aguas abajo, llamado estático.



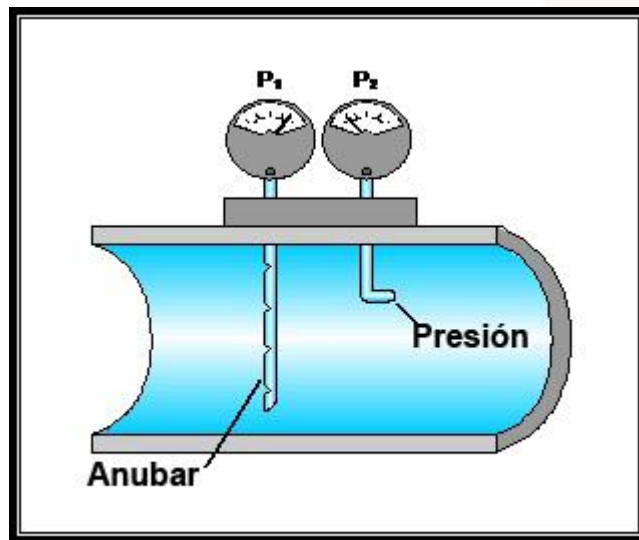
Tubo de Pitot

Figura 55

Tubo de presión de la línea (P2)

Un problema con el uso de tubos de Pitot para medir la velocidad de flujo es que sólo miden la presión en un punto en la línea de flujo. Con cañerías y líneas de flujo grandes, esto podría causar errores en las lecturas de medición de flujo, ya que puede haber una disposición en capas de la corriente de flujo dentro de la cañería. En otras palabras, la velocidad de flujo puede ser menor en las paredes del tubo que en el centro de la línea de flujo. Debido a su posición dentro de la cañería, los tubos de Pitot pueden dar por lo tanto una lectura falsa.

Los *Annubars* (a veces llamados tubos de Pitot promedio) miden el impacto del fluido a través de la cañería usando una serie de puntos de impacto. Esto proporciona una lectura más precisa de la tasa de flujo que los tubos de Pitot estándar.



Anubar

Figura 56

Transmisores y cálculos de flujo

Independientemente de los medios utilizados para obstruir el flujo de fluido, el resultado es una diferencia de presión con una presión más alta aguas arriba.

Esta diferencia de presión se denomina presión diferencial. Un sensor de presión diferencial es un sensor de presión, donde se toma la presión de referencia desde el lado aguas abajo de la interrupción del flujo. La presión aguas arriba estará en relación con el flujo a través de la placa de orificio o tubo Venturi.



Figura 57

El transmisor de presión diferencial está montado en el colector de un instrumento que permite la aislación para la eliminación y una válvula de derivación que permite la reducción a cero del sensor.

La presión diferencial por sí misma no es suficiente para calcular el flujo, por ejemplo la misma presión diferencial creada a través de una placa de orificios de tamaño diferente indica diferentes velocidades de flujo.

La temperatura y varios otros factores también influyen en el cálculo del caudal.

El cálculo se lleva a cabo por el Sistema de Control Distribuido (DCS), regulador de accionamiento a distancia (ROC), el escáner Barton para convertir la presión diferencial a una lectura de flujo. Es importante que se ingrese en el dispositivo cualquier cambio en la información de la línea de estación de medida (cambio de placa de orificio).

El siguiente es el cálculo utilizado por el escáner de DCS, ROC o Barton para calcular el flujo de fluido.

$$Q_h = C_1 \sqrt{h_w} P_f$$

Donde:

Q_h = caudal en condiciones normales

Es decir: 101,3 kPa (presión atmosférica) a 15,5 °C en m³ (metros cúbicos) x 103 o 106.

C_1 = constante orificio de flujo. La tasa de flujo en m³/día en condiciones estándar cuando $\sqrt{h_w} = 1,0$

h_w = diferencia de presión en kPa.

P_f = Presión estática en kilopascales absolutos.

$$C_1 = (F_b) \cdot (F_{pb}) \cdot (F_{tb}) \cdot (F_g) \cdot (F_{tf}) \cdot (F_r) \cdot (Y) \cdot (F_{pv}) \cdot (F_m) \cdot (F_1) \cdot (F_a)$$

Donde: F_b = factor básico de flujo de orificio.

F_{pb} = factor de base de presión.

F_{tb} = factor de temperatura base.

F_g = factor de la gravedad específica.

F_{tf} = factor de temperatura que fluye.

F_r = factor de número de Reynolds.

Y_1 o Y_2 = Factor de expansión.

F_{pv} = Factor Supercompresibilidad.

F_m = Factor de Manómetro (cuando se usan metros de mercurio activados a presiones elevadas).

F_1 = factor de ubicación del medidor.

F_a = factor de expansión térmica de orificio.

Usar medidores de turbina para medir el flujo de fluido

El flujo de líquido también se puede medir usando un motor de turbina colocado dentro de la línea de flujo. A medida que el fluido pasa sobre y alrededor de las aspas del rotor de la turbina, estas giran a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo.

Las aspas del rotor son generalmente parte de un circuito magnético que genera corriente. A medida que aumenta la velocidad de flujo, la corriente aumenta. La corriente se mide por una bobina captadora que retransmite la señal a un medidor de caudal (flujo).

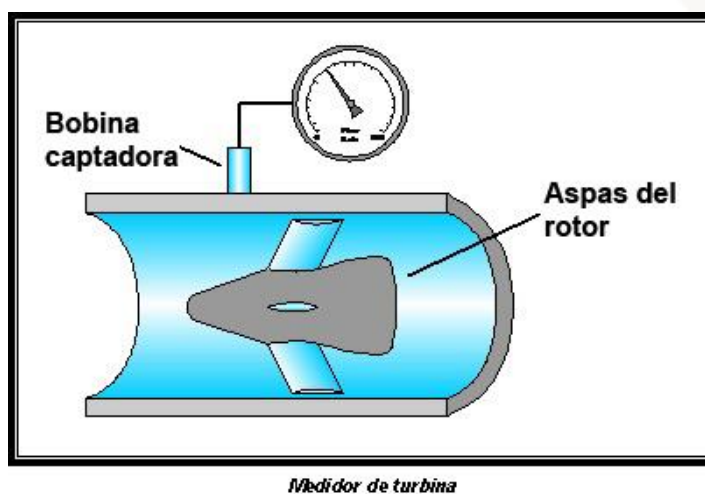


Figura 58

Independientemente del dispositivo que se utiliza para medir el flujo, la separación de fluidos debe ocurrir antes de que se lleve a cabo la medición. Estos dispositivos están calibrados para un fluido de fase única, los errores se producen cuando existen gas y líquido en la corriente de flujo.

Principios y técnicas de medición de temperatura

Fundamentos de temperatura

La temperatura es el grado de calor tal como se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). El calor es la energía que se transmite como resultado de las diferencias de temperatura, y se mide en Joules.

- Escala Celsius de temperatura:

La escala de temperatura Celsius se calibra con los puntos de ebullición y de congelamiento conocidos. Los principales puntos de calibración son:

La temperatura a la que hierve el agua (a nivel del mar) es de 100°C .

La temperatura a la que el agua se congela es 0°C . Temperatura de cero absoluto -273°C . (Temperatura a la que todas las vibraciones moleculares cesan y el medio no contiene energía).

Relación calor/temperatura

Una diferencia de temperatura a través de un medio (como el metal, o los fluidos) hará que el calor se transfiera (flujo) desde el extremo caliente del medio hacia el extremo frío. Una vez

que la temperatura del extremo frío es igual a la temperatura del extremo caliente, la transferencia de energía térmica dejará de fluir.

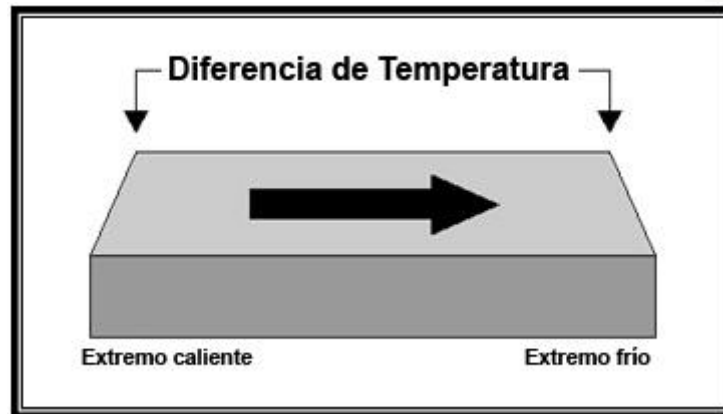


Figura 59

Dispositivos de medición de temperatura

Se han desarrollado muchos métodos para medir la temperatura. La mayoría de estos se basan en la medición de alguna propiedad física de un material de trabajo que varía con la temperatura. Se utilizan dos tipos de dispositivos para medir la temperatura; (a) indicadores mecánicos y (b) sensores de temperatura eléctricos.

a) Indicadores de temperatura mecánicos

- El termómetro de vidrio, uno de los dispositivos más comunes para la medición de temperatura en el mundo
- Los sistemas técnicos de relleno se basan en un pequeño bulbo lleno de líquido o gas. A medida que se calienta el bulbo, el gas o el líquido se expande. Esto mueve pequeños fuelles que, a su vez, mueven un puntero que indica un cambio de temperatura. La mayoría de los hornos caseros están controlados por sistemas rellenos de temperatura
- Los termómetros bimetalicos se basan en la diferente expansión térmica de los metales. Son dispositivos robustos simples que por lo general se utilizan como dispositivos de control in situ en los laboratorios, control de calidad y por personal de mantenimiento

b) Sensores de temperatura eléctricos

- Un termopar es una unión entre dos metales diferentes que produce una tensión relacionada con una diferencia de temperatura. Los termopares son un tipo de sensor de temperatura, ampliamente utilizados para la medición y el control, y también se pueden utilizar para convertir el calor en energía eléctrica. Son baratos e intercambiables, se suministran con piezas de conexión estándar, y pueden medir un

amplio rango de temperaturas. La principal limitación es la exactitud: puede ser difícil de lograr errores del sistema de menos de un grado Kelvin (K)

- Un termistor es un tipo de resistencia cuyo valor varía con la temperatura. Los termistores se utilizan ampliamente como sensores de temperatura. Los termistores difieren de los detectores de temperatura de resistencia (RTD) en que el material utilizado en un termistor es generalmente una cerámica o polímero, mientras que un RTD utiliza metales puros. La respuesta de la temperatura también es diferente; los RTD son útiles en rangos de temperatura más grandes, mientras que los termistores logran típicamente una mayor precisión dentro de un rango limitado de temperatura [por lo general - 90 ° C a 130 ° C].
- Los RTD, también llamados detectores de temperatura de resistencia, son sensores de temperatura que explotan el cambio predecible en la resistencia eléctrica de algunos materiales con cambios de temperatura. Están reemplazando lentamente el uso de termopares en muchas aplicaciones industriales por debajo de 600 ° C, debido a la mayor precisión y repetibilidad.
- Un pirómetro es un dispositivo sin contacto que intercepta y mide radiación térmica, un proceso conocido como pirometría. Este dispositivo se puede utilizar para determinar la temperatura de la superficie de un objeto. El pirómetro fue acuñado originalmente para denotar un dispositivo capaz de medir la temperatura de los objetos por encima de la incandescencia (es decir, los objetos brillantes para el ojo humano).



Figura 60

Dispositivos de medición de temperatura

Medición de niveles

El nivel de líquido en los recipientes es una variable de proceso que debe monitorearse para garantizar que se mantenga el nivel de líquido correcto.

Un control de nivel incorrecto puede provocar:

1. niveles altos que resultan en
 - a. Tiempo de residencia inferior en el recipiente que causa separación ineficiente de líquido y gas.
 - b. El líquido que se lleva aguas abajo en los sistemas puede conducir a la pérdida de eficiencia en las líneas de flujo o daños al equipo compresor.
2. Los niveles bajos pueden permitir que el gas estalle en sistemas de agua/drenaje, lo que resulta en:
 - a. El gas en el sistema de recolección de agua provoca bloqueo de gas que puede detener el flujo.
 - b. Gas inflamable que ingresa a los sistemas de drenaje, originando peligro adicional para la operación de las instalaciones.



Figura 61

Control de nivel mecánico

Los recipientes de separación en terreno utilizan un sistema de control de nivel mecánico que proporciona una conexión mecánica simple entre un flotador y la válvula de salida de agua.

Instrumentos de control de nivel

Algunos controladores de nivel de los recipientes convierten la posición del flotador en una señal de presión usando un instrumento de aire/gas. La válvula de salida del recipiente se controla mediante un posicionador de válvula accionado por diafragma.



Figura 62

Control de nivel DCS

El nivel del recipiente se puede controlar desde el Sistema de Control Distribuido (DCS).

El nivel del recipiente se detecta mediante una palanca flotante. La posición de flotación interna se recoge mediante un detector magnético. Esta posición se convierte en una señal electrónica y se envía a los DCS. Los DCS mostrarán el nivel en % o mm. Se puede introducir un punto de ajuste en el sistema y los DCS controlarán la válvula de salida de líquido para mantener este nivel.

Parámetros y variables del proceso de lixiviación

Introducción a la actividad

La siguiente actividad en relación a **parámetros y variables del proceso de lixiviación** trata en específico sobre los “Principios y técnicas de medición de presión” .Esto complementa los contenidos vistos en clases y la actividad de introducción general a las plantas concentradoras.

Estrategias metodológicas para el instructor

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

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

Objetivos de aprendizajes:

- Reconocer las características principales de los tipos de presión.

Descripción de la actividad

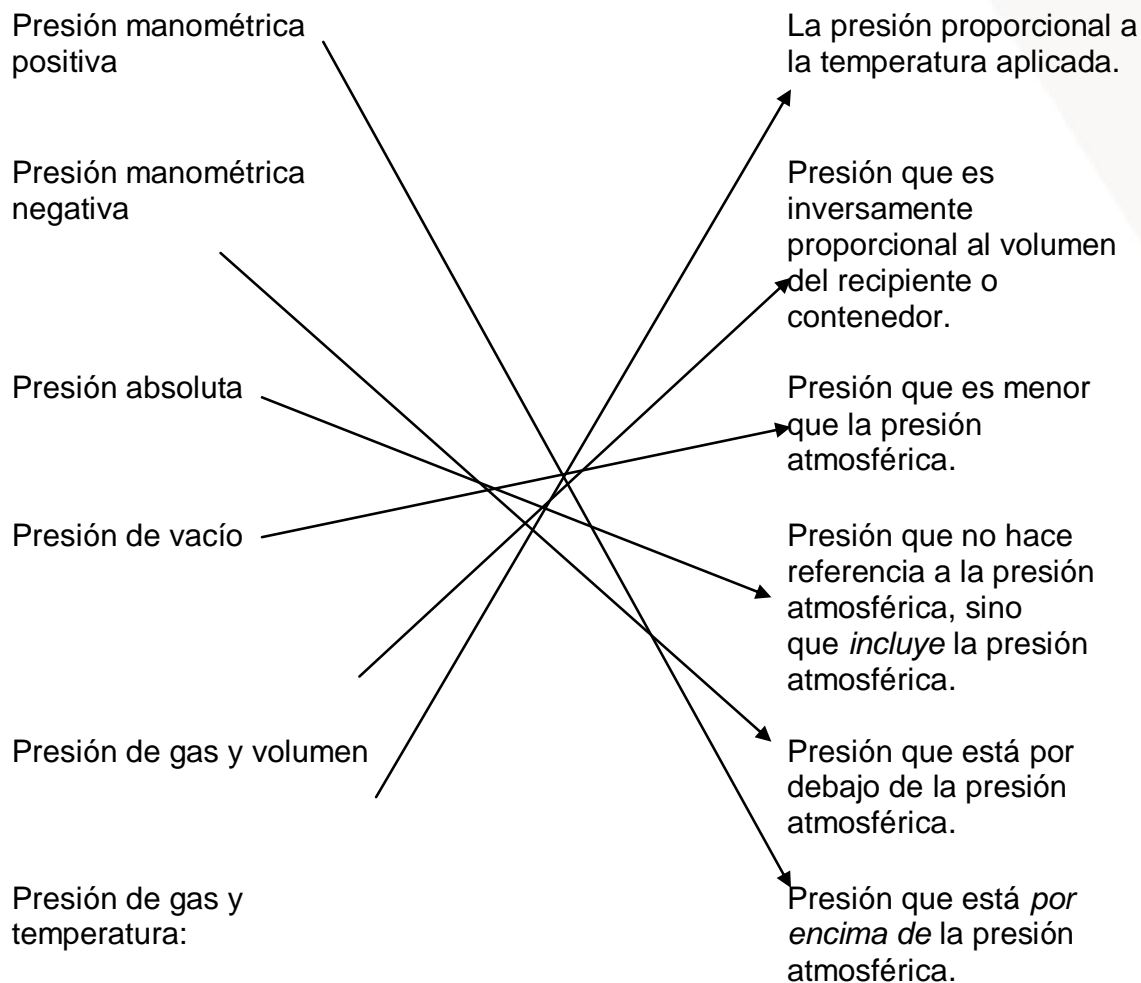
En la siguiente actividad el participante deberá reconocer el tipo de presión con su definición correspondiente.

Materiales y recursos:

Material didáctico (preguntas)

Desarrollo

El instructor explicará que presión es la fuerza que es ejercida sobre algo y existen distintos tipos de presión. En la siguiente actividad el participante deberá unir el tipo de presión con su definición correspondiente, con una flecha:



El participante deberá escribir la abreviación correcta para la unidad de medida:

unidades	Abreviaciones
• newton	• N
• pascal	• Pa
• kilo pascal	• kPa
• libras por pulgada cuadrada	• PSI
• grados celsius	• (°C)

unidades	Abreviaciones
<ul style="list-style-type: none"> • grados fahrenheit • joules 	<ul style="list-style-type: none"> • (°F) • J
<ul style="list-style-type: none"> • kilogramo por segundo • kilogramo por minuto • metros cúbicos por segundo • litros por segundo 	<ul style="list-style-type: none"> • kg/seg • kg/min • m³/seg • L/s
<ul style="list-style-type: none"> • metros por segundo • kilómetros por hora 	<ul style="list-style-type: none"> • m/s • km/h
<ul style="list-style-type: none"> • metros cúbicos • litros 	<ul style="list-style-type: none"> • m³ • L o l
<ul style="list-style-type: none"> • kilogramo • gramo 	<ul style="list-style-type: none"> • kg • g

Magnitudes	Símbolo de la unidad	Unidad básica
Longitud:	m	Metro
Masa:	kg	Kilogramos
Tiempo	s	Segundos
Corriente eléctrica	A	Ampere
Temperatura	°C	Grados Celsius
Fuerza:	N	Newton
Presión:	Pa	Pascal
Energía:	J	Joule
Trabajo:	J	Joule
Temperatura:	°C	Grados Celsius
Volumen:	m ³	Metros Cúbicos

Potencia:	W	Watts
Carga:	c	Coulomb
Frecuencia	Hz	Hertz
Potencial:	V	Volt
Capacidad:	F	Faraday
Flujo másico:	kg/s m ³ /s	Kilogramos /segundos Metros cúbicos/ segundo
Caudal de flujo:	H	Henrio
Inductancia:		

Cierre

El instructor destacará que presión significa oprimir, ajustar, acercar algo contra el cuerpo. Se puede decir entonces que es la fuerza que es ejercida sobre algo. La presión equivale a la división de la fuerza normal que es ejercida sobre un cuerpo o superficie sobre el valor de la superficie del cuerpo. Como se vio en los contenidos y en este ejercicio existen distintos tipos de presión.

5.5. Nociones de mantenimiento preventivo de los equipos asociados

Mantenimiento

Corrosión

Uno de los problemas con mayor incidencia y de mayor costo que afectan a las bombas y equipos de minería, es la falla de los materiales utilizados en su construcción para resistir las propiedades corrosivas de los líquidos con los que entran en contacto. La corrosión metálica (óxido), implica la pérdida de metal en un punto de la superficie expuesta. Las condiciones químicas y físicas del entorno determinan el tipo y la velocidad de los ataques de corrosión. Las condiciones también determinan el tipo de corrosión formada y las medidas de control que se deben tomar.

El agua de minería y los productos químicos agresivos acortan la vida de cualquier bomba. Los problemas con la corrosión se producen en las bombas y, como resultado, en los accesorios (fittings) de la bomba. Las bombas mineras deben diseñarse para manejar los productos químicos de lixiviación que se van a utilizar. Por ejemplo, las bombas hechas de hierro fundido y acero inoxidable se pueden utilizar en aplicaciones de ácido sulfúrico, mientras que las bombas de titanio no. Con el fin de lograr una larga vida de servicio en las bombas, debe garantizar que la solución de lixiviación no se diluye con agua. Por ejemplo, en algunos casos la solución de lixiviación, ácido sulfúrico, cuando se diluye con agua, hace a la solución más corrosiva y por lo tanto debilita la bomba y los accesorios (fittings) de la bomba.

Tipos Comunes de Corrosión

La corrosión se produce en varias formas que van desde ataques uniformes sobre toda la superficie a severos ataques localizados.

- Corrosión uniforme

La corrosión uniforme o corrosión general se caracteriza por ataques corrosivos procedentes de manera uniforme sobre toda la superficie, o en una gran parte de la superficie total. El adelgazamiento general continúa hasta que el metal se descompone. La corrosión uniforme es el tipo de corrosión donde se pierde la mayor cantidad de metal.



Figura 63

Corrosión general o uniforme

- Corrosión por picaduras

La corrosión por picaduras es una forma localizada de ataques corrosivos. La corrosión por picaduras forma agujeros o picaduras sobre la superficie metálica. Perfora el metal, mientras que la corrosión total, medida por la pérdida de peso, puede ser mínima. La tasa de penetración puede ser de 10 a 100 veces mayor que la de la corrosión general dependiendo de la agresividad del líquido. La corrosión por picaduras se produce más fácilmente en un entorno de estancamiento.



Figura 64

Corrosión por picaduras

- Corrosión por erosión

La corrosión por erosión es un proceso que implica la corrosión y la erosión. La tasa de ataque de la corrosión se acelera por el movimiento relativo de un líquido corrosivo y una superficie de metal. El ataque se localiza en las zonas con alta velocidad o flujo turbulento. Los ataques de la corrosión por erosión se caracterizan por tener surcos con patrones direccionales. A menudo se ve en los rotores de la bomba.



Figura 65

Corrosión por erosión

- Corrosión por grietas

La corrosión por grietas, como la corrosión por picaduras, es otra forma localizada de ataque de corrosión. Sin embargo, la corrosión por grietas comienza más fácilmente que la por picaduras. La corrosión por grietas se produce en las aberturas o espacios entre dos superficies metálicas estrechos o entre metales y superficies no metálicas y por lo general se asocia con una condición de estancamiento en la grieta. Las grietas, como las que se encuentran en las juntas de flanges o en las conexiones roscadas, son a menudo los puntos más críticos para la corrosión.

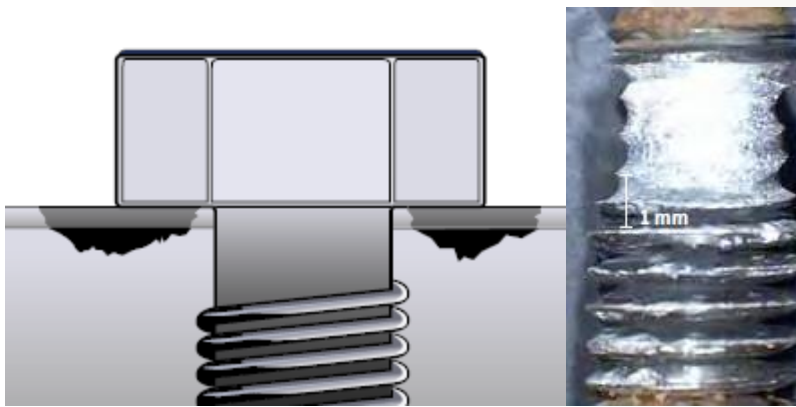


Figura 66

Corrosión por grietas

- Agrietamiento por corrosión por tensión

La corrosión por tensión se refiere a la influencia combinada de la tensión de tracción y un ambiente corrosivo. El material puede romperse sin ninguna deformación o deterioro significativo evidente del material, a menudo la corrosión por picaduras se asocia con la corrosión por tensión.



Figura 67

Agrietamiento por corrosión por tensión

Métodos para Prevenir la Corrosión

En muchos casos, es imposible o más bien costoso detener por completo el proceso de corrosión. Sin embargo, por lo general, es posible controlar el proceso a niveles aceptables. Para minimizar el daño causado por los ataques corrosivos deberá llevarse a cabo un mantenimiento regular y controles frecuentes de las bombas y el equipo.

Formas para minimizar la corrosión incluyen:

- Limpiar el óxido, polvo blanco, suciedad, sal y otros elementos superficiales de todos los productos de metal de inmediato y a fondo para frenar un ataque posterior. Mantener las superficies metálicas lo más limpias posible.

- Quitar la grasa, el aceite y la suciedad regularmente con el agente de limpieza adecuado, como jabones, solventes, compuestos de emulsión y productos químicos. Leer atentamente las instrucciones del fabricante del producto de limpieza antes de limpiar, ya que algunos agentes pueden causar más daños.
- Cubrir los productos metálicos no utilizados para evitar la humedad y evitar que el polvo se acumule en la superficie.
- Mantener los productos de metal no utilizados en un lugar seco.
- Aplicar lubricante de protección al metal para protegerlo contra la humedad.
- En una superficie de metal limpia, pintar la superficie, si es práctico, ya que esto sella los poros de la superficie del metal y puede detener la corrosión o descomposición de los metales.



Figura 68



Figura 69

Mantenimiento e inspección general permanente (continua)

El mantenimiento regular asegurará que los equipos, bombas y sistemas están funcionando correctamente. También reducirá la probabilidad de falla, daño y retrasos en el lugar de trabajo, así como lesiones y accidentes.

Mientras opera el equipo se deben realizar inspecciones a cada hora y diarias. Estas inspecciones podrán identificar los cambios en los sonidos de equipos en funcionamiento, los cambios bruscos de temperatura del equipo, los cambios de vibraciones y fugas. Las inspecciones deben incluir lecturas de medidores, medidores de flujo y otros indicadores de dial, luces, sonidos y alarmas indicadoras. Estas inspecciones periódicas permitirán que se mantenga un estricto control del desgaste de piezas, para permitir que la sustitución pueda realizarse durante las horas de mantenimiento programado y no durante las operaciones. Recuerde que cuando el equipo está en uso constante o pesado, se requerirá un mantenimiento más frecuente.

Asegúrese de sólo realizar mantenimiento dentro de sus capacidades. Ir más allá de lo que usted es capaz de llevar a cabo es peligroso para usted mismo, los demás y el equipo. Informe a su supervisor si el mantenimiento requerido no está dentro de su conjunto de habilidades para que pueda disponer de personal calificado para hacerlo.

Antes de llevar a cabo el mantenimiento, asegúrese de que utiliza el EPP correcto y que ha colocado señalética de advertencia y barreras. Siempre mantenga el equipo de acuerdo con las instrucciones y especificaciones del fabricante.



Figura 70

Al comenzar las operaciones de mantenimiento o retiro de cualquier pieza del equipo, primero debe detener el equipo y aislar cada fuente de energía. Con las bombas, esto significa que debe apagar la bomba y aislar (cortar la energía) de la válvula de alimentación.

Espere a que la máquina se enfríe antes de comenzar cualquier trabajo de mantenimiento. Tocar el equipo inmediatamente después de apagarlo puede quemar su piel.

Lavar las superficies externas del equipo y las bombas antes de realizar cualquier operación de mantenimiento es una buena práctica. Esto evitará que el interior se contamine con suciedad o residuos y hará que sea más fácil identificar los defectos de menor importancia.

Puede ser difícil determinar el desgaste de los componentes internos. Pero puede detectarse el desgaste interno al observar el rendimiento de equipos, lecturas del medidor de presión y registros documentados. Por ejemplo, con una bomba, un aumento en el consumo de energía indica una pérdida de rendimiento de la bomba y se puede comprobar con los registros guardados en el registro de rendimiento del equipo.

Los puntos siguientes son sólo acciones de mantenimiento en general. Asegúrese de hacer servicio técnico y mantenimiento al equipo individual y las bombas de acuerdo con las instrucciones y especificaciones específicas del fabricante. El mantenimiento general incluye:

- Operar el equipo en modo continuo por un tiempo para comprobar que funciona correctamente.
- Comprobar la temperatura operativa.
- Revisar la presión.
- Inspeccionar si hay fugas.
- Inspeccionar si hay grietas y corrosión.
- Revisar que los componentes estén ajustados y seguros en su lugar (es decir, tornillos, flanges, pernos, tapones). Apretar si es necesario.
- Revisar el lubricante, el líquido y los niveles de aceite. Vaciar, enjuagar y/o recargar.
- Comprobar que los tornillos del extremo líquido estén firmemente en su lugar.
- Comprobar que las cañerías y mangueras estén firmemente en su lugar (extremos de inyección y de succión).
- Comprobar que las válvulas de inyección y de succión estén firmemente en su lugar.
- Buscar bloqueos en el agujero de drenaje del cabezal del disco.
- Revisar en busca de obstrucciones en las líneas y válvulas cerradas o daños en la manguera.
- Comprobar la alineación de la bomba y el controlador.
- Inspeccionar la caja de engranajes.
- Lubricar los sellos, juntas tóricas (O-rings), flanges y rodamientos.
- Reemplazar las piezas desgastadas de ser necesario.



Figura 71

Reparaciones/inspecciones de una bomba centrífuga

- Fugas en la carcasa de la bomba - Inspeccionar toda la carcasa de la bomba, juntas tóricas (O-rings)/sellos/juntas.
- Inspeccionar el sello rotatorio en busca de fugas y daños.
- Inspeccionar la condición de la válvula de entrada.
- Inspeccionar la condición del tapón de drenaje.
- Inspeccionar las áreas internas de la bomba en busca de corrosión.
- Determinar la distancia mínima y/o máxima del rotor.
- Usar cuñas para establecer la distancia de seguridad correcta.



Figura 72

Pautas de seguridad para llevar a cabo el mantenimiento de las bombas

- Siempre desconecte la bomba de la red eléctrica o remueva la cañería (entubado) antes de abrir.
- Si se han utilizado sustancias peligrosas o desconocidas, siempre vacíe el extremo líquido y saque el líquido antes de realizar trabajos de mantenimiento y reparación. Lea las hojas de datos de seguridad de los materiales.
- Cuando mida productos químicos peligrosos o desconocidos, use siempre ropa de protección cuando trabaje en el extremo líquido (antiparras, guantes, mascarillas).

- Libere siempre la presión de la cañería de inyección antes de trabajar en la bomba.
- Asegúrese de que la bomba no pueda ser encendida por personal no autorizado mientras se lleven a cabo los trabajos de reparación. Coloque señalética y barreras. Notifique a su supervisor.
- No deseche las bombas que se han utilizado con materiales radiactivos. Seguir las políticas y procedimientos de la faena para la eliminación de los materiales usados y no usados.
- Nunca repare el equipo mientras esté bajo presión. Drenar siempre el líquido de las cañerías y mangueras.

Para garantizar que el mantenimiento que ha realizado ha rectificado el problema, revise que el equipo tenga una operación estable después del mantenimiento. Utilice el equipo de modo continuo durante un tiempo para comprobar su rendimiento.

Para ser un buen operador es importante estar familiarizado con el equipo que opera. Siempre busque ruidos, olores y vibraciones diferentes en las máquinas. Note cómo funciona el equipo. Si actúa de forma diferente o se ve lento, eche un buen vistazo antes de apagarlo e inspeccionar más a fondo. Y siempre, notifique a su supervisor.



6. Identificación de riesgos asociados al proceso de Lixiviación

6.1. Riesgos asociados a la operación del proceso de lixiviación

Lugar de trabajo (Faena)

- Comprender la mejor manera de hacer el trabajo.
- Llevar a cabo un análisis de seguridad en el trabajo una evaluación para identificar los riesgos y potenciales peligros.
- Seguir los procedimientos de trabajo.
- Asegurar que las vías de acceso estén libres de obstáculos.
- Asegurar que el área de trabajo esté limpia y ordenada, lista para el trabajo.
- Revisar y comprender la información de trabajo seguro suministrada por el fabricante del equipo.
- Procurar que los dispositivos de seguridad sean los correctos, que estén en su lugar, y que estén funcionando correctamente.
- Asegurarse de que los ventiladores de extracción están funcionando correctamente y los métodos de supresión de polvo están correctamente implementados.

- Asegurarse de que el área de trabajo está bien ventilada.
- Asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de comunicación.
- Asegurarse de que los kits de primeros auxilios están bien equipados y disponibles.
- Garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos de emergencia - sistemas de alarma, extintores de incendios, paradas de emergencia.
- Colocar señalética de emergencia y barricadas.
- Asegurarse de que los productos peligrosos y químicos se almacenan adecuadamente.
- Asegurarse de que usted está usando/vistiendo el EPP correcto.

Equipo

- Compruebe que no hay etiquetas de aislamiento o seguros en los controles que va a utilizar.
- Compruebe que no hay personas trabajando en el área que puedan estar en riesgo cuando empiece a trabajar.
- Revise en equipo en busca de daño, desgaste o roturas.
- Comprobar si los componentes del equipo están dañados, rotos o sueltos.
- Revise si el equipo está asegurado y correctamente alineado.
- Busque signos de sobrecalentamiento.
- Comprobar si hay fugas, como aceite, agua, aire.
- Compruebe que los niveles de líquido son correctos, es decir aceite y agua.
- Revise todos los sistemas hidráulicos en busca de fugas, daños o conexiones sueltas.
- Compruebe si hay obstrucciones en las cañerías y sistemas de riego.
- Observe las luces, dispositivos de advertencia, señalética, e indicadores de daño al equipo.

En caso de encontrar algún equipo dañado o defectuoso, aislar el equipo para garantizar su seguridad y la de otros. De este modo puede comenzar el trabajo de una manera segura y eficiente, siga las etapas de aislación descritas en la siguiente sección.



Figura 73



Figura 74

Riesgos y peligros

Trabajar en el proceso de lixiviación puede ser un trabajo peligroso. Las soluciones de lixiviación y los reactivos son productos químicos peligrosos que pueden causar lesiones y daños a las personas, al medio ambiente y al equipo. El lugar de trabajo en sí también puede implicar muchos riesgos y peligros.

En particular, muchas de las operaciones de lixiviación se llevan a cabo en espacios confinados que se pueden crear en o alrededor de las máquinas cuando se retiran o desactivan las protecciones para permitir la limpieza, el mantenimiento o el acceso a la zona que rodea la máquina. Estos espacios cerrados requieren un permiso de espacio confinado para asegurarse de que usted está consciente de los riesgos y peligros para la salud y la seguridad asociados a tales áreas.



Figura 75

Para asegurarse de evitar estos riesgos y peligros, asegúrese de seguir las instrucciones dadas, indicaciones de alerta respecto del trabajo y los procedimientos de seguridad de la Hoja de Información de Seguridad de Materiales. Estos documentos describen los requisitos legales, procedimientos de Higiene y Seguridad Ocupacional, EPP y los métodos de manipulación/almacenamiento necesarios que se deben seguir cuando se trabaja con productos químicos peligrosos, tales como soluciones de lixiviación, humos y polvo.

Las medidas de control administrativas, como la adhesión a las políticas de lugar de trabajo y los procedimientos, instrucciones de trabajo y la Hoja de Datos de Seguridad, así como utilizar el EPP correcto confían en el comportamiento humano y la supervisión, y cuando se utiliza por sí mismos, tienden a ser las formas menos efectivas de minimizar los riesgos

Problemas medioambientales

Los problemas medioambientales que pueden surgir mientras se trabaja en el proceso de lixiviación incluyen:

- Los derrames de químicos, combustibles y aceites en el ambiente pueden ingresar a las vías fluviales, perforaciones / pozos de agua locales y al agua potable o ductos del alcantarillado. Esto podría causar lesiones graves y la muerte a las personas, así como también, a la flora y fauna. Tenga cuidado y siga las instrucciones cuando se usen químicos peligrosos y mercancías peligrosas.
- Los derrames de químicos, combustibles y aceites en el ambiente causan contaminación del suelo. Esto también puede causar lesiones graves y la muerte a las personas, así como también, a la flora y fauna.
- La eliminación de desechos de materiales usados y sin usar, es decir, piezas y componentes antiguos de maquinaria, plásticos, contenedores y embalajes. Esto puede llegar al ambiente y bloquear drenajes, causando lesiones y la muerte a los animales.

Si es posible, usted debe tratar de resolver el problema de forma segura. Comprender las políticas de su lugar de trabajo, procedimientos y cualquier legislación relacionada le ayudará a guiarlo en lo que debe hacer en casos específicos para velar por su seguridad, asegúrese de que también se cumplen los procedimientos de emergencia de su lugar de trabajo antes de tratar de resolver cualquier problema.

Nociones de mantenimiento preventivo de los equipos asociados

Estrategias metodológicas para el instructor

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

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

Objetivos de aprendizaje

- Identificar los problemas frecuentes de la bomba centrífuga.

Descripción de la actividad

El participante, con el apoyo de los contenidos vistos en clases, deberá mencionar cuales son las principales fallas que se presentan en una bomba centrífuga y cómo reconocer cuando un problema en una bomba es por cavitación o corrosión.

Materiales y recursos

- Material didáctico (imágenes).

Desarrollo

El participante deberá contestar a las siguientes preguntas en relación a las fallas de la bomba centrífuga de acuerdo a los contenidos vistos en clases:

El instructor decidirá si los participantes trabajaran en grupos, pares o individualmente y al final de la actividad entregará las respuestas correctas y deberá destacar que cuales son las labores más recurrentes del operador.

¿A qué fenómeno obedecen las siguientes imágenes?

	<p>Cavitación</p> <p>¿Cómo se puede saber que está ocurriendo?</p> <ul style="list-style-type: none">• Niveles de vibración alta.• Ruido de golpeteo en el caso de la bomba.• Impulsor dañado.• Daño a la carcasa de la bomba
	<p>Corrosión</p> <ul style="list-style-type: none">• Hay pérdida de metal.• Los ataques corrosivos se dan en toda la superficie o en una gran parte de ella.• La superficie cambia de color y se ve más envejecida.

El instructor podrá dividir al curso en grupos y les entregará un tema a desarrollar de acuerdo al tipo de fallas comunes en las bombas centrífugas, ejemplo: la bomba no bombea. Los participantes deberán discutir en grupo y presentar las posibles causas, mencionando al menos 3 problemas:

Problema	Causas
No bombea	<p>Entrada de aire por sello mecánico</p> <p>Sentido de giro invertido</p> <p>Impulsor obstruido</p> <p>Entrada de aire por la tubería de aspiración</p>
Caudal insuficiente	<p>Entrada de aire por la tubería de aspiración</p> <p>Entrada de aire por sello mecánico</p> <p>Válvula de retención demasiado pequeña</p> <p>Válvula de retención obstruida</p> <p>Impulsor obstruido</p>
Presión insuficiente	<p>Sentido de giro invertido</p> <p>Impulsor dañado</p> <p>Sello mecánico defectuoso</p> <p>Bomba mal confeccionada</p>
La bomba se desceba	<p>Entrada de aire por tubería de aspiración</p> <p>Entrada de aire por el sello mecánico</p> <p>Válvula de retención trabada</p>
No arranca	<p>Cable de alimentación interrumpido</p>

	<p>Motor en corto circuito</p> <p>Capacitor quemado</p> <p>Baja tensión</p> <p>Fusibles quemados</p>
Consumo de energía excesivo	<p>Partes giratorias rozando</p> <p>Sello mecánico defectuoso</p> <p>Sello mecánico demasiado comprimido</p> <p>Baja tensión</p> <p>Bomba mal confeccionada</p>
Pérdida por el sello mecánico	<p>Sello mecánico defectuoso</p> <p>Impulsor desbalanceado</p> <p>Corta vida útil del sello mecánico</p> <p>Sello mecánico mal armado</p> <p>Sello mecánico demasiado comprimido</p>
La bomba vibra o es ruidosa	<p>Válvula de retención demasiado pequeña</p> <p>Válvula de retención obstruida</p> <p>Impulsor obstruido</p> <p>Partes giratorias rozando</p> <p>Impulsor dañado o desbalanceado</p>

	<p>Excesivo empuje hidráulico</p> <p>Excesivo ajuste de rodamientos</p> <p>Suciedad u oxidación de los rodamientos</p>
La bomba recalienta o engrana	<p>Partes giratorias rozando</p> <p>Impulsor desbalanceado</p> <p>Sello mecánico demasiado comprimido</p> <p>Excesivo ajuste y/o falta de lubricación de los rodamientos</p> <p>Suciedad u oxidación de los rodamientos</p>
Saltan los fusibles	<p>Partes giratorias rozando</p> <p>Motor en corto circuito</p> <p>Capacitor quemado</p>
Salta el protector térmico	<p>Partes giratorias rozando</p> <p>Motor en corto circuito</p> <p>Baja tensión</p> <p>Protector térmico mal regulado</p> <p>Bomba mal seleccionada</p>

Cierre

El instructor podrá comentar con los participantes que la corrosión se puede dar en la mayoría de los metales debido a que es un fenómeno químico en donde la oxidación de la superficie consume el material.

En cambio la cavitación es un fenómeno físico propio de las bombas centrífugas, en donde se producen pequeñas explosiones de las burbujas que van circulando por el rodete.

Además es importante que se familiaricen con las fallas típicas que presentan los equipos de bombeo, ya que son el corazón de la lixiviación porque posibilitan la inyección de refino a la pila y su posterior conducción a la planta de extracción por solventes como una solución rica en cobre llamada PLS.



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

www.ccm.cl

