



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

(Programa del año 2021)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 05/04/2021 11:12:46)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
HIDROMETALURGIA	TEC.PROC.MINER.	11/13	2021	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	A.1ra Simp	10 Hs

III - Características del Curso

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

Tipificación	Periodo
C - Teoría con prácticas de aula	1° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
05/04/2021	08/07/2021	15	60

IV - Fundamentación

La inclusión de la asignatura Hidrometalurgia, en el plan de estudio de la carrera Tecnicatura Universitaria en Procesamiento de Minerales se justifica dado que la obtención de metales de importancia comercial requiere cada vez más la necesidad de utilizar procesos químicos para separar los elementos de interés económico.

Cuando la recuperación de metales, desde una matriz rocosa, se produce por medio de reacciones químicas en solución acuosa, se define el campo de acción de la hidrometalurgia. Esta disciplina involucra operaciones como la lixiviación, biolixiviación, adsorción con carbón activado, extracción por solventes, intercambio iónico, precipitación y electro deposición de metales. En la actualidad también se aprovechan microorganismos para la recuperación de metales a través de procesos bio-hidrometalúrgicos.

Generalmente la mena que se trata por procesos hidrometalúrgicos requiere ser acondicionada granulométricamente a través de operaciones de trituración, molienda y clasificación, las cuales se aplican con anterioridad al ataque químico. La liberación de los minerales facilita el contacto entre la solución lixiviante y los minerales; y en consecuencia la recuperación de los elementos de interés económico.

Las unidades a desarrollar en este programa están basadas en los contenidos mínimos del plan de estudio que se encuentra vigente para la carrera Tecnicatura Universitaria en Procesamiento de Minerales.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El objetivo general de esta materia, es proveer los medios necesarios para que los alumnos, puedan conocer los procesos de separación de minerales y etapas que hacen a la hidrometalurgia. Visualizar la importancia actual que tiene la hidrometalurgia en la recuperación de metales.

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

TP N° 1- Fundamentos de la hidrometalurgia

1) Enumere las ventajas y desventajas relativas que tienen las principales disciplinas (Hidrometalurgia y pirometalurgia) de la metalurgia extractiva.

TP N° 2- Contexto y práctica de la lixiviación

1) Realizar una síntesis de los diferentes métodos de lixiviación asumiendo las diferencias en sus condiciones operacionales y de inversión.

2) Definir los principales parámetros que permiten la selección de un método de lixiviación determinado.

TP N° 3- Lixiviación de metales

1) Resumir los antecedentes sobre el proceso de cianuración en la obtención del oro y plata y los métodos de recuperación de sus soluciones.

2) Realizar un resumen que contenga los antecedentes principales y mecanismos de disolución de la lixiviación de oro y plata con tiourea.

TP N° 4- Lixiviación de minerales oxidados

1) Describir el proceso de lixiviación oxidante de minerales oxidados de uranio en medio ácido y alcalino, haciendo énfasis a los mecanismos de disolución.

TP N° 5- Lixiviación química de minerales sulfurados

1) Describa algunas de las aplicaciones que encuentran las sales férricas (como oxidante) para la lixiviación de sulfuros.

2) ¿En qué consiste el “curado ácido”? ¿A qué minerales se aplica?

TP N° 6- Biolixiviación de minerales sulfurados

1) Detalle qué funciones cumplen los microorganismos en los procesos de biolixiviación.

2) Describa las principales aplicaciones industriales que tienen estos procesos.

TP N°7- Adsorción con carbón activado – CA

1) Realizar un breve resumen de las aplicaciones del CA en la hidrometalurgia. Describir las diferentes etapas (carga, descarga y regeneración) involucradas en el proceso de CA aplicado a la recuperación de oro y plata a partir de soluciones cianuradas.

TP N°8- Intercambio iónico con resinas sólidas – IX

1) Mencione cuáles son las ventajas que potencialmente se obtienen al usar las resinas de intercambio.

2) Describa brevemente qué técnicas de contacto existen para la operatoria de estos sistemas (resina de IX con solución rica).

TP N°9- Extracción por solventes – SX

1) Detalle los principales objetivos del proceso de extracción por solventes.

2) Realice una representación gráfica de la capacidad de carga operacional efectiva que es posible obtener en la práctica con un reactivo determinado.

TP N°10- Precipitación con metales

1) ¿Qué es el proceso de cementación?

2) Describa el proceso de cementación de oro y plata desde soluciones cianuradas.

) Realice un diagrama esquemático de las principales etapas del proceso Merrill-Crowe.

TP N°11- Precipitación por electrólisis

1) Describa en qué consiste el proceso de electro-obtención (EW). ¿Qué metales se recuperan principalmente por esta vía?

2) Detalle en qué consiste el proceso de electro-refinación (ER).

VIII - Regimen de Aprobación

Para regularizar se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos y la aprobación de 2 (dos) parciales con una nota superior a 6 (seis).

Para promocionar se requiere la aprobación del 100% de los trabajos prácticos y la aprobación de 2 (dos) parciales con una nota superior a 8 (ocho).

Recuperaciones: Se darán en total 2 (dos) 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 haber presentado la carpeta completa de trabajos prácticos realizados en clase.

IX - Bibliografía Básica

[1] Ballester, A., Verdeja, L. F., & Sancho, J. (2000). Metalurgia extractiva: Fundamentos (tomo I).

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

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

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

- [5] Havlík, T. (2014). *Hydrometallurgy: Principles and applications*. Elsevier.
- [6] Hore-Lacy, I. (Ed.). (2016). *Uranium for nuclear power: Resources, mining and transformation to fuel*.
- [7] Sancho, J., González, L. F. V., & Ballester, A. (2000). *Metalurgia extractiva: Procesos de obtención. Síntesis (tomo II)*.

X - Bibliografía Complementaria

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Habashi, F. (2005). A short history of hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 79(1-2), 15-22.
- [4] 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.
- [5] Kuusisto, R., Pekkala, P., & Karcas, G. J. (2005). Outokumpu SX EW technology package. In *Third Southern African Base Metals Conference*.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Olson, G. J., Brierley, J. A., & Brierley, C. L. (2003). Bioleaching review part B. *Applied microbiology and biotechnology*, 63(3), 249-257.
- [9] Rohwerder, T., Gehrke, T., Kinzler, K., & Sand, W. (2003). Bioleaching review part A. *Applied microbiology and biotechnology*, 63(3), 239-248.
- [10] 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.
- [11] Watling, H. R. (2006). The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides—a review. *Hydrometallurgy*, 84(1-2), 81-108.
- [12] 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.
- [13] Folletos y videos.

XI - Resumen de Objetivos

Conocer los diferentes procesos de separación de minerales y etapas que hacen a la hidrometalurgia.

XII - Resumen del Programa

Separación de los minerales por lixiviación y/o biolixiviación. Termodinámica de los procesos. Recuperación de metales por absorción y/o adsorción, precipitación y electro deposición, teniendo en cuenta los criterios de procesos establecidos. Hidrometalurgia del oro, plata, uranio y cobre.

XIII - Imprevistos

Ante la situación de pandemia de COVID-19 es probable que puedan surgir imprevistos durante la cursada. El cuerpo docente se compromete a tratar de resolver los mismos para cumplir con el dictado de la asignatura en los términos previstos.

Las clases, el material de las distintas actividades y los trabajos prácticos se compartirán con los alumnos a través de la plataforma Classroom desarrollada para tal fin. Se prevé el uso de herramientas de comunicación (meet, etc.) que permitan encuentros sincrónicos con los estudiantes.

En función de la situación epidemiológica en que se encuentre la provincia en la fecha prevista para los parciales, los mismos se tomarán en forma presencial o virtual.

*Aclaración: el crédito horario semanal será de 4,3 h semanales. Esto se debe a que el cuatrimestre tendrá una duración de 14 semanas y el sistema no admite la utilización de decimales en el ítem III del presente programa.

XIV - Otros

--

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA	
	Profesor Responsable
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	