

Programa de Asignatura
TALLER DE PROCESAMIENTO DE MINERALES

A. Antecedentes Generales

1. Unidad Académica	FACULTAD DE INGENIERÍA					
2. Carrera	INGENIERÍA CIVIL EN MINERÍA					
3. Código del ramo	IIT418M					
4. Ubicación en la malla	IV año, VII semestre					
5. Créditos	10					
6. Tipo de asignatura	Obligatorio	X	Electivo		Optativo	
7. Duración	Bimestral		Semestral	X	Anual	
8. Módulos semanales	Clases Teóricas	2	Clases Prácticas		Ayudantía	-
9. Horas académicas	Clases	48	Ayudantía		-	
10. Pre-requisito	Mecánica de Fluidos					

B. Aporte al Perfil de Egreso

El curso persigue que el alumno comprenda los distintos métodos y tecnologías utilizados para el procesamiento de los minerales extraídos desde una mina, de manera de obtener productos con mayor valor comercial, y las bases conceptuales en las que éstos procesos se sustentan. Se profundizará en los procesos de tratamiento de minerales de cobre, tanto de la línea flotación como de la línea hidrometalúrgica, por ser éstos los más relevantes en la minería nacional.

Se trata de un curso en metodología de taller, que combina los aspectos teóricos con actividades prácticas de laboratorio y salidas a terreno, y cuyo elemento diferenciador con programas equivalentes en otras instituciones, es su marcado enfoque desde la perspectiva de la Ingeniería Civil en Minería. En otras palabras, no se busca especialistas en la disciplina del procesamiento de minerales, que es una especialidad de la ingeniería por si misma, sino Ingenieros Civiles en Minería con los conocimientos y competencias suficientes en este ámbito, para lograr una integración exitosa y eficiente de las plantas de proceso con el resto del ciclo minero.

El énfasis está dado buscando los siguientes Resultados de Aprendizaje (RA):

- Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas.
- Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre.
- Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración.

- Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.

El curso pertenece al ciclo de Licenciatura y se inserta en la línea de Talleres y Laboratorios, fortaleciendo el aprendizaje experiencial centrado en la participación activa del estudiante, el trabajo en equipo y el desarrollo de la autodisciplina. Dentro de la malla, la asignatura se relaciona con los cursos "Taller de Introducción a Sistemas Mineros", "Taller de Mineralogía y Petrografía", "Taller de Geología de Yacimientos", "Mecánica de Fluidos" y "Termodinámica".

El curso posee contenidos y/o elementos que tributan, en mayor o menor medida, a todas las Competencias Genéricas UDD (de acuerdo con la Definición del Proyecto Educativo 2015): Autonomía, Comunicación, Eficiencia, Emprendimiento y Liderazgo, Ética, Responsabilidad Pública, Visión Analítica y Visión Global.

El aporte al perfil de egreso se traduce principalmente en el aporte a una visión holística e integradora de los procesos mineros, entre sí y con su entorno; identificación de oportunidades de innovación y emprendimiento asociadas a las diversas dimensiones de la industria minera y al balance entre los aspectos teóricos y prácticos de la especialidad.

La asignatura tributa directamente sobre las siguientes Competencias Específicas (CE) de la carrera:

- CE 1:** Ser capaces de identificar, conceptualizar y resolver los desafíos fundamentales planteados por la Ingeniería en Minería, mediante la aplicación de las ciencias básicas, ciencias de la ingeniería, geología y ciencias económicas.
- CE 4:** Aplicar las ciencias económicas, herramientas avanzadas de gestión y tecnologías de la información, en la evaluación, planificación y administración de proyectos mineros, utilizando una visión global del ciclo minero, integrando las variables críticas de las distintas operaciones unitarias, de manera de optimizar sus resultados finales.
- CE 5:** Capacidad para interpretar resultados emanados de los procesos de retroalimentación, monitoreo y control de proyectos mineros, y aplicarlos en procesos de mejoramiento continuo.
- CE 6:** Capacidad para identificar oportunidades asociadas a las diversas dimensiones de la Industria Minera y emprender la creación de servicios y productos para resolver problemas del ámbito minero.
- CE 7:** Ser capaz de realizar un trabajo interdisciplinario, tanto con las otras especialidades de la ingeniería asociadas a los procesos mineros, como con profesionales de ámbitos diferentes que intervienen en el desarrollo de un proyecto.
- CE 8:** Tener una visión integral de la industria en su conjunto y su inserción en un entorno socio-ambiental complejo, conceptualizando y resolviendo los problemas de ingeniería minera de una manera holística, colaborativa e inclusiva, más allá del mero ámbito técnico-económico.

C. Competencias y Resultados de Aprendizaje generales que desarrolla la asignatura

Competencias Genéricas	Resultados de Aprendizaje Generales
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.
Eficiencia	
Responsabilidad Pública	
Emprendimiento y Liderazgo	
Ética	
Visión Analítica	
Visión Global	
Competencias Específicas	
CE 1	
CE 4	
CE 5	
CE 6	
CE 7	
CE 8	

D. Unidades de Contenidos y Resultados de Aprendizaje

Unidades de Contenidos	Competencia	Resultados de Aprendizaje
<p>Unidad 1: Introducción al Procesamiento de Minerales</p> <p>1.1 <u>Fundamentos y Conceptos básicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Por qué los minerales provenientes de la mina deben ser procesados? Mena y Ganga Liberación / Separación Ley Mineralógica/ Ley de Cabeza / Recuperación Sub productos, contaminantes Problema Económico: Recuperación vs Tonelaje Procesado <p>1.2 <u>Revisión Sinóptica de los Procesos Típicos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Propiedades de los minerales que permiten su recuperación. Procesamiento de Minerales de Cobre (Línea Flotación / Línea Lixiviación /ROM/Tendencias/ Comparación de Costos, etc.) 	<p><u>Competencias Genéricas:</u> Visión Analítica Visión Global</p> <p><u>Competencias Específicas</u> CE 1 CE 4 CE 5 CE 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.

<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento de Minerales de Oro • Procesamiento de Minerales de Fierro • Procesamiento de Minerales de Otros Minerales Metálicos • Procesamiento de Minerales de Minerales No Metálicos (Sales, Caliza, etc.) <p>1.3 <u>El Procesamiento de Minerales en el Contexto del Ciclo Minero Global</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración Mina-Planta: Visión Preliminar • Agua, Energía y otras Variables Críticas (Consumos y costos típicos) • Pasivos Ambientales • Enfoque Geometalúrgico 		
<p>Unidad 2: Procesamiento de Minerales de Cobre, Línea Molienda-Flotación</p> <p>2.1 <u>Introducción al Proceso Línea Molienda-Flotación</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de flujo típico, Inputs y outputs • Variables críticas de cada etapa y sus valores típicos • Tendencias <p>2.2 <u>Reducción de Tamaño: Conminución</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos: Mecanismos, Equipos Utilizados, Razón de Reducción • Análisis granulométrico • Distribución de R-R • Leyes de la Conminución (índice de Bond) <p><i>Actividad de Laboratorio: Determinación de una Curva de Distribución Granulométrica de un Mineral y ajuste al modelo R-R y Gaudin-Schuhmann, etc.</i></p> <p>2.3 <u>Chancado</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos y aspectos teóricos • Etapas • Equipos más utilizados y sus características técnicas • Clasificación mediante Harneros 	<p><u>Competencias Genéricas:</u> Eficiencia Visión Analítica Visión Global</p> <p><u>Competencias Específicas</u> CE 1 CE 4 CE 5 CE 6 CE 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. • Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. • Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. • Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.

<ul style="list-style-type: none"> ● Reflexión: “Chancado primario: el link Mina-Planta” <p>2.4 <u>Molienda</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos y aspectos teóricos ● Implicancias del paso a un proceso húmedo ● Molinos de Bolas y de Barras ● Molienda Autógena y Semi-Autógena, Pebbles ● Clasificación mediante Hidrociclones <p>2.5 <u>Flotación</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos y aspectos teóricos ● Reactivos: Colectores, Espumantes, Modificadores y otros ● Etapas típicas y Equipos ● Flotación diferencial y colectiva (Recuperación de Molibdeno, flotación diferencial de sulfuros, flotación y colectiva de sulfuros y óxidos, etc.) <p><i>Actividad de Laboratorio: Flotación de un mineral de cobre.</i></p> <p>2.6 <u>Recuperación de Agua: Espesamiento y Filtración</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos y aspectos teóricos ● Equipos más utilizados y sus características técnicas ● Reactivos: Floculantes y coagulantes <p>2.7 <u>Equipos para el Manejo y Transporte de Sólidos y pulpas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Alimentadores ● Correas Transportadoras ● Bombas ● Mezcladores y agitadores ● Mineroductos <p>2.8 <u>Disposición de Relaves</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Fundamentos y aspectos teóricos ● Técnicas principales <p>2.9 <u>Revisión Breve de la Fundición de Concentrados y Refinación</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Revisión Sinópica de los procesos pirometalúrgicos del cobre ● Revisión Sinópica de la Refinación de Ánodos de cobre 		
--	--	--

<p>Unidad 3: Procesamiento de Minerales de Cobre, Línea Lixiviación</p> <p>3.1 <u>Introducción al Proceso Línea Lixiviación</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de flujo típico, Inputs y outputs • Variables críticas de cada etapa y sus valores típicos • Tendencias <p>3.2 <u>Lixiviación (LX)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos y aspectos teóricos • Reactivos • Etapas típicas y Equipos <p>3.3 <u>Extracción por Solventes (SX)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos y aspectos teóricos • Reactivos • Etapas típicas y Equipos <p>3.4 <u>Electro-Obtención (EW)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos y aspectos teóricos • Reactivos • Etapas típicas y Equipos 	<p><u>Competencias Genéricas:</u> Eficiencia Visión Analítica Visión Global</p> <p><u>Competencias Específicas</u> CE 1 CE 4 CE 5 CE 6 CE 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. • Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. • Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. • Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.
<p>Unidad 4: Balance Metalúrgico y Manejo de Datos</p> <p>4.1 Conceptos y definiciones</p> <p>4.2 Operatoria Básica</p> <p>4.3 Manejo de la Variabilidad e Incertidumbres de los datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muestreo (Teoría de Muestreo de Pierre Gy) • Reconciliación de Datos en el Balance Metalúrgico • Conciliación de Leyes Mina–Planta 	<p><u>Competencias Genéricas:</u> Eficiencia Visión Analítica Visión Global</p> <p><u>Competencias Específicas</u> CE 1 CE 4 CE 5 CE 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. • Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. • Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. • Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.

<p>Unidad 5: Reflexiones Finales</p> <p>5.1 Discusión sobre Elementos de Integración Mina-Planta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de Casos Reales de Éxito y Fracayos <p>5.2 Aspectos de Sustentabilidad y sus Implicancias</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energía, Agua, Pasivos Ambientales <p>5.3 Profundización del Enfoque Geometalúrgico</p> <p>5.3 Taller de Identificación de Desafíos Futuros y Oportunidades</p>	<p><u>Competencias Genéricas:</u></p> <p>Comunicación Eficiencia Responsabilidad Pública Emprendimiento y Liderazgo Ética Visión Analítica Visión Global</p> <p><u>Competencias Específicas</u></p> <p>CE 1 CE 4 CE 5 CE 6 CE 7 CE 8</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entender los conceptos básicos de la disciplina de procesamiento de minerales y sus variables críticas. • Comprender elementos básicos de diseño de los procesos de beneficio de mineral, con énfasis en minerales de cobre. • Entender los procesos de beneficio de mineral y sus implicancias desde el punto de vista del negocio minero global, haciendo hincapié en los elementos fundamentales para su integración. • Manejar el lenguaje de esta disciplina y comunicarse efectivamente con profesionales metalurgistas.
--	--	---

E. Estrategias de Enseñanza

Se trata de un curso en metodología de taller, que combina los aspectos teóricos con actividades prácticas y de aprendizaje activo las que incluyen:

- 2 Experiencias de Laboratorio
- 2 Salidas a terreno a Plantas de Procesamiento
- Talleres de discusión y Ensayo de Reflexión
- Charlas de expertos

F. Estrategias de Evaluación

La evaluación del curso será en base al siguiente esquema:

Evaluación	Ponderación	Observaciones
Certamen 1	20%	
Certamen 2	20%	
Mini-Controles (4)	10%	Se elimina el peor y se promedian los 3 restantes.
Informes de Laboratorio (2)	10 %	Se promediará nota de cada informe.
Ensayo Breve de Reflexión	5%	
Examen Final	35%	

Requisito de asistencia: este curso no tiene requisito de asistencia a las clases (no se pasará lista), pero se exigirá asistencia obligatoria a las actividades de laboratorio.

G. Recursos de Aprendizaje

Bibliografía obligatoria:

- 1 Fuerstenau, M. & Han, K. (Editors). (2003). "Principles of Mineral Processing", Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME).
- 2 Ballester, A., Sancho, J. & Verdeja, L. (2000) "Metalurgia Extractiva: Fundamentos (Vol. I y II), Ed. SINTESIS.

Bibliografía Complementaria:

- 1 Metso Minerals. "Basic in Minerals Processing". Edition 10, 2015. Disponible on-line: [http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/EAE6CA3B8E216295C2257E4B003FBBA6/\\$File/Basics-in-minerals-processing.pdf](http://www.metso.com/miningandconstruction/MaTobox7.nsf/DocsByID/EAE6CA3B8E216295C2257E4B003FBBA6/$File/Basics-in-minerals-processing.pdf)
- 2 Domic, E. (2001) "Hidrometalurgia, fundamentos, procesos y aplicaciones". Editorial Null/Andros Impresores Ltda.