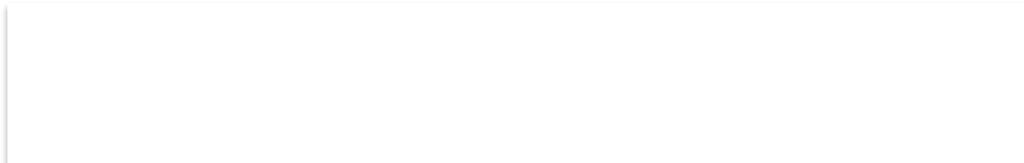


# Procesos de conminución

**Nombre:** Felipe Sepúlveda Unda

**Profesión:** Ingeniero Civil en Metalurgia

**Grado académico del profesor:** Doctor en Procesamiento de  
Minerales



# Descripción



La asignatura se refiere a los procesos del campo de la mineralurgia. Entre los temas que se tratan son la preparación mecánica, transporte de materiales y muestreo.

# Descripción

## ANTECEDENTES GENERALES

Carrera	INGENIERIA CIVIL EN MINAS			
Nombre de la asignatura	PROCESOS DE CONMINUCION			
Código de la asignatura	MSIQ64			
Año/Semestre	2ER AÑO / II SEMESTRE			
Coordinador Académico	FELIPE SEPULVEDA			
Equipo docente	FELIPE SEPULVEDA			
Área de formación	BÁSICA			
Créditos SCT	4 CRÉDITOS			
Horas de dedicación	Actividad presencial	3P	Trabajo autónomo	3C
Fecha de inicio	9 DE AGOSTO DE 2021			
Fecha de término	26 de noviembre 2021			

1.4.1.1 Describe los aspectos teóricos y parámetros de evaluación del proceso de reducción de tamaño/clasificación/almacenamiento que son necesarios para la caracterización del material requerido por la operación metalúrgica.

1.4.1.2 Resuelve problemas metalúrgicos de mediana complejidad descritos dentro de la evaluación del proceso de reducción de tamaño/clasificación/almacenamiento (diseño).

1.4.1.3 Describe y ejecuta ensayos de laboratorio metalúrgicos generales, para cuantificar las características de sistemas particulados. **(laboratorios presenciales)**

# Contenido

## Unidad I: “Caracterización de sistemas particulados”

- 1.1 Generalidades.
- 1.2 Definiciones básicas.
- 1.3 Caracterización física, química y mineralógica
- 1.4 Análisis granulométrico

## Unidad II: “Muestreo de minerales”

- 2.1 Definiciones de términos estadísticos.
- 2.2 Descripción general de las expresiones de muestreo.
- 2.3 Tipos de muestreo.
- 2.4 Equipos de muestro.
- 2.5 Teoría del muestreo.

## Unidad III: “Transporte y almacenamiento de materiales a granel”.

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Correas transportadoras.
- 3.3 Sistemas de almacenamiento de materiales: Silos, acopios, buzones.

Unidad IV: “Operaciones de reducción de tamaño y clasificación”

4.1 Relaciones de energía/tamaño de partícula. Teoría de Bond

4.2 Chancado y harneo

4.3 Molienda y clasificación.

Unidad V: “Calculo y diseño de proceso”

5.1 Modelación en procesos de transporte, reducción de tamaño y análisis granulométrico.

5.2 Balances de circuitos de procesos.

5.3 Parámetros de eficiencia del proceso.

5.4 Capacidad de tratamiento

**5.5 Dimensionamiento de stockpile**

**5.6 Dimensionamiento de harneros.**

**5.7 Dimensionamiento de Chancadoras.**

Unidad VI: “Laboratorios”.

6.1 Caracterización de material particulado (densidad real y aparente, % humedad, gravedad específica).

6.2 Homogenización y muestreo y Análisis granulométrico.

6.3 Proceso de conminución primario.

6.4 Proceso de conminución en circuito.

6.5 Proceso de molienda.

Junto con saludarles, envío a ustedes la información correspondiente al Segundo Semestre 2025:

### **Calendario académico:**

- Inicio de clases: 25 de agosto de 2025
- Término de clases: 24 de diciembre de 2025

### **Observación:**

- El 24 de diciembre las actividades se desarrollarán solo hasta las 13:00 horas
- El 26 de diciembre: Receso Universitario





# Evaluación

1.- Prueba: Primer resultado de aprendizaje. (30 %)

- Primera evaluación teórica.: Primer resultado de aprendizaje

**Nota: Todo el material se dispone en la plataforma Ucampus.**

Nota de la prueba del primer módulo, prueba 70%

Talleres de clases: Los talleres constituyen el 30 %

2.- Taller Global practico: Segundo y tercer resultado de aprendizaje. (40 %) – *pruebas en duplas*

- Taller N°1: Análisis granulométrico (50%)

- Ajuste de modelos metalúrgicos y modelo de perforación y tronadura.

- Taller N°2: Balance de masa con diseño de equipos (50%)

- Balance de masa línea de chancado.
- Balance de masa línea de molienda.

- Talleres de clases: trabajos pequeños asociados a cada clase (30 %)

**Nota: CADA ALUMNO CONSTRUYE SU MATERIAL.**

**SE DESARROLLAN LOS EXAMENES**

3.- Tercera Nota: Laboratorios Metalúrgicos(30 %)

Informes poseen la misma ponderación

**Notas se realizará por informe de grupo y preguntas individuales a los alumnos.**

# Evaluación

Todas las pruebas recuperativas se desarrollan en horarios de clases, y se realizarán a la semana posterior de la prueba general a la segunda prueba.

Primera prueba recuperativa: escrita

Segunda prueba recuperativa: oral/escrita

Las pruebas (exámenes) se tomarán al finalizar el **segundo resultado de aprendizaje**.

Talleres de clases, **no se recuperan** y queda todas las notas estimadas. **(15 minutos)**

En la segunda etapa de cálculos, se requiere de una **laptop/Tablet** para realizar cálculos, se requiere solamente el programa Excel.

Los grupos de laboratorio, el coordinador designado puede comentar dentro del laboratorio si uno de sus integrantes no ha contribuido al grupo, pudiendo **rebajar su nota hasta 3 puntos** como máximo de la nota del equipo.

# Talleres complementarios

Se coordinará en función del interés de los alumnos/as, la posibilidad de realizar talleres complementarios de Excell



# Cronograma

Fecha	Temática.
25 de agosto	Introducción
08 de septiembre	caracterización sistemas particulados - Transporte y almacenamiento
15 de septiembre	Transporte y almacenamiento – Muestreo
22 de septiembre	Muestreo
29 de septiembre	Chancado
06 de octubre	Chancado – Molienda
13 de octubre	Sistemas de separación
20 de octubre	circuitos de conminución – Consultas de prueba
<b>20 octubre</b>	<b>Semana de la ingeniería – 12:00 – PRIMERA PRUEBA</b>
<b>27 de octubre</b>	<b>Semana de salud mental</b>
03 de noviembre	Análisis granulométrico
10 de noviembre	<i>Analisis granulométrico - Balance de masa N°1</i>
17 de noviembre	<i>Balance de masa N°2</i>
24 de noviembre	<i>Balance de masa N°3</i>
18 noviembre	<b>Taller de calculo</b>
01 de diciembre	Laboratorio N°1 – Caracterización de material particulado
08 de diciembre	Laboratorio N°2 – Homogenización - muestreo
15 de diciembre	Laboratorio N°3 - Chancado
22 de diciembre	Laboratorio N°4 –Análisis granulométrico y razón de reducción
29-02 enero	Exam N°1
05-09 enero	Exam N°2

# Apoyo Bibliográfico

## TEXTO GUIA

- KELLY ERROLL and SPOTTISWOOD DAVID, Introducción al procesamiento de minerales, 622.7, K295i..
- WILLS, B. A., "Tecnologías de procesamiento de minerales: Tratamiento de menas y recuperación de metales", 622.7.

## texto Complementario:

- LYNCH, A.J.. Circuitos de trituración y molienda de minerales. 622.735, L987m.E.
- BRAZY P. El beneficio de los minerales, 622.7, B614.
- DENVER. Modern Minerals processing flowsheets. 622.7 D437 m.
- Material de clases.

## TÍTULO VI DE LA ASISTENCIA A ACTIVIDADES ACADÉMICAS.

**Artículo 29:** La asistencia a trabajos prácticos, laboratorios, prácticas e internados será obligatoria en un 100% para todos los estudiantes, debiendo cada Carrera establecer la modalidad más adecuada para cumplir con esta exigencia.

La asistencia a clases teóricas-prácticas, no podrá ser inferior a un 75%, exceptuando a aquellas asignaturas teóricas prácticas que por acuerdo de los comités de carrera exijan 100% de asistencia, situación que se estipulará en el respectivo programa de asignatura, guía de aprendizaje y en el Reglamento de Carrera.

**Artículo 30:** El estudiante que no asista a una evaluación será calificado con la nota mínima (1,0). Sin embargo, podrá ser sometido a otra evaluación especial aquel estudiante que justifique su inasistencia, mediante solicitud presentada para su resolución a la Dirección del Departamento que dicta la asignatura, dentro de los tres días hábiles siguientes al término de la causal que provocó su inasistencia.

Los certificados médicos que se presenten deberán ser visados por SEMDA. El Director del Departamento tendrá tres días hábiles para responder la solicitud.

En caso de aprobarse la solicitud, la nueva evaluación deberá realizarse antes que finalice el semestre e inicie el periodo de exámenes.

En esta oportunidad los contenidos a evaluar deberán ser los evaluados en la oportunidad en la que el estudiante faltó.

Si la inasistencia ha sido al examen en 1º oportunidad el estudiante se presentará, automáticamente, al examen en 2º oportunidad. Si el estudiante no asistiera al examen en las dos oportunidades deberá elevar la solicitud fundada y con los respaldos adecuados a la unidad que dicta la asignatura, la que resolverá y estipulará, en su caso, los plazos para regularizar la situación, teniendo derecho a los dos exámenes.

## TÍTULO VII DE LAS EVALUACIONES Y CALIFICACIONES

**Artículo 32:** Toda actividad curricular del estudiante, contenida en su Plan de Estudio, será sometida a un proceso evaluativo cuyo objetivo es medir el nivel de logro de los objetivos de aprendizaje para las carreras por objetivos o los resultados de aprendizaje para las carreras rediseñadas.

Las evaluaciones se distribuirán proporcionalmente a través de todo el periodo académico, resguardando siempre que el proceso de evaluación sea permanente, continuo y sistemático.

Los procedimientos evaluativos deberán tener relación con metodologías de enseñanza, los objetivos o resultados de aprendizaje, según corresponda, de modo que su resultado refleje el aprendizaje del estudiante.

Para tal efecto, el docente o coordinador de asignatura establecerá en el Programa de la asignatura los procedimientos de acuerdo con las características propias de la actividad curricular a evaluar y las metodologías de enseñanza desarrolladas.

Los procedimientos evaluativos entre otros pueden ser:

- Pruebas escritas
- Interrogaciones orales
- Informes individuales o de grupos
- Exposiciones
- Portafolios
- Simulación
- Proyectos

**ARTÍCULO 33:** Al inicio del semestre cada profesor o profesor coordinador de asignatura generará la estructura de evaluación en la plataforma de notas. Quedando establecido el número de evaluaciones y las ponderaciones que tendrán para la calificación final.

Las calificaciones alcanzadas en situaciones de evaluación escrita deberán ser comunicadas dentro de los quince días posteriores a su realización y consignadas en la plataforma de notas de la Universidad, con excepción de los trabajos de investigación, tesis y/o talleres que tendrán un plazo máximo de treinta días. Dicho plazo no podrá superar la fecha del día anterior al examen final correspondiente a la asignatura.

Al término del semestre, o año para las asignaturas anuales, el profesor o coordinador de la asignatura deberá cerrar el acta quedando los estudiantes en una de las siguientes condiciones: aprobado, reprobado o retirado.

**ARTÍCULO 35:** En el transcurso de la primera semana del semestre respectivo, el académico responsable deberá dar a conocer al estudiante por algún medio electrónico o escrito lo siguiente:

- a. El programa y/o guía de aprendizaje de la actividad curricular.
- b. Procedimientos de evaluación que se aplicarán especificando la ponderación que se asignará para cada nota parcial.
- c. Calendarización de evaluaciones y examen, cuando procediere de conformidad al Artículo 36 de este Reglamento, en primera y segunda oportunidad.
- d. Otras exigencias de la actividad curricular.



**Artículo 36:** La evaluación de cada actividad curricular deberá ser traducida en notas según escala de 1 a 7.

En los casos de Reconocimiento de Actividades Curriculares, las unidades académicas responsables (Departamento, Instituto o Centro) deberán convertir las calificaciones obtenidas por el peticionario a la escala de notas de la Universidad de Antofagasta, utilizando el instrumento otorgado por la Dirección de Gestión Docente.

**Artículo 37:** La nota mínima de aprobación es cuatro (4.0) y corresponde al cumplimiento mínimo requerido de los objetivos de la actividad curricular no pudiendo ser inferior al 60% ni superior al 75% para la nota cuatro.

Los exámenes de primera y segunda oportunidad se fijarán en el Calendario de Actividades Académicas de la Universidad: Efemérides, cautelando que el estudiante disponga del tiempo necesario para su preparación entre ambos exámenes. Las de régimen anual y de segundo semestre en las carreras de régimen semestral, por sus características especiales podrán fijar el examen de segunda oportunidad dentro de la primera semana del periodo académico inmediatamente siguiente, antes del inicio de las clases.

**Artículo 39:** Tratándose de actividades curriculares de planes de estudio por resultados de aprendizaje y demostración de competencias. La Actividad académica (asignatura) se aprobará cuando todos los resultados de aprendizajes sean aprobados por el estudiante, teniendo promedio igual o superior a cuatro (4,0).

Los estudiantes de las carreras con planes basados en resultados de aprendizaje y demostración de competencias (rediseñados), que hayan reprobado uno o más de los resultados de aprendizaje de la asignatura tendrán derecho a realizar una actividad de evaluación (remedial, examen u otra) en primera y segunda oportunidad. En esta actividad deberá evaluarse el o los resultados de aprendizaje no logrados.

Para los estudiantes que deban rendir estas actividades de evaluación (remedial, examen u otra), la calificación de la actividad curricular (asignatura) se obtendrá a partir del promedio de las calificaciones obtenidas en cada resultado de aprendizaje. La calificación obtenida en la actividad de evaluación primera o segunda oportunidad reemplazarán a la(s) de los resultados de aprendizaje no aprobados.

En el caso en que, una vez realizadas las actividades de evaluación, se reprobe un resultado de aprendizaje, se reprobará la asignatura con calificación obtenida en dicho resultado de aprendizaje.

DE : VICERRECTORIA ACADEMICA

A : COMUNIDAD UNIVERSITARIA

La presente circular dispone normativa general de la docencia para el II semestre 2024:

### 3-. Asistencia a Clases:

Para dar vida al Modelo Educativo Institucional, cuyo foco de aprendizaje está centrado en el estudiante, el registro de asistencia es importante y obligatorio.

El docente deberá registrar la asistencia de los estudiantes, al inicio de la clase, en la plataforma Ucampus. La plataforma permite registrar la asistencia pasando lista o usando QR.

### 4-. Puntualidad:

- a) Para los estudiantes, se considerará atraso cualquier llegada tardía al aula por hasta 15 minutos. Pasado los cuales se considerará inasistencia quedando así consignado en Ucampus. El/la docente podrá tomar la decisión de dejar el ingreso al estudiante o, si por razones propias de la actividad a desarrollar, podrá decidir impedir el ingreso a clases después de los 15 minutos.

### 6-. Sistema de Monitoreo de la Docencia:

A través de la Plataforma Ucampus se realizará el monitoreo de la docencia para reconocer las actividades académicas del semestre, estará a cargo de las Direcciones de Desarrollo Curricular y Gestión Docente, quienes estarán permanentemente en revisión del registro de asistencia, incorporación de

notas, carga de materiales, etc., enviando un reporte mensual de la ejecución a las Decanaturas.

Profesor: **Felipe Sepúlveda Unda**

- Técnico en Minas liceo industrial Antofagasta.
- Ingeniero Ejecución en Metalurgia UCN
- Ingeniero Civil en Metalurgia UCN.
- Doctor de Procesamiento de minerales. UA.



Profesor: **Felipe Sepúlveda Unda**

- **Trabajos no-profesionales**

- Operador Planta piloto de flotación de molibdeno. Escondida.
- Operador Planta piloto de espesador de pasta. Escondida.
- Muestrero de control sondas de plantas en Laguna Seca y los Colorados, Escondida.
- Operador de pruebas SPI, Escondida.
- Operador de flotación, Codelco Chuquicamata.

- **Práctica Profesional**

- Planta de flotación y lixiviación en Taltal.
- Supervisor de laboratorio metalúrgico en Escondida.

# *Resumen funcional y áreas de interés*

Actualmente me encuentro como profesor de la Universidad de Antofagasta en el Departamento de Minas. Mis habilidades radican en la posibilidad de realizar pruebas experimentales y evaluarlas mediante técnicas sistematizadas:

- Optimización matemática de procesos,
- análisis de sensibilidad global,
- Simulación (método de Montecarlo),
- Redes neuronales,
- Geo-estadística
- Mecánica de rocas y suelo.

### Capítulos de Libros.

1. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2013, Global Sensitivity Analysis of a Mineral Processing Flowsheet, Proceedings of the 23rd European Symposium on Computer Aided Process Engineering, edited by Andrzej Kraslawski and Ilkka Turunen, 913-918, Elsevier B.V. Amsterdam.
2. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Elorza M.A., Gálvez E.D., 2012, A Novel Method for Designing Flotation Circuits, Proceedings of the 22nd European Symposium on Computer Aided Process Engineering, edited by Ian David Lockhart Bogle and Michael Fairweather, Elsevier B.V. Amsterdam.
3. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2009, Sensitivity Assessment of Flotation Circuit to Uncertainty Using Monte Carlo Simulation, In Design for Energy and the Environment, edited by Mahumoud M El-Halwagi and Andreas A. Linninger, 679-688, CRC Press, Boca Raton.

### Publicaciones en Revistas Científicas.

1. Lucay F.A, Sepúlveda F.D., Delgado J., 2018, Aplicación de Redes Neuronales Artificiales de Base Radial y Geoestadística para la Interpolación/Reconstrucción de Base de Datos de Leyes de Cobre. Revista de minería y medio Ambiente.
2. Mellado M.E., Lucay F.A., Cisternas L.A , Gálvez E.D. and Sepúlveda F.D., 2018, A Posteriori Analysis of Analytical Models for Heap Leaching Using Uncertainty and Global Sensitivity Analyses, Minerals, 8,44, 1-16.
3. Sepúlveda F.D., Lucay F., Gonzalez J.F., Cisternas L.A., Gálvez, 2017, A methodology for the conceptual design of flotation circuits by combining group contribution, local/global sensitivity analysis, and reverse simulation. International Journal of Mineral Processing, Vol. 164. Pp. 56 – 66.
4. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Elorza M.A., Gálvez E.D., 2014, A methodology for the conceptual design of concentration circuits: Group contribution method. Computers and Chemical Engineering, Vol. 63. Pp. 173 – 183.
5. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2014, The use of global sensitivity analysis for improving processes: applications to mineral processing. Computers and Chemical Engineering, Vol. 66.Pp. 221-232.
6. Montenegro M.R., Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2013, Methodology for Process Analysis and Design With Multiple Objectives Under Uncertainty: Application to Flotation Circuits, International Journal of Minerals Processing. Vol 118, 15- 27.

## Publicaciones en Conferencias.

1. Arancibia-Bravo M.P., Lucay, F.A., López J., Mercado J., Sepúlveda F.D., Cisternas L.A, 2019, Optimization of the flotation process of copper ore with high pyrite and clays bearing in seawater utilizing response surface methodology. Procemin –Geomet 2019.
2. Lucay, F.A., Garcia-Morales M., Muñoz-Calderon D., Sepúlveda F.D., 2019, Developing of Metamodel for Grinding Process using Geostatistical and Support Vector Machine, Procemin – Geomet 2019.
3. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2014, Global Sensitivity Analysis for Multiple Production Mineral Processing Flowsheet, 10mo International Mineral Processing Congress, Santiago – Chile. (Expositor).
4. Sepúlveda F.D., 2014, Análisis de Sensibilidad Global para Circuitos de Flotación, III Seminario de Difusión de la Investigación en la Facultad de Ingeniería - Universidad de Antofagasta, Antofagasta – Chile. (Expositor-Poster).
5. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2013, Flotation Process Analysis with Global Sensitivity Analysis, International Mineral Processing Conference, Santiago – Chile.
6. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., 2013, International Mineral Processing Conference, 2012, Santiago – Chile, A Hybrid Method for Design of Flotation Circuits. (Expositor)
7. Sepúlveda F.D., 2012, Metodología Híbrida para el Diseño de Circuitos de Flotación, II Seminario de Difusión de la Investigación en la Facultad de Ingeniería - Universidad de Antofagasta, Antofagasta – Chile. (Expositor-Poster).
8. Sepúlveda F.D., 2010, Diseño de Circuitos de Flotación Utilizando el Método de Contribución de Grupos, I Seminario de Difusión de la Investigación en la Facultad de Ingeniería- Universidad de Antofagasta, Antofagasta – Chile,
9. Montenegro M.R., Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Gálvez E.D., International Mineral Processing Conference, 2009. Santiago – Chile, Analysis, Evaluation And Selection Of Flotation Circuits Using Multiple Goals And Monte Carlo Simulation, (Co-autor).
10. Sepúlveda F.D., Cisternas L.A., Elorza M.A., Gálvez E.D., 2009, A Novel Method for the Design of Flotation Circuits Using Group International Mineral Processing Conference, 2009, Santiago – Chile, (Poster).

## Proyectos de investigación en que he participado

- Nombre del Proyecto: Fondecyt de iniciación 2018, “The grinding-flotation optimization with use of multiple mathematical techniques (neural network, population balance, sensitivity analysis and classic optimization) and evaluation/validation experimental in based on the concept of case-based reasoning.”
- Nombre del Proyecto: Proyecto Sciro-Chile, 10 CElI-9007. Financiamiento: Innova Corfo. Cargo ocupado: Investigador adjunto en el área de flotación de minerales.
- Nombre del Proyecto: A Combined Heuristic and Group Contribution Methodology for Design of Sustainable Mineral Process Plants. Financiamiento: Fondecyt Número 1120794. Cargo ocupado: Estudiante Tesista. Año de duración: 2012 – 2013
- Nombre del Proyecto: Mineral Processing Flow Sheet Innovation Through a Group Contribution Method. Financiamiento: Fondecyt Número 1090592. Cargo ocupado: Estudiante Tesista. Año de duración: 2009 – 2011.

**Miembro del equipo técnico de Procemin-Geomet desde el 2020.**



Depto. de Ingeniería en Minas  
Facultad de Ingeniería  
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA