Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas
Universidad de Chile

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

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.

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.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes a lo largo de este curso:

RA1: 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.

RA2: Proponer procesos secuenciales para la obtención de un determinado metal con alto grado de pureza, basándose en el tipo de mineral.

RA3: Proponer metodologías de purificación y concentración de minerales para asegurar la calidad del producto metálico final.

RA4: Elaborar e Interpretar diagramas redox o potencial-pH para determinar la estabilidad de metales en distintas condiciones ambientales.

Las competencias genéricas que se desarrollarán en este curso serán:

- Pensamiento crítico y reflexivo.
- Actitud innovadora, ética y de aprendizaje continuo.
- Comunicación, fundamentación, argumentación oral y escrita en base a fuentes, con uso de lenguaje formal.

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**
• Introducción a la industria minera en el mundo. • Los tipos de minerales más comunes y sus productos. • 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.		• Explica el funcionamiento de la industria minera mundial y en particular la chilena. • 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. • Diferencia la integración de los procesos: Lixiviación, Extracción por Solventes, Electro-obtención, Electro-refinación, Flotación, Pirometalurgia. • 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.	Bibliografía obligatoria 1, capítulos 1 y 2. Bibliografía obligatoria 2, capítulos 1-5. Bibliografía obligatoria 7.

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**
• Introducción. • Fundamentos Teóricos y Prácticos. • Tipos de Operación y Aplicaciones Industriales: Lixiviación en Pilas, Lixiviación por Agitación, Lixiviación Química y Curado Acido, Lixiviación Bacteriana, Lixiviación a Presión, Agentes Lixiviantes. • Métodos de Cálculo.		• Identifica el tipo de agente lixiviante que se debe aplicar según el tipo de mineral que debe ser tratado. • 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.	Bibliografía obligatoria 1, capítulo 11. Bibliografía obligatoria 2, capítulo 4. Bibliografía obligatoria 7. Bibliografía obligatoria 3, Part dos-Parte tres, capítulos 4-17. Bibliografía obligatoria 4, capítulos 1-4. Bibliografía obligatoria 5, capítulo 1.

		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**
• 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. • 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.		• Explica el desarrollo de la operación de extracción por solventes aplicada a la purificación de metales en fase acuosa. • Identifica qué aspectos químicos son considerados en las diferentes etapas de una operación de extracción por solventes. • 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. • Selecciona los tipos de extractantes más adecuados y pH de trabajo requerido según el tipo de solución de lixiviación. • Calcula grados de pureza logrados mediante la técnica de extracción por solventes para determinadas soluciones de alimentación provenientes de la lixiviación de minerales. • Explica la técnica de purificación de metales mediante la extracción por solventes como una operación unitaria.	Bibliografía obligatoria 1, capítulo 11. Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12-13. Bibliografía obligatoria 3, Parte cuatro, capítulo 21. Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1. Bibliografía obligatoria 5, capítulo 2. Bibliografía obligatoria 7.

• 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. • Fenómenos Fisicoquímicos 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, *entrainment*, formación de *crud*, muestreo y análisis.		

RA a que contribuye la Unidad	**Número**	**Nombre de la Unidad**	**Duración en Semanas**
RA1-RA3	IV	Hidrometalurgia -Membranas Líquidas	1
Contenidos		**Indicadores de desempeño**	**Bibliografía por unidad**
• Introducción a las membranas líquidas y su aplicación como alternativa a la Extracción por Solventes. • Sistemas de Operación. • Membranas líquidas surfactantes: Preparación de las membranas, fenómenos de transporte, estabilidad de las membranas. • Membranas Líquidas de Soporte Sólido: Preparación de las membranas, fenómenos de transporte, membranas del tipo Hollow Fiber, aplicaciones a nivel industrial.		• Selecciona membranas adecuadas que permiten formar una membrana líquida estable. • Relaciona la similitud de las variables operacionales de una membrana líquida con las de una operación de extracción por solventes. • Describe la separación de metales desde fases acuosas hacía una membrana líquida. • Selecciona las variables que inciden en la formación y funcionamiento de una membrana líquida en la separación de metales.	Bibliografía obligatoria 6, capítulo 5. Bibliografía obligatoria 7.

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**
• Consideraciones Generales. • Fundamentos Teóricos, fases participantes: Líquida y Sólida. • Cinética de Flotación, colectores y tipos de minerales a flotar, agentes reguladores; pH, activadores, depresantes, dispersantes, floculantes, tecnología industrial y equipos de Flotación.		• Identifica las etapas de preparación de un mineral sulfurado. • Identifica los aspectos teóricos fisicoquímicos que inciden en la eficiencia de la operación de flotación de minerales. • Selecciona los reactivos necesarios en la aplicación de la técnica de flotación de minerales. • Determina cómo influyen los activadores de superficie, floculantes y pH de la fase acuosa en la operación de flotación. • Determina la cinética de una operación continua como la flotación de minerales.	Bibliografía obligatoria 2, capítulo 4. Bibliografía obligatoria 3, Parte cinco, capítulo 22-24. Bibliografía obligatoria 7.

RA a que contribuye la Unidad	Número	Módulo	Duración en Semanas
RA1-RA2	VI	Pirometalurgia	2
Contenidos		**Indicadores de desempeño**	**Bibliografía por unidad**
• Procesos Preparatorios: Secado, aglomeración, tostación, calcinación • Tostación de Sulfuros. • Procesos continuos de fusión. • Fusión reductora. • Fusión por clorinación. • Peletización y sinterización.		• Explica las partes y funcionamiento de hornos convertidores y de reverbero. • Explica el funcionamiento del proceso de tostación de minerales sulfurados. • Identifica las etapas de preparación de un mineral sulfurado que será sometido a un horno de tostación.	Bibliografía obligatoria 1, capítulos 2, 7-8. Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12-13. Bibliografía obligatoria 7.

• Reducción a metal líquido, metal gaseoso y metal fundición de metales no ferrosos. • Hornos convertidores y de reverbero. • Procesos de refinación. • Procesos de fabricación específica: Acero, Cementos, etc.	• Describe los procesos de fusión continua, reductora y por clorinación. • Describe la obtención de un producto peletizado y sinterizado. • Explica la obtención de un metal líquido, metal gaseoso y metal de fundición. • Describe un proceso de refinación mediante una operación pirometalúrgica. • Describe los procesos de fabricación de aceros y cementos.	

RA a que contribuye la Unidad	**Número**	**Módulo**	**Duración en Semanas**
RA1-RA3	VII	Electrometalurgia	2
Contenidos		**Indicadores de desempeño**	**Bibliografía por unidad**
• Teoría de la electroquímica aplicada a la obtención de metales. • Electroganancia desde soluciones acuosa: Electrorefinación, procesos del Cu, Zn, Ni y otros metales no ferrosos, Al, Mg, electrólisis de sales fundidas.		• Explica el funcionamiento de la aplicación de los principios electroquímicos en la obtención de metales a partir de soluciones acuosas. • Explica el proceso de electroganancia en la obtención de metales. • Explica el proceso de electrorefinación en la obtención de metales. • Discrimina aquellos metales que pueden ser obtenidos por electroganancia en medio acuoso de aquellos que requieren medio sal fundida.	Bibliografía obligatoria 1, capítulo 10. Bibliografía obligatoria 2, capítulos 10-13. Bibliografía obligatoria 3: Parte cinco, capítulo 25. Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1. Bibliografía obligatoria 5, capítulo 3. Bibliografía obligatoria 7.

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
• Los diferentes tipos de diagramas de estabilidad termodinámica, basados en los potenciales redox, aplicados a especies minerales y metálicas. • Diagramas E-pH o Diagramas de Pourbaix: construcción e interpretación de la estabilidad de especies minerales, en especial frente a sistemas acuosos. • Aplicación de los Diagramas de Pourbaix en la interpretación de la corrosión de especies metálicas.	• Diferencia y explica los distintos tipos de diagramas de estabilidad de especies basados en los potenciales redox. • Construye e interpreta diagramas de potencial-pH. • Explica la estabilidad de especies metálicas y el fenómeno de corrosión mediante la interpretación de los diagramas E-pH.	Bibliografía obligatoria 2, capítulos 12. Bibliografía obligatoria 3, Parte uno, capítulo 3 y Parte tres, capítulo 12. Bibliografía obligatoria 4, capítulo 1. Bibliografía obligatoria 7.

Metodologías	Requisitos de Aprobación y Evaluaciones del Curso
• Clases expositivas. • Seminarios: - El/la estudiante debe presentarse a los seminarios con el material de las búsquedas bibliográficas previamente seleccionadas y analizadas. -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. -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,	<u>Evaluaciones y Ponderaciones:</u> **Prueba A1 18%** **Prueba A2 18%** **seminario trabajo inv. Bibliog. 12%** **seminario papers 12%** **Examen 40%** <u>Requisitos:</u> - Asistencia 100% a los seminarios y mínimo un 80% a clases. - Realizar los dos trabajos de seminario. - El alumno que deba rendir examen, este tendrá una ponderación del 40% de la nota final.

una discusión y crítica personal del paper asignado.	

Bibliografía Obligatoria

1. A. Ghosh, H. Shanker Ray, Principles of Extractive Metallurgy, Second Edition (1991), Wiley Eastern Ltd., New Delhi, India.
2. J. D. Gilchrist, Extraction Metallurgy, Third Edition (1989), Pergamon Press, Oxford OX3 OBW, England.
3. F. Habashi, A Textbook of Hydrometallurgy, (1993), Métallurgie Extractive Québec, Enc., Canada.
4. C. K. Gupta, T. K. Mukherjee, Hydrometallurgy in Extraction Process, Volume I, (1990) CRC Press Inc., Florida, USA.
5. C. K. Gupta, T. K. Mukherjee, Hydrometallurgy in Extraction Process, Volume II, (1990) CRC Press Inc., Florida, USA.
6. J. Marchese, Membranas, Procesos con Membranas, (1995), Editorial Universitaria de San Luis de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina.
7. Libros, Patentes y Publicaciones Científicas relativas a procesos de extracción, purificación y concentración de metales.

Año de vigencia del programa:	2022
Profesor responsable:	Carlos Basualto F.
Validado por:	CEC de Química