

Postítulo en

PROCESAMIENTO AVANZADO DE MINERALES

GEOMETALURGIA, CONTROL Y OPTIMIZACIÓN



Webinars en Vivo

Por Especialistas

Aula Virtual 24/7

Todas las Clases Quedan Grabadas

Evaluación en Línea

Compatible con Horarios Laborales



Dedicación

120 Horas Lectivas
+ 140 Horas
Dedicación Personal



Duración

12 meses



Modalidad

Clases en Vivo y Clases Asincrónicas

DESCRIPCIÓN

El Postítulo en Procesamiento Avanzado de Minerales: Geometalurgia, Control y Optimización ha sido diseñado para formar especialistas capaces de comprender, analizar y optimizar el desempeño de las plantas concentradoras modernas, integrando conocimientos avanzados en el procesamiento de minerales, la geometalurgia y el control de procesos metalúrgicos.

La creciente complejidad de los yacimientos minerales, junto con la variabilidad geológica de los depósitos y las exigencias de eficiencia operativa de la industria minera, exige profesionales capaces de interpretar el comportamiento del mineral y anticipar su impacto en los circuitos de conminución, flotación y separación sólido-líquido. En este contexto, la geometalurgia se ha consolidado como una herramienta clave para conectar la información geológica y mineralógica con el desempeño metalúrgico de las plantas concentradoras.

El programa integra, además, conceptos modernos de control de procesos metalúrgicos, incluyendo el uso de instrumentación, estrategias de control adaptativo y herramientas de optimización orientadas a mejorar la estabilidad y el rendimiento de los circuitos de procesamiento.

Este postítulo está dirigido a profesionales que buscan asumir mayores responsabilidades técnicas en operaciones metalúrgicas, consultoría especializada o desarrollo de proyectos mineros, y que consolidan una formación avanzada en geometalurgia, procesamiento de minerales y optimización de procesos metalúrgicos.

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

El programa está estructurado en siete cursos fundamentales que proporcionan una base sólida y avanzada en la ingeniería de procesos de los minerales. Adicionalmente, los participantes podrán seleccionar dos cursos electivos de una oferta diseñada para complementar su formación según sus intereses y necesidades específicas. Esta flexibilidad permite personalizar la experiencia académica y abordar áreas de especialización que potencien el desarrollo profesional.

CURSOS FUNDAMENTALES

CURSO 1: PROCESAMIENTO DE MINERALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS

CURSO 2: GEOMETALURGIA APLICADA: INTEGRACIÓN GEOLOGÍA-PROCESAMIENTO DE MINERALES

CURSO 3: CONMINUCIÓN: FUNDAMENTOS Y OPERACIÓN DE CHANCADO Y MOLIENDA

CURSO 4: OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS DE CONMINUCIÓN

CURSO 5: FUNDAMENTOS DE FLOTACIÓN POR ESPUMA

CURSO 6: EVALUACIÓN METALÚRGICA Y OPTIMIZACIÓN DE CIRCUITOS DE FLOTACIÓN

CURSO 7: EVALUACIÓN, CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS METALÚRGICOS

PROYECTO DE CERTIFICACIÓN

CURSOS ELECTIVOS

ELECTIVO 1: TECNOLOGÍAS DE ESPESAMIENTO DE RELAVES

ELECTIVO 2: DISEÑO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE RELAVES

ELECTIVO 3: FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS MINEROS

ELECTIVO 4: GESTIÓN DE AGUAS EN PLANTAS CONCENTRADORAS

ELECTIVO 5: PYTHON PARA AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS Y SOLUCIONES INDUSTRIALES

CURSO 1: PROCESAMIENTO DE MINERALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS

Unidad 1: Fundamentos del Procesamiento de Minerales

- Procesamiento de minerales
- Objetivos de la conminución en el contexto metalúrgico
- Propiedades mineralógicas relevantes en la liberación

Unidad 2: Caracterización de Minerales y Flujos de Planta

- Análisis de dureza y abrasividad de minerales
- Propiedades físico-químicas y su impacto en la conminución
- Flujos típicos de procesamiento en plantas concentradoras
- Diferencias entre minerales sulfurados y oxidados
- Caso de estudio introductorio

Unidad 3: Circuitos de Chancado, Molienda y Clasificación

- Circuitos abiertos y cerrados en chancado
- Configuración SAG + Bolas y HPGR
- Función de los hidrociclones en la eficiencia global
- Efectos de la clasificación en la liberación mineral

Unidad 4: Integración con Flotación y Otros Procesos

- Importancia del tamaño de partícula en la flotación
- Cinética de recuperación en función de la molienda
- Recirculación de partículas gruesas y finas
- Casos prácticos de optimización de circuitos

CURSO 2: GEOMETALURGIA APLICADA: INTEGRACIÓN GEOLOGÍA–PROCESAMIENTO DE MINERALES

Unidad 1: Fundamentos de Geometalurgia y Variabilidad del Mineral

- Evolución de la geometalurgia y su rol en la creación de valor en la minería moderna
- Integración geología–minería–procesamiento en la cadena de valor del negocio minero
- Concepto de variabilidad del mineral y su impacto en el desempeño metalúrgico
- Variables geológicas y mineralógicas que controlan el comportamiento del mineral en planta
- Impacto de la variabilidad del mineral en throughput, consumo energético y recuperación
- Integración mina–planta en operaciones mineras modernas
- Introducción al concepto Mine-to-Mill y su impacto en la optimización del negocio minero

Unidad 2: Caracterización Mineralógica y Programas de Testwork Geometalúrgico

- Propiedades mineralógicas relevantes para el procesamiento de minerales
- Textura mineral, asociaciones minerales y mecanismos de liberación
- Influencia de la mineralogía en conminución, clasificación y flotación
- Técnicas modernas de caracterización mineralógica aplicadas a la geometalurgia (QEMSCAN, MLA, etc.)
- Variables geometalúrgicas críticas en plantas concentradoras
- Relación entre mineralogía, tamaño de partícula y recuperación metalúrgica
- Ejemplos industriales de impacto mineralógico en circuitos de procesamiento

Unidad 3: Programas de Testwork Geometalúrgico y Generación de Datos

- Objetivos de los programas de testwork geometalúrgico
- Diseño de campañas de muestreo representativas para estudios geometalúrgicos
- Ensayos de conminución aplicados a geometalurgia (Bond, SPI, Drop Weight Test)
- Ensayos metalúrgicos para caracterizar respuesta del mineral en flotación
- Relación entre resultados de testwork y variables geometalúrgicas
- Integración de datos geológicos, mineralógicos y metalúrgicos
- Control de calidad y gestión de bases de datos geometalúrgicas

Unidad 4: Integración Geología–Procesamiento y Estrategias Operacionales Mine-to-Mill

- Definición y delimitación de dominios geometalúrgicos en depósitos minerales
- Integración de datos geológicos, mineralógicos y metalúrgicos para definir dominios
- Impacto de los dominios geometalúrgicos en circuitos de conminución y flotación
- Estrategias de blending de mineral para estabilizar la operación de planta
- Gestión de stockpiles y control de alimentación a plantas concentradoras
- Uso de información geometalúrgica en planificación minera y operación de planta
- Casos industriales de implementación de estrategias geometalúrgicas en operaciones mineras

CURSO 3: CONMINUCIÓN: FUNDAMENTOS Y OPERACIÓN DE CHANCADO Y MOLIENDA

Unidad 1: Principios de Conminución

- Leyes de reducción de tamaño (Kick, Rittinger, Bond)
- Índice de trabajo (WI) y pruebas de laboratorio
- Propiedades mecánicas del mineral y su efecto
- Balance de energía en chancado y molienda
- Eficiencia energética de la conminución

Unidad 2: Chancado

- Tipos de chancadores: mandíbulas, giratorios, conos
- Variables operacionales críticas (CSS, relación de reducción)
- Clasificación en circuito abierto y cerrado
- Consumo de energía y capacidades típicas
- Fallas comunes en operación de chancadores

Unidad 3: Molienda

- Tipos de molinos: SAG, AG, bolas, barras, verticales, HPGR
- Parámetros operacionales: velocidad crítica, nivel de llenado, potencia
- Medios de molienda: selección, consumo y desgaste
- Diferencias SAG vs. HPGR vs. molinos de bolas
- Consumo energético comparado

Unidad 4: Clasificación y Control

- Trommeles, harneros y zarandas vibratorias
- Hidrociclones: operación, eficiencia y problemas típicos
- Balance agua-sólidos en la molienda
- Control de variables operacionales
- Instrumentación básica en conminución

CURSO 4: OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS DE CONMINUCIÓN

Unidad 1: Variables Críticas de Desempeño

- Productividad y granulometría
- Consumo específico de energía
- Relación con liberación mineral
- Efecto de la carga circulante en la eficiencia

Unidad 2: Monitoreo y Automatización

- Sistemas SCADA y DCS en conminución
- Sensores de carga, presión y potencia en molinos
- Instrumentación para chancadores y ciclones
- IIoT y digitalización en minería
- Aplicaciones de inteligencia artificial

Unidad 3: Modelación y Simulación y Uso de Software

- Principios de modelación de circuitos de conminución
- Balance de masa y energía aplicado
- Simulación conceptual de diferentes configuraciones
- Identificación de cuellos de botella en planta

Unidad 4: Estrategias de Optimización y Uso de Software

- Optimización del consumo de energía
- Reducción de agua en molienda
- Diseño de circuitos SAG + Bolas + HPGR

CURSO 5: FUNDAMENTOS DE FLOTACIÓN POR ESPUMA

Módulo 1: Introducción a la flotación

- Estructura química y propiedades superficiales de minerales de cobre y molibdeno
 - Mineralogía y microestructura
 - Mojabilidad y ángulo de contacto
 - Potencial zeta
- Reactivos de flotación
 - Clasificación de reactivos
 - Selección y dosificación de reactivos
 - Pruebas para la evaluación de reactivos
- Cinética de flotación
- Efecto del pH y potencial electroquímico
- Análisis reológico de pulpas minerales e impacto en flotación
 - Relación entre reología y dispersión del gas en la celda de flotación
 - Impacto de reología en densidad de la pulpa
 - Uso de modificadores reológicos
 - Reología en función del pH

Módulo 2: Circuitos y equipos para la flotación

- Circuitos Rougher, Scavenger y Cleaner
- Diseño y configuración de circuitos de flotación
- Tipos de celdas de flotación y análisis de eficiencia
- Equipos y accesorios utilizados en flotación
- Estrategias de control de procesos de flotación
- Instrumentación y monitoreo en la flotación
- Uso de agua de mar en flotación
 - Efecto de salinidad en estabilidad de burbujas y fenómenos interfaciales
 - Arrastre mecánico en ambiente altamente salino
 - Análisis de la especiación de iones en agua de mar
 - Iones de agua de mar y su impacto en flotabilidad de Cu y Mo
 - Experiencias industriales en el uso de agua de mar para flotación de Cu-Mo
- Variables de interés en flotación de Cu-Mo
 - Grado de cristalización
 - Mineralogía y tamaño de partículas
 - Impacto de pH y modificadores reológicos
 - Dispersión del gas
 - Calidad de agua
 - Reactivos tradicionales y de nueva generación con influencia del tiempo de acondicionamiento

Módulo 3: Puesta en servicio de celdas de flotación: principios y análisis de caso

- Optimización de celdas a su capacidad de diseño en circuitos de primera limpieza, scavenger y de segunda limpieza.
- Preparación de la documentación de procedimientos y protocolos, y ejecución del programa de puesta en servicio de unidades de flotación.
- Elaboración de procedimientos de puesta en marcha e instructivos de arranque para las distintas Operaciones Unitarias de la Planta Concentradora y de la Flotación Selectiva Cu-Mo.
- Documentación de cierre de proyectos.
- Identificación de riesgos operacionales.

CURSO 6: EVALUACIÓN METALÚRGICA Y OPTIMIZACIÓN DE CIRCUITOS DE FLOTACIÓN

Módulo 1: Cinética y Modelos Matemáticos de Flotación

- Principios de la cinética de flotación: de primer y segundo orden.
- Determinación experimental de la constante de reacción k y del orden de reacción.
- Representación gráfica y ajuste de la curva de $\ln(C_0/C)$ vs. el tiempo.
- Modelos avanzados: Klimpel (rectangular), Kelsall (doble constante) y Gamma.
- Factores que afectan la cinética: velocidad del impeller, flujo de aire, tamaño de la burbuja, tamaño de la partícula y concentración del colector.
- Ejercicios de aplicación con datos experimentales y resolución de k y R_{∞} de minerales Cu-Mo

Módulo 2: Evaluación Metalúrgica y Balance de Masa

- Conceptos de grado, recuperación, distribución y eficiencia metalúrgica
- Fórmula de dos productos y aplicación práctica (p. ej., Au 20 ppm → 400 ppm).
- Fórmula de tres productos para sistemas Cu–Mo o Cu–Zn
- Balance global y parcial de los componentes.
- Estimación de errores y verificación de los balances.
- Cálculo de la distribución de la masa y de la recuperación en las etapas Rougher, Cleaner y Scavenger.
- Ejercicios numéricos de evaluación y control de datos de planta.

Módulo 3: Simulación Conceptual y Análisis de Circuitos

- Celdas en serie y modelos ideales de mezcladores.
- Distribución del tiempo de residencia (RTD) y el efecto del número de celdas sobre la recuperación.
- Relación entre la residencia media y el comportamiento tipo plug-flow.
- Simulación del efecto del tiempo de retención y de la constante k sobre la recuperación global.
- Cálculo de carga circulante y razón de recirculación en circuitos cerrados

CURSO 7: EVALUACIÓN, CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS METALÚRGICOS

Módulo 1: Evaluación Metalúrgica y Balance de Procesos

- Fundamentos de la evaluación metalúrgica y de la clasificación de las corrientes de proceso.
- Técnicas de muestreo representativo y de control de errores analíticos.
- Determinación de la masa, el porcentaje de sólidos, las densidades y las leyes.
- Cálculo de recuperación y distribución metalúrgica.
- Aplicación de fórmulas de dos y de tres productos.
- Balances de masa y principios de conservación en circuitos metalúrgicos.
- Cálculo y control de la carga circulante en circuitos cerrados.
- Ejercicios prácticos de balance y de evaluación de resultados operacionales.

Módulo 2: Control de Procesos e Instrumentación Metalúrgica

- Conceptos de control de procesos, retroalimentación y acción anticipada.
- Modos de control: proporcional, integral, derivativo y sus combinaciones.
- Señales, perturbaciones y funciones de respuesta típicas en sistemas metalúrgicos.
- Representación funcional mediante diagramas de bloques.
- Métodos de ajuste y sintonización de controladores PI y PID.
- Principales instrumentos de control: sensores, válvulas, transmisores y controladores.
- Integración de sistemas de control continuo y digital en plantas concentradoras.

Módulo 3: Control y Estabilización de Operaciones Mineras

- Control de nivel y flujo en tanques y sistemas hidráulicos.
- Control de potencia, de alimentación y de nivel en operaciones de chancado.
- Estrategias de control en molienda y clasificación: caudal de agua, densidad y carga en circulación.
- Control de espesadores: torque, nivel de cama, densidad de descarga y dosificación de floculante.
- Control de hidrociclones: presión, punto de corte y compensación de desgaste.
- Estructuración de lazos de control en serie y en cascada.
- Sincronización entre controladores de proceso y de equipo.
- Aplicaciones prácticas de estabilización y seguimiento de variables críticas.

Módulo 4: Sistemas Inteligentes y Optimización Integral

- Estrategias de control adaptativo y autosintonizado.
- Control predictivo multivariable y modelado de procesos dinámicos.
- Aplicaciones de la lógica difusa en la molienda, la flotación y el espesamiento.
- Redes neuronales aplicadas al control de procesos metalúrgicos.
- Sistemas digitales de control: microprocesadores, PLC y SCADA.
- Jerarquía de control: niveles regulatorios, supervisores y de optimización.
- Integración de control avanzado con indicadores metalúrgicos y económicos.
- Casos industriales: control de molienda, espesadores y flotación.

PROYECTO DE CERTIFICACIÓN

El **Proyecto de Certificación** es el componente final del diplomado, diseñado para poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el programa mediante la resolución de un caso real sobre el tema. Los participantes trabajarán con el apoyo de tutores expertos, lo que garantiza un proceso de aprendizaje guiado y especializado.

Este proyecto tiene dos objetivos fundamentales:

- **Aplicación práctica de conocimientos:** Los estudiantes aprovecharán desafíos reales de la industria y aplicarán las metodologías, técnicas y herramientas aprendidas a lo largo del diplomado.
- **Desarrollo del trabajo colaborativo:** Los equipos trabajarán de manera colaborativa, potenciando sus habilidades de liderazgo y coordinación, esenciales en proyectos mineros de gran envergadura. Esta dinámica también fomenta la creación de redes de contacto entre profesionales con intereses y especialidades afines.

PERFIL DE EGRESO

El egresado del **Postítulo en Procesamiento Avanzado de Minerales: Geometalurgia, Control y Optimización** será un profesional capaz de analizar, integrar y optimizar el desempeño de plantas concentradoras modernas, considerando la interacción entre las características geológicas del mineral, los circuitos de procesamiento y las estrategias de control de los procesos metalúrgicos.

Al finalizar el programa, los participantes contarán con una visión avanzada de los circuitos de conminución, flotación y clasificación, lo que les permitirá interpretar el comportamiento del mineral y evaluar el impacto de la variabilidad geológica y mineralógica en variables críticas como el throughput de molienda, la liberación mineral y la recuperación metalúrgica.

Asimismo, estarán preparados para integrar herramientas de evaluación metalúrgica, balances de masa, modelación de procesos y análisis de datos operacionales para identificar cuellos de botella, mejorar la estabilidad operacional y optimizar los circuitos de procesamiento de minerales.

Gracias a la formación en geometalurgia aplicada, podrán interpretar información geológica, mineralógica y metalúrgica para apoyar la toma de decisiones en la integración mina-planta, incluyendo la definición de dominios geometalúrgicos y la elaboración de estrategias de blending orientadas a maximizar el valor del recurso mineral.

Además, el egresado contará con competencias en el control y la optimización de procesos metalúrgicos mediante la instrumentación, estrategias de control automático y herramientas de modelación que permitan mejorar la eficiencia energética, la recuperación metalúrgica y la estabilidad de los procesos en plantas concentradoras.

PROYECCIÓN LABORAL Y OPORTUNIDADES PROFESIONALES

Los egresados del programa estarán preparados para desempeñarse en roles técnicos y estratégicos en áreas como:

- **Ingeniería de procesos en plantas concentradoras**, participando en la optimización de los circuitos de conminución, clasificación y flotación.
- **Metalurgia operacional**, analizando y mejorando indicadores metalúrgicos como la recuperación, el grado, el throughput y el consumo energético.
- **Geometalurgia aplicada**, que integra información geológica, mineralógica y metalúrgica para mejorar la planificación y la gestión de la variabilidad del mineral.
- **Optimización y control de procesos metalúrgicos** mediante estrategias de control avanzado y herramientas de modelación para mejorar el desempeño operativo.
- **Consultoría técnica en procesamiento de minerales**, apoyando proyectos de mejora continua, la expansión de plantas concentradoras y la evaluación de nuevos depósitos minerales.
- **Desarrollo y evaluación de proyectos mineros**, contribuyendo al análisis técnico y económico de circuitos de procesamiento y a su impacto en la rentabilidad del proyecto.

POR QUÉ ELEGIR ESTE PROGRAMA

- **Formación avanzada orientada a plantas concentradoras reales**

El programa integra geometalurgia, conminución, flotación y control de procesos para abordar el desempeño de las plantas concentradoras desde una perspectiva sistémica. Los contenidos están orientados a resolver problemas reales de operación, como la variabilidad del mineral, la estabilidad de los circuitos y la optimización del throughput y de la recuperación metalúrgica.

- **Integración mina-planta para mejorar la toma de decisiones**

A través de herramientas de geometalurgia aplicada y de modelación de procesos, los participantes aprenderán a interpretar información geológica, mineralógica y metalúrgica para anticipar el comportamiento del mineral en planta y diseñar estrategias operacionales que maximicen el valor del recurso.

- **Optimización y control de procesos metalúrgicos**

El postítulo incorpora metodologías modernas de evaluación metalúrgica, balance de masa, instrumentación y control de procesos, lo que permite identificar cuellos de botella, estabilizar la operación de los circuitos y mejorar la eficiencia energética y metalúrgica de las plantas concentradoras.

- **Aprendizaje aplicado con enfoque industrial**

La metodología del programa combina clases en vivo, contenidos asincrónicos, análisis de casos industriales y un proyecto de certificación basado en un problema real de procesamiento de minerales. Este enfoque permite aplicar los conocimientos adquiridos directamente en el contexto profesional de los participantes.

CUERPO ACADÉMICO

DR. RICARDO JELDRES

- Ingeniero Civil Químico, Universidad de Concepción, Chile.
- Doctor en Ingeniería Química, Universidad de Concepción, Chile.

DR. GERARDO ZAMORA ECHENIQUE

- Ingeniero Metalúrgico, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia.
- Doctor en Metalurgia, Universidad RWTH Aachen, Alemania.

MSC. CLAUDIA CASTILLO

- Ingeniera Civil Química, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
- Magíster en Ciencias de la Ingeniería, con mención en Metalurgia Extractiva, Universidad de Chile, Chile.
- Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia, Universidad de Concepción, Chile.

DANILO MUÑOZ

- Especialista Senior en Flotación y Planta Moly QB2, Teck Resources Limited, Chile.
- Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Santiago, Chile.

DR. MATÍAS JELDRES

- Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción, Chile.
- Doctor en Ingeniería de Procesos de Minerales, Universidad de Antofagasta, Chile.

DR. EDER PICEROS

- Ingeniero Civil Químico, Universidad de Concepción, Chile
- Magíster en Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Concepción, Chile
- Doctor en Ingeniería de Procesos de Minerales, Universidad de Antofagasta, Chile

CUERPO ACADÉMICO

MSC. NICOLÁS GONZÁLEZ

- Geólogo, Universidad de Concepción, Chile.
- Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia, Universidad de Concepción, Chile.

DR. GONZALO QUEZADA

- Ingeniero Civil Químico, Universidad de Concepción, Chile.
- Doctor en Ingeniería Química, Universidad de Concepción, Chile.

SEBASTIÁN CALDERÓN

- Ingeniero en Metalurgia Extractiva, Universidad Arturo Prat, Chile.
- MBA en Administración y Dirección de Empresas, Escuela de Negocios Europea de Barcelona, España.