



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de Minas y  
Energía

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**65005007 - Mineralurgia**

### PLAN DE ESTUDIOS

06MM - Grado En Ingeniería Mineralúrgica Y Metalúrgica De Materias Primas

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2024/25 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	3
6. Cronograma.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	12

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	65005007 - Mineralurgia
<b>No de créditos</b>	4.5 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Quinto semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	06MM - Grado en Ingeniería Mineralúrgica y Metalúrgica de Materias Primas
<b>Centro responsable de la titulación</b>	06 - Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Minas Y Energía
<b>Curso académico</b>	2024-25

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Carlos Grima Olmedo (Coordinador/a)	639	carlos.grima@upm.es	M - 18:00 - 20:00 X - 18:00 - 20:00 J - 18:00 - 20:00
Dulce Nombre De M. Gomez-Limon Galindo	638	dulce.gomezlimon@upm.es	X - 10:00 - 12:00 X - 13:00 - 14:00 J - 10:00 - 12:00 J - 13:00 - 14:00

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías

con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Mecanica De Fluidos
- Quimica Fisica
- Quimica I
- Quimica li

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Grado en Ingeniería Mineralúrgica y Metalúrgica de Materias Primas no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

C13 - Capacidad para aplicar los principios de economía circular en la obtención, procesado, diseño y reciclaje de materiales metálicos. TIPO: Competencias

C2 - Comprender y aplicar el diseño, operación y mantenimiento de plantas de preparación y tratamiento de minerales, rocas industriales, rocas ornamentales y residuos. TIPO: Competencias

CON14 - Capacidad para conocer, comprender y utilizar los principios de la ingeniería mineralúrgica, metalúrgica y de la Tecnología de Materiales. TIPO: Conocimientos o contenidos

HAB11 - Utilizar la creatividad para resolver problemas de ingeniería. TIPO: Habilidades o destrezas

HAB8 - Aplicar los conocimientos adquiridos para identificar, formular y resolver problemas dentro de contextos amplios y multidisciplinarios, siendo capaces de integrar conocimientos, trabajando en equipos multidisciplinarios. TIPO: Habilidades o destrezas

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA14 - RA218 - Conocer y comprender los principios y el funcionamiento de los sistemas de concentración de minerales.

RA12 - RA214 - Capacidad de conocer, comprender los fundamentos de los principios mineralúrgicos.

RA13 - RA217 - Conocer y comprender los principios y el funcionamiento de los sistemas de trituración y molienda.

RA10 - RA215 - Conocer y comprender los principios y el funcionamiento de los sistemas de clasificación.

RA11 - RA216 - Conocer e interpretar análisis granulométricos.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

El objetivo de esta asignatura es adquirir el conocimiento de los conceptos de la tecnología mineralúrgica para que partiendo de un mineral todo-uno procedente de la mina se pueda proporcionar un producto concentrado, cuyas normas técnicas se encuentren definidas por el usuario.

La mineralurgia es una disciplina técnica basada en principios físicos, matemáticos y químicos que se ocupa de dar valor al todo-uno que se extrae del yacimiento (R.O.M = Run Of Mine). Desarrolla tecnologías de tratamiento que son de aplicación inmediata (process technologies) y constituye las primeras fases de la metalurgia extractiva (extractive metallurgy).

Para entrar con más profundidad en el concepto de la mineralurgia se van a presentar las técnicas u operaciones unitarias que pueden aparecer en una planta de tratamiento, y que tienen lugar generalmente en varias etapas.

Comprende una serie de operaciones unitarias conducentes a:

- Modificar las características físicas del mineral, mena (ore)
- Eliminar o reducir las impurezas que le contaminan, ganga (tailings)
- Concentrar las especies minerales y elementos de valor comercial (concentrates)

Para la liberación de las especies minerales se desarrollan operaciones unitarias conocidas como:

- Clasificación por tamaños (screening)
- Trituración (crushing)
- Clasificación por equivalencia (wet/dry classification)
- Molienda (grinding)

En otra etapa se concentran o separan las especies valiosas del resto de minerales que forman la ganga, aprovechando las diferencias entre sus propiedades físicas y químicas.

Separación/concentración:

- Por gravimetría (gravity concentration)
- Separación magnética, electrostática u óptica (magnetic, electrostatic, optical separation)
- Flotación (flotation)
- Disolución diferencial (solvent extraction)

Gestión del residuo:

- Deposición de residuos sólidos (solid waste disposal)
- Escombreras, reciclaje, balsas de estériles, relleno de mina (waste rock dumps, recycling, tailings dams, backfilling)
- Depuración de vertidos líquidos (liquid waste treatment)
- Decantación, neutralización, recirculación de aguas, vertido cero (settling, neutralization, water recirculation, zero waste)

Por último se requiere un acondicionamiento de los productos, tanto del concentrado/s como del estéril/es, sean éstos efluentes sólidos o líquidos.

Acondicionamiento de productos:

- Decantación, filtración, secado (thickening, filtration, drying)
- Molienda (micronización), aglomeración, sinterización (fine grinding, agglomeration, sintering)

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Introducción general de la Mineralurgia

1.1. L1.- Fundamentos de los procesos mineralúrgicos. Operaciones unitarias. Grado y tamaño de liberación. Técnicas de separación y concentración. Conceptos de ley y recuperación. Acondicionamiento de productos. Esquemas de proceso.

### 2. Cribado

2.1. L2.- Importancia de la clasificación en la industria. Control en el Laboratorio. Análisis granulométricos. Escalas de tamices más utilizadas. Representación gráfica de los resultados y utilización práctica de las curvas.

2.2. L3.- Cribado industrial. Cribas y superficies de cribado. Control del cribado. Factores que intervienen en la capacidad de una criba (luz de malla, forma y dimensiones relativas de los granos y la malla, tamaños críticos, inclinación y humedad).

2.3. L4.- Descripción de las cribas industriales: parrillas fijas, de movimiento lento, curvas, cribas de sacudidas, de resonancia y vibratorias. Frecuencia y amplitud de la vibración. Rendimiento/eficiencia del cribado. Campo de aplicación.

### 3. Trituración

3.1. L5.- Mecanismos de fragmentación.

3.2. L6.- Machacadoras primarias.

3.3. L7.- Trituradoras secundarias y terciarias. Conos Symons e Hidroconos. Tipos standard/cabeza corta. Tipos de cámaras de trituración. Regulación y potencias. Capacidad.

3.4. L8.- Trituradoras de impacto.

3.5. L9.- Trituradores de cilindros. Funcionamiento y tipos (lisos/dentados, dos cilindros/placa). Granulometría de los productos. Criterios de selección. Elementos de regulación. Control de tamaño y seguridad.

### 4. Clasificación por equivalencia

4.1. L10.- Clasificación por equivalencia. Conceptos. Velocidad límite. Partículas isódromas. Índice de esfericidad. Imperfección de la clasificación. Curvas de Tromp. Curvas de partición.

4.2. L11.- Clasificadores hidráulicos. Conos. Cajas de puntas. Clasificadores de corriente ascendente. Clasificadores mecánicos. Clasificadores en contracorriente.

4.3. L12.- Hidrociclones. Funcionamiento y selección. Aplicaciones como clasificadores y espesadores. Dimensiones de partición.

4.4. L13.- Decantación, filtración y centrifugación. Equipos, condiciones y campo de utilización de cada uno

de estos procesos. Secado.

## 5. Molienda

5.1. L14.- Principios de la molienda.

5.2. L15.- Molienda en barras y bolas.

5.3. L16.- Molienda autógena (AG) y semiautógena (SAG).

## 6. Concentración gravimétrica

6.1. L17.- Sistemas de concentración gravimétrica. Fundamento. Velocidad de caída. Criterio de Taggart. Métodos de lámina pelicular fluente. Equipos de plano fijo. Conos Reichert. Espirales. Equipos de plano móvil. Mesas de sacudidas. Tipos. Instalaciones.

6.2. L18.- Método de aceleración diferencial. Equipos. Criba hidráulica. Jigs de criba fija y móvil. Jigs centrífugos. Jigs neumáticos. Aplicaciones.

6.3. L19.- Concentración por medios densos. Fundamento. Características del medio. Circuitos de separación por medios densos. Equipos. Separadores con medio denso estático/dinámico. Instalaciones.

6.4. L20.- Ensayos de separación por líquidos densos. Curvas de lavabilidad y densimétricas. Dificultad de lavado del bruto.

6.5. L21.- Control del lavado por medios densos. Triángulos de error. Curva de partición del aparato separador. Imperfección del lavado.

## 7. Separación magnética y electrostática

7.1. L22.- Concentración magnética. Fundamento. Clasificación de las sustancias minerales por sus propiedades magnéticas. Equipos de separación en seco/húmedo.

7.2. L23.- Separación electrostática. Fundamento. Efecto corona. Tipos de carga de las partículas (conductoras y no). Equipos electrodinámicos y electrostáticos (rotor y placa). Precipitadores electrostáticos.

## 8. Concentración por flotación

8.1. L24.- Fundamento de la concentración por flotación.

8.2. L25.- Interfase líquido-gas. Tensión superficial. Medidas. Adsorción en la interfase. Reactivos espumantes. Ácidos y alcoholes.

8.3. L26.- Interfase sólido-líquido-gas. Tamaño máximo flotable. Ensayos de flotación.

8.4. L27.- Reactivos de flotación. Colectores aniónicos, catiónicos y no iónicos. Xantatos. Aminas. Iones activantes. Agentes depresores. Curvas críticas. Espumantes. Tipos.

8.5. L28.- Esquemas de flotación. Minerales con flotabilidad natural. Flotación de sulfuros y minerales sulfurables. Flotación de minerales oxidados y silicatos. Flotación de sales solubles e insolubles.

8.6. L29.- Equipos de flotación. Elementos que compone un sistema de flotación. Descripción de la celda de flotación. Tipos. Acondicionadores. Dosificadores de reactivos.

8.7. L30.- Celdas de flotación mecánicas. Características. Turbinas de agitación. Tanques. Parámetros hidrodinámicos. Controles. Instalación en bancos de desbaste (rougher), barrido (scavenger) y re-lavado (re-cleaner).

8.8. L31.- Celdas de flotación neumáticas. Características. Reactores y difusores. Celdas planas y de columna. Controles. Ventajas e inconvenientes frente a las mecánicas. Circuitos. Celdas para aplicaciones especiales.

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Tema 1. Introducción a la Mineralurgia</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 2. Cribado</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Tema 2. Cribado</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 2. Cribado</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
3	<b>Tema 2. Cribado</b> Duración: 01:00 G: Gamificación  <b>Tema 3. Trituración</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	<b>Tema 3. Trituración</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas  <b>Tema 3. Trituración</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
5	<b>Tema 3. Trituración</b> Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	<b>Tema 4. Clasificación por equivalencia</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	<b>Tema 4. Clasificación por equivalencia</b> Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación	<b>Bloque 1: Laboratorio</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
8	<b>Tema 5. Molienda</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B1)</b> Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			<b>Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B1)</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00

9	<b>Tema 5. Molienda</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 5. Molienda</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
10	<b>Tema 6. Concentración gravimétrica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 6. Concentración gravimétrica</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
11	<b>Tema 6. Concentración gravimétrica</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas  <b>Tema 7. Concentración magnética y electrostática</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Tema 7. Concentración magnética y electrostática</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 7. Concentración magnética y electrostática</b> Duración: 01:00 AIV: Aula invertida			
13	<b>Tema 8. Concentración por flotación</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	<b>Tema 8. Concentración por flotación</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Bloque 2: Laboratorio</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
15	<b>Tema 8. Concentración por flotación</b> Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación  <b>Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B2)</b> Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			<b>Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B2)</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:00
16				
17				<b>Evaluación Ordinaria</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
8	Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B1)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	C13 CON14 C2
15	Teoría + Problemas. Evaluación progresiva (B2)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	C13 HAB8 C2 HAB11

#### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Evaluación Ordinaria	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	HAB8 C2 HAB11 C13 CON14

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Evaluación Extraordinaria	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	C13 CON14 HAB8 C2 HAB11

## 7.2. Criterios de evaluación

El sistema de calificación se basa en criterios de evaluación distribuida, donde la nota final se obtiene de los conocimientos de teoría y problemas adquiridos por asistencia a clase y al laboratorio, así como del estudio y los trabajos realizados de forma individual o en grupo por el alumno fuera del aula.

La asignatura se encuentra dividida en 2 bloques (B1 y B2) de teoría (50%) y problemas (50%). El bloque B1 se encuentra formado por los temas T1-T5, mientras que el segundo bloque comprende los temas T6-T8.

Se ha establecido un sistema de evaluación progresiva para los dos bloques (B1 y B2), con una ponderación teoría/problemas del 50%/50%:

- Durante el mes de Octubre-Noviembre (se anunciará la fecha concreta con, al menos, catorce días de antelación) se realizará una primera prueba del bloque B1 liberatoria, donde el alumno puede liberar materia para el examen final ordinario de Enero (prueba de evaluación global). Se aprobará este primer bloque cuando la nota del examen sea igual o superior a un 5 sobre 10.

- Aquellos alumnos que no hayan superado la primera prueba liberatoria y compensatoria del B1, para poder aprobar la asignatura, deberán presentarse en el Examen final Ordinario de Enero a los dos bloques (B1 y B2). Los que hayan aprobado el B1, deberán presentarse únicamente al B2 (o a ambos si quisieran subir nota).

La nota final de evaluación será la media de las notas obtenidas en los dos bloques (B1 y B2), siempre y cuando se obtenga en cada uno de los bloques (B1 y B2) una nota mínima de un 3. En caso contrario la asignatura no estará aprobada. Además, sólo se aprobará cuando la nota media sea igual o superior a un 5 sobre 10.

El Examen Extraordinario de Julio será una única prueba conjunta de teoría y problemas de toda la asignatura. No se mantendrán los bloques de la asignatura aprobados anteriormente. La asignatura se supera cuando la nota de este examen sea igual o superior a un 5 sobre 10.

Durante la evaluación y calificación de la asignatura, se tendrá en cuenta otro tipo de actividades complementarias realizadas durante el curso, tales como: visitas técnicas, prácticas de laboratorio, asistencia a seminarios, etc.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Libros y manuales	Bibliografía	
Laboratorio	Equipamiento	Laboratorio de Mineralurgia
Información Moodle	Recursos web	Presentaciones de clase y problemas, así como calendario de actividades complementarias
Aplicación Creately	Recursos web	Mapas conceptuales, diagramas de flujo, gráficos y diagramas del curso.
Herramienta Socrative	Recursos web	Elementos de gamificación a modo de juegos y desafíos, con apoyo de herramientas virtuales

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura se relaciona con el ODS9 y el ODS12