



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

**(Programa del año 2019)**

### 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	2019	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>
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>
13/03/2019	21/06/2019	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 trabajos de evaluación continua que proponga la cátedra (cuestionarios, seminarios, trabajos de investigación, etc.) y la aprobación de 3 (tres) parciales con una nota superior a 8 (ocho), conseguidas en el parcial o en instancias de recuperación.

Recuperaciones: Se darán 3 (tres) recuperaciones para los parciales. 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 la carpeta completa de trabajos prácticos realizados en clase (ya sea impresa o mediante la plataforma Moodle).

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] 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] Choate, W., & Green, J. (2016). Technoeconomic assessment of the carbothermic reduction process for aluminum production. In *Essential Readings in Light Metals* (pp. 1070-1075). Springer, Cham.
- [2] Ghorbani, Y., Becker, M., Mainza, A., Franzidis, J. P., & Petersen, J. (2011). Large particle effects in chemical/biochemical heap leach processes—a review. *Minerals Engineering*, 24(11), 1172-1184.
- [3] Habbache, N., Alane, N., Djerad, S., & Tifouti, L. (2009). Leaching of copper oxide with different acid solutions. *Chemical Engineering Journal*, 152(2-3), 503-508.
- [4] Havlík, T. (2014). *Hydrometallurgy: Principles and applications*. Elsevier.
- [5] Li, J., & Miller, J. D. (2006). A review of gold leaching in acid thiourea solutions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 27(3), 177-214.
- [6] Olson, G. J., Brierley, J. A., & Brierley, C. L. (2003). Bioleaching review part B. *Applied microbiology and biotechnology*, 63(3), 249-257.
- [7] Petersen, J. (2016). Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores—A brief overview. *Hydrometallurgy*, 165, 206-212.
- [8] Syed, S. (2012). Recovery of gold from secondary sources—a review. *Hydrometallurgy*, 115, 30-51.
- [9] Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E. Y., & Devenci, H. (2012). Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: hydrometallurgy in recycling. *Minerals engineering*, 25(1), 28-37.
- [10] 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.

## **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 hidrometalurgia.

## **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**