



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

(Programa del año 2025)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
() PROYECTO METALURGICO	ING.EN MINAS	6/15	2025	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ROMANO, EDUARDO ANTONIO	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
ACUÑA, VICTOR GUSTAVO	Prof. Co-Responsable	P.Adj Exc	40 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
6 Hs	2 Hs	4 Hs	0 Hs	6 Hs

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

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
04/08/2025	14/11/2025	15	90

IV - Fundamentación

La modalidad de la materia será en forma presencial y se utilizarán para el dictado de las clases herramientas digitales. La inclusión de proyecto metalúrgico en la curricula de la carrera de ingeniería en Minas está justificada a partir de la temática especial que ella trata, a saber, el diseño y cálculo de los equipos y aparatos que se utilizan en la separación y concentración de minerales pero en forma integrada y responde al flujograma de ingeniería con los balances de masa, aguas y metalúrgicos. Los metales y minerales de importancia comercial se encuentran muy rara vez en estado natural en forma y grados de pureza que su utilización práctica exige, pues casi sin excepción están mezclados con otros de diferente valor. Por lo tanto tenemos que proceder a separarlos de estas sustancias desprovistas de valor a través de métodos físicos o procedimientos químicos. Aprovechando las características y propiedades de los minerales se desarrollaron diferentes métodos de separación y concentración los cuales deben ser asistidos por equipos y maquinarias específicas.

El uso de las propiedades físicas para efectuar la separación define diferentes procesos de concentración como por ejemplo la separación magnética, electrostática, separación por medios densos entre otros.

El uso de las propiedades físico químicas define los procesos de flotación.

Si el proceso de recuperación de la mena se produce por reacciones químicas en solución acuosa, se define entonces como 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 o recuperación de metales hace falta acondicionar o adecuar los minerales granulométricamente mediante la trituración, clasificación y molienda. Hay que distribuirlos (cañerías y tubos), clasificarlos (hidrociclones, clasificadores espiral) y transportarlos en forma de pulpa (Bombas), concentrarlos y realizar las operaciones de separación sólido- líquido (Espesadores y filtros).

Proyecto metalúrgico es una materia de quinto año de la carrera de Ingeniería en minas que se dicta en el segundo cuatrimestre . No tiene correlativas inmediatas posteriores , y como correlativa inmediata anterior tiene que tener regularizada planta de tratamiento de minerales.

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

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Objetivo general: Hacer que los alumnos internalicen las relaciones conceptuales y procedimientos que se aplican en el procesamiento de minerales en forma integrada. Proveen los conocimientos necesarios para la elaboración de un circuito de concentración de minerales, elaboración de flujogramas de ingeniería desde el punto técnico, balances de masa, metalúrgico y de aguas, además realizar el análisis económico y financiero del mismo con su respectiva viabilidad, entendiendo en la parte final si el proyecto queda aprobado o no .

Objetivos Particulares:

Al finalizar la asignatura, los y las estudiantes serán capaces de:

- Interpretar cualquier diagrama de flujo según el mineral al que se encuentra referenciado, y dimensionarlo si fuera el caso para cualquier mineral con características de mercado.
- Describir y analizar las etapas de las diferentes operaciones unitarias que integran un Flow sheet de una planta de Procesamiento de minerales.
- Dimensionar conforme balance de masa, los equipos que integran un flow sheet de Planta de tratamientos de minerales y darles un modelo de catálogo real.
- Manejar e interpretar diversos catálogos, para la selección de equipos de procesamiento de mineral y su respectivo léxico técnico.
- Entender y calcular el balance metalúrgico de una planta de procesamiento en conjunto midiendo su eficiencia.
- Calcular los valores económicos de equipos de procesamiento de mineral actualizados a través de índices económicos.
- Reconocer y calcular, costos directos, indirectos y de capital de las operaciones unitarias y equipos auxiliares, más los respectivos impuestos que afectan la actividad minera en su conjunto.
- Investigar y tomar como referencia a la fecha, los precios de los respectivos minerales que afecten a proyecto según valores de mercado internacional, como ingreso de dicha actividad.
- Realizar el análisis de Cash Flow de proyecto tomando en cuenta egresos e ingresos del proyecto, para luego en base a este analizar la viabilidad del proyecto a través de dos indicadores la VAN vs TIR.
- Aprender a confeccionar un informe de proyecto por escrito que referencie la parte técnica, económica y financiera simulando un caso real, como para que lo viesen conjuntos de inversores en la respectiva toma de decisión de la aprobación o no del proyecto.

Ejes transversales, su abordaje y evaluación

EJE N°1: Diseño, cálculo, evaluación, gerenciamiento y planificación de las etapas de exploración, explotación, procesamiento de minerales y derivados, voladura y movimiento de rocas en operaciones mineras y civiles.

Nivel alto: En este nivel avanzado, los estudiantes están preparados para realizar investigaciones independientes y contribuir al desarrollo de nuevas técnicas, tecnologías y metodologías en el campo de la ingeniería de minas. Se espera que demuestren un dominio completo de los principios y prácticas relacionadas con el diseño, cálculo, evaluación, gerenciamiento y planificación de las operaciones mineras y civiles, así como la capacidad de liderar proyectos innovadores en este ámbito.

Competencias Esperadas: a). Realizar investigaciones originales en áreas específicas de la ingeniería de minas, generando conocimiento nuevo y relevante para el campo. b) Comunicar de manera efectiva los resultados de la investigación

EJE N°3: Proyecto, dirección, supervisión, gerenciamiento y control de la construcción, operación y mantenimiento de las obras de exploración, explotación, procesamiento de minerales y derivados, voladura y movimiento de rocas en operaciones mineras y civiles

Nivel Alto: En este nivel , los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos en el nivel anterior para realizar tareas más específicas relacionadas con la dirección, supervisión, gerenciamiento de plantas de procesamiento de minerales. Se espera que sean capaces de planificar, ejecutar, gestionar recursos de manera eficiente y asegurar el cumplimiento de estándares de calidad. Además, comienzan a desarrollar habilidades de liderazgo y toma de decisiones en este nivel. Competencias Esperadas: a) planificar y ejecutar, dimensionamiento y diseño de plantas de procesamiento de minerales, considerando aspectos técnicos, económicos-Financiero, sociales y ambientales. b) Gerenciar recursos humanos, financieros y materiales de manera eficiente y efectiva. c) Evaluar y mitigar riesgos asociados a las operaciones de procesamiento de minerales, aplicando medidas preventivas y correctivas según sea necesario.

EJE N°6: Identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería en minas.

Nivel Alto: En este nivel, los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos en el nivel anterior para abordar problemas más complejos y específicos en el campo de la ingeniería en minas. Se espera que sean capaces de analizar problemas multidisciplinarios, diseñan una planta de proceso según un mineral a establecer y evalúan su viabilidad técnica, económica, financiera y ambiental. Además, comienzan a desarrollar habilidades de trabajo en equipo y comunicación técnica en este nivel. Competencias Esperadas: a) Analizar problemas de ingeniería en minas desde una perspectiva multidisciplinaria, considerando aspectos, técnicos, económicos, financieros ambientales y sociales. b) Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de las soluciones propuestas, mediante análisis de costos, riesgos y beneficios. c) Colaborar con equipos multidisciplinarios en la implementación de soluciones, comunicando de manera efectiva los hallazgos y recomendaciones.

EJE N°7: Concepción, diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería en minas

Nivel Alto: En este nivel, los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos en el nivel anterior para diseñar y desarrollar proyectos más complejos en el campo de la ingeniería en minas. Se espera que sean capaces de realizar análisis detallados, evaluar alternativas de diseño y tomar decisiones fundamentadas para optimizar la viabilidad técnica, económica y ambiental de los proyectos. Competencias Esperadas. Evaluar alternativas de diseño y seleccionar tecnologías apropiadas para el, procesamiento y transporte de minerales.

Evaluación de ejes: El abordaje de cada uno de los ejes se hará con clases teórico-prácticas, donde se desarrollarán los distintos contenidos poniendo mayor énfasis en la parte práctica en el contexto del procesamiento de minerales, trabajado en forma individual con cada alumno, donde se tomarán exámenes parciales con exposición oral en forma independiente de los contenidos dictados para regularizar la materia y con sus respectivas evaluaciones. Además, la modalidad de examen final es a través de un proyecto seleccionado por alumno y tutelado por el docente, que vincula los conocimientos adquiridos en los diferentes ejes temáticos por medio de una exposición oral donde el alumno defiende su trabajo que contiene características técnicas, económicas y financieras de un proyecto de procesamiento de mineral

VI - Contenidos

Contenido Mínimos: Desarrollo de procesos metalúrgicos. Elaboración de flujograma de Ingeniería. Cálculo de balances de Masas, de aguas y metalúrgico. Cálculo de instalaciones de conminación y Clasificación. Cálculo de instalaciones de separación Solido- Liquido y desenlodado. Cálculo de instalaciones de concentración. Cálculo de instalaciones auxiliares en plantas mineralógicas. Estimación de costos de inversión y operativos en instalaciones de una planta de proceso.

BOLILLA 1:

Elección de un proceso metalúrgico. Programa de investigación Metalúrgica. Información Requerida: Localización del yacimiento. El depósito mineral. Muestras. Método de explotación. Mercados y especificaciones. Restricciones ambientales. Determinación de los valores presentes en una mena, Examinación visual y microscópica. Análisis Químicos, diferentes tipos. Búsqueda de Bibliográfica del alumno.

BOLILLA 2:

Pruebas de Laboratorio: Trituración, Molienda, remolienda. Clasificación. Flotación: Cantidad y tipo de reactivo. Regulación del pH. Densidad de la pulpa. Aireación y acondicionamiento. Tiempo de retención. Temperatura. Calidad del agua. Mineral reactivo (Cycle tests). Pruebas en ciclo. Concentración Gravimétrica y de medios densos. Lixiviación. Calcinación o tostación. Intercambio iónico. Extracción por solvente. Separación Magnética. Separación electrostática. Fluorescencia y Radiactividad. Estudios Mineralógicos. Análisis de tamaño, pruebas de bombeo. Espesamiento y velocidad de asentamiento. Filtrado, análisis químicos. Tratamientos de efluentes. Estudio de la contaminación a producir por la implantación del proceso. Equipos. Prueba de planta Piloto. Según método seleccionado y maquinaria búsqueda bibliográfica del alumno.

BOLILLA 3:

Reportes o Informes De Investigación: Formato. Título. Índice. Introducción. Resumen de resultados obtenidos conclusiones. Recomendaciones de trabajos adicionales y/o desarrollo de Flowsheet. Detalles sumariados de la investigación, etapa por

etapa y balance de materiales. Resultado de las pruebas en ciclo. Tablas. Gráficos. Flowsheet. Apéndices o anexos. Diseño de un Flowsheet o flujograma del proceso para un mineral determinado, seleccionado en clases búsqueda bibliográfica de ayuda. Evaluación de los resultados de las pruebas o información encontrada. Cuantificación de los procesos. Curvas de selectividad. Elementos a considerar para el desarrollo de un flowsheet. Balance de masas, metalúrgico y de aguas.

BOLILLA 4:

Almacenamiento de minerales. Homogenización. Diseño de tolvas. Inclinación de fondo de una tolva. Dimensiones básicas. Tolvas de Gruesos y de finos. Tolvas de diferentes Formas. Alimentadores de minerales. Selección y cálculo de transportadores a correa.

BOLILLA 5:

Diseño de instalaciones de plantas de trituración y separación por tamaños. Cálculo y selección del circuito más conveniente para el caso práctico seleccionado

BOLILLA 6:

Diseño de circuitos de molienda - clasificación. Cálculo y selección de la instalación más conveniente para el caso práctico seleccionado.

BOLILLA 7:

Diseño de circuitos de concentración. Cálculo de celdas de flotación. Cálculo y selección de la instalación más conveniente para el caso práctico seleccionado.

BOLILLA 8:

Integración de los circuitos parciales y elaboración del esquema general de planta para el procesamiento del mineral seleccionado. Listado de los equipos intervinientes con sus especificaciones técnicas.

BOLILLA 9:

Estimación de los costos de capital, Índice de costos (Marshall and Swift y otros). Estimación de costos de plantas. Regla de los seis Decimos. Relación de la mayor unidad del proceso. Costos de equipos en función de un parámetro. Ejemplos.

BOLILLA 10:

Estimación de Costos operativos. Costos Directos e indirectos.

BOLILLA 11:

Prefactibilidad Económica. Decisiones operativas basadas en un análisis de Cash Flow.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

Plan de trabajos prácticos:

Practico 1: A partir de un mineral entregado por el profesor elaborar el diagrama de procesos correspondiente para separar los elementos valiosos de los no valiosos.

Practico 2: Para el diagrama de proceso elaborado en el practico 1, determinar el balance de masas, de agua y metalúrgico correspondiente para la escala operativa ofrecida por el profesor.

Practico 3: Calculo integrado de área trituración- separación por tamaños según lo establecido en los balances obtenidos en el practico 2.

Practico 4: Calculo integrado de un circuito de molienda en húmedo y clasificación, trabajando en circuito cerrado.

Practico 5: Calculo integrado de un circuito de separación solido- liquido

Practico 6 Cálculo de las inversiones de capital de la planta de tratamiento determinada. Practico 7: Cálculo de los costos operativos para la planta determinada.

Practico 8: Determinación del TIR (Tasa interna de retorno) y análisis económico del proyecto

VIII - Regimen de Aprobación

El régimen de aprobación para regularizar la materia, se obtiene rindiendo en forma oral tres exámenes parciales, con la

ayuda de un power point, la nota mínima de aprobación es de 7 puntos o superior, las recuperaciones se tomaran conforme la reglamentación vigente. Además para regularizar la materia se requiere el 80% de la asistencia a las clases teórico-prácticas, la aprobación del 100 % de los trabajos prácticos y la presentación de la carpeta de trabajos prácticos. Posteriormente la evaluación del examen final para su aprobación definitiva. Esta materia no se adecua a la modalidad de rendición "como libre".

IX - Bibliografía Básica

- [1] [1] Álvarez, R. (1996). Trituración, Molienda y clasificación. [Libro].
- [2] [2] Álvarez, R., & Gómez Limón, D. (1995). Laboratorio de concentración de menas (Apuntes). [Apuntes de clase].
- [3] [3] Gil, F. R., Quinteros Bittar, M. E., Rodríguez Galeone, P. B., & Villegas Vega, M. C. (2012). Régimen Impositivo de la Actividad Minera en la Argentina. [Trabajo de investigación]. Universidad Nacional de Cuyo.
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/4872/gilcetrabajodeinvestigacion.pdf
- [4] [4] Herrera Herbet, J. (2018). El proceso de evaluación de un proyecto Minero. Volumen 2. [Libro o Publicación]. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Geológica Minera y Laboratorios de Tecnología Mineros.
https://oa.upm.es/70265/3/ESTRUCTURA_PROCESO_EVALUACION_DE_UN_PROYECTO_MINERO_DPMB1T2_R6-20180924.pdf (Nota: Se asume que la referencia [12] es una duplicación del enlace de la [8] y se unifica en una sola entrada, usando la información más completa de la [12] para el formato).
- [5] [5] MAGNE ORTEGA, L. (1991). Operación de Espesamiento y Filtrado (Apuntes). [Apuntes de clase].
- [6] [6] Marsden, J., & House, I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction. Society for Mining, Metallurgy & Exploration (SME).
- [7] [7] Mas, M., Calvo, V., & Balmaceda, E. (2004). Rocas de aplicación de la provincia de la Rioja.
- [8] [8] Mular, A. L. (1978). Mineral Processing Plant Design. [Libro]. (Nota: Se asume que la referencia [5] se refiere a la primera edición de la obra que se detalla más completamente en [9]. Se cita con el nombre de un solo autor por la ambigüedad en la referencia original).
- [9] [9] Mular, A. L., & Bhappu, R. B. (1962). Diseño de plantas de proceso de minerales. (2.a ed. en castellano).
- [10] [10] Pinto Chaves, A. (1998, 2004). Tratamientos de Mineros, Volumen 1, 2 y 3. [Libro].
- [11] [11] Universidad de Cantabria. (2012). Concepto de Proyecto como riesgo y su valoración. [Apuntes o material de curso en línea]. Universidad de Cantabria (OCW). <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2353/course/section/2319/TEMA%2012.pdf>
- [12] [12] Romano, E. (2019) en Pdf y drive, apuntes de la cátedra. Reseña general de cada tema con principal refuerzo en la parte económica y financiera aplicada a la minería.
https://drive.google.com/drive/folders/1craZ_7Fxee38FM1FjrSn6RHTKN7EFzaS
- [13] [13] Martínez Pagan, P. (2021). Plantas de Tratamiento de Recursos Minerales
<https://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=184&topic=all>
- [14] [14] Martínez Pagán, P., Martínez, M. (2023) Ingeniería Minera <https://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=193&topic=3>

X - Bibliografía Complementaria

- [1] [1] Arenas, F. A. (1985). Hidrometalurgia del cobre (Apuntes).
- [2] [2] Navarro Donoso, P. (1994). Hidrometalurgia de metales No ferrosos (Apuntes).
- [3] [3] Hayes, P. (2003). Process principles in minerals and materials productions.

XI - Resumen de Objetivos

Hacer que los alumnos internalicen las relaciones conceptuales y procedimientos que se aplican en la concentración de minerales en forma integrada de una planta de procesamiento de mineral según el mineral a procesar.

Proveer los conocimientos necesarios para la elaboración de un circuito de concentración de minerales con todas sus operaciones unitarias, elaboración de flujogramas de ingeniería, balances de masa, metalúrgico y de aguas, dimensionamiento de los equipos involucrados en el proceso con la correspondiente inclusión de costos de capital, costos operativos, armado de Cash Flow y su respectivo análisis para aprobación de proyecto en base a VAN y TIR correspondiente.

XII - Resumen del Programa

BOLILLA 1: Elección de un proceso metalúrgico.

BOLILLA 2: Pruebas de laboratorio.

BOLILLA 3: Reportes o informes de investigación.

BOLILLA 4: Almacenamiento de minerales.

BOLILLA 5: Diseño de instalaciones de plantas de trituración y separación por tamaños.

BOLILLA 6: Diseño de circuitos de molienda – clasificación.

BOLILLA 7: Diseño de circuitos de concentración.

BOLILLA 8: Integración de los circuitos parciales.

BOLILLA 9: Estimación de los costos de capital.

BOLILLA 10: Estimación de costos operativos.

BOLILLA 11: Prefactibilidad económica.

XIII - Imprevistos

La modalidad de la materia será en forma presencial y se utilizará para el dictado de las clases herramientas digitales, el presente programa puede presentar ajustes. Toda modificación será acordada con el estudiante e informada a Secretaría Académica

XIV - Otros