



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Departamento: Minería
Area: Minería

(Programa del año 2021)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 02/04/2021 16:34:15)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
(OPTATIVA III) HIDROELECTROMETALURGIA	ING.EN MINAS	6/15	2021	1° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
MARCHEVSKY, NATALIA JUDITH	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
VIDAL TREBER, JUAN ANTONIO	Responsable de Práctico	A.1ra Simp	10 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
90 Hs	Hs	Hs	Hs	6 Hs

Tipificación	Periodo
C - Teoría con prácticas de aula	1° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
05/04/2021	08/07/2021	14	90

IV - Fundamentación

La inclusión de la asignatura Hidroelectrometalurgia, en el plan de estudio de la carrera Ingeniería en Minas se justifica dado que la obtención de metales de importancia comercial requiere cada vez más la necesidad de utilizar procesos químicos para separar los elementos de interés económico.

Cuando la recuperación de metales, desde una matriz rocosa, se produce por medio de reacciones químicas en solución acuosa, se define el campo de acción de la hidroelectrometalurgia. Esta disciplina involucra operaciones como la lixiviación, biolixiviación, adsorción con carbón activado, extracción por solventes, intercambio iónico, precipitación y electro deposición de metales. En la actualidad también se aprovechan microorganismos para la recuperación de metales a través de procesos bio-hidrometalúrgicos.

Generalmente la mena que se trata por procesos hidroelectrometalúrgicos requiere ser acondicionada granulométricamente a través de operaciones de trituración, molienda y clasificación, las cuales se aplican con anterioridad al ataque químico. La liberación de los minerales facilita el contacto entre la solución lixivante y los minerales; y en consecuencia la recuperación de los elementos de interés económico.

Las unidades a desarrollar en este programa están basadas en los contenidos mínimos del plan de estudio que se encuentra vigente para la carrera Ingeniería en Minas.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Conocer las etapas y operaciones hidrometalúrgicas involucradas en la obtención de metales.
Resolver ejercicios prácticos referentes a la materia.

Adquirir conocimientos mediante el análisis de casos reales o simulados.

VI - Contenidos

Unidad 1. Fundamentos de la hidrometalurgia

La importancia de los metales en las sociedades modernas. Metalurgia extractiva: opciones para la recuperación de metales. Etapas físico-químicas de la hidrometalurgia. Ventajas y desventajas relativas de la hidrometalurgia y la pirometalurgia.

Unidad 2. Contexto y práctica de la lixiviación

Formación y transformación de yacimientos de cobre porfídico. Ocurrencia del oro y opciones para su recuperación. Cinéticas de lixiviación de las especies mineralógicas. Los minerales de ganga en la lixiviación: efecto preg-robbing. El rol del hierro en los sistemas de lixiviación. Mecanismos de oxidación de los minerales sulfurados.

Unidad 3. Recuperación de oro y plata

Química del oro en medio acuoso. Lixiviación de oro y plata con diferentes agentes lixiviantes: cianuro, tiourea, entre otros. Métodos de lixiviación. Pretratamiento de menas refractarias a la lixiviación: biooxidación, oxidación presurizada, tostación, etc. Adsorción con carbón activado: etapas del proceso, mecanismos de adsorción, influencia de la química de la cianuración en la adsorción, equilibrio y cinética de la etapa de adsorción, procedimientos de descarga o elución del carbón, comparación de los métodos de elución disponibles, reactivación del carbón. Proceso de precipitación con metales: termodinámica, cinética, cementación de oro y plata desde soluciones de cianuro.

Unidad 4. Recuperación de cobre

Lixiviación de minerales oxidados de cobre en medio ácido y en medio amoniacal. Biolixiviación. Extracción por solventes (Proceso SX): Objetivos del proceso, características y clasificación de los reactivos orgánicos (extractante), características del diluyente, modificadores, factores de la solución acuosa que afectan el proceso, partes constitutivas esenciales del proceso y su aplicación. Precipitación por electrólisis: Definiciones y conceptos fundamentales, aplicación de la electrólisis para la recuperación de metales, con especial interés para el cobre.

Unidad 5. Obtención del aluminio

Flujograma para la obtención de aluminio. Proceso Bayer: Lixiviación de bauxita hasta la obtención de alúmina. Proceso Hall-Heroult.

Unidad 6. Obtención de uranio

Flujograma para la recuperación de uranio. Lixiviación ácida y alcalina, extracción por solventes e intercambio iónico, precipitación y secado.

Unidad 7. Aspectos sociales y ambientales

Aplicación de la hidrometalurgia en la sociedad. Implementación de técnicas y procesos hidrometalúrgicos en el reciclado de metales.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

Trabajo práctico N° 1 – Lixiviación

Trabajo práctico N° 2 – Adsorción con carbón activado

Trabajo práctico N° 3 – Intercambio iónico

Trabajo práctico N° 4 – Extracción por solventes

Trabajo práctico N° 5 – Precipitación con metales

Trabajo práctico N° 6 – Precipitación por electrólisis

Los trabajos prácticos versarán sobre dimensionamiento, interpretación de diagramas físico-químicos referidos a procesos hidrometalúrgicos, análisis de trabajos científicos, casos reales, etc.

Los trabajos prácticos que se describen son los básicos, eventualmente podrían agregarse algunos otros durante el cursado.

VIII - Regimen de Aprobación

Para regularizar se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos (correspondientes a dimensionamiento y cálculos) antes de finalizado el cuatrimestre y la aprobación de 2 (dos) parciales con una nota superior a 6 (seis).

Para promocionar se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos (correspondientes a dimensionamiento y cálculos) en los tiempos que la cátedra estipule, aprobación del 100% de los trabajos de evaluación continua que proponga la cátedra (cuestionarios, seminarios, trabajos de investigación, etc.) y la aprobación de 2 (dos) parciales con una nota superior a 8 (ocho), conseguidas en el parcial o en instancias de recuperación.

Recuperaciones: Se darán 2 (dos) recuperaciones para los parciales (una para cada parcial). Los alumnos que presenten certificado de trabajo podrán acceder a una recuperación más para alguno de los parciales que no haya aprobado.

Evaluación con examen final: podrá ser escrito u oral de acuerdo a la disposición de la cátedra para ese turno de mesa de examen. Previamente el alumno deberá presentar (o enviar por correo electrónico a los docentes de la cátedra) la carpeta con todos los trabajos prácticos realizados durante su cursada, resueltos.

Aprobación en condición libre: La semana previa a la mesa de examen, el alumno deberá presentar al tribunal examinador una carpeta con los ejercicios prácticos resueltos de cada uno de los temas desarrollados en clase (consultar con antelación a los docentes de la cátedra). Una vez superada esta instancia de evaluación, deberá aprobar un examen teórico en la modalidad escrito u oral de acuerdo a la disposición de la cátedra para ese turno de mesa de examen. La nota final de aprobación será el valor promedio conseguido en cada etapa de evaluación (práctico y teórico).

IX - Bibliografía Básica

- [1] Adams, M. D. (Ed.). (2016). Gold ore processing: project development and operations. Elsevier.
- [2] Domic, E., & Esteban, M. (2001). Hidrometalurgia: Fundamentos. Procesos y Aplicaciones, Santiago-Chile.
- [3] Free, M. L. (2013). Hydrometallurgy: fundamentals and applications. John Wiley & Sons
- [4] Havlík, T. (2014). Hydrometallurgy: Principles and applications. Elsevier.
- [5] Hore-Lacy, I. (Ed.). (2016). Uranium for nuclear power: Resources, mining and transformation to fuel.

X - Bibliografía Complementaria

- [1] Abud, J., Araya, L., & López, J. (2017). Caracterización del efluente en el proceso de transformación de bauxita a alúmina en la empresa Corporación Venezolana de Guayana–Bauxilum, Ciudad Guayana, Venezuela. I+ D Tecnológico, 13(2), 40-48.
- [2] Arce, V. A., Falcón, R. C., Santibañez, L. P., & Dávila, D. L. (2005). Refratariedad de Concentrados auríferos. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica, 8(16), 5-14.
- [3] Avendaño Varas, C. N., & Ramírez González, A. (1988). Aspectos constructivos de un sistema de lixiviación en pilas.
- [4] Brierley, C. L., & Brierley, J. A. (2013). Progress in bioleaching: part B: applications of microbial processes by the minerals industries. Applied microbiology and biotechnology, 97(17), 7543-7552.
- [5] Elomaa, H., Sinisalo, P., Rintala, L., Aromaa, J., & Lundström, M. (2020). Process simulation and gate-to-gate life cycle assessment of hydrometallurgical refractory gold concentrate processing. The International Journal of Life Cycle Assessment, 25(3), 456-477.
- [6] Del Barrio Martín, S., Orío, R. M., & Sánchez, A. (2019). El beneficio del oro en minerales refractarios de la Faja Pirítica. Boletín geológico y minero, 130(2), 341-359.
- [7] Frías, M. D. L. Á. F. (2019). Tratamiento de efluentes cianurados en una planta hidrometalúrgica de oro. INFOMIN, 6(1), 21-32.
- [8] Habashi, F. (2005). A short history of hydrometallurgy. Hydrometallurgy, 79(1-2), 15-22.
- [9] Kaksonen, A. H., Lakaniemi, A. M., & Tuovinen, O. H. (2020). Acid and ferric sulfate bioleaching of uranium ores: A review. Journal of Cleaner Production, 121586.
- [10] Kuusisto, R., Pekkala, P., & Karcas, G. J. (2005). Outokumpu SX EW technology package. In Third Southern African Base Metals Conference.
- [11] Li, H., Eksteen, J., & Oraby, E. (2018). Hydrometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives—A review. Resources, Conservation and Recycling, 139, 122-139.
- [12] López Sangil, J. L. (1995). Proceso electrolítico de obtención del aluminio.
- [13] Navarro, P., Jara, S., & Castillo, J. (2013). Problemas en la separación de fases en extracción por solvente de cobre. Revista Remetallica, (20).
- [14] Norgate, T. E., Jahanshahi, S., & Rankin, W. J. (2007). Assessing the environmental impact of metal production processes. Journal of Cleaner Production, 15(8-9), 838-848.
- [15] Olson, G. J., Brierley, J. A., & Brierley, C. L. (2003). Bioleaching review part B. Applied microbiology and

biotechnology, 63(3), 249-257.

[16] Ospina Correa, J. D., Osorno Bedoya, L., Giraldo Builes, J., Mejía Restrepo, E., & Márquez Godoy, M. A. (2011). Aplicaciones biotecnológicas en minería aurífera: Estado del arte sobre la oxidación bacteriana de arsenopirita (FeAsS).

[17] Rohwerder, T., Gehrke, T., Kinzler, K., & Sand, W. (2003). Bioleaching review part A. Applied microbiology and biotechnology, 63(3), 239-248.

[18] Sun, C. B., Zhang, X. L., Kou, J., & Xing, Y. (2020). A review of gold extraction using noncyanide lixiviants: Fundamentals, advancements, and challenges toward alkaline sulfur-containing leaching agents. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 27(4), 417-431.

[19] Watling, H. R. (2006). The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides—a review. Hydrometallurgy, 84(1-2), 81-108.

[20] Rawlings, D. E. (2007). Biomining (p. 314). D. B. Johnson (Ed.). Berlin: Springer.

[21] Zhao, Y., Zheng, Y., He, H., Sun, Z., & Li, A. (2021). Effective aluminum extraction using pressure leaching of bauxite reaction residue from coagulant industry and leaching kinetics study. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(2), 104770.

[22] Folletos y videos.

XI - Resumen de Objetivos

Conocer las etapas y operaciones hidrometalúrgicas involucradas en la obtención de metales.

XII - Resumen del Programa

Etapas y alcance de la hidroelectrometalurgia. Lixiviación, biolixiviación y biooxidación de minerales. Recuperación de metales por adsorción con carbón activado. Intercambio iónico con resinas sólidas. Extracción por solventes. Precipitación con metales. Precipitación por electrólisis.

XIII - Imprevistos

Ante la situación de pandemia causada por el virus COVID-19 es probable que puedan surgir imprevistos durante la cursada. El cuerpo docente se compromete a tratar de resolver los mismos para cumplir con el dictado de la asignatura en los términos previstos.

Las clases, el material de las distintas actividades y los trabajos prácticos se compartirán con los alumnos a través de la plataforma Classroom desarrollada para tal fin. Se prevé el uso de herramientas de comunicación (meet, etc.) que permitan encuentros sincrónicos con los estudiantes.

En función de la situación epidemiológica en que se encuentre la provincia en la fecha prevista para los parciales, los mismos se tomarán en forma presencial o virtual.

*Aclaración: el crédito horario semanal será de 6,4 h semanales. Esto se debe a que el cuatrimestre tendrá una duración de 14 semanas y el sistema no admite la utilización de decimales en el ítem III del presente programa.

XIV - Otros

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA	
	Profesor Responsable
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	