



# Guía Docente:

## OPERACIONES CON SÓLIDOS

---



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**CURSO 2022-2023**



**I.- IDENTIFICACIÓN**

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA:** Operaciones con sólidos  
**NÚMERO DE CRÉDITOS:** 6  
**CARÁCTER:** Optativa  
**MATERIA:** Operaciones de la Industria Química  
**MÓDULO:** Tecnología Química  
**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería Química  
**SEMESTRE/CUATRIMESTRE:** 4º Curso (2º semestre)  
**DEPARTAMENTO/S:** Ingeniería Química y de Materiales

**PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:**

Grupo único	
Teoría Seminarío Tutoría	<b>Profesora:</b> ARACELI RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales <b>Despacho:</b> QA-168 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:arodri@uclm.es">arodri@uclm.es</a>
Teoría Seminarío Tutoría	<b>Profesor:</b> EDUARDO DÍEZ ALCÁNTARA <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales <b>Despacho:</b> QP-110 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:ediezalc@uclm.es">ediezalc@uclm.es</a>
Teoría Seminarío Tutoría	<b>Profesor:</b> DAVID LORENZO FERNANDEZ <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales <b>Despacho:</b> QAB-60 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:dlorenzo@uclm.es">dlorenzo@uclm.es</a>

Laboratorio Operaciones con Sólidos					
Grupo	Cuatri.	Profesor/a	Correo	Despacho	Depar.
A1	2º	David Lorenzo Fernández	<a href="mailto:dlorenzo@uclm.es">dlorenzo@uclm.es</a>	QAB-60	IQM
A2	2º	Eduardo Díez Alcántara	<a href="mailto:ediezalc@uclm.es">ediezalc@uclm.es</a>	QP-110	IQM

**II.- OBJETIVOS**

■ **OBJETIVO GENERAL**

Estudio de las características de las sustancias sólidas, principalmente en forma granular o pulverulenta, y de las distintas operaciones de interés en Ingeniería Química que implican el manejo de dichas sustancias.



### ■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y comprender las propiedades primarias y secundarias de los sólidos particulados.
- Describir y dimensionar las operaciones de clasificación, reducción y aumento de tamaño.
- Describir y comprender los mecanismos de mezcla y segregación.
- Describir los métodos de transporte y almacenamiento de sólidos.
- Describir y dimensionar diferentes operaciones básicas mecánicas que implican sólidos particulados en corrientes fluidas.

## III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

### ■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

### ■ RECOMENDACIONES:

## IV.- CONTENIDOS

### ■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Análisis del tamaño de partícula en polvo. Desintegración mecánica de sólidos. Otros métodos de reducción de tamaño de partículas. Aumento del tamaño de partículas. Mezcla y segregación. Almacenamiento de Sólidos. Fluidización. Transporte de sólidos. Separación de sólidos en corrientes fluidas. Seguridad.

### ■ PROGRAMA:

#### Unidad didáctica I: Caracterización de sólidos

**Tema 1.** Caracterización de partículas sólidas. Propiedades primarias y secundarias. Técnicas de caracterización. Toma de muestras.

**Tema 2.** Partículas individuales. Descriptores de forma y tamaño.

**Tema 3.** Sustancias pulverulentas. Reología de sólidos pulverulentos.

#### Unidad didáctica II: Acondicionamiento de tamaño

**Tema 4.** Reducción de tamaño. Mecanismos de fractura. Requerimientos energéticos de la molienda. Equipo.

**Tema 5.** Aumento de tamaño. Aglomeración y compactación. Equipo.

#### Unidad didáctica III: Almacenamiento, clasificación y mezcla

**Tema 6.** Clasificación de sólidos. Tamizado. Equipo.

**Tema 7.** Mezclado y segregación de sólidos. Tipos de mezcladores. Mezclado de sustancias cohesivas. Segregación de mezclas de partículas.



**Tema 8.** Almacenamiento y flujo de sólidos. Tolvas: tipos, diseño. Flujo de sólidos.

#### Unidad didáctica IV: Interacciones sólido-fluido

**Tema 9.** Fluidización. Tipos de lechos fluidizados. Velocidad mínima de fluidización. Lechos burbujeantes. Arrastre. Transmisión de calor.

**Tema 10.** Transporte de sólidos. Transporte neumático e hidráulico. Transporte en fase diluida y en fase densa.

**Tema 11.** Limpieza de gases. Operaciones de separación sólido-gas. Filtración de gases. Separación ciclónica. Separación electrostática Separadores húmedos.

#### Unidad didáctica V: Aspectos prácticos

**Tema 12.** Seguridad y riesgos en el manejo de sustancias pulverulentas. Explosión e incendio en sustancias pulverulentas. Aplicación a procesos industriales. Riesgos para la salud.

**Tema 13.** Casos prácticos de procesos de fabricación relacionados con la tecnología de sólidos. El caso de la fabricación de cemento. Industria Alimentaria y Farmacéutica. Fabricación de fertilizantes y tratamiento de minerales.

## V.- COMPETENCIAS

### ■ GENERALES:

- **CG1-TQ1:** Utilizar conceptos para el aprendizaje autónomo de nuevos métodos y teorías.
- **CG1-TQ2:** Diseñar y gestionar procedimientos de experimentación aplicada, especialmente para la determinación de propiedades termodinámicas y de transporte, y de modelado de fenómenos y sistemas en el ámbito de la ingeniería química, sistemas con flujo de fluidos, transmisión de calor, operaciones de transferencia de materia, cinética de las reacciones químicas y reactores.
- **CG1-TQ3:** Diseñar, gestionar, simular y controlar instrumentación de procesos químicos
- **CG5-TQ1:** Analizar, diseñar, simular y optimizar procesos y productos

### ■ ESPECÍFICAS:

- **CE4-OIQ1:** Describir las propiedades de los sólidos particulados.
- **CE20-OIQ1:** Explicar los principios en que se basan diferentes operaciones de separación.
- **CE20-OIQ2:** Diseñar los equipos en que llevar cabo las diferentes operaciones de separación.
- **CE20-OIQ3:** Describir las operaciones de clasificación, reducción y aumento de tamaño.
- **CE20-OIQ4:** Describir los métodos de almacenamiento de sólidos.



- **CE20-OIQ5:** Describir las operaciones básicas que implican sólidos particulados (fluidización, filtración, sedimentación, centrifugación, separación de partículas en corrientes fluidas).
- **CE20-OIQ6:** Describir los métodos de transporte de sólidos.
- **CE20-OIQ7:** Realizar el diseño básico de las diferentes operaciones que implican el manejo, almacenamiento, transporte y separación de sólidos particulados.

■ **TRANSVERSALES:**

- **CT1-TQ1:** Desarrollar capacidad de análisis y síntesis.
- **CT2-TQ1:** Resolver problemas en el área de la Tecnología Química.
- **CT4-TQ1:** Comunicarse en español utilizando los medios audiovisuales habituales
- **CT5-TQ1:** Consultar, utilizar y analizar fuentes bibliográficas en el área de la Tecnología Química.
- **CT5-TQ2:** Consultar, utilizar y analizar bases de datos especializadas y de recursos accesibles a través de internet.
- **CT6-TQ1:** Utilizar herramientas y programas informáticos para calcular, simular y aproximar.
- **CT7-III:** Trabajar en equipo.
- **CT8-TQ1:** Demostrar capacidad para el razonamiento crítico y autocrítico.
- **CT10-III:** Integrar los conocimientos adquiridos y aplicarlos a la resolución de problemas en la Ingeniería Industrial.
- **CT11-TQ1:** Aprender de forma autónoma.
- **CT12-TQ1:** Desarrollar sensibilidad hacia la repercusión social y medioambiental de las soluciones ingenieriles.
- **CT13-III:** Demostrar iniciativa y creatividad para resolver nuevas situaciones.

**VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD**

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
<b>Clases teóricas</b>	30	60	3,6
<b>Seminarios</b>	15	15	1,2
<b>Tutorías/Trabajos dirigidos</b>	3	4,5	0,3
<b>Laboratorios</b>	8	6	0,56
<b>Preparación de trabajos y exámenes</b>	4	4,5	0,34
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>6</b>



## VII.- METODOLOGÍA

La práctica docente seguirá una metodología mixta basada en el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje colaborativo y el autoaprendizaje. Esta metodología se desarrollará a través de clases teóricas, clases de seminarios, trabajos individuales o en grupo, tutorías dirigidas y prácticas de laboratorio.

Las **clases teóricas**, que se desarrollarán en un solo grupo, consistirán, de forma prioritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrá de forma ordenada el temario completo de la asignatura con ayuda de material audiovisual.

Los **seminarios**, que se desarrollarán en un solo grupo, consistirán en el planteamiento y resolución de problemas, propuestos previamente al estudiante, que impliquen la aplicación de los conocimientos teóricos, así como el desarrollo de algunos temas de carácter complementario y eminentemente prácticos.

Las **tutorías** consistirán en sesiones formativas de nivelación para facilitar el acceso a recursos específicos como el programa de simulación Aspen Plus, supervisión del progreso de los estudiantes en su trabajo personalizado, visita a instalaciones de procesos en los que se manejan sólidos particulados...

Las **prácticas de laboratorio** consistirán en la toma de datos experimentales y el cálculo de los diferentes parámetros implicados en el desarrollo de la práctica, así como en la simulación de procesos en los que intervienen operaciones con sólidos mediante el módulo de sólidos del programa Aspen Plus. La discusión crítica y el análisis de los resultados obtenidos en cada práctica constituirán la parte fundamental de las memorias técnicas a entregar en cada caso. Así mismo, se podrán realizar visitas a distintas instalaciones en las que se empleen operaciones relacionadas con la tecnología de sólidos particulados.

Se utilizará el **Campus Virtual** de la UCM como instrumento para poner a disposición de los estudiantes el material que se utilizará en las clases teóricas, de seminario, tutorías y laboratorios, y como medio de comunicación entre el profesor y los estudiantes.

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA

### ■ BÁSICA:

- RHODES, M.: “*Principles of Powder Technology*”, Wiley, Nueva York, 1990.
- RHODES, M.: “*Introduction to Particle Technology*”, 2ª Ed., Wiley, New York, 2008.
- FAYED, M.E. y OTTEN, L.: “*Handbook of Powder Technology Science and Technology*”, 2ª Ed., Chapman and Hall, New York, 1997.
- MASUDA, H.; HIGASHITANI, K. y YOSHIDA, H.: “*Powder Technology Handbook*”, Taylor and Francis, Boca Raton, 2006.

### ■ COMPLEMENTARIA:

- McCABE W.L.; SMITH, J.C. y HARRIOT, P.: “*Operaciones básicas de Ingeniería Química*”, 4ª Ed., McGraw Hill, Madrid, 1991.
- COULSON, J.M., RICHARDSON, J.F., BACKHURST, J.R. y HARKER, J.H.: “*Chemical Engineering*”, Vol. II, 4ª Ed., Pergamon, Londres, 1991. Traducción al



- español de la tercera edición inglesa: “*Ingeniería Química*”, Reverté, Barcelona, 1981.
- VILA JATO, J.L.: “*Tecnología Farmacéutica. Volumen I: Aspectos fundamentales de los sistemas farmacéuticos y operaciones básicas*”, Síntesis, Madrid, 2001.
  - RODRÍGUEZ, F.: “*Ingeniería de la Industria Alimentaria. Volumen II. Operaciones de procesamiento de alimentos*”, Síntesis, Madrid, 2002.
  - KUNII, D. y LEVENSPIEL, O.: “*Fluidization Engineering*”, 2ª Ed., Butterworth Heineman.
  - ALLEN, T.: “*Powder Sampling and Particle Size Determination*”, 1ª Ed., Elsevier, Amsterdam, 2003.
  - PIETSCH, W.: “*Agglomeration in Industry*”, Wiley VCH Verlag., Weinheim, Alemania, 2005.

## IX.- EVALUACIÓN

La participación en tutorías dirigidas y sesiones de laboratorio es obligatoria, así como la asistencia al 70% de los seminarios de problemas y al 70% de las clases teóricas en el aula. La calificación final de la asignatura se obtendrá como media ponderada, superados los mínimos establecidos en cada apartado, de las evaluaciones de cada una de las actividades recogidas a continuación.

Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura (exámenes parciales, laboratorios, tutorías, entrega de problemas...) se comunicarán a los estudiantes con la antelación suficiente antes de la realización del examen final, para que puedan planificar adecuadamente el estudio de esta u otras asignaturas.

En todo caso, se respetará el plazo mínimo de diez días entre la publicación de las calificaciones y la fecha del examen final de la asignatura.

### ■ EXÁMENES ESCRITOS 60%

Se realizarán dos exámenes escritos, de carácter principalmente práctico, que representan el 60% de la evaluación global. Será necesario obtener una puntuación mínima de 5 puntos sobre 10 en esta actividad.

Se evaluarán las competencias CG1-TQ1, CG5-TQ1, CE4-OIQ1, CE20-OIQ1, CE20-OIQ2, CE20-OIQ3, CE20-OIQ4, CE20-OIQ5, CE20-OIQ6, CE20-OIQ7, CT1-TQ1, CT2-TQ1, CT8-TQ1, CT13-III

### ■ TRABAJO PERSONAL Y ACTIVIDADES DIRIGIDAS (TRABAJOS) 25%

Se propondrá un conjunto de problemas modelo de cada una de las partes de la asignatura, que deberán entregarse obligatoriamente antes de su discusión y resolución en las clases de seminario. Además, cada estudiante deberá desarrollar a lo largo de la asignatura un trabajo personalizado, cuya evolución se valorará en las tutorías dirigidas. Asimismo, se llevarán a cabo pruebas formativas de carácter teórico-práctico para una evaluación continuada, discutiéndose los resultados para mejorar el aprendizaje del estudiante (*feedback*). Todo esto representará el 25% de la evaluación global. Solamente se llevará a cabo la evaluación continuada si el estudiante asiste al 70% de los seminarios de problemas en el aula. En caso de no cumplir este criterio, el trabajo personal será calificado con 0 sobre 10.

Esta actividad permitirá evaluar las competencias CG1-TQ1, CG1-TQ2, CG5-TQ1, CE20-OIQ2, CE20-OIQ4, CE20-OIQ3, CE4-OIQ1, CE20-OIQ1, CE20-OIQ5, CT13-



III1, CE20-OIQ7, CT1-TQ1, CT2-TQ1, CT4-TQ1, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT6-TQ1, CT7-III1, CT8-TQ1, CT10-III1, CT11-TQ1, CT12-TQ1, CE20-OIQ6.

#### ■ ASISTENCIA Y PARTICIPACIÓN EN LAS CLASES

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura, el estudiante debe haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría y seminarios).

#### ■ PRÁCTICAS DE LABORATORIO

15%

La asistencia del estudiante a las sesiones prácticas del laboratorio será obligatoria. La evaluación se realizará teniendo en cuenta sus respuestas a cuestiones concretas planteadas por el profesor, así como la calidad de la memoria técnica presentada sobre las prácticas. Las prácticas de laboratorio representan el 15% de la evaluación global.

Los alumnos que hayan realizado las prácticas en cursos anteriores tendrán la opción de solicitar la no repetición de estas, siempre que no hayan transcurrido más de 2 años desde que llevaron a cabo esas prácticas.

La evaluación permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG5-TQ1, CE20-OIQ7, CT1-TQ1, CT4-TQ1, CT13-III1, CT5-TQ2, CT6-TQ1, CT7-III1, CT8-TQ1, CT10-III1, CT11-TQ1, CT12-TQ1, CT5-TQ1.



**PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA**

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
<b>Unidad didáctica I</b>	Teoría	8	1	1ª - 3ª Semana	
	Seminario	4	1	2ª - 4ª Semana	
<b>Unidad didáctica II</b>	Teoría	5	1	4ª Semana	5ª Semana
	Seminario	2	1	4ª - 5ª Semana	
<b>Unidad didáctica III</b>	Teoría	5	1	6ª Semana	7ª Semana
	Seminario	2	1	6ª Semana	7ª Semana
<b>Unidad didáctica IV</b>	Teoría	9	1	7ª Semana	10ª Semana
	Seminario	4	1	9ª Semana	10ª Semana
<b>Unidad didáctica V</b>	Teoría	3	1	11ª Semana	11ª Semana
	Seminario	3	1	11ª Semana	11ª Semana
<b>Unidades didácticas I a V</b>	Tutoría	3	1	3ª Semana	11ª Semana
<b>Unidades didácticas I a V</b>	Laboratorio	8	1	10ª Semana	11ª Semana



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
<b>Teoría</b>	CG1-TQ1, CE4-OIQ1, CE20-OIQ6, CE20-OIQ3, CE20-OIQ4, CE20-OIQ5, CE20-OIQ1	Exposición verbal de las líneas maestras de cada tema del programa	Atención y participación activa en el desarrollo de la clase.	Exámenes escritos	30	60	90	
<b>Seminarios</b>	CG1-TQ2, CG1-TQ3, CG5-TQ1, CE20-OIQ2, CE20-OIQ7, CT2-TQ1, CT1-TQ1, CT4-TQ1.	Planteamiento y resolución de cuestiones y problemas de carácter numérico.	Discusión y resolución de las cuestiones y problemas propuestos	Valoración de la resolución y discusión de las cuestiones y problemas propuestos	15	15	30	
<b>Tutorías/ Trabajos dirigidos</b>	CG1-TQ2, CG1-TQ3, CG5-TQ1, CE20-OIQ2, CE20-OIQ7, CT2-TQ1, CT1-TQ1, CT4-TQ1, CT7-III, CT8-TQ1, CT10-III, CT13-III, CT12-TQ1, CT11-TQ1.	Supervisión del progreso de los estudiantes en su trabajo personal	Desarrollo de su trabajo personal	Valoración del trabajo realizado por el estudiante en el desarrollo del trabajo personal propuesto	3	4,5	7,5	25%
<b>Prácticas de laboratorio</b>	CG1-TQ2, CG1-TQ3, CG5-TQ1, CT2-TQ1, CT1-TQ1, CT4-TQ1, CT7-III, CT8-TQ1, CT10-III, CT13-III, CT12-TQ1, CT11-TQ1	Explicación y supervisión del desarrollo de la práctica	Toma, análisis y discusión de los datos experimentales para calcular los distintos parámetros. Preparación de la memoria técnica del desarrollo de la práctica	Valoración del trabajo del estudiante durante el desarrollo de la práctica y de la memoria técnica.	8	6	14	15%
<b>Exámenes</b>	CG5-TQ1, CE4-OIQ1, CE20-OIQ1, CE20-OIQ2, CE20-OIQ3, CE20-OIQ4, CE20-OIQ5, CE20-OIQ6, CE20-OIQ7, CT8-TQ, CT10-III, CT2-TQ1	Diseño y corrección del examen. Calificación del alumno	Realización del examen	Examen	4	4,5	8,5	60%

P: Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación

