



**UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO: INGENIERIA QUIMICA Y PROCESOS DE MINERALES**  
**CARRERA: INGENIERIA CIVIL EN PROCESOS DE MINERALES**

# PROGRAMA DE ASIGNATURA

## ANTECEDENTES GENERALES

<b>NOMBRE DE LA ASIGNATURA</b>	Diseño y Pilotaje de Procesos de Minerales
<b>CÓDIGO DE LA ASIGNATURA</b>	CPIQ95
<b>CARRERA</b>	INGENIERIA CIVIL EN PROCESOS DE MINERALES
<b>CURSO</b>	PRE-GRADO
<b>COORDINADOR RESPONSABLE</b>	Alonso González
<b>EQUIPO DOCENTE</b>	Alonso González
<b>ÁREA DE LA ASIGNATURA</b>	OBLIGATORIA
<b>RÉGIMEN DE ESTUDIO</b>	SEMESTRAL
<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS HORAS</b>	6 HORAS TEÓRICO-PRÁCTICAS
<b>ASIGNATURAS PREVIAS</b>	
<b>REQUISITO PARA</b>	
<b>FECHA DE INICIO</b>	18 de Marzo del 2024
<b>FECHA DE TÉRMINO</b>	03 de Julio del 2024

## DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y PILOTAJE DE PROCESOS DE MINERALES. METODOLOGÍAS DE ESCALAMIENTO Y USO DE MODELOS MATEMÁTICOS QUE PERMITAN OPTIMIZAR LAS ETAPAS DE DESARROLLO DURANTE EL PROCESO DE ESCALAMIENTO Y SU POSTERIOR IMPLEMENTACIÓN A ESCALA INDUSTRIAL.

## COMPETENCIAS DEL PERFIL PROFESIONAL

### 1. COMPETENCIAS GENERALES

Capacidad para el Análisis, criterio y diseño de procesos de minerales y su implementación en la industria a través de metodologías de escalamiento.

Criterio para evaluar desde un punto de visto técnico económico la factibilidad de un proceso y los costos asociados a su escalamiento.

Criterio de evaluación, fundamentado en los conocimientos científico-técnicos de equipos utilizados en procesos de minerales, para el escalamiento y pilotaje industrial.

## 2. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

### OBJETIVOS

---

#### OBJETIVOS GENERALES:

Al término del curso el estudiante será capaz de aplicar los conceptos fundamentales del Diseño, escalamiento y pilotaje aplicado a procesos de minerales.

El estudiante podrá definir factores de escala geométricos y volumétricos para pasar de la escala laboratorio hasta la escala industrial atravesando otras etapas intermedias de escalamiento.

El estudiante al término del curso tendrá la habilidad de transmitir en forma oral y escrita las actividades de todas las fases de escalamiento en procesos de minerales.

### UNIDADES DE APRENDIZAJE

---

#### UNIDAD I: INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y ESCALADO INDUSTRIAL

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante será capaz de reconocer los problemas que surgen durante el diseño y escalamiento de procesos como conceptos generales. Esta unidad introduce al estudiante en conceptos generales que luego en capítulos posteriores serán desarrollados en profundidad.

#### **CONTENIDO: INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y ESCALADO INDUSTRIAL**

Introducción Al Escalado Industrial, etapas a considerar en los trabajos de Investigación y Desarrollo (I + D), Alcance de las etapas de I+D, donde se estudiarán los criterios a considerar para los límites entre escalas, escala de laboratorio, escala de banco, escala piloto, escala semi-industrial, escala industrial. Criterios de diseño: la base formal del diseño.

#### UNIDAD II: TÉCNICAS EMPLEADAS EN EL PROCESO DE ESCALADO

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante podrá aplicar metodologías y procedimientos que permitan transferir a la escala industrial, los datos obtenidos en los experimentos a escala reducida.

#### **CONTENIDO: TÉCNICAS EMPLEADAS EN EL PROCESO DE ESCALADO**

2.1. Principio de Similitud

2.2. Adimensionamiento y escalamiento de procesos (determinar variables adimensionales).

2.3 La Extrapolación y los Efectos de Frontera.

#### UNIDAD III: EMPLEO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL PROCESO DE ESCALADO

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante debe ser capaz de aplicar conceptos fundamentales de procesos de minerales y usarlos para desarrollar modelos matemáticos y

simulaciones de sistemas durante la etapa de diseño y escalamiento de procesos de minerales.

**CONTENIDO: EMPLEO DE MODELACIÓN MATEMÁTICA Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL PROCESO DE ESCALADO**

- 3.1. Simulación matemática de procesos industriales.
- 3.2. Conceptos básicos de diseño estadístico.
- 3.3. Uso de programas estadísticos y simuladores industriales.
  - 3.3.1. Statgraphics (programa útil en el diseño de experimentos y análisis estadístico de resultados)
  - 3.3.2. PlantDesigner®: una herramienta de modelado de trituración y cribado
  - 3.3.3. JKSimMet: un simulador para análisis, optimización y diseño de circuitos de conminución
  - 3.3.4. JKSimFloat como herramienta práctica para el diseño y la optimización del proceso de flotación
  - 3.3.5. Aparición de HFS como herramienta de diseño en procesamiento de minerales
  - 3.3.6. Metsim como herramienta para la simulación de procesos

**UNIDAD IV: PRUEBAS A ESCALA DE BANCO Y PLANTA PILOTO**

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante conocerá criterios de escalamiento en los distintos procesos minero metalúrgicos.

**CONTENIDO: PRUEBAS A ESCALA DE BANCO Y PLANTA PILOTO**

- 4.1. Descripción general de los procedimientos de pruebas metalúrgicas y el desarrollo de diagramas de flujo
- 4.2. Pruebas a escala de banco y planta piloto para el diseño de circuitos de conminución
- 4.3. La selección de reactivos de flotación mediante pruebas de flotación por lotes
- 4.4. Programas de bancos y plantas piloto para el diseño de circuitos de flotación
- 4.5. Pruebas a escala de banco y planta piloto para diseño de circuitos de filtración
- 4.6. Trabajo a escala de banco y planta piloto para el diseño de circuitos de recuperación de oro y cobre.

**UNIDAD V: ALGUNAS APLICACIONES EN EL ESCALADO EN LA INDUSTRIA**

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante será capaz de evaluar, diseñar y seleccionar equipamiento aplicado a los procesos más importantes que ocurren en una faena minera.

**CONTENIDO: ALGUNAS APLICACIONES EN EL ESCALADO EN LA INDUSTRIA**

- 5.1. Conminución (trituración y molienda)
  - 5.1.1. Factores que influyen en la selección de circuitos de conminución
  - 5.1.2. Tipos y características de equipos de trituración y diagramas de flujo de circuitos
  - 5.1.3. Selección y dimensionamiento de trituradoras primarias
  - 5.1.4. Consideraciones de diseño y diseño de trituración en pozo
  - 5.1.5. Selección y dimensionamiento de trituradoras de cono secundarias y terciarias
  - 5.1.6. Tipos y características de equipos de molienda y diagramas de flujo de circuitos
  - 5.1.7. Selección y dimensionamiento de molinos autógenos y semiautógenos
- 5.2. Separación de tamaño
  - 5.2.1. Selección de hidrociclones para el diseño de plantas
  - 5.2.2. Cribado grueso
  - 5.2.3. Cribado fino en operaciones de procesamiento de minerales
- 5.3. Separación sólido-sólido (segunda clasificación)
  - 5.3.1. Tipos y características de separación por gravedad y diagramas de flujo

5.3.2. Selección y dimensionamiento de equipos de concentración centrífuga; Diseño de planta

5.3.3. Dimensionamiento y selección de equipos de medios pesados: diseño

5.4. Flotación

5.4.1. Descripción general de los desarrollos recientes en tecnología de flotación y práctica de planta para minerales de cobre y otros minerales

5.4.2. Una descripción general de los desarrollos recientes en tecnología de flotación y práctica de plantas para minerales de cobre

5.4.3. Diseño de máquinas de flotación mecánica.

5.4.4. Selección de equipos de flotación y diseño de planta

5.4.5. Flotación de columna

5.5. Separación sólido-líquido

5.5.1. Caracterización de los objetivos del proceso y enfoque (general) para la selección de equipos

5.5.2. Sedimentación y filtración centrífugas para el procesamiento de minerales

5.6. Escalado de Tanques con Agitación Mecánica

5.6.1. Criterios de semejanza y ecuaciones de escalado

5.6.2. Relaciones de escalado para la transferencia de calor en tanques agitados mecánicamente

5.7. Escalado de los reactores químicos

5.7.1. Reactores discontinuos

5.7.2. reactores continuos

5.7.2.1. Reactores tubulares

5.7.2.2. Reactores de tanque perfectamente agitados.

5.7.3. Escalado de reactores catalíticos.

**UNIDAD VI: PLANTAS PILOTO**

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante podrá entender, analizar y ser capaz de diseñar una planta piloto desde sus diseño, construcción y funcionamiento.

**CONTENIDO: PLANTAS PILOTO**

6.1. Definición de una planta piloto

6.2. Costos de la planta piloto

6.3. Principales tipos de plantas piloto existentes

6.4. Diseño de plantas piloto

6.5. Detalles de construcción

6.6. Operación de una planta piloto.

**UNIDAD VII: ESTUDIOS FINANCIEROS Y DE VIABILIDAD**

**OBJETIVOS:** En esta unidad el estudiante podrá evaluar desde un punto de vista técnico económico las distintas etapas del diseño y escalamiento de un proceso de minero metalúrgico. Aplicará todo el conocimiento y metodologías aprendidas de los capítulos I al VI.

**CONTENIDO: ESTUDIOS FINANCIEROS Y DE VIABILIDAD**

7.1. Directrices para estudios de viabilidad

7.2. Costos de equipos de procesamiento de minerales principales y estimaciones preliminares de costos de capital

7.3. Financiación de proyectos mineros explicada

## METODOLOGIA

### **Clases teóricas:**

Clases expositivas teórico/prácticas con apoyo de medios audiovisuales.

### **Ayudantías:**

Resolución de problemas procedentes de la bibliografía recomendada o suministrados como una guía de ejercicios y problemas por el profesor/a

### **Laboratorios:**

Realización de dos trabajos experimentales. En el caso de laboratorios virtuales se desarrollará una metodología de interacción con el estudiante a través de diagramas de flujo, videos y simulaciones de procesos a partir de las cuales se obtendrán datos para su tratamiento y cálculos, de esta manera reforzar el conocimiento teórico adquirido.

### **Trabajos prácticos: Taller**

Estudio de un tema referido a diseño y escalamiento de un proceso industrial. Presentación por escrito y oral.

## EXIGENCIAS DE LA ASIGNATURA

Para un buen aprovechamiento y asimilación de conocimiento es necesaria la permanente asistencia a clases.

Para una mejor comprensión de la asignatura es necesario que el estudiante trabaje continuamente en la lectura de cada clase entregada por el profesor. Por otra parte, potenciar la lectura de comprensión usando bibliografía entregada y de otros textos que refuercen el aprendizaje de la materia.

## EVALUACIÓN

1ª Prueba Parcial: 17 de abril del 2024 (20 %)

2ª Prueba Parcial: 29 de mayo del 2024 (20 %)

3ª Prueba Final escrita: 3 de julio del 2024 (20 %)

Laboratorio (20%):

Laboratorio 1. Pruebas escala laboratorio de las columnas de resinas de intercambio iónico para el tratamiento de aguas. 4 de junio de 2024 (10%)

Laboratorio 2: Pruebas escala banco electrodiálisis para el tratamiento de aguas. 18 de junio de 2024 (10%)

---

Taller: 26 de junio de 2024 (20%)

## BIBLIOGRAFIA

---

- [1] Roberto A. González Castellanos. (2000). Principios básicos de escalado. Editorial Universitaria.
- [2] Anaya-Durand, Alejandro; Pedroza-Flores, Humberto. (2008). Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.
- [3] Díaz de los Rios, Manuel y Agil, Liliana (1996). Experimentación en plantas piloto. Ingeniería química. XXVIII. 135.
- [4] Ramon de la Peña Manrique. (1978). Técnicas de escalamiento aplicadas al diseño de procesos químicos.
- [5] Tkachenko Gorski, Ferrer Villanueva. (2014). Fundamentos matemáticos de la ingeniería química, Ecuaciones diferenciales y temas complementarios. Editorial Universitat politécnica de Valencia. Tercera edición.
- [6] Weber, Roman. Mancini, Marco. (2020). On scaling and mathematical modelling of large scale industrial flames. Journal of the Energy Institute.
- [7] Filho, Pedro I. O. Carmalt, Claire J. Angeli, Panagiota. Fraga, Eric S. (2020). Mathematical Modeling for the Design and Scale-Up of a Large Industrial Aerosol-Assisted Chemical Vapor Deposition Process under Uncertainty. Industrial & Engineering Chemistry Research
- [8] Juan Paulo García Sandoval. (2011). Notas de Matemáticas aplicadas a la Ingeniería Química.
- [9] Linninger, A.A and Chowdhry, S. and Bahl, V. and Krendl, H. and Pinger, H. (2000). A systems approach to mathematical modelling of industrial process. Computers and Engineering. 24. 591-598