



Guía Docente:

OPERACIONES AVANZADAS DE SEPARACIÓN



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2024-2025

I.- IDENTIFICACIÓN

| | |
|---------------------------------|--|
| NOMBRE DE LA ASIGNATURA: | Operaciones Avanzadas de Separación |
| CARÁCTER: | Optativa |
| MATERIA: | Campos de Aplicación de la Ingeniería |
| CARÁCTER: | Optativa |
| MÓDULO: | Ingeniería de Procesos y Productos |
| TITULACIÓN: | Máster en Ingeniería Química |
| SEMESTRE/CUATRIMESTRE: | Segundo semestre (primer curso) |
| DEPARTAMENTO/S: | Ingeniería Química y de Materiales |

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

| Grupo Único | |
|----------------------------------|--|
| Teoría Seminarario Tutoría | Profesor: LOURDES CALVO GARRIDO Departamento: Ingeniería Química Despacho: QP-111 e-mail: lcalvo@ucm.es |
| Teoría Seminarario Tutoría | Profesor: JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-144 e-mail: jadeldob@ucm.es |
| Laboratorio | Profesor: LOURDES CALVO GARRIDO Departamento: Ingeniería Química Despacho: QP-111 e-mail: lcalvo@ucm.es Profesor: JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-144 e-mail: jadeldob@ucm.es |

II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta asignatura es que el alumno comprenda los fundamentos físico-químicos de procesos de separación avanzados de utilidad industrial, sea capaz de diseñarlos, conozca sus principales campos de aplicación actuales, y pueda evaluar nuevos campos de aplicación.

■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

- Comprender los fundamentos físico-químicos de procesos de separación avanzados de utilidad industrial.
- Diseñar procesos de separación avanzados de utilidad industrial.
- Conocer los principales campos de aplicación actuales de procesos de separación avanzados, y poder evaluar nuevos campos de aplicación

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Nociones básicas de operaciones de separación

■ RECOMENDACIONES:

Se recomienda haber realizado los estudios necesarios para obtener el Grado en Ingeniería Química.

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Principios básicos de la separación con membranas. Módulos de membranas. Diseño de módulos de membranas para permeación de gases.

Separaciones por adsorción. Fundamentos de adsorción. Equilibrio y cinética. Modelado de procesos de adsorción. Ciclos de adsorción con cambio de presión (ciclos PSA): principios básicos. Comparación de separaciones de gases con membranas y PSA. Manejo de simuladores de ciclos PSA.

Procesos con Fluidos Supercríticos. Propiedades de los Fluidos Supercríticos como disolventes. Métodos de separación del disolvente y soluto y ciclo del disolvente. Aplicaciones comerciales en: a) Extracción; b) Técnicas de formación de partículas; c) Reacciones: síntesis y descontaminación; d) Impregnación; e) Limpieza y desinfección. Equipos, seguridad y costes.

■ PROGRAMA:

BLOQUE TEMÁTICO I. PROCESOS DE SEPARACIÓN AVANZADOS CON MEMBRANAS Y DE ADSORCIÓN

Tema 1: Separaciones con membranas

Conceptos básicos. Módulos de membranas. Patrones de flujo. Cascadas de separadores con membranas. Permeación de gases. Diseño de módulos de membranas para permeación de gases.

Tema 2: Fundamentos de la adsorción

Introducción. Separaciones basadas en el equilibrio o en la cinética. Criterios a considerar en la elección de un adsorbente. Adsorbentes comerciales y aplicaciones. Nuevos adsorbentes y aplicaciones futuras. Equilibrio de adsorción de gases puros.

Fuerzas y energías de adsorción. Modelos teóricos para describir el equilibrio de adsorción. Modelos empíricos para la adsorción de gases puros. Equilibrio de adsorción de mezclas de gases.

Tema 3. Modelado de procesos de adsorción

Cinética de adsorción. Modelado de la adsorción en tanque agitado. Cinética de adsorción en lecho fijo. Aproximación LDF (Linear Driving Force). Modelado de la adsorción en lecho fijo. Ciclos de adsorción con cambio de presión (ciclos PSA): principios básicos. Comparación de separaciones de gases con membranas y PSA. Manejo de simuladores de ciclos PSA (PSASIM®). Procesos en Lecho Móvil Simulado (ciclos SMB): principios básicos. Manejo de simuladores de ciclos SMB (SMBSIM©).

BLOQUE TEMÁTICO II. PROCESOS AVANZADOS CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Tema 4. Fluidos Supercríticos y propiedades como disolventes

Definición de Fluido Supercrítico. Propiedades termodinámicas: densidad. Solubilidad en disolventes supercríticos. Efecto de la adición del modificador. Propiedades de transporte: viscosidad, conductividad térmica, coeficiente de difusión. Parámetro de solubilidad. Ventajas y desventajas de los fluidos supercríticos como disolventes.

Tema 5. Métodos de recuperación del soluto y ciclo del disolvente

Métodos de separación del disolvente y soluto. Separaciones por reducción en el poder disolvente. Separaciones utilizando un agente separador. Ciclo del disolvente. Modo compresor y modo bombeo. Seguimiento y estimación de costes energéticos en diagrama presión-entalpía.

Tema 6. Extracción de matrices sólidas

Proceso. Fundamentos. Curvas de extracción. Variables de operación. Adición de modificadores. Modelado. Operación en continuo y contracorriente. Aplicaciones en la extracción de compuestos de alto valor añadido y en la eliminación de impurezas. Limpieza en seco de textiles. Equipos. Costes.

Tema 7. Fraccionamiento de corrientes líquidas

Proceso. Ventajas. Aplicaciones. Consideraciones de diseño. Modelado: altura de la columna. Relación de reflujo. Cálculo del diámetro de la columna y capacidad. Caída de presión. Ciclo del disolvente. Costes. Cromatografía supercrítica. Fundamentos. Aplicaciones. Procesos a escala preparativa.

Tema 8. Técnicas de micronización y encapsulación para la formación de micro y nano-materiales.

Oportunidad tecnológica. Termodinámica y equilibrio de fases. Descripción de los procesos. Expansión rápida de una disolución supercrítica. Formación de partículas a partir de una disolución saturada gaseosa. Precipitación mediante un antidisolvente supercrítico. Impregnación. Descripción de los procesos. Modificaciones de estas técnicas para encapsulación y micronización. Aplicaciones.

Tema 9. Procesos de impregnación comerciales

Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

Maderas con biocidas. Textiles con tintes. Piel con CrIII. Descripción de los procesos. Desarrollo comercial.

Tema 10. Reacciones en agua supercrítica

I. Reacciones de hidrólisis e hidrotermales. II. Oxidación en agua supercrítica. Propiedades agua supercrítica. Ventajas como disolvente. Descripción de los procesos. Tipos de reactores. Separación de sales. Corrosión. Materiales de Construcción. Procesos comerciales.

Tema 11. Síntesis en CO₂ supercrítico

Obtención de amoníaco. Polimerización y copolimerización. Oxidación parcial e hidrogenación. Reacciones catalíticas. Síntesis enzimáticas. Descripción de los procesos. Ventajas. Aplicaciones.

Tema 12. Inactivación de microorganismos y enzimas mediante CO₂ a alta presión

Fundamentos. Descripción de los procesos. Equipos. Comparación con tecnologías existentes. Grado de comercialización. Costes.

Tema 13. Diseño de instalaciones

Selección de componentes. Equipos. Normativa. Seguridad.

V.- COMPETENCIAS

■ GENERALES:

- **CG2** Concebir, proyectar, calcular, y diseñar procesos, equipos, instalaciones industriales y servicios, en el ámbito de la ingeniería química y sectores industriales relacionados, en términos de calidad, seguridad, economía, uso racional y eficiente de los recursos naturales y conservación del medio ambiente.
- **CG-5:** Saber establecer modelos matemáticos y desarrollarlos mediante la informática apropiada, como base científica y tecnológica para el diseño de nuevos productos, procesos, sistemas y servicios, y para la optimización de otros ya desarrollados.
- **CG10** Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nuevas y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor.
- **CG-11:** Poseer las habilidades del aprendizaje autónomo para mantener y mejorar las competencias propias de la ingeniería química que permitan el desarrollo continuo de la profesión.

■ ESPECÍFICAS:

- **CE-1:** Aplicar conocimientos de matemáticas, física, química, biología y otras ciencias naturales, obtenidos mediante estudio, experiencia, y práctica, con razonamiento crítico para establecer soluciones viables económicamente a problemas técnicos.

Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

- **CE-2:** Diseñar productos, procesos, sistemas y servicios de la industria química, así como la optimización de otros ya desarrollados, tomando como base tecnológica las diversas áreas de la ingeniería química, comprensivas de procesos y fenómenos de transporte, operaciones de separación e ingeniería de las reacciones químicas, nucleares, electroquímicas y bioquímicas.
- **CE-3:** Conceptualizar modelos de ingeniería, aplicar métodos innovadores en la resolución de problemas y aplicaciones informáticas adecuadas, para el diseño, simulación, optimización y control de procesos y sistemas.
- **CE-4:** Tener habilidad para solucionar problemas que son poco familiares, incompletamente definidos, y tienen especificaciones en competencia, considerando los posibles métodos de solución, incluidos los más innovadores, seleccionando el más apropiado, y poder corregir la puesta en práctica, evaluando las diferentes soluciones de diseño

■ TRANSVERSALES:

- **CT-1:** Desarrollar el trabajo de forma autónoma.
- **CT-5:** Elaborar y escribir informes y otros documentos de carácter científico y técnico.
- **CT-6:** Aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos multidisciplinares, los conceptos, principios, teorías o modelos relacionados con la Ingeniería Química.
- **CT-8** Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos nuevos o pocos conocidos dentro de contextos multidisciplinares.
- **CT-9:** Comunicar conceptos científicos utilizando los medios audiovisuales más habituales, desarrollando las habilidades de comunicación oral. (he cambiado orden)
- **CT-10:** Utilizar herramientas y programas informáticos para el tratamiento y difusión de los resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica.

VI. – HORAS DE TRABAJO POR ACTIVIDAD

| Actividad | | Total (horas) | Presencialidad |
|-----------|------------------|------------------|----------------|
| | | | (%) |
| AF0 | Trabajo autónomo | 90 | 0 |
| AF1 | Clases teoría | 25 | 100 |
| AF3 | Problemas | 13 | 100 |
| AF4 | Prácticas | 15 | 100 |
| AF6 | Tutorías | 2 | 100 |
| AF7 | Evaluación | 3 | 100 |
| AF9 | Conferencias | 2 | 100 |

VII.- METODOLOGÍA

El tiempo lectivo del curso se divide en clases teóricas, problemas, prácticas, tutorías y conferencias.

Las **clases teóricas** se desarrollarán en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los alumnos matriculados en la asignatura. Consistirán, de forma mayoritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrán conocimientos teóricos generales sobre la asignatura.

En las **clases de problemas** se aplicarán los conceptos vistos en las clases de teoría a la resolución de problemas concretos.

Se realizarán **prácticas** de laboratorio y de simulación para afianzar y completar el contenido teórico dado en la clase. Los resultados, así como la interpretación de los mismos deberán presentarse en un informe.

Se procurará invitar a expertos para que impartan **conferencias** en aspectos especializados del temario o en aplicaciones industriales.

En las **tutorías** se supervisará el progreso de los alumnos, resolviendo sus dudas sobre lo aprendido en las diferentes actividades.

Se utilizará el **Campus Virtual** como instrumento para poner a disposición de los alumnos el material que se utilizará en las clases teóricas y prácticas, y como medio de comunicación entre el profesor y los alumnos. Además, se colgarán las calificaciones de los trabajos, prácticas y exámenes

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

- WANKAT, P.C.: Rate-controlled separations. Blackie Academic & Professional. 1994
- RUTHVEN, D. M.; FAROOQ, S.; KNAEBEL K. S., Pressure Swing Adsorption, Wiley-VCH (1994)
- YANG, R.T.; Adsorbents: Fundamentals and Applications, Wiley (2003)

Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

- BRUNNER, G. *Gas extraction: an introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes*. Darmstadt: Steinkopff, Springer, 1994.
- BERTUCCO, A., VETTER, G. Eds. *High Pressure Process Technology: fundamentals and applications*. Industrial Chemistry Library, Elsevier, 2000.
- JESSOP, P.G., LEITNER, W. Eds. *Chemical Synthesis using Supercritical Fluids*. Wiley-VCH, Weinheim, 1999.
- MARTINEZ, J.L. *Supercritical fluid extraction of nutraceuticals and bioactive compounds*. CRC Press, 2008.

IX.- EVALUACIÓN

La evaluación del rendimiento del alumno y de las competencias adquiridas en la asignatura se llevará a cabo mediante una evaluación global, que considerará los exámenes, tutorías, las actividades dirigidas y el trabajo personal efectuado por el alumno.

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura, el estudiante deberá haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría, seminarios y tutorías). La asistencia a todas las sesiones de prácticas es **obligatoria**.

El rendimiento académico y la calificación final serán el resultado de las calificaciones ponderadas de la siguiente forma:

| | |
|-----------------------------------|--------|
| Examen: | 50-70% |
| Tutorías y actividades dirigidas: | 10-30% |
| Prácticas de laboratorio: | 10-30% |

■ EXAMEN ESCRITO:

Se realizará un examen escrito que consistirá en un conjunto de cuestiones conceptuales o de aplicación directa de teoría. Además, constará de problemas numéricos.

■ ACTIVIDADES DIRIGIDAS:

En las actividades dirigidas, los alumnos deberán entregar un informe escrito sobre las actividades realizadas, siguiendo las instrucciones del profesor, para su evaluación. La calificación obtenida en estas actividades se mantendrá todo el curso. Es obligatoria la realización de las mismas y la entrega del informe.

■ PRÁCTICAS:

Con el fin de fomentar el aprendizaje cooperativo se organizarán grupos reducidos.

La asistencia a todas las sesiones de laboratorio es **obligatoria**. La calificación obtenida en las prácticas se mantendrá todo el curso.

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 |
|---|--------------------|-------|--------|------------|------------|
| Bloque I. Procesos avanzados con membranas y adsorción | Teoría y problemas | 18 | 1 | 1ª semana | 5ª semana |
| | Laboratorio | 11 | 2 | 7ª semana | 8ª semana |
| | Tutoría | 1 | 1 | 8ª semana | 8ª semana |
| Bloque II. Procesos avanzados con fluidos supercríticos | Teoría y problemas | 26 | 1 | 9ª semana | 15ª semana |
| | Laboratorio | 3 | 2 | 14ª semana | 15ª semana |
| | Tutoría | 1 | 1 | 15ª semana | 15ª semana |

Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

| Actividad docente | Competencias asociadas | Actividad Profesor | Actividad alumno | Procedimiento de evaluación | P | NP | Total | C |
|------------------------------|---|---|--|---|----|-------|-------|--------|
| Clases de teoría y problemas | CG-2, CG-5, CG-10, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-6, CT-10 | Explicación en clase | Toma de apuntes. Atender y participar activamente | Examen | 35 | 37,5 | 72,5 | - |
| Laboratorios | CG-2, CG-5, CG-10, CG-11, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10 | Asesoramiento de los alumnos en los casos prácticos | Obtener datos, resumirlos e interpretarlos en una memoria escrita | Evaluación del informe entregado | 15 | 11,25 | 26,25 | 10-30% |
| Conferencias | CG-11, CE-3 | Definición de la temática, búsqueda de los expertos y organización de la conferencia | Atender y participar activamente realizando preguntas | Preguntas breves y/o prueba test | 2 | - | | 2-5% |
| Tutorías | CG-2, CG-5, CG10, CG-11, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10 | Supervisión del progreso de los alumnos. Resolución de dudas. Recomendación de material de apoyo. | Preparación de las preguntas para el profesor, asimilación y aplicación de las explicaciones recibidas | Preguntas breves y/o prueba test | 2 | 3 | 5 | 5-10% |
| Exámenes | CG-2, CG-5, CG10, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10 | Proponer, vigilar y corregir el examen. Calificar al alumno | Estudiar y realizarlo | Examen sobre los contenidos expuestos en las clases teóricas y de problemas | 2 | 3 | 5 | 50-70% |

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