



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

**(Programa del año 2018)**

**I - Oferta Académica**

<b>Materia</b>	<b>Carrera</b>	<b>Plan</b>	<b>Año</b>	<b>Período</b>
(OPTATIVA III) HIDROELECTROMETALURGIA	ING.EN MINAS	6/15	2018	1° cuatrimestre

**II - Equipo Docente**

<b>Docente</b>	<b>Función</b>	<b>Cargo</b>	<b>Dedicación</b>
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**

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

<b>Tipificación</b>	<b>Periodo</b>
C - Teoría con prácticas de aula	1° Cuatrimestre

<b>Duración</b>			
<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Cantidad de Semanas</b>	<b>Cantidad de Horas</b>
12/03/2018	22/06/2018	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 purzas que su utilización práctica exige, pues, casi sin excepción están mezclados, con otros de diferente valor. Por tanto tenemos que proceder a 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 materia.

## **VI - Contenidos**

### **Unidad 1: Fundamentos de la hidrometalurgia**

Geología, explotación minera y metalurgia extractiva. Hidrometalurgia: una rama de la metalurgia extractiva. Campo de acción de la hidrometalurgia. Hidrometalurgia vs Pirometalurgia.

### **Unidad 2: Contexto y práctica de la lixiviación**

Formación de yacimientos y estado natural de los minerales. Influencia de las especies mineralógicas en la lixiviación. Importancia de las especies de la ganga en la lixiviación. Geoquímica del hierro. Geoquímica del ácido sulfúrico. Métodos de lixiviación (in situ, botaderos, pilas, bateas inundadas, agitación). Selección de un método de lixiviación.

### **Unidad 3: Lixiviación de metales**

Ocurrencia mineralógica del oro. Propiedades físicas del oro. Química del oro en medio acuoso. Lixiviación del oro y de la plata con cianuro. Lixiviación del oro y de la plata con tiourea. Recuperación de metales nobles del Grupo del Platino. Lixiviación de cobre y Níquel con Soluciones Amoniacales.

### **Unidad 4: Lixiviación de minerales oxidados**

Lixiviación de minerales oxidados en ausencia de Modificadores Redox. Lixiviación de minerales oxidados en presencia de agentes oxidantes. Lixiviación de minerales oxidados en presencia de agentes reductores. Sinopsis de la lixiviación de minerales oxidados.

### **Unidad 5: Lixiviación química de minerales sulfurados**

Manejo del azufre en la lixiviación de sulfuros. Lixiviación de especies sulfuradas en ausencia de oxidantes. Lixiviación de especies sulfuradas en ambiente oxidante. Uso de oxígeno como oxidante para la lixiviación de sulfuros. Uso de ácido sulfúrico concentrado para la lixiviación de sulfuros. Uso de ácido nítrico concentrado para la lixiviación de sulfuros. Uso de cloruro cúprico como oxidante para la lixiviación de sulfuros. Uso de cloro y de hipoclorito para la lixiviación de sulfuros. Síntesis de la lixiviación de minerales y concentrados sulfurados.

### **Unidad 6: Biolixiviación de minerales sulfurados**

Las bacterias y su acción sobre los minerales. Características principales de las bacterias mesófilas. Reacciones del ciclo natural de lixiviación de sulfuros. Aplicaciones industriales recientes de la biolixiviación. Biolixiviación aplicada a minerales sulfurados. Biolixiviación de concentrados en bio-reactores agitados.

### **Unidad 7: Adsorción con carbón activado – CA**

Primeras aplicaciones del CA en Hidrometalurgia. Obtención y propiedades del Carbón Activado. Etapas del proceso de carbón activado aplicado al oro y la plata.

Mecanismos de la etapa de carga del carbón o adsorción. Influencia de la química de la cianuración sobre la adsorción.

Equilibrio y cinética de la etapa de adsorción. Factores físicos y químicos que afectan la eficiencia de la adsorción.

Procedimientos de descarga o elución del carbón. Comparación de los métodos de elución disponibles. Factores físicos y químicos que afectan la eficiencia de la elución. Reactivación del carbón.

### **Unidad 8: Intercambio iónico con resinas sólidas – IX**

Aplicación del proceso de IX en hidrometalurgia. Principios generales del intercambio iónico. Preparación y variedad de resinas de intercambio iónico. Utilización de resinas en hidrometalurgia. Mecanismos y características de las resinas de intercambio iónico. Equilibrio y selectividad en la etapa de carga de la resina. Selectividad en la etapa de elución. Cinética del intercambio iónico con resinas sólidas. Operatoria del contacto de la resina de IX con la solución. Algunas aplicaciones de IX en hidrometalurgia.

### **Unidad 9: Extracción por solventes – SX**

Objetivos del proceso de EX. Características esenciales del reactivo extractante orgánico. Clasificación general de los reactivos orgánicos de SX. Características del diluyente para extracción por solvente. Modificadores. Características de la

solución acuosa que afectan al proceso de SX. Partes constitutivas esenciales del proceso de SX. Aplicación del proceso SX para la recuperación de cobre.

### **Unidad 10: Precipitación con metales**

Termodinámica del proceso de cementación. Cinética del proceso de cementación. Efecto de otras reacciones relevantes. Cementación de cobre con chatarra de hierro. Cementación de oro y plata desde soluciones de cianuro.

### **Unidad 11: Precipitación por electrólisis**

Primeras aplicaciones de la electricidad en la metalurgia extractiva. Definiciones y conceptos fundamentales. Procesos de electrodos. Aplicación de la electrólisis para la recuperación 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

## **VIII - Regimen de Aprobación**

Para regularizar se requiere el 80 % de asistencia a las clases teórico-prácticas, la aprobación del 100% de los trabajos prácticos y la aprobación de 3 (tres) parciales con una nota superior a 6 (seis).

Para promocionar se requiere el 80 % de asistencia a las clases teórico-prácticas, la aprobación del 100% de los trabajos prácticos, aprobación del 100% de los cuestionarios y seminarios de evaluación continua que se prevean durante el cursado de la materia y la aprobación de 3 (tres) parciales con una nota superior a 8 (ocho).

Recuperaciones: Se darán en total 3 (tres) recuperaciones para los parciales. Los alumnos que presenten certificado de trabajo podrán acceder a una recuperación más por cada parcial.

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 la carpeta completa de trabajos prácticos realizados en clase.

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

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

## **X - Bibliografía Complementaria**

[1] Habashi, F. (2005). A short history of hydrometallurgy. Hydrometallurgy, 79(1), 15-22.

[2] Biswas, A. K., & Davenport, W. G. (2013). Extractive Metallurgy of Copper: International Series on Materials Science and Technology (Vol. 20). Elsevier.

[3] Costa, M. C. (1997). Hydrometallurgy of gold: New perspectives and treatment of refractory sulphide ores. Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 63-72.

[4] Vera, M., Schippers, A., & Sand, W. (2013). Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation—part A. Applied microbiology and biotechnology, 97(17), 7529-7541.

- [5] Pradhan, N., Nathsarma, K. C., Rao, K. S., Sukla, L. B., & Mishra, B. K. (2008). Heap bioleaching of chalcopyrite: a review. *Minerals Engineering*, 21(5), 355-365.
- [6] Gamboa, G. V., Noyola, M. M., & Valdivieso, A. L. (2005). Fundamental considerations on the mechanisms of silver cementation onto zinc particles in the Merrill–Crowe process. *Journal of colloid and interface science*, 282(2), 408-414.
- [7] Abbruzzese, C., Fornari, P., Massidda, R., Veglio, F., & Ubaldini, S. (1995). Thiosulphate leaching for gold hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 39(1), 265-276.
- [8] Kondos, P. D., Deschenes, G., & Morrison, R. M. (1995). Process optimization studies in gold cyanidation. *Hydrometallurgy*, 39(1-3), 235-250.
- [9] McDougall, G. J., Hancock, R. D., Nicol, M. J., Wellington, O. L., & Copperthwaite, R. G. (1980). The mechanism of the adsorption of gold cyanide on activated carbon. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, 80(9), 344-356.

## **XI - Resumen de Objetivos**

Conocer los diferentes procesos de separación de minerales y etapas que hacen a la hidroelectrometalurgia. Lograr adiestramiento en la resolución de problemas referidos a la materia.

## **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. Si surgen se tratarán de resolver en la medida que ocurran.

## **XIV - Otros**