



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

(Programa del año 2008)  
 (Programa en trámite de aprobación)  
 (Presentado el 28/02/2008 10:10:27)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
HIDROELECTROMETALURGIA (OPTATIVA IV)	INGENIERIA EN MINERIA		2008	1° cuatrimestre
HIDROELECTROMETALURGIA	ING.EN MINAS	007/0 8	2008	1° cuatrimestre

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
DZIOBA, BLANCA ROSA	Prof. Responsable	P.Tit. Exc	40 Hs
AMAYA, EDGAR GILBERTO	Auxiliar de Práctico	A.1ra Semi	20 Hs

### III - Características del Curso

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

Tipificación	Periodo
	1° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas

### IV - Fundamentación

La inclusión de Hidroelectrometalurgia, en la currícula de la carrera de Ingeniería de Minas esta justificada a partir de la temática especial que ella trata, a saber, las operaciones de lixiviación de diferentes minerales, la biolixiviación de minerales, y la adsorción, 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 practica 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 los 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 granulométrica mente mediante la trituración, clasificación y molienda, de una forma susceptible a ser atacado por las soluciones lixiviantes empleadas para cada caso.

Hidroelectrometalurgia es una materia del quinto año de la Carrera de Ingeniería de Minas que se dicta en el primer cuatrimestre. Análisis y optimización de procesos es la correlativa inmediata posterior, y como correlativa inmediata anterior a tiene a Concentración de Minerales y Metalurgia Extractiva.

Las unidades temáticas a desarrollar están basadas en los contenidos mínimos de la materia.

## V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El objetivo general de esta materia, es proveer los medios necesarios para que los alumnos, puedan establecer y/o resolver los problemas de separación de los minerales por lixiviación y/o biolixiviación, y la recuperación de metales por absorción y/o adsorción, precipitación y electro deposición, teniendo en cuenta los criterios de procesos establecidos.

## VI - Contenidos

### 1. FUNDAMENTOS APLICADOS A LOS PROCESOS HIDROMETALURGICOS

Principales etapas de proceso de la metalurgia extractiva.

Estructura de los minerales: Estructura de enlaces metálico, iónicos, covalentes, mixtos

Características estructurales del agua: Estructura, ionización, constante dieléctrica. Solubilidad en el agua: Producto de solubilidad. Iones compartidos y formación de complejos.

Hidratación e hidrólisis. Ácidos y bases. Soluciones tampón.

Oxidación y Reducción: Potencial de electrodo, Procesos galvánicos, procesos electrolíticos.

Potencial de electrodo y cambio de energía libre. Compuestos de coordinación: Complejos, Quelatos. Precipitación.

### 2. TERMODINÁMICA APLICADA A LA HIDROMETALURGIA

**Importancia. Termodinámica de las disoluciones. Límites de estabilidad del agua.. Estabilidad de óxidos y carbonatos. Preparación de diagramas de estabilidad Eh y pH. Interpretación y uso de los diagramas de estabilidad Eh y pH: Análisis de la estabilidad del agua. Análisis de las reacciones metal / solución. Análisis de las reacciones óxido del metal / solución. Análisis de las reacciones sulfuro del metal / solución. Uso del diagrama Eh/pH del sistema Cu-O-S-H<sub>2</sub>O para la disolución de Cu<sub>2</sub>S. Reactivos modificadores del potencial (Eh).**

### 3. CINÉTICA QUÍMICA APLICADA A LA HIDROMETALURGIA

Importancia. Energía de activación. Velocidad de reacción. Reacciones heterogéneas y su etapa controlante. Factores que influyen sobre la cinética: Efecto del estado, de división del sólido, de la concentración del reactante, del grado de agitación, de la temperatura, de catalizadores y auto catálisis.

### 4. PRACTICA DE LA LIXIVIACION

Formación de los yacimientos y estado natural de los minerales. Influencia de las especies mineralógicas y de la ganga en la lixiviación: Influencia de la ganga en el consumo de ácido, en la cinética de la disolución, en el grado de penetración en las partículas.

Geoquímica del Hierro: Actuación del hierro en solución, oxidación del hierro en la disolución de minerales sulfurados, solubilidad de la jarosita y la regulación del Eh y pH.

Geoquímica del ácido sulfúrico.

Métodos de lixiviación: Lixiviación in situ, en botaderos, en pilas, en bateas inundadas, por agitación.

Selección de un método de lixiviación.

### 5. LIXIVIACION DE METALES

Lixiviación del oro y plata con cianuro: Ocurrencia mineralógica del oro. Química del oro en medio acuoso. Lixiviación del oro y la plata: Química del cianuro en medio acuoso. Disolución del oro en soluciones de cianuro. Interferencias de las impurezas. Síntesis del proceso de cianuración.

Lixiviación del oro y la plata con tiourea: antecedentes y ventajas. Reacciones principales y mecanismo de disolución. Condiciones de operación.

Recuperación de metales nobles del grupo del platino: Reacciones principales y mecanismo de disolución.

Lixiviación de Cobre y níquel con soluciones amoniacales. Reacciones principales y mecanismo de disolución.

### 6. LIXIVIACION DE MINERALES OXIDADOS

Lixiviación de minerales oxidados en ausencia de modificadores redox: Lixiviación, de bauxita con NaOH, Casiterita con sulfuro de sodio, minerales oxidados de cobre en medio ácido, de minerales oxidados de cobre en medio amoniacal, de minerales oxidados de cobre en medio cianuro, ácida de lateritas de níquel, de pirolusita y nódulos de manganeso, de óxidos de Zinc con ácido, de óxidos de Zinc en medio alcalino, de óxidos complejos.

Lixiviación de minerales oxidados en presencia de agentes oxidantes: Uranio. Procesamiento del uranio por lixiviación oxidante en medio ácido y en medio alcalino. Recuperación de subproductos del uranio.

Lixiviación de minerales oxidados en presencia de agentes reductores.

## 7. LIXIVIACION BACTERIANA

Las bacterias y su acción sobre los sulfuros.

Características principales de las bacterias mesófilas: Thiobacillus Ferrooxidans, Thiobacillus Thiooxidans, Leptospirillum ferrooxidans, nutrientes y tolerancia a la acumulación de iones

Reacciones del ciclo natural de lixiviación de sulfuros.

Aplicaciones industriales de la lixiviación bacteriana. Lixiviación bacteriana aplicada a minerales sulfurados. Lixiviación bacteriana aplicada a concentrados en birreactores.

## 8. CONCENTRACIÓN POR MEDIO DE ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO

Aplicaciones del carbón activado en hidrometalurgia. Obtención y propiedades. Carbón activado aplicado al oro y la plata. Mecanismo de la carga del carbón. 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 adsorción: Efecto Temperatura, eficiencia del mezclador, del tamaño de partícula del carbón, densidad de la pulpa, de la concentración de oro en la solución, de la concentración de cianuro, del pH, de fuerza iónica, de la concentración de otras sustancias.

Procedimiento de descarga o elusión del carbón. Métodos de elusión disponibles. Factores físicos y químicos que afectan la eficiencia de la elusión: Temperatura y presión, concentración de cianuro, fuerza iónica, pH, solventes orgánicos, velocidad de flujo del eluyente, concentración de oro en la solución eluyente, elusión de otros metales. Reactivación del carbón.

## VII - Plan de Trabajos Prácticos

Practico 1: Descripción de las etapas fundamentales de la hidrometalurgia. Desarrollo de un circuito de lixiviación de minerales oxidados.

practico 2: Acondicionamiento de un mineral aurífero para pruebas de lixiviación (curado con cianuro )

Practico 3: Lixiviación en columnas de precolación de un mineral aurífero.

Practico 4: Lixiviación de un mineral de oro por agitación.

## VIII - Regimen de Aprobación

PARA REGULARIZAR SE REQUIERE EL 80 % DE LA ASISTENCIA A LAS CLASES TEORICO PRACTICAS, LA APROBACIÓN DEL 100% DE LOS TRABAJOS PRACTICOS Y LA PRESENTACIÓN DE LA CARPETA DE T. PRACTICOS. POSTERIORMENTE LA EVALUACIÓN DEL EXAMEN FINAL.

## IX - Bibliografía Básica

[1] [1] 1. -Hidrometalurgia. Fundamentos, Procesos y Aplicaciones. Domic M., Esteban M. ISBN 956-291-083-0 Esteban Domic Mihovilovic, 2001.

[2] [2] 2. -Introducción al Procesamiento de Minerales - ERROL G. KELLY & DAVID J. SPOTTISWOOD, 1990.

[3] [3] 3. -Minería Química - Autores Varios, 1991.

[4] [4] 4. -Metalurgia Extractiva No Ferrosa - CHARLES BURROUGHS GILL, 1989.

[5] [5] 5. -The Chemistry of Gold Extration - JHON MARSDEN & IAIN HOUSE, 1991.

[6] [6] 6. -Hidrometalurgia Parte I y II - H. HAUNG, G. TWIDWEL & D. MILLER, Traducido por: LUIS M. CHIA AQUIJE & JUAN F. CHIA AQUIJE.

[7] [7] 7. -El Cobre, Metalurgia Extractiva - A. K. BISWAS & W. G. DAVENPORT, 1993.

[8] [

## X - Bibliografía Complementaria

[1] [1] .Cinética de los Procesos de la Metalurgia Extractiva - H. Y. SOHN & MILTON E. WADSWORTH, 1986.

[2] [2] . -Ingeniería de las Reacciones Químicas - O. LEVENSPIEL.

[3] [3] . -Biogeochemistry of Metals (Manual) - G. I. KARAVAIKO, G. ROSSI, A. D. AGATE, S. N. GROUDEV, Z. A.

### **XI - Resumen de Objetivos**

Entre los objetivos particulares podemos mencionar:

Hacer que los alumnos internalicen las relaciones conceptuales y procedimientos que se aplican en la hidrometalurgia.

Proveer los conocimientos necesarios para la elaboración de un circuito de concentración de minerales aplicando la hidrometalurgia.

Desarrollar en el estudiante el interés por la investigación y desarrollo de procesos mineros hidrometalúrgicos.

Brindar los conocimientos básicos del desarrollo sostenible y de la interacción Desarrollo Minero y Ambiente.

Al finalizar el curso se espera que el alumno logre y/o confirme destrezas que le permitan expresarse con propiedad utilizando términos de la Ciencia y la Técnica Minera y desarrollar una conducta que le permita participar en trabajos de equipo.-

### **XII - Resumen del Programa**

Contenidos mínimos: Lixiviación. Purificación de soluciones. Precipitación, procesos industriales. Procesos de tostación. Tratamiento de minerales mixtos. Electrometalurgia. Refinación de metales y electro obtención.

### **XIII - Imprevistos**

Dentro de los imprevistos que se pueden citar, que impiden el cumplimiento del cronogramas planificado, se encuentran fundamentalmente paros por parte de docentes y/o alumnos y permisos por enfermedad de ambos.

Más allá de lo señalado, dado las características del curso, es posible recuperar y concluir con el dictado del curso en cuestión.

### **XIV - Otros**

--

### **ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA**

<b>Profesor Responsable</b>	
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	