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

**(Programa del año 2016)**
**(Programa en trámite de aprobación)**
**(Presentado el 15/11/2016 23:00:48)**

## I - Oferta Académica

| Materia | Carrera | Plan | Año | Período |
|---|---|---|---|---|
| FUNDAMENTOS DE METALURGIA EXTRACTIVA | TEC.PROC.MINER. | 11/13 | 2016 | 2° cuatrimestre |
| (OPTATIVA II) FUNDAMENTOS QUIMICOS DE LA METALURGIA | ING.EN MINAS | 6/15 | 2016 | 2° cuatrimestre |

## II - Equipo Docente

| Docente | Función | Cargo | Dedicación |
|---|---|---|---|
| MARCHEVSKY, NATALIA JUDITH | Prof. Responsable | P.Adj Exc | 40 Hs |
| BARROSO QUIROGA, MARIA MARTHA | Responsable de Práctico | JTP Semi | 20 Hs |

## III - Características del Curso

| Credito Horario Semanal | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Teórico/Práctico** | **Teóricas** | **Prácticas de Aula** | **Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.** | **Total** |
| 6 Hs | Hs | Hs | Hs | 6 Hs |

| Tipificación | Periodo |
|---|---|
| C - Teoria con prácticas de aula | 2º Cuatrimestre |

| Duración | | | |
|---|---|---|---|
| **Desde** | **Hasta** | **Cantidad de Semanas** | **Cantidad de Horas** |
| 08/08/2016 | 18/11/2016 | 15 | 90 |

## IV - Fundamentación

La Metalurgia es una disciplina científico-tecnológica tradicionalmente dividida en dos partes: Metalurgia Física y Metalurgia Química o Extractiva.
La Metalurgia Física, dedicada al estudio y tratamiento de metales y aleaciones, se aborda en otras materias de la carrera de Ingeniería en Minas. La Metalurgia Extractiva, se ocupa de los procedimientos necesarios para obtener metales o alguno de sus compuestos a partir de distintos materiales (minerales, subproductos, residuos), y generalmente está desagregada en tres subáreas: la Hidrometalurgia, la Pirometalurgia y la Electrometalurgia.
El objeto de esta materia optativa específica es relevante en la formación de los graduados en Ingeniería en Minas, ya que comprende el estudio de los fundamentos físicoquímicos de las operaciones metalúrgicas para obtener metales, su refino y reciclado, y sirve de base para las dos asignaturas posteriores en esta rama de optativas: Hidroelectrometalurgia y Metalurgias Especiales.

COMPETENCIAS
• Competencias específicas de la asignatura
Conocimientos de Metalurgia Extractiva y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.
• Competencias genéricas/transversales:
Capacidad de análisis y síntesis

Comunicación oral y escrita en lengua propia
Comprensión oral y escrita de una lengua extranjera
Resolución de problemas
• Competencias personales
Capacidad crítica y autocrítica
Trabajo en equipo
Habilidades de trabajo en un equipo interdisciplinar
Habilidades para comunicarse con expertos en otros campos
Sensibilidad hacia temas medioambientales
Compromiso ético
• Competencias sistémicas
Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica
Capacidad de aprender
Adaptación a nuevas situaciones
Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
Habilidad de realizar trabajo autónomo

## V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Esta materia tiene como objeto proporcionar a los alumnos conocimientos generales de química aplicada a los procesos de la metalurgia extractiva, uniendo la formación científica y tecnológica con la dimensión práctica de los contenidos de la asignatura.

## VI - Contenidos

**Contenidos mínimos**

Fundamentos termodinámicos y cinéticos de los procesos extractivos: Diagramas de Ellingham y Richardson. Teoría de disoluciones. Actividades. Cinéticas de las reacciones heterogéneas. Electroquímica metalúrgica: Diagramas de potencial-pH. Pirometalurgia: tostación de sulfuros, reducción de óxidos. Escorias: Estructura y propiedades; diagramas de fases. Operaciones de fusión. Fusión reductora. Fusión a mata. Electrólisis ígnea. Metalotermia. Hidrometalurgia: Generalidades y fundamentos. Lixiviación química y bacteriana de minerales. Purificación y concentración: Precipitación, extracción por solvente y adsorción. Electrólisis. Afino de metales por vía seca, por vía húmeda y afino electroquímico.

**Programa extendido**

Unidad 1: Fundamentos termodinámicos de los procesos de extracción.
Definiciones. Trabajo. Calor. Primer principio de la termodinámica. Cambios de calor y trabajo en procesos reversibles. Entalpía. Capacidad calorífica. Cálculos de cambios de entalpía. Cambio de entalpía en las reacciones químicas. El segundo principio de la termodinámica. Combinación del primer y segundo principios de la termodinámica. La entropía como criterio de equilibrio. La energía libre. Algunas relaciones entre la energía libre y otras funciones termodinámicas. Variación de la energía libre con la presión y temperatura. La regla de las fases de Gibbs. Fuentes de datos termodinámicos.

**Unidad 2: Diagramas de Ellingham y Richardson.**

Introducción. Propiedades de una línea sencilla de un diagrama de Ellingham. Interpretación conjunta de dos o más líneas de un diagrama de Ellingham. Diagramas de Richardson. Desventajas de los diagramas de Richardson. Diagramas de Ellingham para diversos tipos de compuestos.

**Unidad 3: Teoría de disoluciones. Actividades.**

Introducción. Cantidades molares parciales. Ecuación de Gibbs-Duhem. La energía libre y la entropía molar parcial. Otras propiedades molares parciales. Mezcla de gases ideales. Fugacidad. Mezcla de gases reales. Fugacidad de sustancias condensadas. Actividad. Cantidades molares integrales. Método de determinación de cantidades molares parciales a partir de las cantidades integrales. Integración de la ecuación de Gibbs-Duhem. Disoluciones ideales y ley de Raoult. Disoluciones diluidas y ley de Henry. Determinación de la actividad por integración de la ecuación de Gibbs-Duhem. Desviaciones de la idealidad: cantidades termodinámicas de exceso. Disoluciones regulares.

**Unidad 4. Cinética de las reacciones heterogéneas.**

Procesos heterogéneos en metalurgia extractiva. Velocidad de reacción en sistemas heterogéneos. Etapas controlantes. Modelización en sistemas sólido-fluido. Sistemas multipartícula. Cinética electroquímica.

**Unidad 5. Electroquímica metalúrgica. Diagramas de potencial-pH.**
Tipos de conductores. Electrolitos. Conductancia iónica. Potenciales de electrodo. Potencial de electrodo y célula electroquímica. Potencial normal de electrodo. Mecanismo de la célula. Célula de concentración. Potenciales redox. Termodinámica de la célula. La ecuación de Nernst. Cálculo del potencial o fuerza electromotriz de la célula. Aplicaciones de la serie electroquímica. Electrólisis. Diagramas potencial-pH (Diagramas de Pourbaix).

**Unidad 6. Tostación de sulfuros.**
Introducción. Termodinámica de los procesos de tostación. Cinética de la tostación. Tostación en lecho fluido.

**Unidad 7. Reducción de óxidos. Sistema Carbono-oxígeno. Diagramas termodinámicos de reducción.**
Introducción. Sistema carbono-oxígeno. Utilidad de los diagramas de Ellingham en la reducción de los óxidos metálicos. Representación gráfica de equilibrios en el sistema metal-oxígeno-carbono y metal-oxígeno-hidrógeno. Otros agentes reductores. Aspectos cinéticos de las reacciones de reducción.

**Unidad 8. Escorias. Estructura y propiedades. Diagramas de fases.**
Introducción. Propiedades químicas. Propiedades físicas. Propiedades termodinámicas. Diagramas ternarios. Propiedades termodinámicas. Cálculo de actividades.

**Unidad 9. Operaciones de fusión. Fusión reductora. Fusión a mata.**
Atmósferas y tipo de hornos de fusión. Productividad y economía de combustible en las operaciones de fusión. Pérdida de metal en las escorias. Fusión de minerales en los hornos de cuba. Fusión de minerales en horno de reverbero. Fusión en el horno eléctrico de arco.

**Unidad 10. Electrólisis ígnea.**
Requisitos para la electrólisis de sales fundidas. Estructura de los baños electrolíticos. Series de potenciales en electrolitos fundidos. Relaciones termodinámicas. Actividad de las mezclas de sales fundidas. Modelo de Temkin. Tensión de electrólisis. Rendimiento de corriente. Ejemplos de procesos electrolíticos de sales fundidas.

**Unidad 11. Metalotermia.**
Principios fundamentales. Procesos de reducción.

**Unidad 12. Hidrometalurgia. Generalidades y fundamentos.**
Introducción. Hidrometalurgia: definición, ventajas y desventajas. Principios físico-químicos de los procesos hidrometalúrgicos.

**Unidad 13. Lixiviación. Puesta en contacto y reacciones químicas.**
Formación de yacimiento y estado natural de los minerales. Influencia de las especies mineralógicas en la lixiviación. Importancia de las especies de la ganga en la lixiviación: consumo ácido, cinética de disolución, grado de penetración. Métodos de lixiviación.

**Unidad 14. Lixiviación bacteriana.**
Introducción. Microorganismos. Mecanismo de actuación de las células y morfología. Mecanismo de actuación de los microorganismos. Factores que afectan a la actividad de los microorganismos. Factores que afectan a la actividad bacteriana durante la biolixiviación. Ventajas y desventajas de la biolixiviación. Aplicaciones industriales de la biolixiviación. Perspectivas de futuro para la biolixiviación.

**Unidad 15. Purificación y concentración.**
Introducción. Precipitación química de compuestos. Extracción con disolventes orgánicos. Cambio de ión utilizando resinas sólidas. Adsorción con carbón activado.

**Unidad 16. Precipitación. Electrólisis.**
Introducción. Cementación. Reducción con gases (hidrógeno). Electrólisis.

**Unidad 17. Afino de metales por vía seca y húmeda.**
Disoluciones diluidas. Ley de Henry. Parámetros de interacción. Energía libre asociable al cambio de estado de referencia. Disolución de gases en líquidos. Ley de Sievert. Procesos metalúrgicos de afino. Afino electrolítico del cobre. Afino electrolítico del níquel.

## VII - Plan de Trabajos Prácticos

Las clases teóricas consistirán en exposiciones orales de los aspectos más importantes del temario.
Las clases prácticas consistirán en la realización de diferentes prácticas de laboratorio que intenten aclarar los aspectos más importantes de los conocimientos teóricos expuestos y relacionados fundamentalmente con los métodos de extracción y afino de los metales a partir de sus menas minerales. También se contempla la resolución de problemas: los ejercicios propuestos deberán ser resueltos durante las clases prácticas.

Unidad 1: Fundamentos termodinámicos de los procesos de extracción.

Unidad 2: Diagramas de Ellingham y Richardson.

Unidad 3: Teoría de disoluciones. Actividades.

Unidad 4. Cinética de las reacciones heterogéneas.

Unidad 5. Electroquímica metalúrgica. Diagramas de potencial-pH.

Unidad 6. Tostación de sulfuros.

Unidad 7. Reducción de óxidos. Sistema Carbono-oxígeno. Diagramas termodinámicos de reducción.

Unidad 8. Escorias. Estructura y propiedades. Diagramas de fases.

Unidad 9. Operaciones de fusión. Fusión reductora. Fusión a mata.

Unidad 10. Electrólisis ígnea.

Unidad 11. Metalotermia.

Unidad 12. Hidrometalurgia. Generalidades y fundamentos.

Unidad 13. Lixiviación. Puesta en contacto y reacciones químicas.

Unidad 14. Lixiviación bacteriana.

Unidad 15. Purificación y concentración.

Unidad 16. Precipitación. Electrólisis.

Unidad 17. Afino de metales por vía seca y húmeda.

## VIII - Regimen de Aprobación

RÉGIMEN DE ALUMNO REGULAR
Para regularizar se requiere el 80% de la asistencia a las clases teórico-practicas, y la aprobación de 3 (tres) parciales con un mínimo del 70% correcto, cuyos temas serán distribuidos de la siguiente manera:
• 1° Parcial: Unidad 1- Unidad 5

• 2° Parcial: Unidad 6 – Unidad 11
• 3° Parcial: Unidad 12 – Unidad 18

Recuperaciones: se tendrán 2 (dos) recuperaciones por parcial.

Examen final: La modalidad es oral. Programa abierto sin extracción de bolillas, donde el alumno comienza a exponer un tema y luego el tribunal puede interrogarlo sobre cualquier otro tema del programa analítico.

REGIMEN DE ALUMNO LIBRE
Todo alumno que se presenta a rendir la asignatura en condición de libre deberá aprobar un examen escrito de temas de laboratorio y problemas, previo acuerdo con el tribunal, con la anticipación requerida según la reglamentación vigente antes del examen final correspondiente al alumno regular. Este examen escrito se considera aprobado cuando responda satisfactoriamente un 80% de lo solicitado. La aprobación de esta evaluación práctica sólo tendrá validez para el examen teórico final del turno de exámenes en el cual el alumno se inscribió, luego de esta fecha, en caso de no presentarse al oral, el examen escrito perderá validez.

## IX - Bibliografía Básica

**[1]** Metalurgia Extractiva (Vol. I): fundamentos. Antonio Ballester, Luis Felipe Verdeja, José Sancho (2000). Editorial Síntesis.
**[2]** Extractive Metallurgy 1: Basic Thermodynamics and Kinetics. Vignes, A. (2013). John Wiley & Sons.

## X - Bibliografia Complementaria

**[1]** Hidrometalurgia. Fundamentos, Procesos y Aplicaciones. Dómic M., Esteban Mihovilovic (2001). Andros Impresos.
**[2]** Introducción a la termodinámica en ingeniería química. Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (1989). McGraw-Hill.
**[3]** Handbook of Extractive Metallurgy. Habashi, F. (1997). Wiley-Vch.
**[4]** Transport phenomena in metallurgy. Geiger, G. H., & Poirier, D. R. (1973). Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass. 1973, 616 p.

## XI - Resumen de Objetivos

Proporcionar conocimientos generales de química aplicada a los procesos de la metalurgia extractiva

## XII - Resumen del Programa

Fundamentos termodinámicos y cinéticos de los procesos extractivos: Diagramas de Ellingham y Richardson. Teoría de disoluciones. Actividades. Cinéticas de las reacciones heterogéneas. Electroquímica metalúrgica: Diagramas de potencial-pH. Pirometalurgia: tostación de sulfuros, reducción de óxidos. Escorias: Estructura y propiedades; diagramas de fases. Operaciones de fusión. Fusión reductora. Fusión a mata. Electrólisis ígnea. Metalotermia. Hidrometalurgia: Generalidades y fundamentos. Lixiviación química y bacteriana de minerales. Purificación y concentración: Precipitación, extracción por solvente y adsorción. Electrólisis. Afino de metales por vía seca, por vía húmeda y afino electroquímico.

## XIII - Imprevistos

## XIV - Otros

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