

# 6. Acondicionamiento químico de los minerales

## INTRODUCCIÓN

Este módulo tiene una duración de 190 horas pedagógicas y considera clases en el establecimiento y visitas a terreno. Su objetivo es que los y las estudiantes desarrollen habilidades para realizar tareas de manera prolija en las plantas de concentración de minerales, cumpliendo los plazos establecidos y los estándares de calidad, protegiendo a la vez su integridad personal, los equipos y el medio ambiente.

La concentración de minerales es una operación que se inicia en las etapas de trituración y molienda del mineral para producir la liberación de la partícula útil. Si esto no ocurre, influye en el resultado y la calidad del concentrado final obtenido. Si la liberación no se realiza en forma adecuada, el chancado y la molienda resultarán deficientes y afectarán la calidad

del concentrado final (ley menor y podría contener impurezas), lo que afecta la compra y el precio de este concentrado en la fundición, la seguridad de personas y el mantenimiento de los equipos.

De esta manera, se espera que los y las estudiantes desarrollen competencias necesarias en las operaciones de chancado, transporte del mineral por correas transportadoras, alimentadores vibratorios, molienda del mineral, y clasificación y flotación de la especie útil. También, se busca que desarrollen las habilidades para realizar pruebas con equipos en el laboratorio, para usar las herramientas y los equipos adecuados, y aplicar los procedimientos de trabajo y las normas de seguridad personal en cada una de las etapas de la concentración de minerales.

## APRENDIZAJES ESPERADOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>MÓDULO 6</b> · ACONDICIONAMIENTO QUÍMICO DE LOS MINERALES	190 HORAS	CUARTO MEDIO
OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ESPECIALIDAD		
<p><b>OA 2</b>                  Aplicar técnicas de concentración de minerales metálicos y no metálicos, acondicionándolos previamente con la adición de reactivos según características químicas de los minerales tratados, hasta la obtención del producto útil, de acuerdo a los requerimientos y estándares de calidad exigidos por la fundición, normas de seguridad y medio ambiente vigentes.</p>		

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
<p><b>1.</b> Aplica técnicas de concentración de minerales metálicos y no metálicos para acondicionar los minerales con la adición de reactivos según sus características químicas y de acuerdo a los procedimientos, normas vigentes y respeto por el medio ambiente.</p>	<p><b>1.1</b>                      Lee el diagrama de flujo para identificar el proceso de concentración de mineral de acuerdo a su clasificación metálico o no metálico.</p>	<p>A B C                      H I</p>
	<p><b>1.2</b>                      Identifica los reactivos para ser utilizados de acuerdo a las características químicas de los minerales a tratar.</p>	<p>A B C                      H I K</p>
	<p><b>1.3</b>                      Prepara la mezcla de los reactivos para aplicar al mineral de acuerdo al procedimiento y siguiendo las normativas ambientales y de seguridad vigentes, utilizando los elementos de protección personal y manteniendo limpia la zona de trabajo.</p>	<p>A B C                      D H I                      K</p>
	<p><b>1.4</b>                      Aplica los reactivos químicos al mineral para su acondicionamiento según el proceso, siguiendo las normas ambientales y de seguridad vigentes y cuidando la limpieza en la zona de trabajo.</p>	<p>A B C                      D H I                      K</p>

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
2.	Aplica técnicas de manejo de pulpas para transporte y procesamiento del concentrado, procurando mantener la zona de trabajo limpia, trabajando en equipo y respetando el medio ambiente y las normas vigentes.	<b>2.1</b> Acondiciona el material mediante la adición de agua a fin de formar la pulpa de acuerdo a los requerimientos del proceso, respetando la normativa medioambiental y de seguridad.	B	C	I
		<b>2.2</b> Ocupa equipos de filtración y/o secado para obtener una pulpa con la humedad requerida, y homogénea, de acuerdo a los requerimientos del proceso, manteniendo el aseo en el lugar y usando los elementos de protección personal pertinentes.	B	C	H
		<b>2.3</b> Realiza análisis en el laboratorio para determinar concentración final de la pulpa y registra los datos obtenidos de acuerdo a los parámetros relevantes del proceso.	A	B	C
		<b>2.4</b> Inspecciona visualmente las características de la pulpa para evitar que no tenga partículas que puedan decantar, o demasiada viscosidad, entre otros aspectos que le impidan tener una correcta fluidez.	B	C	I
			K		
			K		
			I	K	
			D	H	I
			K		

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
<b>3.</b>	Aplica técnicas de flotación del mineral para obtener concentración final del material, de acuerdo a los requisitos de calidad exigidos en la fundición y respetando la normativa vigente.	<b>3.1</b> Revisa el procedimiento del equipo de flotación para identificar los aspectos de riesgo que le permita un manejo seguro del equipo, evitar incidentes, proteger el equipo, el medio ambiente y las personas, respetando las normas vigentes, haciendo uso de los EPP durante todo el procedimiento a seguir.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
			<b>D</b>	<b>H</b>	<b>I</b>
			<b>K</b>		
		<b>3.2</b> Prepara una planilla para la toma de datos relevantes como % de recuperación, pH, dosis de reactivo, % sólidos, altura de la espuma, para la recopilación de datos históricos de operación de acuerdo a la normativa vigente.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<b>D</b>	<b>H</b>	<b>I</b>		
	<b>3.3</b> Calcula los reactivos para adicionar de acuerdo a los requerimientos del proceso.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
		<b>D</b>	<b>H</b>		
	<b>3.4</b> Prepara los reactivos de flotación, y los adiciona de acuerdo a los procedimientos recomendados por el fabricante y el proceso respetando la normativa ambiental vigente y de seguridad, haciendo uso de los EPP.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
		<b>D</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	
		<b>K</b>			

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	<b>Acondicionamiento químico de los minerales</b>
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Creación de circuito de manejo de pulpa
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	20 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de manejo de pulpas para transporte y procesamiento del concentrado, procurando mantener la zona de trabajo limpia, trabajando en equipo y respetando el medio ambiente y las normas vigentes.</p>	<p>2.1 Acondiciona el material mediante la adición de agua a fin de formar la pulpa de acuerdo a los requerimientos del proceso, respetando la normativa medioambiental y de seguridad.</p> <p>2.2 Ocupa equipos de filtración y/o secado para obtener una pulpa con la humedad requerida, y homogénea, de acuerdo a los requerimientos del proceso, manteniendo el aseo en el lugar y usando los elementos de protección personal pertinentes.</p> <p>2.3 Realiza análisis en el laboratorio para determinar concentración final de la pulpa y registra los datos obtenidos de acuerdo a los parámetros relevantes del proceso.</p> <p>2.4 Inspecciona visualmente las características de la pulpa para evitar que no tenga partículas que puedan decantar, o demasiada viscosidad, entre otros aspectos que le impidan tener una correcta fluidez.</p>
METODOLOGÍAS SELECCIONADAS	Método proyecto

DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZAN DOCENTES Y ESTUDIANTES, Y LOS RECURSOS QUE SE UTILIZAN EN CADA UNA DE LAS SIGUIENTES ETAPAS:

### PREPARACIÓN DE LA ACTIVIDAD

#### Docente:

- › Plantea la actividad, la cual consiste en elaborar un circuito de manejo de pulpa desde al menos un punto de inicio a un punto de destino, idealmente utilizando una bomba, o en su defecto, gravedad.
- › Define las características ideales de la pulpa y los objetivos del proyecto, así como el contenido del informe final.

#### Recursos:

- › Computador e impresora.
- › Proyector.



DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZAN DOCENTES Y ESTUDIANTES, Y LOS RECURSOS QUE SE UTILIZAN EN CADA UNA DE LAS SIGUIENTES ETAPAS:

<p><b>EJECUCIÓN</b></p>	<p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Se organizan en grupo y comienzan a planificar el proyecto, de acuerdo a los objetivos que se deben lograr, definidos por su docente.</li> <li>› Planifican lugar de trabajo y se reserva este por grupo durante la implementación y duración del proyecto. Los grupos definen los insumos, equipos, utensilios, y otros requeridos (por ejemplo, energía eléctrica) y los solicitan formalmente y con anticipación.</li> <li>› Una vez que se tienen los insumos, equipos y el lugar de trabajo definido, comienzan con la mezcla y elaboración de la pulpa, tomando nota de los parámetros utilizados como concentración en peso, es decir, cantidad de agua y sólido utilizado. Se repite este ejercicio hasta conseguir una concentración adecuada al objetivo de mover la pulpa de un punto a otro.</li> <li>› Utilizan bomba o por gravedad, en cada caso, observando las características de transporte de la pulpa, anotando las observaciones de los resultados obtenidos, según las variables utilizadas. No se puede tener una pulpa heterogénea o que decante, como principal requisito.</li> <li>› Una vez obtenido la concentración ideal y buen manejo de la pulpa, hacen un informe de lo realizado, presentando los datos mediante gráficos, fotos, etc., a modo de registrar y ejemplificar lo obtenido. Asimismo, destacan el resultado de la pulpa homogénea de mejor manejo o transporte fluido. Este informe se imprime y se entrega al o la docente, adjuntando anexos y otra información que sea de interés.</li> <li>› Como actividad final, exponen una presentación en formato digital donde se da a conocer los objetivos logrados, los obstáculos con los cuales se encontraron y conclusiones finales.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador, impresora.</li> <li>› Cámara fotográfica.</li> <li>› Equipos varios (baldes, bombas, recipientes, mezcladores, etc.).</li> <li>› Insumos varios (agua y sólidos).</li> </ul>
<p><b>CIERRE</b></p>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Guía el proceso de discusión de las y los estudiantes, resaltando aspectos clave del proceso y los avances de cada equipo.</li> </ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Presentan un circuito de pulpa sencillo, basado en al menos un punto inicial y uno final, movidos mediante una bomba, o vía gravedad.</li> <li>› A partir del informe elaborado y del circuito de pulpa sencillo, realizan una síntesis grupal de los aspectos clave del proceso, así como de las dificultades encontradas y sus mecanismos de solución.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> <li>› Proyector.</li> <li>› Circuito de pulpa en laboratorio o taller.</li> </ul>

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	<b>Acondicionamiento químico de los minerales</b>
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Revisión de parámetros del proceso de flotación
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	20 horas
<b>APRENDIZAJES ESPERADOS</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE</b>
<p><b>3.</b> Aplica técnicas de flotación del mineral para obtener concentración final del material de acuerdo a los requisitos de calidad exigidos en la fundición y respetando normativa vigente.</p>	<p>3.1 Revisa el procedimiento del equipo de flotación para identificar los aspectos de riesgo que le permita un manejo seguro del equipo, evitar incidentes, proteger el equipo, el medio ambiente y las personas, respetando las normas vigentes. Usa los EPP durante todo el procedimiento a seguir.</p> <p>3.2 Prepara una planilla para la toma de datos relevantes como % de recuperación, pH, dosis de reactivo, % sólidos, altura de la espuma, para la recopilación de datos históricos de operación de acuerdo a la normativa vigente.</p> <p>3.3 Calcula los reactivos para adicionar de acuerdo a los requerimientos del proceso.</p>
METODOLOGÍAS SELECCIONADAS	Texto guía

DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZAN DOCENTES Y ESTUDIANTES, Y LOS RECURSOS QUE SE UTILIZAN EN CADA UNA DE LAS SIGUIENTES ETAPAS:

### PREPARACIÓN DE LA ACTIVIDAD

#### Docente:

- › Prepara o facilita un texto guía para la realización de la revisión y cálculo de los parámetros óptimos de operación de flotación.
- › Explica que el trabajo es individual.
- › Delimita los alcances, como revisión del proceso, adición de reactivos y uso de parámetros óptimos. Asimismo, elabora una planilla de control de proceso.

#### Recursos:

- › Computador e impresora.
- › Biblioteca.
- › Texto guía.
- › Proyector.



DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS QUE REALIZAN DOCENTES Y ESTUDIANTES, Y LOS RECURSOS QUE SE UTILIZAN EN CADA UNA DE LAS SIGUIENTES ETAPAS:

<p><b>EJECUCIÓN</b></p>	<p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Revisan el texto guía y consultan, ya sea con su docente, en internet, biblioteca u otros medios, las dudas referentes al proceso de flotación.</li> <li>› Revisa los parámetros óptimos de operación dependiendo del mineral tratado, así como concentración de la pulpa requerida y concentraciones de los reactivos a adicionar. Revisan el cálculo de eficiencia del proceso, recuperación, incidencia de altura de espuma y otras variables.</li> <li>› Calculan la dilución de los reactivos a adicionar o cantidad que se agrega dependiendo del proceso. Establecen un caso específico (por ejemplo: cobre) y trabajan en base a este, la altura de la espuma, porcentaje en peso de la pulpa, cantidad de reactivos, etc.</li> <li>› Elaboran una planilla de control de datos y van registrando allí los parámetros operacionales relevantes, de la misma manera que si estuviera en operación de planta.</li> <li>› Realizan un informe con los aspectos relevantes de la flotación, analizando el caso en específico.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> <li>› Biblioteca.</li> <li>› Texto guía.</li> <li>› Acceso a internet.</li> </ul>
<p><b>CIERRE</b></p>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Al finalizar todas las presentaciones de los montajes, realiza una síntesis de los aspectos principales, corrige errores y completa información faltante.</li> </ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› A partir del informe elaborado, realizan una síntesis de los aspectos más relevantes y los abordan en una exposición a su curso.</li> <li>› Discuten en conjunto para validar las hipótesis empleadas y los resultados obtenidos.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> <li>› Proyector.</li> </ul>

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN

NOMBRE DEL MÓDULO	Acondicionamiento químico de los minerales	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de manejo de pulpas para transporte y procesamiento del concentrado, procurando mantener la zona de trabajo limpia, trabajando en equipo y respetando el medio ambiente y las normas vigentes.</p>	<p><b>2.1</b> Acondiciona el material mediante la adición de agua a fin de formar la pulpa de acuerdo a los requerimientos del proceso, respetando la normativa medioambiental y de seguridad.</p> <p><b>2.2</b> Ocupa equipos de filtración y/o secado para obtener una pulpa con la humedad requerida, y homogénea, de acuerdo a los requerimientos del proceso, manteniendo el aseo en el lugar y usando los elementos de protección personal pertinentes.</p> <p><b>2.3</b> Realiza análisis en el laboratorio para determinar concentración final de la pulpa y registra los datos obtenidos de acuerdo a los parámetros relevantes del proceso.</p> <p><b>2.4</b> Inspecciona visualmente las características de la pulpa para evitar que no tenga partículas que puedan decantar, o demasiada viscosidad, entre otros aspectos que le impidan tener una correcta fluidez.</p>	<p><b>A</b> Comunicarse oralmente y por escrito con claridad, utilizando registros de habla y escritura pertinentes a la situación laboral y a la relación con los interlocutores.</p> <p><b>B</b> Leer y utilizar distintos tipos de textos relacionados con el trabajo, tales como especificaciones técnicas, normativas diversas, legislación laboral, así como noticias y artículos que enriquezcan su experiencia laboral.</p> <p><b>C</b> Realizar las tareas de manera prolija, cumpliendo plazos establecidos y estándares de calidad, y buscando alternativas y soluciones cuando se presenten problemas pertinentes a las funciones desempeñadas.</p> <p><b>D</b> Trabajar eficazmente en equipo, coordinando acciones con otros in situ y a distancia, solicitando y prestando cooperación para el buen cumplimiento de sus tareas habituales y emergentes.</p> <p><b>H</b> Manejar tecnologías de la información y comunicación para obtener y procesar información pertinente al trabajo, así como comunicar resultados, instrucciones e ideas.</p> <p><b>I</b> Utilizar eficientemente los insumos para los procesos productivos y disponer cuidadosamente los desechos, en una perspectiva de eficiencia energética y cuidado ambiental.</p>

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
		<p><b>K</b></p> <p>Prevenir situaciones de riesgo y enfermedades ocupacionales, evaluando las condiciones del entorno de trabajo y utilizando los elementos de protección personal según la normativa correspondiente.</p>

### Selección de cómo evaluar

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN SELECCIONADOS
<p>Actividad práctica o de taller:</p> <p>El y la estudiante realizan un proyecto donde deben recrear un circuito de transporte de pulpa. Este puede recreado mediante una bomba o por gravedad, observando los parámetros relevantes que debe tener la pulpa para un buen transporte sin decantación.</p>	<p>Escala de valoración o apreciación sobre el trabajo práctico que dé cuenta de los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Organización y trabajo en equipo.</li> <li>› Cumplimiento de las metas en el tiempo establecido.</li> <li>› Trabajo de manera prolija respetando la limpieza del lugar.</li> <li>› Obtención de una pulpa con características homogéneas y transportable.</li> <li>› Transporte de la pulpa de un sitio de otro de mayor o menor altitud.</li> <li>› Observación y conclusiones obtenidas por las y los estudiantes.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFÍA

**Brum, I., Valderrama, L. y Rubio, J.** (1995). *Condicionamiento turbulento para a recuperação de finos de minérios por flotação*. Río de Janeiro: V En Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia.

**Bulatovic, S.** (2012). *Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice*. Amsterdam: Elsevier.

**Cárcamo, H. y otros.** (1998). *Programa de operadores de plantas metalúrgicas*. Antofagasta: Universidad Católica del Norte.

**Chaves, A.** (2006). *Máquinas de flotação*. En *Flotação: o estado da arte no Brasil*. Pinto A. (Ed). vol.4. São Paulo, Brasil: Signus Editora.

**Dudenhov, S. y otros.** (1980). *Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos de flotación*. Moscú: MIR.

**Da Luz, A., Sampaio, J y França, S.** (2010). *Tratamento de minérios*. Río de Janeiro: CETEM.

**Gaudin, A. M.** (1956). *Flotation*. New York: McGraw-Hill.

**Peres, A. E. C. y Araujo, A. C.** (2006). *A flotação como operação unitária no tratamento de minérios*. En Pinto, A., *Flotação: o estado da arte no Brasil*. (vol.4). São Paulo: Signus Editora.

**Rubio, J.** (2000). *Nuevas técnicas de tratamiento de partículas y efluentes líquidos minero-metalúrgicos*. Santiago: Universidad de Chile.

**Taggart, A.** (1966). *Elementos de preparación de minerales*. Madrid: Interciencias.

**Valderrama, L.** (2008). *Concentración de minerales por flotación*. Copiapó: Universidad de Atacama.

**Wills, B.** (1994). *Tecnología del procesamiento de minerales: Tratamiento de minas y recuperación de metales*. Ciudad de México: Limusa.

## Sitios web y enlaces recomendados

**Outotec.** (2014). *Product news*.

Recuperado de: <http://www.outotec.com/en/About-us/Product-News/>

**Pavez, O.** (2014). *Apuntes concentración de minerales I*. Universidad de Atacama. Facultad de Ingeniería.

Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/239010656/Apuntes-de-Concentracion-de-Minerales-i-Osvaldo-Pavez#scribd>

**Valderrama, L.** (2004). *Obtención de concentrados de pirita desde relaves de flotación de cobre*. En Revista de la Facultad de Ingeniería. N° 18. p. 46-51.

Recuperado de: <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/180009.pdf>

**Valderrama, L.** (2005). *Aumento de la ley de fosfato mediante flotación*. En Revista de la Facultad de Ingeniería N° 19. p. 32-37.

Recuperado en: <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/190005.pdf>

(Los sitios web y enlaces sugeridos en este Programa fueron revisados en marzo de 2015).