

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



PROGRAMA DE ESTUDIO

**MOLIENDA FINA Y ULTRAFINA**

**2042**

**8°, 9° ó 10°**

**06**

Asignatura

Clave

Semestre

Créditos

**Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**Explotación de Minas y Metalurgia**

**Ingeniería de Minas y Metalurgia**

División

Departamento

Carrera(s) en que se imparte

**Asignatura:**

Obligatoria

Optativa

**Horas:**

Teóricas

Prácticas

**Total (horas):**

Semana

16 Semanas

Aprobado:

Consejo Técnico de la Facultad

Consejo Académico del Área de las Ciencias

Físico Matemáticas y de las Ingenierías

Fecha:

25 de febrero, 17 de marzo y 16 de junio de 2005

12 de agosto de 2005

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** ninguna

**Seriación obligatoria consecuyente:** ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

Que el alumno conozca y aplique los fundamentos de reducción de tamaño fino ( 5-50  $\mu\text{m}$ ) y ultrafino (< 5  $\mu\text{m}$  ) y equipos utilizados para estos procesos, así como su posterior clasificación y aglomeración.

**Temario**

NÚM.	NOMBRE	HORAS
1.	Introducción.	3.0
2.	Fundamentos y fenómenos de la mecánica de la fractura.	7.5
3.	Nuevos desarrollos en molienda fina, para materiales duros (molienda de impacto, molienda con rodillos a elevada presión), para materiales blandos (molienda basada en el corte y cizallamiento).	7.5
4.	Molienda por agitación (molinos verticales y horizontales). Molinos planetarios y oscilatorios y otros tipos (micronizador, molienda jet, molienda por ultrasonido).	7.5
5.	Clasificación de partículas finas y ultrafinas.	7.5
6.	Fundamentos y mecanismos de aglomeración de partículas finas y ultrafinas.	7.5
7.	Dispersión y floculación.	7.5
	Total	48.0



## 1 Introducción

**Objetivo:** Que el alumno comprenda la importancia de liberar partículas minerales a tamaños finos y ultrafinos.

**Contenido:**

- 1.1 Definición y necesidades de la molienda fina y ultrafina.
- 1.2 Leyes energéticas.
- 1.3 Distribución de energía en conminución.
- 1.4 Problemas y soluciones derivados del manejo de partículas finas.

## 2 Fundamentos y fenómenos de la mecánica de la fractura

**Objetivo:** Que el alumno conozca los principios y fundamentos de la mecánica de la fractura.

**Contenido:**

- 2.1 Resistencia teórica y real de materiales.
- 2.2 Modelos de ruptura y resiliencia.
- 2.3 Velocidad de propagación de la ruptura y estado de tensión dinámica.
- 2.4 Destrucción de partículas individuales y valores técnicos característicos de la reducción de tamaño.
- 2.5 Clasificación de los equipos de reducción de tamaño de acuerdo a: tamaño de partícula y producto de molienda, dureza del material, material de transporte, medio de enfriamiento, fuerza introducida, movimiento de los medios de molienda, transporte del producto final.

## 3 Nuevos desarrollos en molienda fina, para materiales duros (molienda de impacto, molienda con rodillos a elevada presión) para materiales blandos (molienda basada en el corte y cizallamiento).

**Objetivo:** Que el alumno conozca los principios y fundamentos de los equipos para molienda fina de materiales duros y blandos.

**Contenido:**

- 3.1 Estado de la técnica, nuevos desarrollos, rodillos a presión en molienda en húmedo, etc.
- 3.2 Fundamento del mecanismo de molienda universal turbo, trayectoria del movimiento y demanda de energía.
- 3.3 Principio de operación de la molienda en seco y húmedo por agitación molino MaxMill.
- 3.4 Bases de la Molienda ultracentrífuga.
- 3.5 Fundamento de los molinos verticales de bolas por agitación.
- 3.6 Funcionamiento de la molienda autógena y semi-autógena.
- 3.7 Mecanismo de operación de la molienda por ultrasonido.

## 4 Molienda por agitación (molinos verticales y horizontales). Molinos planetarios y oscilatorios y otros tipos (micronizador, molienda jet, molienda por ultrasonido).

**Objetivo:** Que el alumno conozca los parámetros del funcionamiento de los equipos para la producción de partículas finas y ultrafinas, y adquiera el criterio de selección de equipos con base en el tamaño final de la molienda, consumo de energía y costo del equipo.

**Contenido:**

- 4.1 Parámetros de operación de molinos de agitación verticales y horizontales y aplicaciones.
- 4.2 Variables de operación de los molinos de impacto:
  - 4.2.1 Variables de operación y usos del molino planetario y de atrición.
  - 4.2.2 Variables de operación y usos de los molinos: trepidatorio, jet, centrífugo y ultrasonido.
- 4.3 Parámetros de molinos de fricción:
  - 4.3.1 Variables y usos de molinos oscilatorios.
  - 4.3.2 Variables y usos de molinos de rodillos y de rodillos a elevada presión (> 50 Mpa).

**5 Clasificación de partículas finas y ultrafinas**

**Objetivo:** Que el alumno comprenda la dificultad de dispersar las partículas finas y conozca los métodos de clasificación para partículas finas.

**Contenido:**

- 5.1 Revisión de las operaciones unitarias de procesos con partículas- clasificación y mezclado.
- 5.2 Clasificación de micropolvos por métodos neumáticos.
- 5.3 Método PaRMAC (Particle ratios meted for agglomeration characterization) para evaluar la distribución de tamaño de partículas para aglomeración.
- 5.4 Clasificación centrífuga con tobera de discos apilados.
- 5.5 Mallas modulares de clasificación.
- 5.6 Clasificación ultrasónica.

**6 Fundamentos y mecanismos de aglomeración de partículas finas y ultrafinas.**

**Objetivo:** Que el alumno conozca los métodos y comprenda los mecanismos involucrados para efectuar una aglomeración eficaz de partículas minerales finas o ultrafinas.

**Contenido:**

- 6.1 Aglomeración de partículas finas para procesamiento de minerales.
- 6.2 Mecanismos de unión en la aglomeración de partículas finas.
- 6.3 Mediciones de conductividad eléctrica para el control de la aglomeración de finos.
- 6.4 Aglomeración hidrofóbica en el beneficio de partículas finas.
- 6.5 Efecto de aglutinantes en el mecanismo de aglomeración.

**7 Dispersión y floculación**

**Objetivo:** Que el alumno comprenda los principios teóricos y experimentales de la floculación y ultrafloculación así como también sus aplicaciones prácticas en el campo del procesamiento de minerales.

**Contenido:**

- 7.1 Teoría y aplicaciones de la floculación.



- 7.2 Prueba de floculantes con ayuda de un hidrociclón.
- 7.3 Efecto del material fibroso en la floculación.
- 7.4 Tipos de floculantes y dispersantes.
- 7.5 Características estructurales de agregados floculados.

**Bibliografía básica:**

STAMBOLIADIS, E. Th.

*Energy Distribution in Comminution: A new approach to the laws of Rittinger, Bond and Kick*  
Canadian Metallurgical Quarterly, 2004  
Vol. 43 No. 2

MOSQUEDA FIERRO, Ma. Gpe.

*Optimización de los Parámetros de Molienda*  
Fac. de Química, U.N.A.M. 1987  
Tesis de licenciatura de la carrera de Ing. Químico Metalúrgico

ARBITER, N.

*Beneficiation of Mineral Fines Problems and Research Needs. (Eds. P. Somasundaran and N. Arbiter)*  
AIME, Inc. Ann Arbor. 1978

PAHL, M.H.

*Zerkleinerungs-technik*  
2a edición  
Alemania  
Fachbuchverlag Leipzig/Verlag TUV, 1993

SACHWEH, J.

*MaxxMill-Dry and Wet Grinding with Stirred Ball Mills in comparison with Conventional Tumbling Mills,*  
*Aufbereitungs Technik*  
41 Nr. 6, (2000)

LASKOWSKI, J.S.

“Particle Size Enlargement in Mineral Processing.”  
*Proceedings of the Fith UBC-McGill International Symposium on Fundamentals of Mineral Processing. Hamilton*  
Canadá, 22-25 Agosto, 2004

HOBERG Heinz y VON BOTMITTZ Harro.

*Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress*  
Aachen, Alemania,  
21-26 septiembre, 1997

HERBST, J. A.

*Proceedings of the XIX International Mineral Processing Congress, de la SME.*  
San Francisco, 1995  
Vol. 1



SOMASUNDARAN, P.

*Fine Particles Processing. Proceedings of the International on Fine Particles Processing*  
Las Vegas, Febrero 24-28, 1980.

Varios Autores.

*10<sup>th</sup> European Symposium on Comminution*

Heidelberg, Alemania, 2-5 Septiembre

Organizado por el VDI –Gesellschaft (Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC), (2002)

**Bibliografía complementaria:**

Revistas:

Colloid Science

Aufbereitungs Technik

Mineral Processing

**Sugerencias didácticas:**

Exposición oral

Exposición audiovisual

Ejercicios dentro de clase

Ejercicios fuera del aula

Seminarios

Lecturas obligatorias

Trabajos de investigación

Prácticas de taller o laboratorio

Prácticas de campo

Otras: Uso de paquetes de cómputo

**Forma de evaluar:**

Exámenes parciales

Exámenes finales

Trabajos y tareas fuera del aula

Participación en clase

Asistencias a prácticas

Otras: Ejercicios y prácticas en clase

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ing. de Minas y Metalurgista o carrera afín. Deseable haber realizado estudios de posgrado o el equivalente de experiencia profesional en el área de su especialidad, contar con experiencia docente o haber participado en los programas de formación docente de la Facultad en la disciplina y en didáctica.