

PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre			
MI5031	Procesos Hidro Metalúrgicos			
Nombre en Inglés				
Hydrometallurgical Processes				
SCT	Unidades Docentes	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de Trabajo Personal
6	10	3	2	5
Requisitos			Carácter del Curso	
MI5101 Ingeniería de Procesos Metalúrgicos			Opcional para carrera de Ingeniería Civil de Minas	
Resultados de Aprendizaje				
<p>El estudiante demuestra que:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Evalúa críticamente los resultados termodinámicos y cinéticos obtenidos por otros investigadores en el área hidrometalúrgica disponibles en artículos científicos y/o reportes para formular modificaciones a operaciones hidrometalúrgicas que involucren mejoras en la eficiencia de los procesos. 2. Analiza resultados de lixiviación en pilas y de extracción por solvente para determinar parámetros de diseño como caída de presión y capacidad de intercambio en operaciones hidrometalúrgicas mediante la formulación de balances de masa y energía. 3. Formula diseños innovadores en procesos hidrometalúrgicos y electrometalúrgicos, a nivel de laboratorio, planta piloto e industrial (scale-up) para mejorar el rendimiento de las operaciones y/o evaluación económica. 				
Metodología Docente			Evaluación General	
<p>Las estrategias metodológicas que se utilizan son:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Clases expositivas * Evaluaciones individuales y grupales * Búsqueda de literatura de artículos * Presentaciones de casos de estudio * Clases auxiliares 			<p>La evaluación queda determinada por la siguiente especificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • actividades en clase auxiliar (ejercicios) • tareas que podrán consistir en revisión bibliográfica, trabajo experimental o desarrollo de software • controles escritos • examen <p>La ponderación será definida por los docentes del curso.</p>	

Unidades Temáticas

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	Lixiviación química y bacteriana de minerales y concentrados de cobre.	4 semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>1.1 Fundamentos termodinámicos y cinéticos de la lixiviación química y bacteriana.</p> <p>1.2 Tipos de lixiviación, agentes lixiviantes, influencia de la presión y la temperatura.</p> <p>1.3 Modelos de lixiviación y su aplicación a minerales oxidados y a concentrados.</p> <p>1.4 Microorganismos, catálisis bacteriana, crecimiento y actividad bacteriana, inhibición y adaptación.</p> <p>1.5 Lixiviación in-situ, en botaderos, en bateas, en pilas y en reactores.</p> <p>1.6 Estudio de casos: lixiviación ácida en minerales de cobre en pilas; lixiviación bacteriana de minerales de cobre en pilas.</p>	<p>El estudiante demuestra que:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analiza fundamentos termodinámicos, cinéticos, biológicos y de materiales de los procesos de lixiviación química y bacteriana usados en la industria minera para determinar la viabilidad de un proceso de extracción de metales. 2. Formula las proyecciones de los conceptos estudiados hacia el análisis de la práctica industrial moderna y sus nuevas tendencias en problemas relacionados con procesos hidrometalúrgicos para implementar soluciones a las demandas actuales de la minería. 3. Analiza críticamente resultados reportados por investigadores en hidrometalurgia, vía lecturas de documentación sobre el estado del arte en el área, para canalizar esfuerzos hacia la aplicación del estado del arte de la extracción de metales en el mundo. 4. Analiza cinéticas de lixiviación de sistemas complejos para aplicar técnicas analíticas conocidas que involucran fenómenos fisicoquímicos que completan la descripción simple de modelos como núcleo sin reaccionar. 	<p>[Jergensen, cap. 1-6]</p> <p>[Biswas, cap. 1-19]</p> <p>[Domic, cap. 6-10]</p> <p>[Habashi, cap. 2-5]</p> <p>[Gupta, cap. 2-3]</p> <p>[Rossi, cap. 1-5]</p>

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	Diseño de operaciones hidrometalúrgicas	5 semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
2.1. Introducción a la Ingeniería de Procesos Metalúrgicos. 2.2. Balances de masa en circuitos metalúrgicos 2.3. Balances de energía en circuitos metalúrgicos 2.4. Dimensionamiento de equipos principales 2.5. Evaluación de equipos principales 2.6. Selección de equipos principales	El estudiante demuestra que: <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcula parámetros de diseño en lixiviación en pilas, para diseñar de manera innovativa operaciones industriales de extracción de metales. 2. Evalúa resultados de extracción por solvente para determinar el número de etapas de una operación de extracción por solvente considerando diferentes eficiencias. 3. Dimensiona, evalúa y selecciona equipos principales en procesos metalúrgicos para diseñar la magnitud de las operaciones en plantas 	[Hayes, cap. 1-5] [Instituto Tecnológico Geominero, cap. 1-4]

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	Tratamiento de aguas ácidas en la minería.	2 semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
<p>3.1 Introducción a la generación de aguas ácidas.</p> <p>3.2 Geoquímica, termodinámica y cinética</p> <p>3.3 Mecanismos de generación: etapas, factores hidrológicos, geológicos y mineros.</p> <p>3.4 Predicción: tests estáticos, confirmativos, cinéticos y modelación.</p> <p>3.5 Prevención: cubiertas y sellos, desulfuración, mezcla y aditivos, inhibición de bacterias.</p> <p>3.6 Control y remediación: migración de contaminantes, tratamiento de soluciones, bio remediación, estimación de costos.</p>	<p>El estudiante demuestra que:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Analiza, mediante lectura de artículos científicos y redacción de reportes, los mecanismos de generación de aguas ácidas en la industria del cobre. 2. Evalúa, mediante búsqueda bibliográfica, los microorganismos involucrados en la generación de aguas ácidas, su metabolismo y caracterización, para determinar las últimas tendencias en la aplicación de biotecnología a la extracción de metales. 3. Describe la utilidad de tests predictivos y los procesos de prevención, control y remediación de aguas ácidas para resolver problemas conceptuales propuestos. 	<p>[AMPL, cap. 1-8]</p> <p>[Plumlee, cap. 1-3]</p>

Número	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	Tratamiento de efluentes por tecnologías de membrana.	4 semanas
Contenidos	Resultados de Aprendizajes de la Unidad	Referencias a la Bibliografía
4.1 Introducción a las tecnologías de membrana 4.2 Principios de ingeniería de procesos en tecnologías de membrana 4.3 Fundamentos físico químicos de la diálisis, electro diálisis, electro hidrólisis y electro diálisis reactiva. 4.4 Diseño conceptual de celdas de recuperación de metales, ácido y agua por medio de electro diálisis, electro hidrólisis y electro diálisis reactiva.	El estudiante demuestra que: 1. Describe diversas tecnologías de membrana y su aplicación industrial en metalurgia extractiva para seleccionar, de acuerdo a criterios de ingeniería, qué metodología es requerida frente a un problema puntual. 2. Analiza críticamente los procesos de separación por medio de membranas para indicar fortalezas y debilidades en la aplicación de membranas a aguas residuales. 3. Interpreta, mediante lecturas y tareas, los fundamentos de la diálisis, electro diálisis, electro hidrólisis y electro diálisis reactiva, resolviendo ejemplos numéricos para identificar vías de mejoramiento en el procesamiento de efluentes y recuperación de metales, ácidos y agua. 4. Diseña las celdas de electro diálisis y electro hidrólisis para procesar efluentes y recuperar metales, ácidos y agua.	[Rajeshwar, cap. 1, 2, 5, 7, 8] [Walsh, cap. 6-9] [Goodridge, cap. 1, 4, 5]

Bibliografía General

- [AMPL]
 AMPL, Guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera, 1992.
- [Biswas]
 A K Biswas & W G Davenport, El cobre, metalurgia extractiva. Limusa, Mexico, 1993.
- [Domic]
 E Domic, Hidrometalurgia: fundamentos, procesos y aplicaciones, M. Andros Impresores Ltda., 2001.
- [Goodridge]
 F. Goodridge & K. Scout, Electrochemical Process Engineering, Plenum Press, 1995.
- [Gupta]
 C K Gupta & T K Mukherjee, Hydrometallurgy in extraction processes, CRC Press, 1990.
- [Habashi]
 F Habashi, Textbook of Hydrometallurgy, 2nd. Ed., Métallurgie Extractive Québec, 1999.
- [Hayes]
 P Hayes, Process principles in minerals & material production, Hayes Publ. Co., Brisbane, 1993.
- [Instituto Tecnológico Geominero]
 Instituto Tecnológico Geominero, Minería Química, Madrid, 1991.
- [Jergensen]
 G V Jergensen, Copper leaching, extraction & electrowinning technology, SME, 1997.
- [Plumlee]
 G S Plumlee, M J Logdson, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Soc. of Economic Geologists, 1999.
- [Rajeshwar]
 K Rajeshwar & J Ibáñez, Environmental Electrochemistry, Academic Press, 1997.
- [Rossi]
 G Rossi, Biohydrometallurgy, McGraw Hill, 1990.
- [Walsh]
 F Walsh, A first course in Electrochemical Engineering, ECC, 1993.

Vigencia desde:	Primavera 2011
Elaborado por:	Luis Cifuentes, Gonzalo Montes
Revisado por:	Gonzalo Montes Área de Desarrollo Docente (ADD)