

### PROGRAMA DE CURSO

Unidad Académica		Tipo de actividad curricular	
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas		Electivo de Formación Especializada	
Semestre	SCT	Horas de trabajo presencial	Horas de trabajo no presencial
Primavera	5	4	3,5
Nombre de la actividad curricular		Requisitos	
Química Minero Metalúrgica		Operaciones Unitarias II	
PROPÓSITO GENERAL DEL CURSO			
<p>El propósito de la asignatura en función del perfil profesional es entregar conocimientos y capacidades de análisis basándose en el conocimiento de los fundamentos de los procesos físicos y químicos que dan soporte a la industria minera, con especial énfasis los de la industria minera del cobre. Dentro de estos destacan los procesos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos y electrometalúrgicos.</p> <p>Durante el desarrollo de la asignatura se revisarán en detalle los procesos químicos: hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia involucrados en la industria minera con especial énfasis en la industria minera nacional.</p>			
RESULTADOS DE APRENDIZAJE			
<p>Los estudiantes a lo largo de este curso:</p> <p><b>RA1:</b> Explicar los procesos unitarios físicos y químicos de la industria minera para proponer mejoras a problemas que pueden presentarse en alguna de las etapas de procesamiento y obtención de metales.</p> <p><b>RA2:</b> Proponer procesos secuenciales para la obtención de un determinado metal con alto grado de pureza, basándose en el tipo de mineral.</p> <p><b>RA3:</b> Proponer metodologías de purificación y concentración de minerales para asegurar la calidad del producto metálico final.</p> <p><b>RA4:</b> Elaborar e Interpretar diagramas redox o potencial-pH para determinar la estabilidad de metales en distintas condiciones ambientales.</p> <p>Las competencias genéricas que se desarrollarán en este curso serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pensamiento crítico y reflexivo.</li> <li>• Actitud innovadora, ética y de aprendizaje continuo.</li> <li>• Comunicación, fundamentación, argumentación oral y escrita en base a fuentes, con uso de lenguaje formal.</li> </ul>			

RA a que contribuye la Unidad	Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
RA1	I	La Industria Minera	1
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a la industria minera en el mundo.</li> <li>• Los tipos de minerales más comunes y sus productos.</li> <li>• Se revisan los procesos químicos involucrados en la industria minera: Hidrometalurgia (Lixiviación, Extracción por Solventes, Flotación), Pirometalurgia y Electrometalurgia con especial énfasis en la industria minera nacional.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica el funcionamiento de la industria minera mundial y en particular la chilena.</li> <li>• Identifica la secuencia de procesamiento los procesos genéricos de: Lixiviación, Extracción por Solventes, Electro-obtención, Electro-refinación, Flotación, y/o Pirometalurgia, asociados a un determinado proceso productivo.</li> <li>• Diferencia la integración de los procesos: Lixiviación, Extracción por Solventes, Electro-obtención, Electro-refinación, Flotación, Pirometalurgia.</li> <li>• Determina la cantidad de producto final en relación a ley mineral, cantidad de material que se procesa y a la eficiencia de los procesos involucrados.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 1, capítulos 1 y 2.</p> <p>Bibliografía obligatoria 2, capítulos 1-5.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

RA a que contribuye la Unidad	Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
RA1-RA2	II	Hidrometalurgia - Lixiviación	3
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción.</li> <li>• Fundamentos Teóricos y Prácticos.</li> <li>• Tipos de Operación y Aplicaciones Industriales: Lixiviación en Pilas, Lixiviación por Agitación, Lixiviación Química y Curado Acido, Lixiviación Bacteriana, Lixiviación a Presión, Agentes Lixiviantes.</li> <li>• Métodos de Cálculo.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica el tipo de agente lixivante que se debe aplicar según el tipo de mineral que debe ser tratado.</li> <li>• Determina la cantidad de producto final en relación a ley mineral, cantidad de material que se procesa y a la eficiencia de los procesos involucrados.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 1, capítulo 11.</p> <p>Bibliografía obligatoria 2, capítulo 4.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p> <p>Bibliografía obligatoria 3, Part dos-Parte tres, capítulos 4-17.</p> <p>Bibliografía obligatoria 4, capítulos 1-4.</p> <p>Bibliografía obligatoria 5, capítulo 1.</p>

		Bibliografía obligatoria 7.
--	--	-----------------------------

RA a que contribuye la Unidad	Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
RA1-RA3	III	Hidrometalurgia - Extracción por Solventes	3
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a los Procesos de Extracción por Solventes: Procesamiento general mediante extracción por solventes, teoría de la extracción por solventes, equilibrio de extracción, obtención y tratamiento de datos de equilibrio, cinética de extracción, sistemas de extracción, coeficientes de extracción, efecto del pH, capacidad de carga del solvente, pH (1/2), scrubbing, stripping, sinergismo, curvas de distribución, diagramas de McCabe-Thiele.</li> <li>• Propiedades requeridas de los extractantes, tipos de extractantes: Mecanismo de extracción con Formación de Compuestos, extractantes ácidos fosfóricos y carboxílicos, extractantes Quelantes: LIX, Kelex, SME, acorga, mecanismo de extracción por asociación iónica, Mecanismo de Extracción mediante solvatación extractantes que contienen enlaces P-O, extractantes que contienen enlaces C-O, extractantes que contienen enlaces P-S.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica el desarrollo de la operación de extracción por solventes aplicada a la purificación de metales en fase acuosa.</li> <li>• Identifica qué aspectos químicos son considerados en las diferentes etapas de una operación de extracción por solventes.</li> <li>• Aplica los elementos relacionados con química inorgánica, química orgánica, química analítica y/o fisicoquímica en un determinado proceso de purificación de metales mediante extracción por solventes.</li> <li>• Selecciona los tipos de extractantes más adecuados y pH de trabajo requerido según el tipo de solución de lixiviación.</li> <li>• Calcula grados de pureza logrados mediante la técnica de extracción por solventes para determinadas soluciones de alimentación provenientes de la lixiviación de minerales.</li> <li>• Explica la técnica de purificación de metales mediante la extracción por solventes como una operación unitaria.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 1, capítulo 11.</p> <p>Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12-13.</p> <p>Bibliografía obligatoria 3, Parte cuatro, capítulo 21.</p> <p>Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1.</p> <p>Bibliografía obligatoria 5, capítulo 2.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diluyentes y Modificadores: Requerimientos generales, propiedades, diluyentes pesados, efecto de la composición del diluyente, elección del diluyente. Modificadores: formación de la tercera fase, modificadores más usados.</li> <li>• Fenómenos Físicoquímicos Asociados a Extracción por Solvente: dispersión y coalescencia, formación de emulsiones estables, tensión superficial, viscosidad, densidad, temperatura, efecto part. Sólidas, relación de Solubilidad. Extractante-diluyente-modificador, pérdida del solvente, estabilidad y degradación, volatilización, <i>entrainment</i>, formación de <i>crud</i>, muestreo y análisis.</li> </ul>		
---	--	--

RA a que contribuye la Unidad	Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
RA1-RA3	IV	Hidrometalurgia -Membranas Líquidas	1
<b>Contenidos</b>		<b>Indicadores de desempeño</b>	<b>Bibliografía por unidad</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a las membranas líquidas y su aplicación como alternativa a la Extracción por Solventes.</li> <li>• Sistemas de Operación.</li> <li>• Membranas líquidas surfactantes: Preparación de las membranas, fenómenos de transporte, estabilidad de las membranas.</li> <li>• Membranas Líquidas de Soporte Sólido: Preparación de las membranas, fenómenos de transporte, membranas del tipo Hollow Fiber, aplicaciones a nivel industrial.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecciona membranas adecuadas que permiten formar una membrana líquida estable.</li> <li>• Relaciona la similitud de las variables operacionales de una membrana líquida con las de una operación de extracción por solventes.</li> <li>• Describe la separación de metales desde fases acuosas hacia una membrana líquida.</li> <li>• Selecciona las variables que inciden en la formación y funcionamiento de una membrana líquida en la separación de metales.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 6, capítulo 5.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

RA a que contribuye la Unidad	Número	Módulo	Duración en Semanas
RA1-RA2-RA3	V	Hidrometalurgia - Flotación	2
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consideraciones Generales.</li> <li>• Fundamentos Teóricos, fases participantes: Líquida y Sólida.</li> <li>• Cinética de Flotación, colectores y tipos de minerales a flotar, agentes reguladores; pH, activadores, depresantes, dispersantes, floculantes, tecnología industrial y equipos de Flotación.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica las etapas de preparación de un mineral sulfurado.</li> <li>• Identifica los aspectos teóricos fisicoquímicos que inciden en la eficiencia de la operación de flotación de minerales.</li> <li>• Selecciona los reactivos necesarios en la aplicación de la técnica de flotación de minerales.</li> <li>• Determina cómo influyen los activadores de superficie, floculantes y pH de la fase acuosa en la operación de flotación.</li> <li>• Determina la cinética de una operación continua como la flotación de minerales.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 2, capítulo 4.</p> <p>Bibliografía obligatoria 3, Parte cinco, capítulo 22-24.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

RA a que contribuye la Unidad	Número	Módulo	Duración en Semanas
RA1-RA2	VI	Pirometalurgia	2
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesos Preparatorios: Secado, aglomeración, tostación, calcinación</li> <li>• Tostación de Sulfuros.</li> <li>• Procesos continuos de fusión.</li> <li>• Fusión reductora.</li> <li>• Fusión por clorinación.</li> <li>• Peletización y sinterización.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica las partes y funcionamiento de hornos convertidores y de reverbero.</li> <li>• Explica el funcionamiento del proceso de tostación de minerales sulfurados.</li> <li>• Identifica las etapas de preparación de un mineral sulfurado que será sometido a un horno de tostación.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 1, capítulos 2, 7-8.</p> <p>Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12-13.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción a metal líquido, metal gaseoso y metal fundición de metales no ferrosos.</li> <li>• Hornos convertidores y de reverbero.</li> <li>• Procesos de refinación.</li> <li>• Procesos de fabricación específica: Acero, Cementos, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Describe los procesos de fusión continua, reductora y por clorinación.</li> <li>• Describe la obtención de un producto peletizado y sinterizado.</li> <li>• Explica la obtención de un metal líquido, metal gaseoso y metal de fundición.</li> <li>• Describe un proceso de refinación mediante una operación pirometalúrgica.</li> <li>• Describe los procesos de fabricación de aceros y cementos.</li> </ul>	
--	--	--

RA a que contribuye la Unidad	Número	Módulo	Duración en Semanas
RA1-RA3	VII	Electrometalurgia	2
Contenidos	Indicadores de desempeño		Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoría de la electroquímica aplicada a la obtención de metales.</li> <li>• Electroganancia desde soluciones acuosa: Electrorefinación, procesos del Cu, Zn, Ni y otros metales no ferrosos, Al, Mg, electrólisis de sales fundidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explica el funcionamiento de la aplicación de los principios electroquímicos en la obtención de metales a partir de soluciones acuosas.</li> <li>• Explica el proceso de electroganancia en la obtención de metales.</li> <li>• Explica el proceso de electrorefinación en la obtención de metales.</li> <li>• Discrimina aquellos metales que pueden ser obtenidos por electroganancia en medio acuoso de aquellos que requieren medio sal fundida.</li> </ul>		<p>Bibliografía obligatoria 1, capítulo 10.</p> <p>Bibliografía obligatoria 2, capítulos 10-13.</p> <p>Bibliografía obligatoria 3: Parte cinco, capítulo 25.</p> <p>Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1.</p> <p>Bibliografía obligatoria 5, capítulo 3.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

RA a que contribuye la Unidad	Número	Módulo	Duración en Semanas
RA1–RA4	VIII	Diagramas de Pourbaix	1
Contenidos		Indicadores de desempeño	Bibliografía por unidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los diferentes tipos de diagramas de estabilidad termodinámica, basados en los potenciales redox, aplicados a especies minerales y metálicas.</li> <li>• Diagramas E-pH o Diagramas de Pourbaix: construcción e interpretación de la estabilidad de especies minerales, en especial frente a sistemas acuosos.</li> <li>• Aplicación de los Diagramas de Pourbaix en la interpretación de la corrosión de especies metálicas.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferencia y explica los distintos tipos de diagramas de estabilidad de especies basados en los potenciales redox.</li> <li>• Construye e interpreta diagramas de potencial-pH.</li> <li>• Explica la estabilidad de especies metálicas y el fenómeno de corrosión mediante la interpretación de los diagramas E-pH.</li> </ul>	<p>Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12.</p> <p>Bibliografía obligatoria 3, Parte uno, capítulo 3 y Parte tres, capítulo 12.</p> <p>Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1.</p> <p>Bibliografía obligatoria 7.</p>

Metodologías	Requisitos de Aprobación y Evaluaciones del Curso
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases expositivas.</li> <li>• Seminarios: <ul style="list-style-type: none"> <li>- El/la estudiante debe presentarse a los seminarios con el material de las búsquedas bibliográficas previamente seleccionadas y analizadas.</li> <li>-Trabajo de investigación bibliográfica sobre un tipo específico de industria minera, de acuerdo con la obtención de un determinado metal: El alumno debe elaborar un informe y realizar una exposición oral del tema investigado.</li> <li>-Análisis y discusión de un paper actual de extracción de metales por extracción por solventes o metodologías afines: Se trabaja en grupos de dos alumnos, donde deben realizar una exposición oral,</li> </ul> </li> </ul>	<p><u>Evaluaciones y Ponderaciones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos pruebas A: 30% cada una.</li> <li>• Dos trabajos de seminarios: 20% cada uno.</li> </ul> <p><u>Requisitos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asistencia 100% a los seminarios y mínimo un 80% a clases.</li> <li>- Realizar los dos trabajos de seminario.</li> <li>- El alumno que deba rendir examen, este tendrá una ponderación del 40% de la nota final.</li> </ul>

una discusión y crítica personal del paper asignado.	
<b>Bibliografía Obligatoria</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A. Ghosh, H. Shanker Ray, Principles of Extractive Metallurgy, Second Edition (1991), Wiley Eastern Ltd., New Delhi, India.</li> <li>2. J. D. Gilchrist, Extraction Metallurgy, Third Edition (1989), Pergamon Press, Oxford OX3 OBW, England.</li> <li>3. F. Habashi, A Textbook of Hydrometallurgy, (1993), Métallurgie Extractive Québec, Enc., Canada.</li> <li>4. C. K. Gupta, T. K. Mukherjee, Hydrometallurgy in Extraction Process, Volume I, (1990) CRC Press Inc., Florida, USA.</li> <li>5. C. K. Gupta, T. K. Mukherjee, Hydrometallurgy in Extraction Process, Volume II, (1990) CRC Press Inc., Florida, USA.</li> <li>6. J. Marchese, Membranas, Procesos con Membranas, (1995), Editorial Universitaria de San Luis de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina.</li> <li>7. Libros, Patentes y Publicaciones Científicas relativas a procesos de extracción, purificación y concentración de metales.</li> </ol>	
<b>Año de vigencia del programa:</b>	2022
<b>Profesor responsable:</b>	Carlos Basualto F.
<b>Validado por:</b>	CEC de Química