

## PROGRAMA DE CURSO METALURGIA EXTRACTIVA

### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil de Minas (DIMIN)					
Nombre del curso	Metalurgia extractiva	Código	MI4135	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Extractive Metallurgy</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	MI3100: Química mineralógica, MI3230: Físicoquímica mineralógica, MI3235: Fenómenos de transporte					

### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes en el contexto de la metalurgia extractiva, identifiquen la ruta afín de obtención de metales, a partir de minerales que los contienen y resuelven problemas donde evalúan y estiman la eficiencia de procesos extractivos reales, así como del funcionamiento y la práctica operacional de equipos principales y plantean propuestas de mejora a aplicaciones de metalurgia, considerando fundamentos de termodinámica y cinética aplicada. Para ello, aplican fundamentos físicos y químicos a procesos metalúrgicos, considerando balances de masa y energía para la obtención de valiosos, considerando la estimación de capacidades de operaciones unitarias relevantes.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE2: Concebir, diseñar, optimizar e implementar soluciones científico-tecnológicas en explotación de yacimientos, procesamiento de minerales o metalurgia extractiva.

CE3: Diseñar operaciones y proyectos mineros, aplicando conocimientos de ingeniería y gestión.

CG6: Innovación

Concebir ideas viables y novedosas que generen valor para resolver necesidades latentes, materializadas en productos, servicios o en mejoras a procesos dentro de un sistema u organización, considerando el contexto sociocultural y económico y los beneficios para el usuario.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE2, CE3	RA1: Aplica fundamentos físico químicos a procesos metalúrgicos, en el contexto de la metalurgia extractiva, considerando balances de masa y energía, la ruta afín para la obtención de metales, a partir de minerales que los contienen.
CE3	RA2: Utiliza y construye diagramas o curvas para interpretar fenómenos termodinámicos y cinéticos, considerando la identificación de variables, el procesamiento y análisis de datos experimentales, así como el uso de modelos y teoría relacionadas.
CE2, CE3	RA3: Resuelve problemas donde se evalúa y estima la eficiencia de procesos extractivos reales el funcionamiento y práctica operacional de equipos principales (capacidades de operaciones unitarias), considerando fundamentos de termodinámica y cinética para plantear propuestas de mejora a aplicaciones en metalurgia.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG6	RA4: Analiza y utiliza tendencias innovadoras en metalurgia extractiva que facilitan la resolución de problemas afines, considerando criterios de innovación, componentes tecnológicas, así como herramientas de ingeniería.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2, RA3, RA4	Procesos pirometalúrgicos en el contexto de la metalurgia extractiva	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>1.1. Aspectos aplicados de termodinámica y cinética heterogénea en procesos de pirometalurgia, en el contexto del procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>1.2. Operaciones pirometalúrgicas (secado, tostación, fusión, conversión, refinación, moldeo, limpieza de escoria).</p> <p>1.3. Diagramas de flujo, balances de masa y dimensionamiento de procesos en pirometalurgia (por ejemplo, fundiciones de cobre y siderurgia).</p> <p>1.4. Tratamiento de gases en planta de ácido y procesos alternativos de tratamiento de escorias.</p> <p>1.5. Distribución de impurezas y su tratamiento.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relaciona los fundamentos termodinámicos y cinéticos con las operaciones unitarias, asociadas al negocio de fundición, con énfasis en la producción de cobre.</li> <li>2. Aplica conceptos de termodinámica y cinética para el dimensionamiento de equipos y el diseño prefactible del <i>layout</i> de fundición.</li> <li>3. Utiliza diagramas de flujo y balances de masa para el dimensionamiento de procesos en pirometalurgia (por ejemplo, fundiciones de cobre y siderurgia).</li> <li>4. Resuelve problemáticas de las distintas operaciones unitarias del negocio de fundición, en términos de sostenibilidad.</li> <li>5. Identifica e incorpora tendencias modernas en metalurgia extractiva para el análisis de operaciones en fundición, considerando criterios de innovación y componentes tecnológicas.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>Habashi. Biswas, Caps. 3, 4, 6, 8-12, 18. Copper. Hayes, Caps. 5 – 7</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA3	Procesos hidrometalúrgicos en el contexto de metalurgia extractiva	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Lixiviación: operaciones unitarias de lixiviación, química de lixiviación en la extracción de diferentes metales (cianuración, Zn, Co, U, Ni), lixiviación bacteriana.</p> <p>2.2. Procesos de separación y purificación de soluciones: extracción por solvente, intercambio iónico, adsorción, precipitación, cristalización.</p> <p>2.3. Aspectos aplicados de termodinámica y cinética heterogénea en procesos de hidrometalurgia.</p> <p>2.4. Diagramas de flujo y balances de masa de procesos en hidrometalurgia.</p>		<p>El/ la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifica y analiza procesos hidrometalúrgicos de lixiviación y tratamiento de soluciones.</li> <li>2. Procesa y analiza datos, a partir de la identificación de variables.</li> <li>3. Utiliza ecuaciones termodinámicas de equilibrio para calcular la viabilidad de un proceso hidrometalúrgico.</li> <li>4. Utiliza modelos de cinética heterogénea, como núcleo sin reaccionar para determinar las etapas que controlan la velocidad de un proceso de lixiviación.</li> <li>5. Elabora diagramas de flujo y, a partir de estos, estima balances de masa de circuitos convencionales de lixiviación de minerales.</li> <li>6. Determina y distingue el funcionamiento operacional de los equipos principales de hidrometalurgia, considerando fundamentos de termodinámica y cinética aplicada.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>Habashi. Copper. Domic.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA3, RA4	Electrometalurgia aplicada y evaluación de procesos con transferencia de carga	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Análisis de resultados asociados a la actividad química en solución. Análisis de seno de líquido/sólido. Absorción atómica, ICP-MS, Volumetría. Difracción de Rayos X, Análisis mineralógico automatizado, Análisis superficial de sólidos, Espectroscopía fotoelectrónica de rayos X.</p> <p>3.2. Electrometalurgia aplicada al procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</p> <p>3.3. Electroquímica.</p> <p>3.4. Ciencias de la corrosión.</p> <p>3.5. Corrosión atmosférica.</p> <p>3.6. Ingeniería de procesos superficiales con transferencia de carga.</p> <p>3.6.1. Electroplateado y electrocristalización.</p> <p>3.6.2. Electroquímica de aleaciones.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecciona la técnica de análisis químico apropiadas a los balances de masa para estimar la eficiencia en operaciones de procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.</li> <li>2. Calcula la eficiencia de derivadas, a partir de experimentos reales en metalurgia.</li> <li>3. Integra aspectos cinéticos electroquímicos al análisis de casos reales de proceso.</li> <li>4. Analiza diferentes vías de obtención de sustratos metálicos considerando la electrocristalización.</li> <li>5. Resuelve problemas donde analiza y estima la eficiencia de un proceso con transferencia de carga, considerando aspectos fisicoquímicos, electroquímicos y técnicas de análisis espectroscópicas y no espectroscópicas.</li> <li>6. Identifica y analiza tendencias innovadoras para la resolución de problemas de metalurgia extractiva para incorporarlas a una propuesta de solución considerando criterios de innovación y componentes tecnológicas.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>Habashi. Copper. Harris, 2010. Eliaz, 2019. Compton, 2011. Schlesinger, 2010. Watts, 2003. Cayunao, 2014.</p>	

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias de enseñanza:

- Clases expositivas.
- Resolución de problemas.
- Análisis de casos.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera las siguientes instancias de evaluación:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Controles</li> </ul>	Control 1 evalúa unidad 1 (RA1, RA2, RA3). Control 2 evalúa unidad 2 (RA1, RA2, RA3). Control 3 evalúa unidad 3 (RA1, RA2, RA3).
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ejercicios y/o tareas con reportes y/o elaboración de textos donde los y las estudiantes justifican los resultados obtenidos cuando corresponda</li> </ul>	Ejercicio 1 evalúa RA1, RA2, RA3, RA4 Ejercicio 2 evalúa RA1, RA2, RA3, RA4 Ejercicio 3 evalúa RA3, RA3, RA4.
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Examen final</li> </ul>	Evalúa RA1, RA2, RA3.

*Al inicio de cada semestre, el cuerpo académico informará sobre los tipos de evaluación, la cantidad y las ponderaciones correspondientes.*

### G. Recursos bibliográficos:

#### Bibliografía obligatoria:

- [1] Harris D.C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis*. 8th Ed., W.H. Freeman and Co., Clansy Marshall, Ch. 1,2, 3 17, 19, 20, 21.
- [2] Eliaz N., Gileadi E. (2019). *Physical Electrochemistry. Fundamentals, Techniques, and Applications*. Second, Completely Revised and Updated Ed., John Wiley & Sons Ltd., Ch. 14, 17, 18.
- [3] Compton R.G., Banks C.E. (2011). *Understanding Voltammetry*. 2<sup>nd</sup> Ed., Imperial College Press, Ch. 4 – 9.
- [4] Schlesinger M., Paunovic M. (2010) *Modern Electroplating*. 5<sup>th</sup> Ed., John Wiley & Sons Ltd., The Electrochemical Society Series, Ch. 1.
- [5] Watts J.F., Wolstenholme J. (2003). *An introduction to Surface Analysis by XPS and AES*. John Wiley & Sons Ltd., Ch. 1, 3.
- [6] Cayunao, B. (2014). Estudio comparativo de la activación de pirita en flotación de minerales a nivel industrial y de laboratorio usando la técnica de espectroscopía

fotoelectrónica de rayos X (XPS) [recurso electrónico]. Memoria de Ingeniero Civil Químico, Universidad de Chile.

- [7] Habashi, F. (1997). "Handbook of Extractive Metallurgy", Weinheim, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.  
[8] Domic, E. (2001). Hidrometalurgia: fundamentos, procesos y aplicaciones. 2001.

**Bibliografía complementaria:**

- [9] Biswas, A.K. & W. G (1993). Davenport, "Extractive Metallurgy of Copper", 3<sup>rd</sup> Ed., Pergamon Press, London, U.K., 1994.  
[10] Copper, J. (1999). "Pyrometallurgy, Leaching, Solvent Extraction and Electrowinning technology. SME Press.  
[11] Walsh, F (1993). A first course in Electrochemical Engineering, Alresford Press

**Otras bibliografías:**

- [12] Papers, memorias de ingeniero sobre lixiviación de arsénico, de concentrados de cobre y lixiviación de minerales sulfurados de cobre de baja ley, utilizando procesos del tipo Cuprochlor (2015).

**H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:**

Vigencia desde:	Primavera, 2023
Elaborado por:	Gonzalo Montes, Leandro Voisin, Humberto Estay
Validado por:	Validación académico par: Jacques Wiertz Validación CTD de Minas Ajustado post entrega de resultados del monitoreo (2 de agosto de 2023)
Revisado por:	Área de Gestión Curricular