

# 8. Fundición y refinación

## INTRODUCCIÓN

Este módulo tiene 190 horas pedagógicas y considera clases en el establecimiento y visitas a terreno. En este, se espera que los y las estudiantes aprendan a controlar los parámetros operacionales para cargar los distintos fundentes agregados al horno para obtener productos de calidad, tanto en la fusión como en la conversión y refinación del producto final.

Estas operaciones de la pirometalurgia se usan para obtener un producto de alta calidad, por lo cual se busca que las conozcan a cabalidad y, si es posible, dominarlas. Normalmente, son las que involucran mayor costo de energía, lo cual implica que la preparación del personal involucrado en dichas operaciones influirá directamente en los resultados económicos del proceso.

De esta manera, se pretende que las y los estudiantes sean capaces de entender en qué consisten la fusión, la conversión y la refinación, y distinguir sus respectivas diferencias; que sepan cómo se alimentan dichos procesos y los productos que se obtienen a partir de ellos; y que logren controlar y obtener muestras de cada producto obtenido y registrar esa información para poder tomar decisiones rápidas y mantener las condiciones óptimas de operar. Finalmente, se espera que puedan identificar los riesgos implícitos en estas actividades.

## APRENDIZAJES ESPERADOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>MÓDULO 8 · FUNDICIÓN Y REFINERÍA</b>	190 HORAS	CUARTO MEDIO
OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ESPECIALIDAD		
<b>OA 4</b> Aplicar técnicas de fundición, tostación y refinación de productos intermedios para la obtención de lingotes, de acuerdo a características físico-químicas del mineral, principios y normas de calidad, de seguridad y resguardo del ambiente.		

8.

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
<b>1.</b> Aplica técnicas de secado y tostación en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.	<b>1.1</b> Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de secado de concentrado y tostación, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.	B      C      H
	<b>1.2</b> Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del secador y el tostador para operar el equipo en forma segura de acuerdo al proceso, y recomendaciones del fabricante.	B      C      H
	<b>1.3</b> Calcula los insumos que se agregan al secador, para obtener una humedad de salida definida por el proceso, de acuerdo al balance de masa del concentrado a tratar y de acuerdo al procedimiento.	B      C      D E      H
	<b>1.4</b> Opera el equipo en forma segura revisando los parámetros de entrada, salida y de operación del equipo, para la obtención del concentrado seco, respetando las restricciones del producto final de acuerdo a normativa vigente.	A      B      C D      E      I K

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
2.	Aplica técnicas de fusión y conversión en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.	<b>2.1</b> Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de fusión y conversión, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.	B	C	D
		<b>2.2</b> Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del horno de fusión y el convertidor de acuerdo al procedimiento para operar el equipo en forma segura, y respeta las normas medioambientales vigentes y otras aplicables al proceso.	B	C	H
		<b>2.3</b> Determina la cantidad de aire u oxígeno que se ingresa al equipo, de acuerdo al balance de masa, para mantener temperatura en el horno y nivel de oxidación, de acuerdo a los procedimientos establecidos y normas vigentes.	B	C	D
		<b>2.4</b> Opera el equipo en forma segura revisando los parámetros de entrada, salida y de operación del equipo, para la obtención del metal libre de impurezas previo a la etapa de refinación, respetando las restricciones del producto final de acuerdo a normativa vigente.	A	B	C
			D	E	H
			I	K	

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
<b>3.</b>	Aplica técnicas de refinación en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.	<b>3.1</b> Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de refinación, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
			<b>E</b>	<b>H</b>	
		<b>3.2</b> Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del horno de refinación de acuerdo al procedimiento para operar el equipo en forma segura, y respeta las normas medioambientales vigentes y otras aplicables al proceso.	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>H</b>
			<b>I</b>	<b>K</b>	
	<b>3.3</b> Opera el equipo de forma segura, para la obtención del producto refinado, trabajando en equipo de acuerdo a procedimiento, cumpliendo la normativa vigente, uso de EPP.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
		<b>D</b>	<b>E</b>	<b>H</b>	
		<b>I</b>	<b>K</b>		
	<b>3.4</b> Realiza pruebas de concentración del producto final para determinar su pureza, de acuerdo a los procedimientos establecidos, respetando la normativa vigente.	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>H</b>	
		<b>I</b>	<b>K</b>		

**8.**

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

<b>NOMBRE DEL MÓDULO</b>	<b>Fundición y refinería</b>
<b>NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE</b>	Proyecto de investigación de una Fundición de Cobre Chilena y sus procesos
<b>DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>	20 horas
<b>APRENDIZAJES ESPERADOS</b>	<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE</b>
<p><b>1.</b> Aplica técnicas de secado y tostación en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.</p>	<p>1.1 Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de secado de concentrado y tostación, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.</p> <p>1.2 Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del secador y el tostador para operar el equipo en forma segura de acuerdo al proceso, y recomendaciones del fabricante.</p> <p>1.3 Calcula los insumos que se agregan al secador, para obtener una humedad de salida definida por el proceso, de acuerdo al balance de masa del concentrado a tratar y de acuerdo al procedimiento.</p>
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de fusión y conversión en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.</p>	<p>2.1 Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de fusión y conversión, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.</p> <p>2.2 Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del horno de fusión y el convertidor de acuerdo al procedimiento para operar el equipo en forma segura, y respeta las normas medioambientales vigentes y otras aplicables al proceso.</p> <p>2.3 Determina la cantidad de aire u oxígeno que se ingresa al equipo, de acuerdo al balance de masa, para mantener temperatura en el horno y nivel de oxidación, de acuerdo a los procedimientos establecidos y normas vigentes.</p>
<p><b>3.</b> Aplica técnicas de refinación en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.</p>	<p>3.1 Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de refinación, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.</p> <p>3.2 Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del horno de refinación de acuerdo al procedimiento para operar el equipo en forma segura, y respeta las normas medioambientales vigentes y otras aplicables al proceso.</p>
<b>METODOLOGÍAS SELECCIONADAS</b>	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:**

- › Realiza un listado de las siete fundiciones chilenas y organiza a sus estudiantes en grupos de tres a cuatro personas.

**Estudiantes:**

- › En grupos, escogen la fundición que deseen investigar. En caso de que dos o más grupos deseen trabajar con una misma fundición, se resuelve mediante sorteo.
- › Una vez formados los grupos y asignada la fundición de interés, junto a su docente establecen el alcance del proyecto, tiempo de entrega de avance, tiempo de entrega final, modalidad para la calificación, porcentajes y el formato del informe final y la presentación.
- › Su informe debe contener como mínimo un flujograma del proceso, descripción de las operaciones unitarias que se llevan a cabo, junto a los parámetros de operación, descripción y cantidad de la materia prima que se utiliza y del producto final que se obtiene, así como sus subproductos, emisiones, etc.

**Recursos:**

- › Computador e impresora.
- › Acceso a internet y a biblioteca.

EJECUCIÓN

**Estudiantes:**

- › En grupo, escogen una fundición que sea de su interés.
- › Revisan el alcance del trabajo los temas a tratar en el informe final y la presentación que deben realizar al grupo curso, esto con el objetivo de orientar el trabajo de manera eficiente.
- › Recopilan información, revisan el estado del arte, así como la bibliografía disponible tanto en internet, como en revistas especializadas, en hemeroteca de la biblioteca, en los libros de la biblioteca, visitas a organismos atingentes al trabajo, y determina la bibliografía disponible y la faltante.
- › Una vez recopilada la información necesaria para la realización del proyecto la revisan en profundidad y establecen cuál es la de mayor relevancia.
- › Sintetizan la información y comienzan a redactar el informe de acuerdo a los objetivos del proyecto.
- › Preparan y entregan informe final.

**Recursos:**

- › Computador e impresora.
- › Acceso a internet y a biblioteca.

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

CIERRE

**Docente:**

- › Guía el proceso de exposición de sus estudiantes, intencionando una reflexión hacia los principales aprendizajes desarrollados en la actividad.

**Estudiantes:**

- › Elaboran una presentación en formato digital, que resume el trabajo realizado en la actividad y exponen así lo aprendido con el proyecto de investigación, y sus conclusiones principales.

**Recursos:**

- › Computador e impresora.
- › Proyector.
- › Acceso a *software* para crear presentaciones en formato digital y procesar textos (como PowerPoint o Word).

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	Fundición y refinería
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Trabajo de laboratorio: secado de material
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	20 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>1.</b> Aplicar técnicas de secado y tostación en forma segura trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.</p>	<p>1.2 Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del secador y el tostador para operar el equipo en forma segura de acuerdo al proceso, y recomendaciones del fabricante.</p> <p>1.3 Calcula los insumos que se agregan al secador, para obtener una humedad de salida definida por el proceso, de acuerdo al balance de masa del concentrado a tratar y de acuerdo al procedimiento.</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:

- › Prepara el material de laboratorio y los equipos de secado, pesas, material contenedor, etc., y prepara un caso para que sus estudiantes lo desarrollen en grupo.
- › Prepara el material inocuo a secar y también la cantidad de humedad final que se desea obtener. Ejemplifica cómo realizar el cálculo de humedad.
- › Insta a sus estudiantes a usar los elementos de protección personal mientras permanezcan en el laboratorio.

#### Recursos:

- › Laboratorio.
- › Equipos de secado.
- › Pesas.
- › Contenedores.
- › Insumos varios.
- › Computador e impresora.
- › Elementos de protección personal.

8.



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

<b>EJECUCIÓN</b>	<p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Hacen uso de sus implementos de protección personal previo ingreso al laboratorio y se organizan en grupos, definiendo además el equipo de secado que deben utilizar, y reuniendo todos los equipos e insumos que utilizarán de acuerdo a lo especificado por su docente.</li><li>› En forma conjunta con su docente, van desarrollando grupalmente técnicas para cálculo de humedad inicial, determinan una humedad final deseada, regulan los parámetros de procesos del equipo, obtienen el producto final, miden la humedad final y determinan la eficiencia y margen de error respecto al objetivo inicial.</li><li>› Posteriormente se deja el área limpia y desechan en forma segura el material utilizado.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Laboratorio.</li><li>› Equipos de secado.</li><li>› Pesas.</li><li>› Contenedores.</li><li>› Insumos varios.</li><li>› Computador e impresora.</li><li>› Elementos de protección personal.</li></ul>
<b>CIERRE</b>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Guía el proceso de exposición de sus estudiantes, destacando los logros de cada grupo y entregando una retroalimentación general.</li></ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Realizan una presentación y un informe final. La presentación debe contener fotos y los pasos que se ocuparon para realizar el procedimiento de secado del material.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Computador e impresora.</li><li>› Proyector o medios audiovisuales.</li></ul>

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN

NOMBRE DEL MÓDULO	Fundición y refinería	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
<p><b>2.</b> Aplica técnicas de fusión y conversión en forma segura, trabajando en equipo y respetando las normas de calidad, seguridad y del medio ambiente vigente de acuerdo a las características físico-químicas del mineral.</p>	<p><b>2.1</b> Revisa el diagrama de flujo de la fundición y los procedimientos de fusión y conversión, para operar los equipos en forma segura, de acuerdo a las normativas vigentes y características físico-químicas del mineral.</p> <p><b>2.2</b> Determina los parámetros a controlar de entrada y salida del horno de fusión y el convertidor de acuerdo al procedimiento para operar el equipo en forma segura, y respeta las normas medioambientales vigentes y otras aplicables al proceso.</p> <p><b>2.3</b> Determina la cantidad de aire u oxígeno que se ingresa al equipo, de acuerdo al balance de masa, para mantener temperatura en el horno y nivel de oxidación, de acuerdo a los procedimientos establecidos y normas vigentes.</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>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>

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
		<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>Actividad portafolio de productos:</p> <p>Los y las estudiantes elaboran un trabajo de investigación, acerca de una fundición nacional, obteniendo información de sus dueños sobre: procesos, productos, subproductos, emisiones, etc., presentando avances e informe final.</p>	<p>Escala de apreciación que dé cuenta de los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Desarrollo del tema.</li> <li>› Uso de la bibliografía.</li> <li>› Procesamiento de la información.</li> <li>› Datos actualizados.</li> <li>› Uso de referencias válidas.</li> <li>› Contenido del trabajo.</li> <li>› Formato del trabajo.</li> <li>› Poder de síntesis.</li> </ul>

## BIBLIOGRAFÍA

**Díaz, C., Landolt, C. y Luraschi, A.** (1995). *Curso pirometalurgia del cobre*. Santiago: Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile

**Santander, N.** (1989). *Procesos pirometalúrgicos modernos en la industria cuprera*. Santiago: Departamento de Metalurgia, Universidad de Santiago.

**Santander, N.** (1979). *Pirometalurgia del cobre*. Santiago: Universidad Técnica del Estado.

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

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

### Sitios web y enlaces recomendados

**Codelco.** (2014). *Desafíos actuales de la fundición continua*. Recuperado de: [http://www.codelco.com/desafios-actuales-de-la-fundicion-continua/prontus\\_codelco/2011-03-01/202159.html](http://www.codelco.com/desafios-actuales-de-la-fundicion-continua/prontus_codelco/2011-03-01/202159.html)

**Anónimo.** (2014). *Pirometalurgia del cobre*. Recuperado en: <http://es.slideshare.net/methevas/pirometalurgia-del-cobre>

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