



PROGRAMA DE ASIGNATURA Año 2025

ANTECEDENTES GENERALES*

CARRERA	Ingeniería Civil en Procesos de Minerales					
NOMBRE DE LA ASIGNATURA	Pirometalurgia					
CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	CPIQ81					
AÑO/SEMESTRE	Cuarto año/semestre VIII					
TIPO DE FORMACIÓN**	GENERAL (G)		BÁSICA (B)		PROFESIONAL (P)	X
DURACIÓN	SEMESTRAL	X	ANUAL		OTRO (MODULAR)	
FLEXIBILIDAD	OBLIGATORIO (O)	X	ELECTIVO (E)			
CARÁCTER	TEÓRICO-PRÁCTICO (TP)	X	TEÓRICO Y PRÁCTICO (T/P)		PRÁCTICA (P)	
MODALIDAD	PRESENCIAL	X	VIRTUAL		MIXTA	
CRÉDITOS SCT	5					
HORAS DE DEDICACIÓN	HORAS PRESENCIALES DIRECTAS	3C	HORAS DE TRABAJO AUTÓNOMO	6		
APRENDIZAJES PREVIOS REQUERIDOS						

* Para el llenado de todos los elementos de esta dimensión, deberá considerar todo lo definido en el descriptor del plan de estudio decretado.

** En los puntos de Tipo de Formación deberá marcar con un X la opción referente a la asignatura.

DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

En este apartado se deberá completar el siguiente recuadro de acuerdo con el Plan de estudio vigente decretado, donde se definen las competencias, niveles y resultados de aprendizaje que la asignatura o módulo desarrolla.

Competencia Específica y/o Genérica	1.3 Domina los fundamentos de la especialidad como procesos de separación, transferencia de energías, conminución, cinética y reactores químicos necesarios para el diseño de procesos minerales.
Nivel de Desarrollo de la competencia	1.3.2 Analiza críticamente problemas de las ciencias de la especialidad que faciliten la resolución de problemas en el ámbito profesional.
Resultado/s de Aprendizaje	1.3.2.1. Analiza de forma crítica los resultados obtenidos a partir de cálculos de conminución y concentración de minerales para la dimensión y selección de equipos de procesos pirometalúrgicos. 1.3.2.2. Analiza diversas variables de las operaciones metalúrgicas asociadas a los productos del proceso pirometalúrgico del cobre (escoria, mata, cobre blíster y gases) considerando requerimientos técnicos y económicos.

UNIDADES DE APRENDIZAJE

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN A OPERACIONES DE CONCENTRACIÓN

OBJETIVO:

Analizar las etapas involucradas en el circuito de concentración de sulfuros

CONTENIDOS

- 1.1 Reducción de tamaño y necesidades energéticas
- 1.2 Fundamentos de flotación por espuma
- 1.3 Fundamentos del manejo de relaves y reciclado de agua
- 1.4 Economía circular en etapas de concentración

UNIDAD 2: FUNDAMENTOS DE FUNDICIÓN

OBJETIVO

Comprender los principios de procesos de fundición, evaluando diagramas de fases para comprender rangos viables en que se puede llevar a cabo la operación.

CONTENIDOS

- 2.1 ¿Por qué fundir?
- 2.2 Mata y escoria
- 2.3 Reacciones durante la fundición
- 2.4 Productos de fundición: mata, escoria, y gas de escape

UNIDAD 3: TÉCNOLOGÍAS DE FUSIÓN

OBJETIVO

Conocer las principales tecnologías de fusión así como su evolución histórica, uso en Chile y en el extranjero.

CONTENIDOS

- 3.1 Fusión Flash-Proceso Outokumpu
- 3.2 Fusión Flash-Inco
- 3.3 Noranda y Teniente

UNIDAD 4: CONVERSIÓN BATCH DE LA MATA DE COBRE

OBJETIVO

Conocer el proceso de producción de cobre blíster, destacando la tecnología del convertidor Peirce-Smith

CONTENIDOS

- 4.1 Química en conversión
- 4.2 Operación de conversión mediante convertidor Peirce-Smith
- 4.3 Impacto de oxígeno enriquecido

4.4 Maximizar la productividad en etapas de conversión

4.5 Tecnologías alternativas para conversión

UNIDAD 5: TRATAMIENTO DE ESCORIAS

OBJETIVO

Profundizar en el conocimiento de las escorias, desde sus propiedades fisicoquímicas hasta la caracterización de escorias industriales.

CONTENIDOS

5.1 Propiedades fisicoquímicas de las escorias

5.2 Caracterización de escorias industriales

5.3 Pérdida de cobre en las escorias

5.4 ¿Es posible dar valor a las escorias?

UNIDAD 6: CAPTURA Y FIJACIÓN DEL SULFURO

OBJETIVO

La vía más común para remover el azufre de los minerales sulfurados de cobre es a través de SO_2 . Sin embargo, este compuesto es perjudicial tanto para la flora y fauna de sectores aledaños a las operaciones. En este capítulo se abordan las principales formas de mitigar su impacto ambiental.

CONTENIDOS

6.1 Gases de escape de etapas de fundición y conversión

6.2 Tratamiento del gas de escape

6.3 Secado del gas

6.4 Planta de ácido y reacciones químicas

6.5 Producción de ácido sulfúrico

6.6 Desarrollos recientes y futuros en producción de ácido sulfúrico

6.7 Productos alternativos del sulfuro

UNIDAD 7: PIRO-REFINACIÓN Y FUNDICIÓN DE ÁNODOS: REMOCIÓN DE SULFURO Y OXÍGENO

OBJETIVO

El cobre producido en etapas de fundición y conversión requiere una post refinación para remover el azufre remanente y oxígeno disuelto. En esta unidad se repasarán las técnicas para llevar a cabo este tipo de refinaciones, así como la formación de ánodos.

CONTENIDOS

7.1 Métodos industriales de piro-refinación

7.2 Química en piro-refinación

7.3 Elección de hidrocarburos para la desoxidación

7.4 Fundición continua de ánodos

7.5 Remoción de impurezas durante la piro-refinación

RA1: Unidades 1-3

RA2: Unidades 4-7

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN

RESULTADOS DE APRENDIZAJE	ESTRATEGIA DIDÁCTICA	ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN***
1.3.2.1. Analiza de forma crítica los resultados obtenidos a partir de cálculos de conminución y concentración de minerales para la dimensión y selección de equipos de procesos pirometalúrgicos.	<u>AUTOAPRENDIZAJE</u> -Estudio individual -Lectura complementaria -Resolución de problemas <u>APRENDIZAJE INTERACTIVO</u> -Exposiciones del docente -Videos interactivos -Exposiciones de estudiantes <u>APRENDIZAJE COLABORATIVO</u> -Resolución de problemas	- Seminarios /Rúbrica Presentación (30%) - Taller ejercicios (20%) - 1 Prueba parcial (control 1) que equivale al 50% de la nota del RA, dividida en parte teórica (60%) y ejercicio (40%)
1.3.2.2. Analiza diversas variables de las operaciones metalúrgicas asociadas a los productos del proceso pirometalúrgico del cobre (escoria, mata, cobre blíster y gases) considerando requerimientos técnicos y económicos.	<u>AUTOAPRENDIZAJE</u> -Estudio individual -Lectura complementaria -Resolución de problemas <u>APRENDIZAJE INTERACTIVO</u> -Exposiciones del docente -Videos interactivos -Exposiciones de estudiantes <u>APRENDIZAJE COLABORATIVO</u> -Resolución de problemas	- Seminarios /Rúbrica Presentación (30%) - Taller ejercicios (20%) - 1 Prueba parcial (control 1) que equivale al 50% de la nota del RA, dividida en parte teórica (60%) y ejercicio (40%)

- RA1: calificación corresponde al 30% seminario, 20% taller de ejercicios, y 50% prueba teórica, la cual esta dividida en dos partes: teórica (60%) y ejercicios (40%)
- RA2: calificación corresponde al 30% seminario, 20% taller de ejercicios, y 50% prueba teórica, la cual esta dividida en dos partes: teórica (60%) y ejercicios (40%)

Ponderación:

- RA1: 50%
- RA2: 50%

Fechas de Evaluaciones

- Presentación 1 (Fundiciones): martes 30 de septiembre 2025
- 1ª Prueba Parcial (teórica): martes 14 de octubre 2025
- 1ª Prueba Parcial (ejercicios): lunes 20 de octubre 2025
- Taller ejercicios: Entrega el martes 21 de octubre 2025

- Presentación 2 (Refinamiento y generación de producto final): lunes 1 de diciembre 2025
- Taller ejercicios: Entrega el martes 9 de diciembre 2025
- 2ª Prueba Parcial (teórica): lunes 15 de diciembre 2025
- 2ª Prueba Parcial (ejercicios): martes 16 de diciembre 2025

Examen primera oportunidad: lunes 29 de diciembre 2025

Examen segunda oportunidad: lunes 5 de enero 2026

** Los "Se sugiere", serán entregadas por el comité de rediseño curricular para guiar la práctica docente, pero pueden ser cambiadas por el coordinador y su equipo según estimen pertinente.*

***Los "Se debe", son consensuados por el comité de rediseño curricular y deben ser considerados y cumplidos por el coordinador y su equipo.*

**** En el caso de alguna asignatura que requiera de una ponderación específica, indicarlo.*

EXIGENCIAS DE LA ASIGNATURA (SI CORRESPONDE) *

** Las exigencias deben estar dentro de los Reglamentos de Carrera u otro documento normativo*

BIBLIOGRAFÍA.

Bibliografía Básica

- Anil K. Biswas y W. G. Davenport. "Extractive metallurgy of copper", Pergamon Press, 1980, Reino Unido. (669.3 BIS extr).

Bibliografía Complementaria

- M. Sánchez y I. Ivan. "Pirometalurgia del cobre y comportamiento de sistemas fundidos". Universidad de Concepción, 2002.
- M.E. Schlesinger, K.C. Sole, W.G. Davenport y G.R.A. Flores. "Extractive metallurgy of copper". Elsevier, 2021.
- R.R. Moskalyk y A.M. Alfantazi. Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow. Minerals Engineering, 2003, 16(10), 893-919.
- P. Taskinen, G. Akdogan, I. Kojo, M. Lahtinen y A. Jokilaakso. "Matte converting in copper smelting". Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 2019, 128(1-2), 58-73.
- I. Bellemans, E. De Wilde, N. Moelans y K. Verbeken. "Metal losses in pyrometallurgical operations- A review". Advances in Colloid and Interface Science, 2018, 255, 47-63.