

# 7. Técnicas de hidrometalurgia

## INTRODUCCIÓN

Este módulo tiene una duración de 228 horas pedagógicas y considera clases en el establecimiento y visitas a terreno. En este, se espera que los y las estudiantes aprendan a efectuar diversas operaciones en los procesos de una planta de hidrometalurgia, para tratar minerales oxidados y metales nobles; entre ellas, las de aglomeración, curado, formación de la pila, distribución de los aspersores, lixiviación en pila, extracción por solventes, precipitación, carbón activado y electro-obtención. Se busca que dominen dichas actividades para obtener un producto de alta calidad, de acuerdo a las especificaciones técnicas de ley e impurezas que el mercado requiere.

De esta manera, se busca que puedan preparar las soluciones que se emplean en las plantas de lixiviación; instalar el sistema de regadío para disolver bien el mineral, comprobar que funcione correctamente y que no

se produzcan fugas u obstrucciones. También se espera que sean capaces de tomar muestras de soluciones en los distintos estanques de almacenamiento para comprobar el grado de purificación y realizar el control operacional del resultado de la lixiviación; envasar, rotular y enviar las muestras al laboratorio para que se determinen sus características químicas; y operar, controlar y limpiar la planta de electro-obtención para tener un depósito catódico de calidad con una eficiente productividad. Además, se pretende que aprendan a precipitar el oro y la plata con zinc en polvo o carbón activado. Todo lo anterior, respetando estrictamente las medidas de seguridad de protección personal –especialmente en lo relativo a evitar exponerse al cianuro–, del equipamiento y del medio ambiente.

## APRENDIZAJES ESPERADOS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

<b>MÓDULO 7 · TÉCNICAS DE HIDROMETALURGIA</b>	228 HORAS	CUARTO MEDIO
OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ESPECIALIDAD		
<p><b>OA 3</b> Aplicar técnicas de tratamiento de minerales solubles, metálicos y no metálicos, aplicando principios de disolución, purificación y recuperación, utilizando los materiales e insumos necesarios para este tipo de procesos químicos, de acuerdo a normas de calidad, de seguridad y resguardo del ambiente.</p>		

APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS
<p><b>1.</b> Aplica técnicas de tratamiento de minerales solubles metálicos y no metálicos, aplicando principios de dilución, purificación y recuperación, de acuerdo a la normativa de seguridad y medioambiental vigente.</p>	<p><b>1.1</b> Lee el diagrama de flujo del proceso, trabaja en equipo y revisa los aspectos fundamentales del proceso y su operación para evitar los riesgos de acuerdo a normas vigentes.</p>	<p><b>A</b>      <b>B</b>      <b>C</b> <b>D</b>      <b>E</b>      <b>G</b> <b>H</b></p>
	<p><b>1.2</b> Calcula la disolución del mineral mediante el cálculo de reactivos químicos a aplicar para poder alcanzar las concentraciones finales de trabajo de acuerdo a los requerimientos del proceso.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>H</b></p>
	<p><b>1.3</b> Calcula la recuperación del proceso mediante un balance de masa simple para determinar eficiencia y pérdidas del proceso, según procedimiento y normativa vigente.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>H</b></p>
	<p><b>1.4</b> Calcula la pureza mediante el cálculo de concentración del producto final, para determinar la eficiencia del proceso de acuerdo a normas y procedimientos vigentes.</p>	<p><b>B</b>      <b>C</b>      <b>H</b></p>

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
2.	Aplica técnicas de tratamiento de lixiviación utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.	<b>2.1</b> Calcula disolución del ácido a utilizar para determinar la cantidad que se agrega al material para llegar a la concentración necesaria del proceso de acuerdo al procedimiento de dilución.	B	C	H
			G		
		<b>2.2</b> Prepara la mezcla entre la disolución de ácido y material previamente chancado, para formar las pilas de lixiviación de acuerdo a las normas de seguridad y medioambientales cuidándose de producir filtraciones y fugas.	B	C	D
			E	I	K
		<b>2.3</b> Revisa el correcto funcionamiento del riego de ácido diluido y su posterior lixiviación a las piscinas de contención, para evitar que existan obstáculos o taponamiento que eviten la recuperación, de acuerdo a normas vigentes.	A	B	C
			D	E	I
			K		
		<b>2.4</b> Toma nota de los parámetros de operación obtenidos como concentración de PLS, duración del proceso de la pila, cantidad y concentración del reactivo usado, para mantener un registro histórico de acuerdo al procedimiento establecido.	A	B	C
			D	E	H
			I	K	



APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
<b>3.</b>	Aplica técnicas de tratamiento de extracción por solvente utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.	<b>3.1</b> Revisa los procedimientos y utiliza los elementos de protección personal de acuerdo a normas vigentes.	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>H</b>
			<b>I</b>	<b>K</b>	
		<b>3.2</b> Revisa en forma visual la correcta separación de las fases con el objetivo de mantener una eficacia mínima aceptable de acuerdo a los parámetros establecidos por el proceso.	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
			<b>G</b>	<b>I</b>	<b>K</b>
	<b>3.3</b> Realiza análisis de concentración del líquido rico en metal para determinar eficiencia del proceso de acuerdo a normas y procedimientos vigentes.	<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> Analiza en el laboratorio la calidad del orgánico a fin de determinar su reutilización o desecho de acuerdo a las normas ambientales vigentes.	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
		<b>E</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	
		<b>K</b>			

7.

APRENDIZAJES ESPERADOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS		
4.	Aplica técnicas de electro-obtención utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.	<b>4.1</b> Revisa el procedimiento de las celdas electrolíticas así como la limpieza del área de trabajo para su operación en forma segura, respetando la normativa vigente de acuerdo a lo exigido por el proceso.	B	C	G
			H	I	K
		<b>4.2</b> Revisa que la distancia entre ánodo y cátodo sea la indicada para evitar corto circuito, de acuerdo a recomendaciones del fabricante.	B	C	I
			K		
		<b>4.3</b> Aplica la corriente necesaria para iniciar el proceso de acuerdo a los procedimientos establecidos y respetando la normativa de seguridad, uso de EPP y ambiental vigente.	A	B	C
	D	E	H		
		I	K		
<b>4.4</b> Realiza la cosecha de los cátodos, los lava y hace análisis de calidad para determinar su pureza final, de acuerdo a procedimiento establecido.	A	B	C		
	D	E	H		
		I	K		
<b>4.5</b> Limpia los ánodos y celdas enviando los barras anódicas a otro proceso con el fin de preparar una nueva producción que esté libre de impurezas protegiendo así el producto final de acuerdo a normas y procedimientos establecidos.	B	C	I		
	K				

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	Técnicas de hidrometalurgia
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Elaboración de una pila electrolítica
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	15 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>4.</b> Aplica técnicas de electro-obtención utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.</p>	<p>4.1 Revisa el procedimiento de las celdas electrolíticas así como la limpieza del área de trabajo para su operación en forma segura, respetando la normativa vigente de acuerdo a lo exigido por el proceso.</p> <p>4.2 Revisa que la distancia entre ánodo y cátodo sea la indicada para evitar corto circuito, de acuerdo a recomendaciones del fabricante.</p> <p>4.3 Aplica la corriente necesaria para iniciar el proceso de acuerdo a los procedimientos establecidos y respetando la normativa de seguridad, uso de EPP y ambiental vigente.</p> <p>4.4 Realiza la cosecha de los cátodos, los lava y hace análisis de calidad para determinar su pureza final, de acuerdo a procedimiento establecido.</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:

- › Introduce el tema referente a la creación de una pila o celda electrolítica e insta a sus estudiantes a que se organicen en grupos de tres o cuatro integrantes.
- › Define los objetivos de la actividad, explicando paso a paso los materiales necesarios para desarrollarla y cómo se fabrica dicha celda, las medidas de seguridad, etc. Además, menciona los requisitos relativos al informe a entregar.

#### Estudiantes:

- › Posterior a eso, desarrollan la actividad de revisión de los conceptos teóricos que están detrás del funcionamiento de dichas celdas, para afianzar el conocimiento aprendido de manera práctica, y relacionar el ejercicio efectuado con lo que pasa a nivel industrial.

#### Recursos:

- › Computador e impresora.
- › Proyector.

7.

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>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Una vez en el laboratorio, se entregan los materiales a cada grupo, procurando que las y los estudiantes ocupen los elementos de protección personal necesarios como gafas de seguridad, guantes de nitrilo y capa de laboratorio.</li><li>› Comienza con la demostración de la fabricación de la celda electrolítica, paso a paso, y va asistiendo en la fabricación de las celdas de sus estudiantes, si estos tuvieran duda o necesitaran asistencia.</li><li>› Una vez fabricada la celda, se prueba y se coloca en funcionamiento, cuidando la seguridad y limpieza del lugar de trabajo.</li><li>› Posterior a eso, se revisan posibles fallas, y se controla el proceso, modificando los parámetros de operación de la celda como voltaje, etc.</li><li>› Se observa el funcionamiento por parte de los y las estudiantes.</li><li>› Luego, realiza una clase en que explica lo anterior en forma teórica primero, utilizando la celda fabricada como ejemplo, y luego enlaza esto con el proceso de electro-obtención de la industria del cobre.</li></ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Aplican lo observado por su docente paso a paso.</li><li>› Reciben asistencia en la fabricación de las celdas y realizan consultas.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Computador e impresora.</li><li>› Proyector.</li><li>› Laboratorio.</li><li>› Materiales para la creación de las celdas electrolíticas.</li></ul>
<b>CIERRE</b>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Guía el proceso de presentación de sus estudiantes, resaltando aspectos clave y entregando una retroalimentación general.</li></ul> <p><b>Estudiante:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› El grupo de estudiantes presenta su proyecto de celda o pila electrolítica haciendo una demostración de su funcionamiento frente a la clase y sus compañeros y compañeras.</li><li>› Posteriormente, desarrollan un informe escrito que relaciona los conceptos teóricos abordados con el proceso industrial real minero de electro-obtención.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Pila o celda desarrollada, laboratorio para el desarrollo de la actividad práctica.</li></ul>

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE

NOMBRE DEL MÓDULO	Técnicas de hidrometalurgia
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	Cálculo de disolución y recuperación
DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	12 horas
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN QUE INCLUYE
<p><b>1.</b> Aplica técnicas de tratamiento de minerales solubles metálicos y no metálicos, aplicando principios de dilución, purificación y recuperación, de acuerdo a la normativa de seguridad y medioambiental vigente.</p> <p><b>2.</b> Aplica técnicas de tratamiento de lixiviación utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.</p>	<p>1.1 Lee el diagrama de flujo del proceso, trabaja en equipo y revisa los aspectos fundamentales del proceso y su operación para evitar los riesgos de acuerdo a normas vigentes.</p> <p>1.2 Calcula la disolución del mineral mediante el cálculo de reactivos químicos a aplicar para poder alcanzar las concentraciones finales de trabajo de acuerdo a los requerimientos del proceso.</p> <p>1.3 Calcula la recuperación del proceso mediante un balance de masa simple para determinar eficiencia y pérdidas del proceso, según procedimiento y normativa vigente.</p> <p>1.4 Calcula la pureza mediante el cálculo de concentración del producto final, para determinar la eficiencia del proceso de acuerdo a normas y procedimientos vigentes.</p> <p>2.1 Calcula disolución del ácido a utilizar para determinar la cantidad que se agrega al material para llegar a la concentración necesaria del proceso de acuerdo al procedimiento de dilución.</p>
METODOLOGÍAS SELECCIONADAS	ABP: Aprendizaje basado en problemas
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	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Establece el problema a resolver, el que debe consistir en el cálculo de disolución de ácido débil que se agrega al material a lixiviar, esto respetando una concentración final deseada.</li> <li>› Para ello, define la concentración de la solución y materia prima a tratar.</li> <li>› Asimismo, define el problema a desarrollar para determinar eficiencia del proceso, y hacer los balances de masa respectivos.</li> <li>› Para ello, debe definir la materia prima que ingresa con su ley, eficiencia del proceso, emisiones, para que la o el estudiante determine la recuperación y pureza final.</li> </ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Computador e impresora.</li> <li>› Calculadora o <i>software</i> planilla de cálculo.</li> <li>› Proyector.</li> <li>› Elementos de protección y seguridad.</li> </ul>

7.



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>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Presenta a sus estudiantes el problema a desarrollar, explica los objetivos que se busca potenciar, cuáles son los cálculos a desarrollar y cómo se deben presentar los resultados.</li></ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Revisan el problema y realizan consultas si las hubiere. Asimismo, revisan el proceso para ver cuáles son las materias primas usadas, los procesos principales y datos relativos al cálculo de masa.</li><li>› Desarrollan los cálculos según los antecedentes presentados en la clase, y realizan los cálculos de disoluciones y balances de masa, para cálculo de recuperación.</li><li>› Revisan los cálculos efectuados y determinan si estos son valores coherentes y esperables según la información otorgada por el o la docente y otra que se disponga.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Computador e impresora.</li><li>› Calculadora o <i>software</i> planilla de cálculo.</li><li>› Proyector.</li></ul>
<b>CIERRE</b>	<p><b>Docente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Realiza un cierre de la actividad mediante plenario, recogiendo las opiniones de las y los estudiantes y entregando una retroalimentación general.</li></ul> <p><b>Estudiantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Presentan un informe formal escrito, con el desarrollo completo de ambos problemas, incluyendo los anexos como memoria de cálculo o planillas de cálculo utilizadas.</li><li>› Comparten sus opiniones y destacan los aspectos clave del proceso, mediante plenario.</li></ul> <p><b>Recursos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>› Computador e impresora.</li><li>› Calculadora o <i>software</i> planilla de cálculo.</li></ul>

## EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN

NOMBRE DEL MÓDULO	Técnicas de hidrometalurgia	
APRENDIZAJES ESPERADOS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE GENÉRICOS A EVALUAR
<p>1. Aplica técnicas de tratamiento de minerales solubles metálicos y no metálicos, aplicando principios de dilución, purificación y recuperación, de acuerdo a la normativa de seguridad y medioambiental vigente.</p> <p>2. Aplica técnicas de tratamiento de lixiviación utilizando materiales e insumos necesarios para el proceso de acuerdo a las normativas vigentes y cuidado del medio ambiente.</p>	<p><b>1.1</b> Lee el diagrama de flujo del proceso, trabaja en equipo y revisa los aspectos fundamentales del proceso y su operación para evitar los riesgos de acuerdo a normas vigentes.</p> <p><b>1.2</b> Calcula la disolución del mineral mediante el cálculo de reactivos químicos a aplicar para poder alcanzar las concentraciones finales de trabajo de acuerdo a los requerimientos del proceso.</p> <p><b>1.3</b> Calcula la recuperación del proceso mediante un balance de masa simple para determinar eficiencia y pérdidas del proceso, según procedimiento y normativa vigente.</p> <p><b>1.4</b> Calcula la pureza mediante el cálculo de concentración del producto final, para determinar la eficiencia del proceso de acuerdo a normas y procedimientos vigentes.</p> <p><b>2.1</b> Calcula disolución del ácido a utilizar para determinar la cantidad que se agrega al material para llegar a la concentración necesaria del proceso de acuerdo al procedimiento de dilución.</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 GENÉRICOS 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>
<b>Selección de cómo evaluar</b>		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN	INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN SELECCIONADOS	
<p>El o la estudiante desarrolla un problema de cálculo de disolución de ácido débil a agregar al proceso de lixiviación, en base a una concentración final deseada, determinando la recuperación del mineral y eficiencia.</p>	<p>Lista de cotejo que dé cuenta de los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>› Cálculo de diluciones en base a una concentración final definida.</li> <li>› Cálculo de material a agregar para recuperación final.</li> <li>› Balance de masa.</li> </ul>	

## BIBLIOGRAFÍA

**Arenas, A.** (1995). *Curso: Electro-obtención de cobre*. Antofagasta: Universidad Católica del Norte.

**Avendaño, C.** (2004). *Revisión de la lixiviación en pilas de minerales de cobre*. La Serena: LX Users Conference Chile.

**Beckel, J.** (2000). *El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile*. Santiago: Naciones Unidas.

**Cáceres, G.** (1992). *Hidrometalurgia y electrometalurgia: Curso de capacitación*. Copiapó: Universidad de Atacama.

**Cáceres, G.** (1996). *Extracción por solventes y electro-obtención. Curso de capacitación para operadores*. Copiapó: Universidad de Atacama.

**Domic, E.** (1995). *Revisión de los recientes proyectos chilenos de lixiviación de cobre. V Encuentro Minero de Tarapacá*. p. 293-307. Iquique: Universidad Arturo Prat.

**Domic, M. E. M.** (2001). *Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones*. Santiago de Chile: S. N.

**González, M.** (1994). *Curado-aglomeración-lixiviación: Curso de capacitación*. Copiapó: Universidad de Atacama.

**Reghezza, A.** (1987). *Aspectos tecnológicos de la lixiviación*. Concepción: Universidad de Concepción.

## Sitios web y enlaces recomendados

**Codelco Educa.** (2014). *Lixiviación en pilas, extracción por solvente y electroobtención: una cadena de tecnología moderna*. Recuperado de: [https://www.codelcoeduca.cl/procesos\\_productivos/escolares\\_lixiviacion.asp](https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_lixiviacion.asp)

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