



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

(Programa del año 2023)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
() HIDROELECTROMETALURGIA	ING.EN MINAS	6/15	2023	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	JTP Exc	40 Hs

### III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
6 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
13/03/2023	23/06/2023	15	90

### IV - Fundamentación

La inclusión de la asignatura Hidroelectrometalurgia, en el plan de estudio de la carrera Ingeniería en Minas está justificada a partir de la temática especial que ella trata; a saber: operaciones de lixiviación, biolixiviación, adsorción con carbón activado, extracción por solventes, precipitación y electro deposición de los metales extraídos.

Los metales y minerales de importancia comercial se encuentran solo muy raras veces en el estado natural en formas y grados de purezas que su utilización práctica exige, pues, casi sin excepción están mezclados, con otros de diferente valor. Por tanto es necesario separarlos de estas sustancias desprovistas de valor a través de métodos físicos o procedimientos químicos.

Si el proceso de recuperación de componentes valiosos de la matriz rocosa se produce por medio de reacciones químicas en solución acuosa, se define entonces la hidrometalurgia. En la actualidad también se aprovechan microorganismos para producir esta separación a través de los procesos bio-hidrometalúrgicos.

Así es como, para llegar a estas etapas de concentración de los minerales y/o de recuperación de metales hace falta acondicionar o adecuar los minerales granulométricamente mediante trituración, clasificación y molienda, de una forma susceptible a ser atacado por las soluciones lixiviantes empleadas para cada caso.

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

### V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El objetivo es que los alumnos puedan conocer las etapas y procesos que hacen a la hidroelectrometalurgia; como así también la importancia que ha cobrado en los últimos años este campo de aplicación de la metalurgia extractiva. Asimismo se pretende que los alumnos puedan desarrollar cierto adiestramiento en la resolución de ejercicios prácticos referentes a la temática.

Resultado de aprendizaje

Comprender las etapas y procesos hidrometalúrgicos involucrados en la recuperación de metales (oro, plata, cobre, etc.)

## 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 - Tanques agitados

Trabajo práctico N° 2 - Adsorción

Trabajo práctico N° 3 - Lixiviación

Trabajo práctico N° 4 - Extracción por solventes

Trabajo práctico N° 5 - Electrodeposición

Los trabajos prácticos versarán sobre dimensionamiento, interpretación de diagramas 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 la asignatura se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos y la aprobación de un (1) parcial integrador con una nota superior a 6 (seis).

Importante: Para poder rendir el parcial, el alumno deberá tener aprobado el 70% de los trabajos prácticos de aula.

Para promocionar se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos y la aprobación de un (1) parcial integrador con una nota superior a 8 (ocho), conseguida en el parcial o en instancia de recuperación.

Recuperaciones: Se darán 2 (dos) recuperaciones para el parcial. Los alumnos que presenten certificado de trabajo podrán acceder a una recuperación más.

Evaluación con examen final: podrá ser escrito u oral de acuerdo a la disposición de la cátedra para ese turno de mesa de examen.

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 asignatura). Una vez superada esta instancia de evaluación, deberá aprobar un examen teórico en la modalidad escrito u oral de acuerdo a la disposición de los docentes del tribunal para ese turno de mesa de examen. La nota final de aprobación será ponderada entre el práctico (30%) y el examen teórico (70%).

## IX - Bibliografía Básica

[1] Domic, E. (2001). Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones. Chile, Andros Impresos.

[2] Free, M. L. (2013). Hydrometallurgy: fundamentals and applications. John Wiley & Sons.

[3] Habashi, F. (1980). Principles of extractive metallurgy (Vol. 2), 2nd Ed., CRC Press.

## 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). Refractoriedad 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., Orió, 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**

No se prevén, en caso que surjan el equipo docente tratará de resolverlos para no afectar el desarrollo de la asignatura.

## **XIV - Otros**

-