

# 5. Transformación mecánica de los minerales

## INTRODUCCIÓN

Este módulo tiene 152 horas pedagógicas y considera clases en el establecimiento y visitas a terreno.

En este, se espera que los y las estudiantes experimenten e investiguen sobre las operaciones de chancado del mineral y su clasificación, el funcionamiento de las correas transportadoras y la molienda. Además, se busca que aprendan a tomar muestras, efectuar cuarteos y análisis granulométricos, preparar muestras e interpretar adecuadamente lo que involucran estas operaciones en la metalurgia extractiva para aplicarlas en terreno.

Asimismo, se espera sean capaces de indicar las diferentes etapas de la operación y los procesos de concentración e hidrometalúrgicos para minerales, de acuerdo a los diagramas de flujo de funcionamiento industrial; y reducir el tamaño del mineral para que

alcance la granulometría óptima para la molienda, usando los equipos y los elementos de protección personal adecuados y manteniendo el aseo de las dependencias, equipos y accesorios.

Del mismo modo, se pretende que puedan mantener y controlar el sistema motriz de las correas; controlar y operar el molino de laboratorio; clasificar muestras de mineral mediante un hidrociclón para separar fracciones granulométricas; evaluar el rendimiento de los equipos; y cerciorarse de que todas las operaciones se cumplan de acuerdo a las normativas para un trabajo seguro, con la calidad requerida y según la planificación establecida por la empresa.

## APRENDIZAJES ESPERADOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>MÓDULO 5 · TRANSFORMACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES</b>	<b>152 HORAS</b>	<b>CUARTO MEDIO</b>
<b>OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ESPECIALIDAD</b>		
<p><b>OA 1</b>                  Aplicar técnicas de chancado, molienda y clasificación hasta la liberación de la partícula, empleando equipos y maquinarias con sistema de control y automatización, de acuerdo a procedimientos de operación, programas de producción y principios de calidad, seguridad y resguardo del medio ambiente vigentes.</p>		

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
<p><b>1.</b> Aplica las técnicas de chancado para la liberación de la partícula en forma segura, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.</p>	<p><b>1.1</b>                      Revisa el procedimiento de uso del equipo, para identificar los aspectos claves a controlar para una operación segura dentro de los rangos permitidos, de acuerdo a los programas de producción esperada preestablecidos.</p>	<p><b>B C H</b>  <b>I K</b></p>
	<p><b>1.2</b>                      Selecciona el material a utilizar para su posterior uso en el proceso, de acuerdo al tamaño de partícula, utilizando los elementos de protección personal y manteniendo limpia la zona de trabajo.</p>	<p><b>B C H</b>  <b>I K</b></p>
	<p><b>1.3</b>                      Deposita el material al medio de alimentación del mineral al chancador, para comenzar con el proceso de chancado, de acuerdo al programa de producción y respetando las normas de seguridad y medioambientales establecidas en el procedimiento.</p>	<p><b>A B C</b> <b>D E G</b> <b>H I K</b></p>
	<p><b>1.4</b>                      Opera el chancador para moler el material, siguiendo los protocolos de seguridad y controlando los parámetros más importantes de operación de acuerdo a los procedimientos y normas vigentes.</p>	<p><b>A B C</b> <b>D E G</b> <b>H I K</b></p>

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
	<p><b>1.5</b>  Revisa el producto final para determinar la eficiencia de trabajo del equipo, de acuerdo a lo especificado en el proceso y tamaño final de la partícula.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>H</b>  <b>I</b>      <b>K</b></p>
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de clasificación en forma segura, para la separación del material fino del grueso, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.</p>	<p><b>2.1</b>  Revisa el procedimiento de operación del equipo para operarlo en forma segura, identificando los riesgos y parámetros principales, de acuerdo al tamaño final de partícula que se desea obtener.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>G</b>  <b>H</b>      <b>I</b>      <b>K</b></p>
	<p><b>2.2</b>  Prepara la zona de trabajo y el número de tamices a utilizar, para conseguir la separación del material de acuerdo a los tamaños de partícula a los que se quiere llegar.</p>	<p><b>A</b>      <b>B</b>      <b>C</b>  <b>D</b>      <b>E</b>      <b>H</b>  <b>I</b>      <b>K</b></p>
	<p><b>2.3</b>  Separa el material grueso del fino a través de los tamices y revisa la homogeneidad de cada grupo de material separado para determinar eficiencia del proceso.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>H</b>  <b>I</b>      <b>K</b></p>
	<p><b>2.4</b>  Desecha el material inservible o lo recircula al proceso de chancado, previo análisis de calidad del producto final, de acuerdo a los procedimientos y normas medioambientales vigentes y manteniendo limpia la zona de trabajo.</p>	<p><b>A</b>      <b>B</b>      <b>C</b>  <b>D</b>      <b>E</b>      <b>H</b>  <b>I</b>      <b>K</b></p>

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
3.	Aplica técnicas de molienda en forma segura, para la liberación de la partícula, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.	<b>3.1</b> Revisa el procedimiento o manual del equipo de molienda a utilizar, se interioriza con los riesgos, protocolos normativos y de seguridad del proceso para evitar accidentes y daños al equipo y las personas y obtener los productos deseados.	B	C	G
			H	I	
		<b>3.2</b> Ajusta los parámetros de salida del equipo para obtener un tamaño de partícula de salida del material de acuerdo al requerimiento del proceso siguiente.	B	C	G
			H	I	K
		<b>3.3</b> Ingresas el material en el alimentador del equipo de molienda, para comenzar el proceso y obtener la liberación de la partícula de acuerdo al programa de producción establecido.	A	B	C
	D	E	G		
	H	I	K		
<b>3.4</b> Opera el equipo de molienda en forma segura para obtener el producto final de acuerdo a los requerimientos del proceso.	A	B	C		
	D	E	I		
	K				
<b>3.5</b> Revisa el producto final obtenido, realiza análisis para determinar la eficiencia del proceso, de acuerdo a lo establecido en el procedimiento de trabajo.	B	C	H		
	I	K			

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	Transformación mecánica de los minerales
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Chancado de mineral
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	12 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>1.</b> Aplica las técnicas de chancado para la liberación de la partícula en forma segura, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.</p>	<p>1.1 Revisa el procedimiento de uso del equipo, para identificar los aspectos claves a controlar para una operación segura dentro de los rangos permitidos, de acuerdo a los programas de producción esperada preestablecidos.</p> <p>1.2 Selecciona el material a utilizar para su posterior uso en el proceso, de acuerdo al tamaño de partícula, utilizando los elementos de protección personal y manteniendo limpia la zona de trabajo.</p> <p>1.3 Deposita el material al medio de alimentación del mineral al chancador, para comenzar con el proceso de chancado, de acuerdo al programa de producción y respetando las normas de seguridad y medioambientales establecidas en el procedimiento.</p> <p>1.4 Opera el chancador para moler el material, siguiendo los protocolos de seguridad y controlando los parámetros más importantes de operación de acuerdo a los procedimientos y normas vigentes.</p> <p>1.5 Revisa el producto final para determinar la eficiencia de trabajo del equipo, de acuerdo a lo especificado en el proceso y tamaño final de la partícula.</p>
METODOLOGÍAS SELECCIONADAS	Demostración guiada

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:

- › Reserva un espacio en el laboratorio para uso de chancador primario, molino o similar y prepara el área de trabajo.
- › Entrega a sus estudiantes las pautas de comportamiento en laboratorio y uso de elementos de protección personal (EPP) y se organiza con ellos y ellas respecto a la actividad a desarrollar.

#### Recursos:

- › Laboratorio de metalurgia o similar.
- › Equipo de chancador o molino.
- › 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>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Entrega las instrucciones de comportamiento en el laboratorio y el uso de elementos de protección personal.</li> <li>› Se organiza con sus estudiantes respecto de los alcances y procedimiento de la actividad a desarrollar.</li> <li>› Se encarga del laboratorio, pone en marcha el equipo de chancado explicando a su vez el funcionamiento, variables claves y críticas, cuidados de operación del equipo, flexibilidad en las variables a manipular y posibles resultados obtenidos.</li> </ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Utilizan los EPP.</li> <li>› Posterior a la demostración realizada por su docente, y siempre que no hayan dudas respecto al funcionamiento del equipo, proceden por orden a clasificar el material a utilizar dependiendo de las restricciones del equipo y lo calibran dependiendo de los resultados deseados. Se pone en funcionamiento el equipo, se observa su funcionamiento, obstáculos, etc.</li> <li>› Registran mediante notas y fotografías los aspectos relevantes de la actividad.</li> <li>› Una vez obtenido el producto final, realizan un análisis granulométrico, determinando la eficiencia final del equipo y del proceso en sí.</li> <li>› Redactan un informe y elaboran una presentación con los resultados obtenidos.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Laboratorio de metalurgia o similar.</li> <li>› Equipo de chancador o molino.</li> <li>› Computador e impresora.</li> </ul>
<p><b>CIERRE</b></p>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Guía las exposiciones de las y los estudiantes, intencionando una reflexión respecto de la importancia de actuar con rigurosidad en el proceso abordado.</li> </ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Exponen una presentación con los resultados obtenidos en el ejercicio realizado en el laboratorio.</li> <li>› En plenario, comparten sus opiniones sobre la actividad.</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 APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	<b>Transformación mecánica de los minerales</b>
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Harneo de mineral a través de tamices
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	12 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>2.</b> Aplica las técnicas de chancado para la liberación de la partícula en forma segura, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.</p>	<p>2.1 Revisa el procedimiento de operación del equipo para operarlo en forma segura, identificando los riesgos y parámetros principales, de acuerdo al tamaño final de partícula que se desea obtener.</p> <p>2.2 Prepara la zona de trabajo y el número de tamices a utilizar, para conseguir la separación del material de acuerdo a los tamaños de partícula a los que se quiere llegar.</p> <p>2.3 Separa el material grueso del fino a través de los tamices y revisa la homogeneidad de cada grupo de material separado para determinar eficiencia del proceso.</p> <p>2.4 Desecha el material inservible o lo recircula al proceso de chancado, previo análisis de calidad del producto final, de acuerdo a los procedimientos y normas medioambientales vigentes y manteniendo limpia la zona de trabajo.</p>
METODOLOGÍAS SELECCIONADAS	Método de 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:

- › Prepara la actividad, organiza a sus estudiantes en grupos y define los objetivos de la actividad, así como los resultados esperables.
- › Asimismo, consigue los insumos y equipos a utilizar y el espacio de trabajo, así como los elementos de protección personal.
- › Define los tamaños en que se separará el material. A partir de eso, se escogen los tamices, el número de tamices y el método de medición de eficiencia y granulometría.

#### Recursos:

- › Computador e impresora.
- › Elementos de protección personal.
- › Harnero, tamices, y material a harnear.



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 agrupan de a tres a cuatro personas y se organizan para llevar a cabo el proyecto, planificando y considerando los utensilios o equipos que se requieren. Asimismo, usan sus elementos de protección personal.</li> <li>› Determinan la cantidad de tamices a usar dependiendo de la granulometría que se quiere obtener en cada grupo. Para eso, seleccionan la malla del tamiz según tamaño de partícula.</li> <li>› Seleccionan el material a harnear. También, comienzan con el zarandeo o harneo y van separando en grupos el material obtenido en cada malla. Posteriormente miden la granulometría de lo separado, determinando la eficiencia del proceso. Esto se mide mediante la homogeneidad de la granulometría de cada material harneado.</li> <li>› Se repite el proceso para otro material seleccionado. Se anotan los resultados de ambos casos comparándolos y sacando las conclusiones pertinentes.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> <li>› Elementos de protección personal.</li> <li>› Harnero, tamices, material a harnear.</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, intencionando una reflexión respecto de la importancia de actuar con rigurosidad en el proceso abordado.</li> </ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Para cerrar la actividad, el grupo presenta un informe escrito referente a los resultados obtenidos y la eficiencia alcanzada dependiendo de la granulometría obtenida.</li> <li>› En plenario, comparten sus opiniones sobre la actividad.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> </ul>



## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN

NOMBRE DEL MÓDULO	Transformación mecánica de los minerales	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de clasificación en forma segura, para la separación del material fino del grueso, siguiendo las instrucciones dadas por el fabricante y respetando la normativa vigente aplicable al equipo o proceso.</p>	<p><b>2.1</b> Revisa el procedimiento de operación del equipo para operarlo en forma segura, identificando los riesgos y parámetros principales, de acuerdo al tamaño final de partícula que se desea obtener.</p> <p><b>2.2</b> Prepara la zona de trabajo y el número de tamices a utilizar, para conseguir la separación del material de acuerdo a los tamaños de partícula a los que se quiere llegar.</p> <p><b>2.3</b> Separa el material grueso del fino a través de los tamices y revisa la homogeneidad de cada grupo de material separado para determinar eficiencia del proceso.</p> <p><b>2.4</b> Desecha el material inservible o lo recicla al proceso de chancado, previo análisis de calidad del producto final, de acuerdo a los procedimientos y normas medioambientales vigentes y manteniendo limpia la zona de trabajo.</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> Realiza 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>E</b> Tratar con respeto a subordinados, superiores, colegas, clientes, personas con discapacidades, sin hacer distinción de género, de clase social, de etnias u otras.</p> <p><b>G</b> Participar en diversas situaciones de aprendizaje formales e informales, y calificarse para desarrollar mejor su trabajo actual o bien para asumir nuevas tareas o puestos de trabajo, en una perspectiva de formación permanente.</p>

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GÉNERICOS A EVALUAR
		<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> <p><b>K</b> 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>El o la estudiante realiza un hurneo, escogiendo el material a hurnear, tamices, separando, clasificando, y midiendo la homogeneidad del proceso a través de la medición de la granulometría, luego realiza cálculos de eficiencia y un informe final.</p>	<p>Escala de apreciación sobre trabajo práctico que dé cuenta de los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Cumple el objetivo de la actividad.</li> <li>› Respeto horarios.</li> <li>› Respeto normas de seguridad y procedimientos.</li> <li>› Obtiene la separación del producto en forma homogénea y prolija de acuerdo a lo solicitado.</li> <li>› Realiza trabajo en equipo.</li> <li>› Presenta informe, considerando todos los aspectos solicitados.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFÍA

**Aragón, J., Arenas, R. e Ipinza, J.** (1998). *Operador de plantas mineras*. Iquique: Universidad Arturo Prat.

**Gaudín, A. M.** (1975). *Principles of Mineral Dressing*. New Delhi: McGraw-Hill.

**Gy, P. M.** (1982). *Sampling of particulate materials theory and practice*. Amsterdam: Elsevier.

**Gy, P. M.** (1976). *The Sampling of particulate materials: General theory. Symposium on Sampling Practices in the Mineral Industries*. Melbourne, Australia.

**Da Luz, A., Sampaio, J. y França, S.** (2010). *Tratamento de minérios*. (5ª edición). Río de Janeiro: CETEM.

**Delboni Jr. y Cominuição, H.** (2007). *Tendências tecnológicas Brasil 2015: Geociência e tecnologia mineral*. Río de Janeiro: CETEM/MCT.

**Pryor, E. J.** (1978). *Mineral processing*. Londres: Applied Science Publishers.

**Sampaio, J., França, S y Braga, P.** (1998). *Tratamento de minérios: práticas laboratoriais*. Río de Janeiro: CETEM-MCT.

**Smith, R y James, G.** (1981). *The sampling of bulk materials*. Londres: Royal Society of Chemistry.

**Taggart, A. y González, J.** (1966). *Elementos de preparación de minerales*. Madrid: Interciencia.

**Tapia, P.** (1999). *La minería aplicada a los procesos industriales*. Atacama: Universidad de Atacama.

**Wills, B., Torres, R. y Huerta, C.** (1987). *Tecnología de procesamiento de minerales: Tratamiento de menas y recuperación de minerales*. Ciudad de México: Limusa.

## Sitios web y enlaces recomendados

**Codelco.** (2014). *Codelco Mira al futuro, proceso productivo del cobre y cuidado del medio ambiente.*

Recuperado de: [https://www.codelcoeduca.cl/noticias/descargas/cobre\\_medioambiente.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/noticias/descargas/cobre_medioambiente.pdf)

**Codelco.** (2014). *Proceso productivo minerales oxidados.*

Recuperado de: [http://www.codelco.com/proceso-productivo-minerales-oxidados/prontus\\_codelco/2011-06-03/221847.html](http://www.codelco.com/proceso-productivo-minerales-oxidados/prontus_codelco/2011-06-03/221847.html)

**Codelco.** (2014). *Proceso productivo de minerales sulfurados.*

Recuperado en: [http://www.codelco.com/proceso-productivo-minerales-sulfurados/prontus\\_codelco/2011-06-03/221935.html](http://www.codelco.com/proceso-productivo-minerales-sulfurados/prontus_codelco/2011-06-03/221935.html)

**USGS.** (2014). *Minerals information.*

Recuperado de: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>

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