

Curso
2026/2027

Guía Docente:

OPERACIONES DE SEPARACIÓN



FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS



1. IDENTIFICACIÓN

Titulación	Grado en Ingeniería Química		Código	801549
Asignatura	Operaciones de Separación		ECTS	12
Materia	Ingeniería de la Producción Química			
Módulo	Tecnología Química			
Carácter	Obligatorio	Curso	Tercero	Semestre Anual
Departamento responsable	Ingeniería Química y de Materiales			

Profesores responsables

Actividad	Profesor	Email	Despacho
Tª/S/Tut. Coord. Lab.	JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ	jadeldob@ucm.es	QA-151
Tª/S/Tut.	LOURDES CALVO GARRIDO	lcalvo@ucm.es	QP-111
Tª/S/Tut.	ISMAEL ÁGUEDA MATÉ	viam@ucm.es	QA-168
Tª/S/Tut.			

Profesores de Laboratorio

Actividad	Profesor	Email	Despacho
Coord	JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ	jadeldob@ucm.es	QA-151
Lab	MARÍA MARTÍN MARTÍNEZ	mariam74@ucm.es	QA-154
Lab	JAIME CARBAJO OLLEROS	jaime.carbajo@ucm.es	QA-144
Lab	ISMAEL ÁGUEDA MATÉ	viam@ucm.es	QA-168
Lab	LOURDES CALVO GARRIDO	lcalvo@ucm.es	QP-111
Lab	JOSE LEANDRO DA SILVA DUARTE	joselead@ucm.es	QPB-04

2. OBJETIVOS

Objetivo General

El objetivo de este curso es el estudio de las operaciones de separación más utilizadas en la industria química y el diseño del equipo donde se llevan a cabo.

El objetivo general es proporcionar al estudiante un conocimiento extenso y profundo sobre los fundamentos de las principales operaciones de separación, tanto las que se basan en etapas de equilibrio entre fases como aquellas que se diseñan en base a la velocidad de transporte entre las fases. También se pasa revista a los métodos de diseño y cálculo de las dimensiones de los equipos donde se llevan a cabo dichas operaciones.



Objetivos específicos

- Discutir los mecanismos de transferencia de materia, incluyendo el efecto del flujo másico global.
- Calcular las velocidades de transferencia de materia y los gradientes de composición en condiciones de difusión equimolar en contracorriente y de difusión unimolecular.
- Calcular las velocidades de transferencia de materia por difusión molecular en un flujo laminar.
- Comprender los grupos adimensionales utilizados en las correlaciones de los coeficientes de transferencia de materia.
- Explicar el papel de las operaciones de separación en los procesos químicos industriales.
- Explicar el uso de un agente energético de separación y/o un agente material de separación en una operación de separación.
- Calcular el número de variables de diseño de un proceso de separación o de cualquier elemento incluido en un proceso y elegir un grupo de especificaciones.
- Calcular las cantidades y composiciones de las fases resultantes de una destilación súbita.
- Calcular las dimensiones del equipo separador de las fases resultantes de una destilación súbita.
- Explicar en destilación la necesidad del condensador para producir el reflujo y de la caldera para producir el vapor ascendente.
- Determinar las cinco líneas de construcción utilizadas en el método de McCabe-Thiele para una destilación de una mezcla binaria.
- Distinguir entre las cinco posibles condiciones térmicas del alimento a una columna de destilación.
- Aplicar el método simplificado de McCabe-Thiele para calcular la razón de reflujo mínima, el número mínimo de pisos de equilibrio, el número de pisos para una razón de reflujo especificada mayor que su valor mínimo y la posición óptima del piso de alimentación, para conseguir una determinada separación entre los dos componentes de la alimentación a una columna de destilación.
- Extender la aplicación del método simplificado de McCabe-Thiele a una columna de destilación con múltiples alimentos, corrientes laterales o inyección directa de vapor.
- Comprender el concepto de polo de cada sector de una columna de destilación.
- Aplicar el método de Ponchon-Savarit para calcular la razón de reflujo mínima, el número mínimo de pisos de equilibrio, el número de pisos para una razón de reflujo especificada mayor que su valor mínimo y la posición óptima del piso de alimentación, para conseguir una determinada separación entre los dos componentes de la alimentación.
- Para una destilación multicomponente, seleccionar los dos componentes clave, la presión de operación y el tipo de condensador.
- Para una separación especificada entre los dos componentes clave en una columna de destilación multicomponente, calcular el número mínimo de pisos de equilibrio y la distribución de los componentes distintos de los clave mediante la ecuación de Fenske, la razón de reflujo mínima por el método de Underwood, el número de pisos de equilibrio para una razón de reflujo mayor que su valor mínimo mediante la correlación de Gilliland y localizar la posición del piso de alimentación.
- Calcular el número de pisos de equilibrio necesarios para una destilación multicomponente mediante el método aproximado de los factores de absorción y desorción efectivos de Kremser.
- Discutir las situaciones en las que la extracción líquido-líquido puede preferirse a la destilación.



- Calcular la mínima cantidad de disolvente y para un valor superior a éste, calcular las composiciones y caudales de las corrientes extracto y refinado obtenidas en un sistema de extracción de una o varias etapas de equilibrio de extracción en serie.
- Para una recuperación especificada de un soluto, calcular el número de etapas de equilibrio necesarios en una cascada de etapas de equilibrio con flujo en contracorriente, con y sin reflujo.
- Calcular la eficacia global de una columna de pisos y determinar el número de pisos reales a partir del número de pisos teóricos de equilibrio y la altura de la columna de destilación.
- Determinar el diámetro de una columna de pisos y dimensionar el depósito separador del condensado.
- Determinar la altura y número de unidades de transferencia en una columna de relleno para la absorción de mezclas binarias, diluidas y concentradas.
- Calcular la altura de una columna de relleno para un proceso de absorción.
- Para una columna de relleno, determinar la altura equivalente a un piso teórico de equilibrio.
- Explicar las diferencias entre punto de carga o arrastre y punto de anegamiento de una columna de relleno.
- Estimar el diámetro de una columna de relleno y la caída de presión a través del relleno.
- Conocer los adsorbentes porosos más utilizados y sus propiedades más significativas.
- Diferenciar entre quimisorción y adsorción física.
- Comparar las diferentes isotermas de adsorción utilizadas para la correlación del equilibrio de adsorción de un componente.
- Estimar la velocidad de adsorción global en función del transporte a través de las diferentes etapas de que consta el fenómeno.
- Explicar los conceptos anchura de la zona de transferencia y de curva de rotura de un lecho fijo de adsorción.
- Calcular la altura, diámetro y ciclo de tiempo de un lecho fijo de adsorción.
- Explicar cómo trabajan las resinas intercambiadoras de iones.
- Conocer las definiciones de las magnitudes que se utilizan en psicrometría.
- Diferenciar entre temperatura de saturación adiabática y temperatura húmeda.
- Diseño de un humidificador.
- Explicar los conceptos de humedad de equilibrio y humedad libre, y agua ligada y no ligada, de un sólido.
- Describir los diferentes periodos del proceso de secado.
- Calcular las velocidades de secado en los diferentes periodos.
- Diseñar un secadero continuo en diferentes condiciones de secado.
- Explicar cómo crecen los cristales y cómo puede medirse su distribución de tamaños.
- Diferenciar entre nucleación primaria y secundaria de cristales.
- Aplicar el modelo MSMPR para diseñar un cristalizador continuo.

3. CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

Recomendaciones

Se recomienda haber cursado la asignatura “*Termodinámica Aplicada*” del 2° curso, 2° semestre (4° semestre).

Se recomienda que el estudiante esté familiarizado con herramientas y programas informáticos para la resolución de problemas complejos.

Se recomienda que el estudiante tenga un nivel básico de inglés que le permita manejar bibliografía en inglés y realizar búsqueda de información.

4. CONTENIDOS

Breve descripción de los contenidos

Mecanismos de transferencia de materia: coeficientes de transporte. Operaciones de separación controladas por la transferencia de materia: destilación, extracción, lixiviación, absorción, adsorción e intercambio iónico. Operaciones de separación controladas conjuntamente por la transferencia de materia y calor: operaciones de interacción aire-agua, secado y cristalización. Equipo para las operaciones de separación.

Programa

Tema 1. Mecanismos de transferencia de materia. Coeficientes de transporte.

Tema 2. Introducción a las operaciones de separación. Definiciones y clasificación. Variables de diseño de un sistema de separación.

Tema 3. Equipo para el contacto entre fases. Columnas de pisos y de relleno. Otros equipos.

Tema 4. Destilación de mezclas binarias. Destilación súbita. Destilación en cascada de etapas. Métodos de cálculo simplificados y rigurosos.

Tema 5. Destilación discontinua binaria. Destilación diferencial simple. Ecuación de Rayleigh. Rectificación en múltiples etapas.

Tema 6. Destilación de mezclas multicomponentes. Métodos de cálculo aproximados y rigurosos.

Tema 7. Diseño de columnas de contacto entre fases. Condiciones fluidodinámicas. Eficacia de contacto.

Tema 8. Extracción de mezclas binarias y multicomponentes. Métodos de cálculo aproximados. Lixiviación.

Tema 9. Absorción. Absorción y desorción de uno o varios componentes.

Tema 10. Adsorción. Equilibrio y cinética. Adsorbentes. Adsorción en lecho fijo. Intercambio iónico.

Tema 11. Operaciones de interacción aire-agua. Propiedades del aire húmedo. Humidificación y deshumidificación de aire. Enfriamiento de agua. Diseño de equipos.

Tema 12. Secado. Equilibrio y cinética. Diseño de secaderos.

Tema 13. Cristalización. Equilibrio y cinética. Diseño de cristalizadores.



Los distintos temas están agrupados en los siguientes bloques temáticos:

BLOQUE 1. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIA

(Tema 1)

BLOQUE 2. OPERACIONES DE SEPARACIÓN CONTROLADAS POR LA TRANSFERENCIA DE MATERIA

(Temas 2, 4, 5, 6, 8, 9 y 10)

BLOQUE 3. OPERACIONES DE SEPARACIÓN CONTROLADAS CONJUNTAMENTE POR LA TRANSFERENCIA DE MATERIA Y CALOR

(Temas 11, 12 y 13)

BLOQUE 4. EQUIPO PARA LAS OPERACIONES DE SEPARACIÓN

(Temas 3 y 7)

5. 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 las operaciones de transferencia de materia.
CG4-TQ1	Aplicar conceptos de transferencia de materia y operaciones de separación. Diseñar los equipos de transferencia de materia.

Específicas

CE20-IP8	Explicar los mecanismos y las leyes básicas del transporte de materia.
CE20-IP9	Identificar los principios en que se basan las diferentes operaciones de separación.
CE20-IP10	Diseñar los equipos en que llevar a cabo las diferentes operaciones de separación.
CE22-IP2	Medir los parámetros técnicos en equipos e instalaciones de operaciones de separación basadas en la transferencia de materia y para su interpretación técnica.
CE23-IP2	Utilizar los programas comerciales de simulación en ingeniería química.

Transversales

CT1-TQ1	Desarrollar capacidad de análisis y síntesis.
CT2-TQ1	Resolver problemas en el área de la Tecnología Química
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 recursos accesibles a través de internet.
CT6-TQ1	Utilizar herramientas y programas informáticos para calcular, simular y aproximar.
CT8-TQ1	Demostrar capacidad para el razonamiento crítico y autocrítico.



6. HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Teoría	68	82	6
Seminarios	33	37	2,8
Tutorías	4	11	0,6
Laboratorios	25	19	1,76
Exámenes	6	15	0,84
Total	136	164	12

7. METODOLOGÍA

El tiempo lectivo del curso se divide en clases teóricas, seminarios y tutorías.

La **teoría** se desarrollará en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los estudiantes matriculados en la asignatura. Las clases teóricas consistirán, de forma mayoritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrán los conocimientos teóricos necesarios para resolver los ejemplos prácticos que se ven durante el curso.

Los **seminarios** se desarrollarán en dos grupos, formado cada uno de ellos por la mitad de los estudiantes matriculados en la asignatura, o en un solo grupo para los seminarios basados en el uso de gráficos y de cálculos individuales, con la asistencia de varios profesores. En estas clases se abordará tanto la resolución de problemas previamente propuestos como algunos temas de carácter complementario y eminentemente prácticos. Los cálculos se realizarán con la ayuda de calculadoras programables y con software técnico como Excel y Origin. En los seminarios se introducen conceptos relacionados con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Ingeniería Química verde.

Las **tutorías** se desarrollarán en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los estudiantes matriculados en la asignatura. En las tutorías se supervisará el progreso de los estudiantes en su trabajo personal.

Las **prácticas de laboratorio** consistirán en una primera sesión de adquisición de datos experimentales en el laboratorio. El cálculo de los diferentes parámetros implicados en el desarrollo de la práctica se realizará en una segunda sesión en aula de informática. El cálculo necesario se realizará mediante software científico (Excel y Origin). 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. Antes de la realización del primer laboratorio de la asignatura, el estudiante deberá confirmar por escrito que ha leído, entendido y aceptado las normas de seguridad del laboratorio.

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 y de seminario, y como medio de comunicación entre el profesor y los estudiantes.

Parte de la **bibliografía recomendada** y del material de apoyo que se deposita en el campus virtual para el desarrollo de las actividades docentes de esta asignatura estarán en **inglés**. Entre estos materiales se encuentran bases de datos y webs con descripciones de equipos y datos de las empresas comercializadoras de los mismos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Básica

- Henley, E. J.; Seader, J. D.; Roper, D. K. Separation Process Principles, 3rd ed. International Student Version; Wiley, 2011.
- Wankat, P. C. Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis, 4th ed.; Prentice Hall, 2017.
- Wankat, P. C. Rate-Controlled Separations; Springer Netherlands, 2012.
- Ajay, K. R. Coulson and Richardson's Chemical Engineering: Volume 2B: Separation Processes., 6th ed.; 2023.

Complementaria

- Seader, J. D.; Henley, E. J.; Roper, D. K. Separation Process Principles: With Applications Using Process Simulators, 4th ed.; 2016.
- McCabe, W.; Smith, J.; Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering, 7th Edition; McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2004.
- Treybal, R.E., Operaciones de transferencia de masa, McGraw-Hill, México, 1988.

9. EVALUACIÓN

El rendimiento académico del estudiante, así como la calificación final de la asignatura se obtendrá de forma ponderada atendiendo a los porcentajes que se expresan a continuación y que se mantendrán en todas las convocatorias.

❖ EXÁMENES ESCRITOS: 70%

La evaluación de las competencias adquiridas en la asignatura (CG1-TQ1, CG4-TQ1, CE20-IP8, CE20-IP9, CE20-IP10, CE23-IP2, CT1-TQ1, CT2-TQ1, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT6-TQ1, CT8-TQ1) se realizará mediante dos exámenes parciales escritos, de carácter principalmente práctico, que representan el 70% de la evaluación global. Uno de los exámenes se programará a la mitad del curso, aproximadamente, y el otro al finalizar éste. Los estudiantes que superen los dos exámenes parciales, con una nota de al menos 4,0 sobre 10,0 en cada uno de ellos y que la nota media sea al menos de 5,0 sobre 10,0, no estarán obligados a presentarse al examen final escrito (convocatorias ordinaria y extraordinaria). Los alumnos que se tengan que presentar el examen final, habrán de obtener una puntuación mínima de 5,0. Este último criterio se mantendrá para la convocatoria ordinaria y extraordinaria.

❖ TRABAJO PERSONAL: 10%

El trabajo personal realizado por el estudiante se evaluará teniendo en cuenta su destreza en la resolución de problemas modelo mediante controles escritos o su entrega personalizada.

La evaluación del trabajo personal permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG4-TQ1, CE20-IP10, CT2-TQ1, CT8-TQ1 y representa el 10% de la evaluación global.

**❖ LABORATORIO: 20%**

La asistencia del estudiante a las sesiones prácticas del laboratorio será obligatoria. La evaluación se realizará teniendo en cuenta la calidad de la memoria técnica de cada una de las prácticas, las respuestas a cuestiones concretas planteadas por el profesor durante el desarrollo del laboratorio, un test de conocimientos previos (incluidas las normas de seguridad del laboratorio) y un examen escrito.

La evaluación del trabajo personal permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG1-TQ2, CE22-IP2, CE23-IP2, CT8-TQ1 y representa el 20% de la evaluación global.

❖ ASISTENCIA Y PARTICIPACIÓN ACTIVA EN LAS CLASES:

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura en la convocatoria ordinaria el estudiante debe haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría, seminarios y tutorías). La asistencia al laboratorio es obligatoria.

Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura (exámenes parciales, laboratorios, tutorías, y 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 ésta u otras asignaturas.

En especial, las notas de los exámenes parciales se comunicarán en un plazo máximo de 20 días, salvo en el caso del segundo parcial, en el que el plazo puede ser menor para adaptarse al examen final.

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

Las actividades realizadas en inglés serán evaluadas.

La calificación final resultará de la media ponderada de las actividades evaluables. No obstante, para superar la asignatura será necesario alcanzar la nota mínima establecida en cada una de ellas. En caso de no cumplirse este requisito, la calificación final será la media ponderada obtenida, con un máximo de 4,5 sobre 10.

PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES - CRONOGRAMA

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
Bloque 1. Mecanismos de transferencia de materia.	Teoría	4	1	1ª Semana	
	Seminario/Tutoría	2	2	2ª Semana	
Bloque 2. Operaciones de separación controladas por la transferencia de materia	Teoría	43	1	2ª, 4ª a 10ª, 12ª, 14ª a 22ª Semana	
	Seminario/Tutoría	19	2	2ª, 4ª a 10ª, 12ª, 14ª a 22ª Semana	
Bloque 3. Operaciones de separación controladas conjuntamente por la transferencia de materia y calor	Teoría	12	1	22ª a 30ª Semana	
	Seminario/Tutoría	13	2	22ª a 30ª Semana	
Bloque 4. Equipo para las operaciones de separación	Teoría	9	1	3ª, 11ª y 13ª Semana	
	Seminario/Tutoría	3	2	3ª, 11ª y 13ª Semana	
Bloques 1 a 4	Laboratorio	25	2	17ª y 26ª Semana	

RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

ACTIVIDAD DOCENTE	COMPETENCIAS ASOCIADAS	ACTIVIDAD PROFESOR	ACTIVIDAD ESTUDIANTE	PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN	P	NP	TOTAL	C
Teoría	CG1-TQ1, CG4-TQ1, CE20-IP8, CE20-IP9, CE20-IP10	Exposición verbal de las líneas maestras de cada tema del programa	Atender y participar activamente en el desarrollo de la clase.	Exámenes escritos	68	82	150	
Seminarios	CG4-TQ1, CE20-IP10, CE23-IP2, CT1-TQ1, CT2-TQ1, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT6-TQ1, CT8-TQ1	Planteamiento y resolución de cuestiones y problemas de carácter numérico	Discusión y resolución de las cuestiones y problemas propuestos	Exámenes escritos	33	37	70	
Tutorías	CG4-TQ1, CE20-IP10, CT2-TQ1, CT8-TQ1	Supervisión del progreso de los estudiantes. Corrección de los controles escritos	Desarrollo de su trabajo personal y realización de controles escritos	Controles escritos y entrega de problemas resueltos	4	11	15	10%
Laboratorio	CG1-TQ2, CE22-IP2, CE23-IP2, CT8-TQ1	Diseño de las prácticas de laboratorio y corrección del examen escrito	Obtención e interpretación de los datos experimentales, realizando una memoria técnica de cada práctica. Realización del examen escrito	Evaluación de las memorias técnicas de cada práctica, respuesta a las cuestiones del profesor y examen escrito	25	19	44	20%
Exámenes	CG1-TQ1, CG4-TQ1, CE20-IP10, CT1-TQ1, CT2-TQ1, CT8-TQ1	Diseño y corrección del examen. Calificación del estudiante	Realización del examen	Exámenes escritos	6	15	21	70%

P: Actividades presenciales

NP: Actividades no presenciales (trabajo autónomo)

C: Calificación