

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, MI3110: Minería y sustentabilidad, 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.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

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
CG1	RA4: Produce textos breves y un reporte donde informa y justifica, respectivamente, resultados de problemas en metalurgia extractiva, así como la elaboración de una propuesta de mejora a una aplicación que considera procesos extractivos.
CG6	RA5: 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, RA5	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"> 1. Relaciona los fundamentos termodinámicos y cinéticos con las operaciones unitarias, asociadas al negocio de fundición, con énfasis en la producción de cobre. 2. Aplica conceptos de termodinámica y cinética para el dimensionamiento de equipos y el diseño prefactible del <i>layout</i> de fundición. 3. Utiliza diagramas de flujo y balances de masa para el dimensionamiento de procesos en pirometalurgia (por ejemplo, fundiciones de cobre y siderurgia). 4. Resuelve problemáticas de las distintas operaciones unitarias del negocio de fundición, en términos de sostenibilidad. 5. Identifica e incorpora tendencias modernas en metalurgia extractiva para el análisis de operaciones en fundición, considerando criterios de innovación y componentes tecnológicas. 6. Produce textos breves, donde justifica con argumentos los resultados de la aplicación de conceptos de termodinámica y cinética para el dimensionamiento asociado a fundiciones. 	
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, RA4	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"> 1. Identifica y analiza procesos hidrometalúrgicos de lixiviación y tratamiento de soluciones. 2. Procesa y analiza datos, a partir de la identificación de variables. 3. Utiliza ecuaciones termodinámicas de equilibrio para calcular la viabilidad de un proceso hidrometalúrgico. 4. Utiliza modelos de cinética heterogénea, como núcleo sin reaccionar para determinar las etapas que controlan la velocidad de un proceso de lixiviación. 5. Elabora diagramas de flujo y, a partir de estos, estima balances de masa de circuitos convencionales de lixiviación de minerales. 6. Determina y distingue el funcionamiento operacional de los equipos principales de hidrometalurgia, considerando fundamentos de termodinámica y cinética aplicada. 7. Justifica por escrito, mediante la elaboración de textos breves, los resultados de los cálculos y dimensionamiento de procesos hidrometalúrgicos. 	
Bibliografía de la unidad		Habashi. Copper. Domic.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5	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"> 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. 2. Calcula la eficiencia de derivadas, a partir de experimentos reales en metalurgia. 3. Integra aspectos cinéticos electroquímicos al análisis de casos reales de proceso. 4. Analiza diferentes vías de obtención de sustratos metálicos considerando la electrocristalización. 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. 6. Elabora una propuesta acotada sobre una aplicación de electrometalurgia que incorpore procesos iónicos y electródicos para mejorar la eficiencia del proceso. 7. 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. 8. Elabora un reporte donde informa los resultados de una propuesta de mejora a una aplicación que considera procesos extractivos y potenciales mejoras a la eficiencia del proceso. 	
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:

- Controles
 - Control 1 evalúa unidad 1.
 - Control 2 evalúa unidad 2.
 - Control 3 evalúa unidad 3.
- Ejercicios y/o tareas con reportes y/o elaboración de textos donde los y las estudiantes justifican los resultados obtenidos cuando corresponda.
- Examen.

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*. 2nd Ed., Imperial College Press, Ch. 4-9.
- (4) Schlesinger M., Paunovic M. (2010) *Modern Electroplating*. 5th 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", 3rd 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:

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:	Otoño, 2021
Elaborado por:	Gonzalo Montes, Leandro Voisin, Humberto Estay
Validado por:	Validación académico par: Jacques Wiertz Validación CTD de Minas
Revisado por:	Área de Gestión Curricular