



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

(Programa del año 2021)  
(Programa en trámite de aprobación)  
(Presentado el 17/08/2021 12:45:27)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
(OPTATIVA II) FUNDAMENTOS QUIMICOS DE LA METALURGIA	ING.EN MINAS	6/15	2021	2° cuatrimestre

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
BARROSO QUIROGA, MARIA MARTHA	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs

### III - Características del Curso

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

Tipificación	Periodo
C - Teoría con prácticas de aula	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
23/08/2021	26/11/2021	14	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).

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 y su refinado, y sirve de base para las dos asignaturas posteriores en esta rama de optativas: Hidroelectrometalurgia y Metalurgias Especiales.

### 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.

Las competencias que se desea que el estudiante adquiera durante su cursada, según la recomendación del Libro Competencias Genéricas del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de Argentina (CONFEDI), son las siguientes:

- Desarrollar COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS:

\* competencia 1: identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

\* competencia 4: utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería

- Adquirir **COMPETENCIAS SOCIALES, POLÍTICAS Y ACTITUDINALES**:

\* competencia 6: Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo;

\* competencia 7: Comunicarse con efectividad

\* competencia 8: Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.

\* competencia 9: Aprender en forma continua y autónoma.

## VI - Contenidos

### Metodología

Las clases teóricas consistirán en exposiciones orales de los aspectos más importantes del temario. Las clases prácticas consistirán en la realización de problemas y ejercicios prácticos a través de guías de aula y de laboratorio (usando herramientas virtuales), que intenten aclarar los aspectos más importantes de los conocimientos teóricos expuestos. El material usado para el dictado de las clases teóricas (Powerpoints), las guías de trabajos prácticos y de laboratorio se subirán a la plataforma del Google Classroom de la asignatura; así como también los links a los vídeos de las clases. El software de simulación de laboratorio químico ChemVLab 2.1.0 es un software de distribución gratuito, desarrollado colaborativamente por la Universidad de Carnegie Mellon (Pittsburgh, Pennsylvania) y la agencia WestEd, fundada por el Instituto de Educación de Ciencias (Departamento de Educación de Estados Unidos). También se usarán materiales complementarios virtuales para realizar ejercicios de construcción de diagramas termodinámicos.

### 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: Termodinámica de los procesos de extracción – Diagramas de Ellingham y Richardson

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. Diagramas de Ellingham y Richardson: 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 2: Teoría de disoluciones. Actividades. Diagrama de Kellogg

Introducción. Cantidades molares parciales. Ecuación de Gibbs-Duhem. Mezcla de gases ideales. Fugacidad. Actividad. Ley de Raoult. Ley de Henry. Diagrama de Kellogg.

#### Unidad 3. Cinética de las reacciones heterogéneas

Procesos heterogéneos en metalurgia extractiva. Velocidad de reacción en sistemas heterogéneos. Etapas controlantes.

#### Unidad 4. Electroquímica metalúrgica. Diagramas de potencial-pH.

Tipos de conductores. Electrolitos. Conductancia iónica. Potenciales de electrodo. Potencial de electrodo y celda electroquímica. Potencial normal de electrodo. Mecanismo de la celda. Celda de concentración. Potenciales redox.

Termodinámica de la celda. La ecuación de Nernst. Cálculo del potencial o fuerza electromotriz de la celda. Aplicaciones de la serie electroquímica. Electrólisis. Diagramas potencial-pH (Diagramas de Pourbaix).

#### **Unidad 5. Tostación de sulfuros.**

Termodinámica de los procesos de tostación. Cinética de la tostación. Tostación en lecho fluido.

#### **Unidad 6. Reducción de óxidos: aplicación de los diagramas de Ellingham.**

Reducción de óxidos. 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.

#### **Unidad 7. Escorias. Electrólisis ígnea. Purificación y concentración. Cementación. Electrólisis.**

Escorias: Propiedades químicas, físicas y termodinámicas. Diagramas ternarios.

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.

Purificación y concentración: Productos de solubilidad. Precipitación química de compuestos. Extracción con disolventes orgánicos. Cambio de ión utilizando resinas sólidas. Adsorción con carbón activado. Cementación. Electrólisis.

#### **Unidad 8. Afino de metales por vía seca y húmeda.**

Disoluciones diluidas. Ley de Henry. Energía libre asociable al cambio de estado de referencia. Disolución de gases en líquidos. Ley de Sievert. Procesos metalúrgicos de afino por: vía seca y vía húmeda.

## **VII - Plan de Trabajos Prácticos**

Trabajo Práctico N° 1: Termodinámica de los procesos de extracción – Diagramas de Ellingham y Richardson.

Trabajo Práctico N° 2: Teoría de disoluciones. Diagrama de Kellogg.

Trabajo Práctico N° 3. Cinética de las reacciones heterogéneas.

Trabajo Práctico N° 4. Electroquímica metalúrgica. Diagramas de potencial-pH. Reducción de óxidos.

Trabajo Práctico N° 5. Purificación y concentración.

Trabajo Práctico N° 6. Publicación científica. Lectura, análisis y comprensión de publicaciones científicas internacionales y nacionales referidas a la temática de la materia.

Materiales extra: Elaboración de materiales didácticos con experimentos químicos caseros relacionados a la materia, por parte de los alumnos.

## **VIII - Regimen de Aprobación**

### **RÉGIMEN DE ALUMNO REGULAR**

Para regularizar se requiere:

- el 80% de la asistencia a las clases virtuales, cuyos horarios serán preacordados con los estudiantes.
- la aprobación de 2 (dos) parciales con un mínimo del 70% correcto, cuyos temas serán distribuidos de la siguiente manera:
  - 1° Parcial: Unidad 1-4
  - 2° Parcial: Unidad 5-7

De la Unidad 8, se pedirá la elaboración de una monografía individual, que será evaluada y tendrá calificación numérica.

Recuperaciones: se tendrán 2 (dos) recuperaciones por parcial, según Ordenanza CS N° 32/14.

Se realizará un seguimiento y evaluación continua de los estudiantes mediante la presentación de cuestionarios y ejercicios prácticos. El estudiante deberá elaborar videos haciendo uso de herramientas tecnológicas, explicando experimentos caseros relacionados a la temática de la asignatura. Los mismos tienen carácter de obligatorio y deben ser presentados y aprobados en su totalidad previo a la instancia de evaluación correspondiente (parcial).

La presentación del material (informes de laboratorio, monografía y trabajos prácticos) se podrá hacer mediante la plataforma Google Classroom de la asignatura o al email del profesor responsable. El video del experimento casero se deberá subir a la

plataforma Youtube y compartir el vínculo por Classroom.

Examen final: La modalidad es oral (virtual o presencial). 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.

#### RÉGIMEN DE PROMOCIÓN

Para promocionar la materia se requiere:

- el 100% de asistencia a las clases virtuales, cuyos horarios serán preacordados con los estudiantes,
- el 100% de asistencia a las clases virtuales, y
- la aprobación de 2 (dos) parciales con un mínimo del 80% correcto, cuyos temas están distribuidos y especificados ulteriormente en el régimen de alumno regular.

Recuperaciones: se tendrán 2 (dos) recuperaciones por parcial, según Ordenanza CS N° 32/14.

Se realizará un seguimiento y evaluación continua de los estudiantes mediante la presentación de cuestionarios y ejercicios prácticos. El estudiante deberá elaborar videos haciendo uso de herramientas tecnológicas, explicando experimentos caseros relacionados a la temática de la asignatura. Los mismos tienen carácter de obligatorio y deben ser presentados y aprobados en su totalidad previo a la instancia de evaluación correspondiente (parcial) para alcanzar la condición de alumno por promoción.

La presentación del material (informes de laboratorio, monografía y trabajos prácticos) se podrá hacer mediante la plataforma Google Classroom de la asignatura o al email del profesor responsable. El video se deberá subir a la plataforma Youtube y compartir el vínculo por Classroom.

Al finalizar la materia deberán rendir y aprobar un coloquio integrador en forma oral, cuya nota será promediada con las obtenidas en las instancias previas de evaluación de la materia.

#### 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 - Bibliografía 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] Habashi, F. (1997). Handbook of extractive metallurgy. Wiley-VCH,.

[4] Chang, R. (2011). Fundamentos de química. Mexico-McGraw-Hill.

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

Esta materia tiene como objeto proporcionar a los alumnos conocimientos generales de química, fisicoquímica, termodinámica y cinética, aplicados a los procesos de la metalurgia extractiva.

## XII - Resumen del Programa

Unidad 1: Termodinámica de los procesos de extracción – Diagramas de Ellingham y Richardson

Unidad 2: Teoría de disoluciones. Diagrama de Kellogg.

Unidad 3. Cinética de las reacciones heterogéneas

Unidad 4. Electroquímica metalúrgica. Diagramas de Pourbaix.

Unidad 5. Tostación de sulfuros.

Unidad 6. Reducción de óxidos.

Unidad 7. Escorias. Electrólisis ígnea. Purificación y concentración. Cementación. Electrólisis.

Unidad 8. Afino de metales por vía seca y húmeda.

## XIII - Imprevistos

La situación sanitaria que atravesamos en el país y el mundo generó la necesidad de reajustar el Calendario Académico de la Universidad Nacional de San Luis, por ello, a los efectos de que se impartan todos los contenidos y se respete el crédito horario establecido en el Plan de estudios de la carrera para esta asignatura, se establece que se de como máximo 6.5 horas por semana distribuidas en teorías, prácticos de aula, realización de ejercicios en laboratorios virtuales, y consultas, hasta completar las 90hs.

La metodología de la asignatura posee las siguientes características, que hacen factible el dictado completo de su contenido en el tiempo estipulado:

- El dictado de las clases teóricas puede realizarse mediante videoconferencias en plataformas virtuales apoyadas con TIC, y las clases quedan grabadas para ser accesibles en cualquier momento;
- Los prácticos se realizan individualmente, y se puede brindar ayuda mediante consultas por videoconferencias, o mediante videos subidos también a la plataforma;
- Los laboratorios se realizan usando simulaciones en un software de laboratorio químico virtual, que cada estudiante puede instalar en su computadora.

## XIV - Otros

--

### ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA

**Profesor Responsable**

Firma:

Aclaración:

Fecha: