



Guía Docente: ESCENARIOS 1,2 Y 3

AMPLIACIÓN DE OPERACIONES DE SEPARACIÓN



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2020-2021



ESCENARIO 1. PRESENCIAL

I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA:	Ampliación de Operaciones de Separación
NÚMERO DE CRÉDITOS:	6
CARÁCTER:	Optativa
MATERIA:	Operaciones de la Industria Química
MÓDULO:	Tecnología Química
TITULACIÓN:	Grado en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE:	Segundo (4º Curso)
DEPARTAMENTO/S:	Ingeniería Química y de Materiales
PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:	

Grupo único		
Teoría Seminario Tutoría Laboratorio	Profesora: Departamento: Despacho: e-mail:	LOURDES CALVO GARRIDO Ingeniería Química y de Materiales QP-111 lcalvo@quim.ucm.es
Teoría Seminario Tutoría	Profesor: Departamento: Despacho: e-mail:	JOSÉ MARÍA GÓMEZ MARTÍN Ingeniería Química y de Materiales QA-143 segojmgm@ucm.es
Laboratorio	Profesor: Departamento: Despacho: e-mail:	ANA BALEA MARTÍN Ingeniería Química y de Materiales QB-501 anabalea@ucm.es

II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

El propósito final de la asignatura "Ampliación de Operaciones de Separación" es el estudio de las operaciones controladas por la transferencia de materia o simultáneamente por transferencia de materia y transmisión de calor que han sido mejoradas para resolver problemas de separación específicos o que son más novedosas. Concretamente en esta asignatura, se va a abordar la destilación mejorada para romper azeótropos y la extracción selectiva con fluidos en estado supercrítico. También es objetivo de la asignatura estudiar en detalle las separaciones utilizando membranas cuyas aplicaciones comerciales han crecido exponencialmente en los últimos 60 años. Y hacer una



introducción a la operación de liofilización por la creciente aplicación de esta tecnología para la conservación de bioproductos y alimentos.

■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las operaciones de separación mejoradas y/o avanzadas.
- Comprender los principios que rigen estas operaciones de separación.
- Aplicar los fundamentos de la transferencia de materia y de calor para el dimensionamiento/simulación de equipos donde llevarlas a cabo.
- Describir las principales aplicaciones, fundamentalmente aquellas que estén a escala comercial.
- Mejorar las habilidades en la resolución de problemas de separación.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

■ RECOMENDACIONES:

- Resolución de balances de materia y de energía estudiados en Fundamentos de Ingeniería Química.
- Conocimiento del equilibrio de fases estudiados en el modulo de Termodinámica e Ingeniería Térmica.
- Fundamentos de transferencia de materia y calor estudiados en Mecánica de Fluidos.
- Herramientas de cálculo numérico matemático estudiados en las asignaturas de matemáticas.
- Manejo de ASPEN PLUS para utilizar tanto en la simulación como en el diseño de las separaciones.
- Fundamentos de las Operaciones de Separación tradicionales vistas en la asignatura troncal del mismo nombre.

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Destilación mejorada: Destilación extractiva, Destilación azeotrópica, Destilación reactiva. Optimización de secuencias de columnas de destilación. Extracción supercrítica. Operaciones de separación con membranas: Tipos de membranas y módulos. Diálisis y electrodiálisis. Ósmosis inversa. Microfiltración., Ultrafiltración. Operaciones de separación controladas conjuntamente por la transferencia de materia y la transmisión de calor: liofilización.

■ PROGRAMA:



Destilación Mejorada

- Tema 1. Diagramas triangulares para resolución de destilaciones mejoradas: mapas de curvas residuales. Mapas de curvas de destilación. Regiones de pajarita.
- Tema 2. Tipos de destilaciones mejoradas. Destilación extractiva. Destilación con adición de sal. Destilación con cambios de presión. Destilación azeotrópica homogénea y heterogénea. Destilación reactiva. Fundamentos. Dimensionamiento de equipos. Ejemplos industriales.

Extracción Supercrítica

- Tema 3. Extracción supercrítica. Propiedades de los disolventes supercríticos. Métodos de separación disolvente-soluto. Ciclo del disolvente. Fundamentos. Adición de modificadores. Operación en continuo y contracorriente. Aplicaciones comerciales. Equipos. Costes.

Operaciones con Membranas

- Tema 4. Conceptos básicos de las separaciones con membranas. Aplicaciones generales. Clasificación de las membranas. Preparación de membranas. Módulos de membranas. Diseño de sistemas. Tipos de flujo. Modelos de transporte. Reducción de flujo de permeado. Transporte de especies disueltas. Polarización de la concentración. Rechazos.
- Tema 5. Procesos de membrana con diferencia de presión como fuerza impulsora: microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa. Aspectos de la separación. Tipo y materiales de las membranas. Aplicaciones. Cálculo del flujo a través de la membrana.
- Tema 6. Procesos de membrana con diferencia de concentración como fuerza impulsora: pervaporación, permeación de gas y diálisis. Aspectos de la separación. Tipo y materiales de las membranas. Aplicaciones. Cálculo del flujo a través de la membrana.
- Tema 7. Procesos de membrana con diferencia de potencial eléctrico como fuerza impulsora: electrodiálisis. Aspectos de la separación. Tipo y materiales de las membranas. Aplicaciones. Cálculo del flujo a través de la membrana.
- Tema 8. Procesos de membrana con diferencia de temperatura como fuerza impulsora: destilación con membranas. Aspectos de la separación. Tipo y materiales de las membranas. Aplicaciones. Cálculo del flujo a través de la membrana.

Operaciones avanzadas de secado

- Tema 9. Liofilización. Introducción. Fundamentos: congelación, sublimación y secado secundario. Equipos. Formulación y optimización del ciclo. Fugas. Determinación del punto final. Costes del proceso. Modelos matemáticos en la liofilización.



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.
- **CG4-TQ1:** Resolver problemas en el área de la ingeniería química con iniciativa, capacidad de decisión y razonamiento crítico.
- **CG5-TQ1:** Analizar, diseñar, simular y optimizar procesos y productos.

■ ESPECÍFICAS:

- **CE20-OIQ1:** Explicar los principios en que se basan las diferentes operaciones de separación.
- **CE20-OIQ2:** Diseñar los equipos en que llevar a cabo las diferentes operaciones de separación.
- **CE22-OIQ1:** Medir parámetros técnicos en equipos e instalaciones de operaciones de separación basadas en la transferencia de materia.
- **CE22-OIQ2:** Proponer su interpretación técnica.

■ 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.
- **CT6-TQ1:** Utilizar herramientas y programas informáticos para calcular, simular y aproximar.
- **CT8-TQ1:** Demostrar capacidad para el razonamiento crítico y autocrítico.

VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas	30	45	3
Seminarios	15	20	1,4



Tutorías/Trabajos dirigidos	3	4,5	0,3
Laboratorios	12	9	0,84
Preparación de trabajos y exámenes	3	8,5	0,46
Total	63	87	6

VII.- METODOLOGÍA

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

La **teoría** se impartirá en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los estudiantes matriculados en la asignatura. Se desarrollará con lecciones magistrales en las que se expondrán los fundamentos de las operaciones.

Los **seminarios** se llevarán a cabo también en un solo grupo. En estas clases se abordará fundamentalmente la resolución de casos prácticos y problemas hipotéticos cuyos enunciados tendrán disponibles previamente los alumnos. En ocasiones, se pedirá a los alumnos que lleven resueltos algunos de estos problemas que luego se resolverán en clase y que se recogerán para tenerlos en cuenta como elemento de evaluación.

Las **tutorías** se desarrollarán en dos grupos, cada uno de los cuales estará formado por la mitad de los estudiantes matriculados en la asignatura. En las tutorías se resolverán dudas, tanto conceptuales como sobre la resolución de los ejercicios que se pidan para entregar. También se utilizará para hacer el seguimiento del progreso de aprendizaje de cada alumno.

Se realizarán **prácticas** de simulación utilizando algún programa comercial como Aspen. En total está previsto que cada alumno lleve a cabo al menos tres prácticas con un total de 12 horas presenciales. Se prevé que se realicen al completar los contenidos teóricos y los seminarios del bloque temático.

Como recursos didácticos se utilizarán principalmente transparencias, la pizarra y material de apoyo: los libros básicos de la asignatura y/o artículos de revisión que serán entregados previamente a los alumnos a través del **Campus Virtual** de la UCM. Esta herramienta también se utilizará como medio de comunicación entre el profesor y los estudiantes.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

■ BÁSICA:

Destilación modificada y membranas

- E.J. Henley, J.D. Seader, D.K. Roper: “*Separation Process Principles*”, John Wiley & Sons, Asia, 2011.

Extracción Supercrítica

- G. Brunner: “*Gas Extraction*”, Springer, New York, 1994.

Liofilización



- A.S. Mujumdar: “*Handbook of industrial drying*”, 3ª ed., Taylor & Francis, 2006.

■ COMPLEMENTARIA:

- R. W. Baker: “*Membrane Technology and Applications*”, 2nd ed., John Wiley & Sons, West Sussex, 2004.
- W.S.W. Ho, K.K. Sirkar: “*Membrane Handbook*”, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- M. Mulder: “*Basic Principles of Membrane Technology*”, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriot: “*Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*”, 7ª ed., McGraw-Hill, México, 2007.
- P.C. Wankat: “*Equilibrium Staged Separations*”, Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- E. Goldberg: “*Handbook of Downstream Processing*”, Blackie & Academic & Professional, London, 1997.
- M. Verrall: “*Downstream Processing of Natural Products*”, Wiley & Sons, West Sussex, 1996.
- A. Casp; J. Abril: “*Procesos de Conservación de Alimentos*”, 2ª ed., Mundi- Prensa, 2003

IX.- EVALUACIÓN

La evaluación del rendimiento del alumno y de las competencias adquiridas en la asignatura se llevará a cabo mediante: 1) un examen que se realizará en la fecha que asigne la facultad, que contribuirá con un 60% del peso en la calificación final; 2) la entrega de ejercicios/problemas, que contarán con un 10% y 3) la realización de prácticas y entrega de una memoria, que supondrán el 30% restante. De esta forma, quedarán evaluadas todas las competencias de la asignatura.

■ EXÁMENES ESCRITOS 60%

El examen consistirá en preguntas de respuesta múltiple (tipo test) con cuestiones conceptuales, de cálculos sencillos y en la resolución de problemas similares a los realizados en clase.

■ ENTREGA DE PROBLEMAS PROPUESTOS 10%

Se pedirá la entrega de problemas resueltos antes de su discusión y resolución en las clases de seminario.

■ PRÁCTICAS DE LABORATORIO 30%

Después de realizar las prácticas, se pedirá una breve memoria de cada práctica realizada que resuma los resultados obtenidos y una discusión crítica de los mismos. La realización de las prácticas es obligatoria cuando estén programadas, pero si la memoria queda suspendida en la convocatoria ordinaria, se realizará una prueba en la convocatoria extraordinaria.



Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura 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 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.



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

BLOQUE TEMÁTICO	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
I. Destilación modificada	Teoría	12	1	1ª Semana	3ª Semana
	Seminario	6	1	4ª Semana	5ª Semana
II. Extracción supercrítica	Teoría	4	1	5ª Semana	6ª Semana
	Seminario	2	1	6ª Semana	6ª Semana
III. Membranas	Teoría	11	1	7ª Semana	9ª Semana
	Seminario	5	1	9ª Semana	10ª Semana
IV. Liofilización	Teoría	3	1	10ª Semana	11ª Semana
	Seminario	2	1	11ª Semana	11ª Semana



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Clases de teoría	CG1-TQ1, CG2-TQ2, CG4-TQ1, CG5-TQ1, CE20-OIQ1, CE20-OIQ2 CT1-TQ1, CT8-TQ1	Exponer fundamentos y aplicaciones. Desarrollar métodos de dimensionamiento/ simulación de equipos	Atender y participar activamente en el desarrollo de la clase	Examen	30	45	75	
Seminarios	CT2-TQ1, CT5-TQ1, CT6-TQ1, CT8-TQ1, CE20-OIQ2	Plantear y resolver casos reales y problemas hipotéticos	Atender y participar activamente en la resolución de los casos reales y problemas	Entrega de ejercicios resueltos y realización de examen	15	20	35	10%
Tutorías	CT2-TQ1, CT5-TQ1, CT6-TQ1, CT8-TQ1, CE20-OIQ2	Resolver dudas. Dirigir el aprendizaje del alumno con explicaciones y con recomendaciones bibliográficas	Consultar al profesor dudas teóricas o de resolución práctica sobre la materia		3	4,5	7,5	
Laboratorio	CE22-OIQ1, CE22-OIQ2	Proponer, poner a punto y desarrollar las prácticas de laboratorio	Llevar a cabo las simulaciones, obtener los datos, resumirlos e interpretarlos en una memoria escrita	Corrección de la memoria	12	9	21	30%
Exámenes	Todas las de la asignatura	Proponer, vigilar y corregir el examen. Calificar al alumno	Preparar y realizar el examen		3	8,5	11,5	60%

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

ESCENARIO 2. SEMIPRESENCIAL

VII.- METODOLOGÍA

- **Clases de teoría y seminarios** impartidos por el profesor en el régimen habitual, como en el Escenario 1, y con el mismo contenido. Atendiendo al principio de *máxima presencialidad* aprobado por el Rectorado de la UCM, la sesión será seguida presencialmente por los alumnos en el aula, hasta aforo completo considerando distancia social. Los alumnos ubicados en aulas provistas de cámaras, y que no quepan en el aula, seguirán la sesión virtualmente, bien desde su domicilio o en las zonas de uso público habilitadas por la Facultad para este fin, que estarán debidamente publicitados en el CV. Para las aulas que no tienen cámara, se establecerá un turno rotatorio de alumnos presenciales en el aula, atendiendo a la numeración del DNI. Este procedimiento podrá ser modificado por el profesor a lo largo del curso, según considere oportuno, para ir ajustando el aforo del aula con los estudiantes asistentes a su clase.
 - El material docente utilizado será el mismo que el empleado en el Escenario 1, así como vídeos relacionados con la materia y otros tipos de materiales que los profesores de la asignatura consideran de relevancia e interés. Todo el material estará con antelación a disposición de los estudiantes a través del Campus Virtual para su utilización.
 - Los medios telemáticos utilizados para que los alumnos sin presencialidad en el aula sigan virtualmente las sesiones serán las plataformas: TEAMS disponible en el CV, Google Meet o Zoom. El profesor mantendrá abierta una sesión de este tipo para mantener una relación directa y fluida con los estudiantes que asisten virtualmente, pudiendo así proyectarse simultáneamente la presentación y seguir las tradicionales explicaciones que se den en la pizarra.
- Dado que las **Prácticas** de esta asignatura son de simulación, se podrán realizar a distancia en sesiones síncronas utilizando el programa Aspen Plus a través de la VPN, de igual forma que en el escenario 1.
 - El material docente empleado será el mismo que el utilizado en el Escenario 1.
 - Todo el material estará a disposición de los alumnos con antelación a través del Campus Virtual.
- **Tutorías individualizadas**
Se realizarán por videoconferencia y/o correo electrónico.
- **Seguimiento del alumnado**
En la parte de docencia que se realiza de forma presencial se seguirán las mismas técnicas empleadas de forma tradicional.
En la parte de docencia virtual el seguimiento se realizará por diversas técnicas, según considere el profesor: mediante la herramienta de registro de actividades de TEAMS, el nombre de los asistentes (Google MEET), hoja de firmas habilitada en

Guía Docente: Ampliación de Operaciones de Separación

el CV a modo de cuestionario, análisis de descargas efectuadas por los alumnos en el CV, etc.

IX.- EVALUACIÓN

Se realizarán exámenes presenciales con el procedimiento descrito en el Escenario 1.

ESCENARIO 3. TOTALMENTE VIRTUAL

VII.- METODOLOGÍA

- **Clases de teoría y seminario** que serán impartidas de forma combinada en sesiones: (a) síncronas, en el horario oficial establecido y/o (b) asíncronas.
 - El material docente utilizado será el mismo que el empleado en los Escenarios 1 y 2; aunque, las sesiones virtuales se realizarán a través de videos de dichas presentaciones de PowerPoint narradas y grabadas, a las cuales el estudiante tendrá acceso a través del Campus Virtual. Como apoyo a las sesiones virtuales se pondrán en el Campus Virtual diferentes videos que muestran los procesos estudiados y complementan las clases virtuales.
 - Los medios telemáticos para impartir las clases serán las plataformas ya mencionadas en el Escenario 2: TEAMS, Google Meet o Zoom.
- **Prácticas de laboratorio** que se desarrollarán como en el Escenario 2.
- **Las tutorías individuales** se realizarán como en el Escenario 2.
- **Seguimiento del alumnado**
Se realizará igual que lo descrito en el Escenario 2 para la docencia virtual.

IX.- EVALUACIÓN

- **Identificación de estudiantes**
En los minutos anteriores al inicio del examen, los alumnos deberán entregar un documento de compromiso escrito a mano y digitalizado en formato PDF, aceptando las normas para la realización de la prueba. El texto del documento, elaborado por el Departamento, estará disponible en el espacio de la asignatura del Campus Virtual. En dicho documento se deberá hacer constar: nombre y apellidos, firma, lugar y copia del DNI. La identificación de los alumnos que realicen el examen se llevará a cabo a través de: (i) entrada al Campus Virtual para poder visualizar los enunciados del examen con su cuenta institucional, (ii) imagen de video a través de Google Meet o TEAMS (desde la cámara del ordenador o del móvil), (iii) documento de compromiso, y (iv) posible comprobación telemática a lo largo del examen por parte del profesor.
- **Tipo de examen**
El examen virtual se diseñará en el Campus Virtual (Moodle) a través de las herramientas que esta plataforma ofrece:
 - Las preguntas de respuesta múltiple (tipo test) con cuestiones conceptuales se realizarán utilizando la herramienta de Cuestionario de Moodle.
 - Los ejercicios de cálculos sencillos y la resolución de problemas se realizarán utilizando la herramienta de Tareas y/o Cuestionarios de Moodle. En este caso, el estudiante deberá enviar la solución manuscrita con la justificación de todos los cálculos y razonamientos hechos en formato pdf o jpg. Los ficheros deberán estar ordenados, habrán de verse de forma clara, las páginas tendrán que estar numeradas y con la orientación adecuada,

habiendo firmado e incluido el DNI o el documento de identificación utilizado en cada una de las hojas.

Se comunicará con antelación las herramientas necesarias para realizar dicha prueba. Previamente se pondrá a disposición de los alumnos en el Campus los gráficos o datos necesarios para la resolución para que puedan imprimirlos antes a la prueba.

El tiempo máximo por examen será de 3 horas.

Se hará una simulación previa del examen, utilizando las mismas herramientas, en fecha anterior a la del examen, a fin de que se puedan adelantar y solucionar distintos problemas técnicos que los alumnos puedan encontrar durante el desarrollo de la prueba.

- **Seguimiento de estudiantes durante el examen**

Durante la realización del examen, los alumnos deberán tener conectada una cámara (del ordenador o del móvil) que haga posible la comprobación por parte del profesor del cumplimiento del compromiso firmado por el alumno para realizar el examen de forma individual y con los medios indicados.

Si tienen dudas sobre la prueba podrán utilizar el chat para comunicarse con el profesor. Si se desea hacer de forma individual se podrá realizar por el correo del CV o mediante una sesión de TEAMS abierta paralelamente. Al final del examen, si los profesores lo consideran oportuno, podrían requerir a los estudiantes alguna explicación adicional sobre el desarrollo de los ejercicios propuestos.

Se grabarán las sesiones sincrónicas de todas las pruebas del examen.

- **Revisión de exámenes**

Los estudiantes podrán revisar todas las pruebas, informes, ejercicios y trabajos entregados que se usen para su calificación. Para ello deberán solicitar una revisión previamente a través del correo del Campus Virtual, indicando los elementos que quieren revisar y el profesor con el que quieren realizarla. Se programará con ese alumno una sesión síncrona individual. Las reclamaciones debidas a problemas técnicos deberán ser notificadas previamente. No se permitirá su notificación después de la publicación de las notas. El estudiante conservará copia de los ficheros PDF enviados como respuesta del examen para facilitar la revisión. Por otra parte, el profesor podrá requerir del alumno la revisión y discusión interactiva de su examen dentro del plazo que se establezca para la revisión de los mismos que se notificará en el CV.

Las sesiones de videoconferencia de las revisiones podrán ser grabadas.

- **Mecanismo empleado para la documentación/grabación de las pruebas de evaluación para su posterior visualización y evidencia**

El profesor conservará los ficheros (en el formato electrónico que se especifique) del ejercicio de examen enviado por cada estudiante.

Además, se almacenarán en el Campus Virtual las grabaciones de las sesiones de los exámenes, y la realizadas durante las entrevistas de revisión de las calificaciones, de manera que sean accesibles para todos los profesores de la asignatura.

Todas las sesiones grabadas se mantendrán únicamente durante el tiempo previsto

en la normativa académica para la conservación de las pruebas de evaluación y para futuras auditorías externas y serán almacenadas en los servidores de la UCM con las medidas de seguridad adecuadas, nunca en dispositivos privados.