



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

(Programa del año 2005)  
 (Programa en trámite de aprobación)  
 (Presentado el 01/12/2005 18:20:14)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
HIDROELECTROMETALURGIA	ING. EN MINERIA	12/98	5	1c
OPTATIVA IV (HIDROELECTROMETALURGIA)	ING. EN MINAS	01/04	5	1c

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
---------	---------	-------	------------

### III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
60 Hs	40 Hs	10 Hs	10 Hs	4 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	1 Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
13/03/2005	17/06/2005	15	60

### 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 electrodeposición 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 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 biohidrometalúrgicos.

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

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/adsorción, precipitación y electrodeposición, teniendo en cuenta los criterios de procesos establecidos.

## VI - Contenidos

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

## 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 percolación de un mineral aurífero.

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

## VIII - Regimen de Aprobación

PARA PROMOCIONAR SE REQUIERE EL 100 % DE ASISTENCIA A LAS CLASES TEORICAS PRACTICAS, LA APROBACIÓN DEL 100 % DE LOS TRABAJOS PRACTICOS Y LA PRESENTACIÓN DE LA CARPETA DE T. PRACTICOS. LA APROBACIÓN DE LA TOTALIDAD DE LOS PARCIALES.

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. -Hidrometalurgia. Fundamentos, Procesos y Aplicaciones. Domic M., Esteban M. ISBN 956-291-083-0 Esteban Domic Mihovilovic, 2001.
- [2] 2. -Introducción al Procesamiento de Minerales - ERROL G. KELLY & DAVID J. SPOTTISWOOD, 1990.
- [3] 3. -Minería Química - Autores Varios, 1991.
- [4] 4. -Metalurgia Extractiva No Ferrosa - CHARLES BURROUGHS GILL, 1989.
- [5] 5. -The Chemistry of Gold Extration - JHON MARSDEN & IAIN HOUSE, 1991.
- [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. -El Cobre, Metalurgia Extractiva - A. K. BISWAS & W. G. DAVENPORT, 1993.
- [8] 8.

## X - Bibliografía Complementaria

- [1] .Cinética de los Procesos de la Metalurgia Extractiva - H. Y. SOHN & MILTON E. WADSWORTH, 1986.
- [2] . -Ingeniería de las Reacciones Químicas - O. LEVENSPIEL.
- [3] . -Biogeotechnology of Metals (Manual) - G. I. KARAVAIKO, G. ROSSI, A. D. AGATE, S. N. GROUDEV, Z. A. AVAKYAN, 1988.

## 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**

### **1. FUNDAMENTOS APLICADOS A LOS PROCESOS HIDROMETALÚRGICOS**

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 ala 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 mezclado, 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.

#### 9. RECUPERACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN POR ELECTROLISIS.

Precipitación por electrolisis. Proceso de electro-obtención (EW). Proceso de electro-refinación (ER). Naturaleza del electrolito. Electrolisis de sales fundidas. Aplicación de la electrolisis en metalurgia extractiva.

Definición y conceptos fundamentales: Leyes de Faraday. Eficiencia de corriente. Conductores metálicos. Electrolito y no-electrolitos. Migración y descarga de iones.

Sobrevoltaje. Agentes aditivos.

Potencial de electrodo y cambio de energía libre: Medición del potencial de electrodo estándar. Metales altamente reactivos, semi-reactivos y menos reactivos.

Procesos de electrodo: depositación de metales. Procesos con control difusional.

Aplicación de la electrolisis para la recuperación de metales: Sistemas de unidades eléctricas. Requerimientos energéticos.

Configuración de circuitos. Diseño y materiales para celdas electrolíticas. Eficiencias y densidades. Diseño y materiales de ánodos, de cátodos y manejo del producto. Aplicaciones del proceso EW y ER desde soluciones acuosas.

### **XIII - Imprevistos**

**ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA****Profesor Responsable**

Firma:

Aclaración:

Fecha: