



Proyecto/Guía docente de la asignatura

DISEÑO DE PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIA

Project/Course Syllabus

Asignatura <i>Course</i>	DISEÑO DE PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIA		
Materia <i>Subject area</i>	DISEÑO DE PROCESOS		
Módulo <i>Module</i>	INGENIERÍA DE PROCESOS Y PRODUCTOS		
Titulación <i>Degree Programme</i>	MÁSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA		
Plan <i>Curriculum</i>	542	Código	53748
Periodo de impartición <i>Teaching Period</i>	Segundo cuatrimestre	Tipo/Carácter	Obligatoria
Nivel/Ciclo <i>Level/Cycle</i>	MASTER	Curso	Complementos
Créditos ECTS <i>ECTS credits</i>	6		
Lengua en que se imparte <i>Language of instruction</i>	CASTELLANO		
Profesor/es responsable/s <i>Responsible Teacher/s</i>	Silvia Bolado Rodríguez/Soraya Rodríguez Rojo		
Datos de contacto (E-mail, teléfono...) <i>Contact details (e-mail, telephone...)</i>	silvia.bolado@uva.es/ soraya.rodriguez@uva.es		
Departamento <i>Department</i>	Ingeniería Química y Tecnología del medio Ambiente		
Fecha de revisión por el Comité de Título <i>Review date by the Degree Committee</i>	13 de julio de 2026		

1. Situación / Sentido de la Asignatura

Course Context and Relevance

1.1 Contextualización

Course Context

Las operaciones unitarias basadas en la transferencia de materia forman parte del núcleo central de la Ingeniería Química, constituyendo un aspecto esencial del aprendizaje de la profesión de Ingeniero Químico. Los procesos de transferencia de materia son una parte fundamental de las industrias química de base, la petroquímica y otras áreas clásicas de la Ingeniería química, pero deben además proporcionar nuevas soluciones para nuevos productos y procesos en industrias que requieren productos de elevada pureza, como las biotecnológicas o las dedicadas a la nanotecnología. La asignatura trabaja en ambos aspectos, profundizado en el estudio de procesos de separación clásicos, basados en el equilibrio, como la rectificación, la absorción o la extracción, que mantendrán su gran importancia por mucho tiempo, e incorporando otros relativamente más recientes, como la adsorción, la cromatografía, la cristalización, la fusión por zonas o las membranas, que requieren un análisis basado en la cinética de transferencia de materia y que no alcanzan a ser tratados en los estudios de Grado.

De acuerdo con su título y el de la materia en la que se encuadra, la asignatura se centrará en el diseño de procesos y, por tanto, en la resolución de problemas. Se plantearán y resolverán ecuaciones de procesos con sistemas multicomponentes, o teniendo en cuenta diferentes resistencias controlantes, cuya resolución requiere un cierto nivel de análisis matemático o la programación de algoritmos de cálculo.

1.2 Relación con otras materias

Connection with other subjects

Como asignatura que aborda un tema central de la Ingeniería Química, está estrechamente ligada con prácticamente todas las demás de la titulación. En cuanto a conocimientos previos, aparte de los provenientes de la formación de Grado, la asignatura se apoya principalmente en aquellos sobre equilibrio de fases y fenómenos de transporte, impartidos en la materia **Termodinámica y Transporte en los Procesos Químicos**, de primer cuatrimestre. Mantiene también una estrecha relación con **Ingeniería de productos Químicos**, ya que las operaciones de transferencia de materia son una pieza clave para conseguir las propiedades de un producto.

La asignatura se complementa con las otras dos que forman la materia de Diseño de Procesos. Las condiciones de operación y el diseño de la etapa de reacción, eje central de la asignatura **Diseño de Procesos con Reacción** y las necesidades de concentración o purificación de reactivos y productos en una planta son temas íntimamente conectados. El estudio de los Procesos de Transferencia de Materia realizado en esta asignatura se analiza tanto en régimen estacionario, como en régimen dinámico empleando simuladores comerciales (HYSIS) en **Análisis de Procesos Químicos con Simuladores**. Evidentemente, dada la importancia de los procesos de transferencia de materia dentro de la Ingeniería Química, son un apoyo necesario para todas las materias del **módulo de intensificación** y para la realización del **Trabajo Fin de Máster**.

1.3 Prerrequisitos

Prerequisites

Se recomienda encarecidamente haber cursado las dos asignaturas de la materia **Termodinámica y Transporte en los Procesos Químicos**, de primer cuatrimestre del Máster. Los conocimientos de equilibrios de fase multicomponentes no ideales y de fenómenos de transporte son esenciales para el

seguimiento de esta asignatura. La programación realizada parte de que todos los estudiantes han adquirido ya las competencias sobre Cálculo y Diseño de Operaciones de Separación, al nivel del Grado en Ingeniería Química, bien a través de sus estudios de Grado o de los complementos de formación previstos para el acceso al Máster.

2. Resultados del proceso de formación y de aprendizaje (RD 822/2021) o competencias (RD 1393/2007)

Learning outcomes (RD 822/2021) or competences (RD 1393/2007)

2.1 (RD1393/2007) Competencias Generales

General Competences

- CG02.** 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.
- CG03.** Dirigir y gestionar técnica y económicamente proyectos, instalaciones, plantas, empresas y centros tecnológicos en el ámbito de la Ingeniería química y los sectores industriales relacionados.
- CG04.** Realizar la investigación apropiada, emprender el diseño y dirigir el desarrollo de soluciones de Ingeniería, en entornos nuevos o poco conocidos, relacionando creatividad, originalidad, innovación y transferencia de tecnología.
- CG06.** Tener capacidad de análisis y síntesis para el progreso continuo de productos, procesos, sistemas y servicios utilizando criterios de seguridad, viabilidad económica, calidad y gestión medioambiental.
- CG07.** Integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de emitir juicios y toma de decisiones, a partir de información incompleta o limitada, que incluyan reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas del ejercicio profesional.
- CG10.** Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nuevas y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor.
- CG11.** 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.

2.2 (RD1393/2007) Competencias Específicas

Specific Competences

- CEP01.** 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.
- CEP02.** 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.
- CEP04.** 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.
- CEP05.** Dirigir y supervisar todo tipo de instalaciones, procesos, sistemas y servicios de las diferentes áreas industriales relacionadas con la Ingeniería química.

3. Objetivos

Course Objectives

El objetivo básico de la asignatura es que el alumno aprenda a seleccionar, analizar y diseñar procesos de transferencia de materia complejos y/o novedosos, basados en la cinética y en el equilibrio.

Objetivos específicos de la asignatura son los siguientes:

- Analizar las operaciones de separación difusionales menos frecuentes, los conceptos físicos en los que se basan y sus parámetros de operación.
- Plantear y resolver métodos de cálculo para el diseño y operación de procesos de transferencia de materia controlados por la cinética.
- Plantear, generalizar y resolver métodos de cálculo para el diseño y operación de procesos de transferencia de materia complejos basados en el equilibrio.
- Plantear y resolver métodos de cálculo para el diseño y operación de procesos y equipos de transferencia de materia para separación de sistemas multicomponentes basados en el equilibrio.
- Seleccionar el proceso, diseño de equipo y condiciones de operación adecuados para la separación de los componentes de una mezcla.

Además de estos objetivos particulares, la asignatura pretende que el alumno desarrolle las competencias generales indicadas en el apartado anterior.

4. Contenidos y/o bloques temáticos

Course Contents and/or Modules

Bloque 1: *Procesos de membrana*

Module 1: *Membrane Processes*

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1
Workload in ECTS credits:

a. Contextualización y justificación

a. Context and rationale

El programa se inicia con las operaciones íntegramente controladas por la cinética de transferencia de materia, las membranas. Este tipo de separación es cada vez más empleado, por su sencillez, las grandes mejoras conseguidas en los últimos años en cuanto a desarrollo de materiales, sus suaves condiciones de operación y sus cada vez menores costes de inmovilizado y operación.

b. Objetivos de aprendizaje

b. Learning objectives

- Comparar los distintos procesos de membrana en función de la fuerza impulsora principal.
- Diferenciar los distintos tipos de membranas, su morfología, los materiales empleados en la fabricación y las aplicaciones industriales más comunes.
- Escoger los equipos de membranas, configuraciones industriales y modelos de flujo adecuados para una separación.
- Valorar los fenómenos de polarización de concentración y ensuciamiento en la membrana, sus efectos negativos y las posibilidades de corrección.
- Diseñar los diferentes módulos de permeación de gases, ósmosis inversa, ultrafiltración, diálisis y pervaporación utilizando una metodología común basada en la resolución combinada de los balances de materia y, en su caso, energía y las ecuaciones pertinentes para el flujo de disolvente y soluto a través de la membrana.
- Calcular la eficacia de utilización de la corriente eléctrica y dimensionar el área de las membranas de un sistema básico con múltiples celdas de electrodiálisis.

c. Contenidos**c. Contents**

Generalidades: Tipos, configuraciones y modelos. Ultrafiltración y ósmosis inversa: Ecuaciones para el flujo. Permeación de gases. Diálisis y electrodiálisis. Pervaporación

d. Métodos docentes**d. Teaching and Learning methods**

Clases teóricas (4h), clases de problemas (2h), laboratorio informático/experimental (1h) y seminarios (3h)

e. Plan de trabajo**e. Work plan**

El primer bloque trata sobre procesos inherentemente cinéticos, que utilizan una membrana como barrera para la separación. Se inicia con una visión general de los procesos de membrana de interés industrial, sus tipos, características y aplicaciones, desde un punto de vista descriptivo. Se definen los conceptos básicos y se analizan los principios físicos generales en los que se basan. Los detalles sobre estructura y funcionamiento adecuado de las membranas, módulos comerciales y sus configuraciones, aproximaciones a los posibles modelos de flujo, etc., son descritos con una máxima generalidad e independencia del proceso de que se trate. Se explica el fenómeno de polarización de concentración o acumulación en la superficie de especies retenidas por la membrana y se introduce el estudio de los mecanismos de transferencia en el interior de la propia membrana.

A continuación, se pasa a estudiar, de forma más detallada, cada uno de los diferentes procesos de membrana. En todos los casos se establecen las ecuaciones básicas para el diseño, considerando sus características específicas, los diferentes modelos de flujo y las formas más habituales de operación.

f. Evaluación**f. Assessment**

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente**g Teaching material****g.1 Bibliografía básica****Required Reading**

Wankat, P. C. Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis (4th Edition). Upper Saddle River: Pearson Education International (2017).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991001949089705774

Seader, J.D., and Henley, E.J. Separation Process Principles. (2nd Edition). John Wiley & Sons (2006)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

g.2 Bibliografía complementaria**Supplementary Reading**

Baker, Richard W. Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester, U.K: Wiley, 2012.

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008071536805774

J.F. Richardson and J.H. Harker with J.R. Backhurst and Coulson, J. M. Coulson & Richardson's chemical engineering. Vol. 2, Particle technology and separation processes / 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774

Mulder, M. Basic Principles of Membrane Technology. 2nd ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 2000.

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991002272669705774

McCabe W., Smith J., Harriot P. Unit Operations of Chemical Engineering (7th Edition). McGraw Hill (2005). https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991001540879705774

Rousseau, R.W Handbook of Separation Process Technology. John Wiley & Sons (1987)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

Artículos científicos sobre el tema.

- g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)**
Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula con puestos de ordenador, pizarra y proyector
Laboratorio experimentación
Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
1	Inicio del semestre

Bloque 2: Adsorción, cromatografía e intercambio iónico

Module 2: Adsorption, Chromatography and Ion Exchange

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1
Workload in ECTS credits:

a. Contextualización y justificación

a. Context and rationale

En este bloque se estudian, desde un enfoque común, tres procesos muy relacionados de contacto sólido-fluido que habitualmente se operan en lecho fijo y que trabajan, inherentemente, en no estacionario. Se trata de procesos cíclicos que requieren etapas de regeneración y de lavado, que han de considerarse en el diseño.

b. Objetivos de aprendizaje

b. Learning objectives

- Comparar adsorción, cromatografía y el intercambio iónico en lechos de relleno, sus aplicaciones industriales y el equipo empleado.
- Diseñar lechos de relleno a partir de curvas de ruptura experimentales y aplicar esta metodología para la resolución de picos gaussianos en cromatografía lineal.

- Diseñar lechos de relleno aplicando la teoría del movimiento de soluto y analizar el efecto de las principales variables de operación.
- Comparar algunos procesos que operan cíclicamente a nivel industrial, incluyendo los de regeneración térmica o por cambio de presión y los lechos móviles simulados.
- Plantear los balances generales de materia y energía y las ecuaciones cinéticas para el estudio riguroso de los procesos de sorción en lecho fijo.
- Proponer ecuaciones para el movimiento de solutos en lechos, aplicando distintos modelos de flujo y de transferencia de materia en el lecho.

c. Contenidos

c. Contents

Diseño experimental de lechos fijos. Diseño simplificado de lechos fijos, referido al equilibrio. Diseño riguroso de lechos fijos, aplicando modelos cinéticos

d. Métodos docentes

d. Teaching and Learning methods

Clases de teoría (3h), clase de problemas en aula (3h), clase en el laboratorio informático/experimental (3 h), seminario (1h)

e. Plan de trabajo

e. Work plan

El bloque aborda los procesos de lecho fijo, desde una perspectiva integradora, planteando sus características comunes y resaltando, las características específicas de cada tipo de proceso. Se parte de un estudio empírico, descriptivo, se introducen los principios físicos de los procesos de sorción, recordando la información contenida en la curva de ruptura y su utilidad práctica para el cálculo de la fracción usada y el cambio de escala. Se resalta el carácter cíclico de estas operaciones y se detallan los principales métodos de regeneración utilizados tanto para adsorbentes como para resinas. Partiendo de estos conceptos generales, se destaca la importancia del equilibrio iónico en operaciones de intercambio y se relaciona la curva de ruptura con la resolución de picos gaussianos de una cromatografía lineal con entradas en pulso. Se introduce el equipo habitualmente empleado, indicando pautas de utilidad de cara al diseño. Se describe la operación en lecho móvil y el equipo empleado en estos procesos.

Se plantea a continuación un diseño simplificado de estos procesos, partiendo de la teoría del movimiento de soluto que supone equilibrio local entre las fases sólida y fluida. Se estudia el movimiento de solutos en sistemas lineales, representando las ondas de concentración en diagramas longitud de columna frente al tiempo. A continuación, se estudia el efecto de la temperatura, con la formación de ondas térmicas y la regeneración térmica mediante ciclos TSA. Por analogía, se explican los fundamentos de la regeneración por cambio de presión aplicando ciclos PSA. Se desarrollan ecuaciones de movimiento en sistemas no lineales, explicando la generación de ondas shock y ondas difusas. Para finalizar este apartado, se aplica este modelo para la separación en lechos móviles simulados (SMB). El tema termina con un análisis riguroso de estos procesos, basado en la cinética, que incorpora los balances de materia y de energía en la columna.

f. Evaluación

f. Assessment

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente

g Teaching material

g.1 Bibliografía básica

Required Reading

Wankat, P. C. Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis (4th Edition). Upper Saddle River: Pearson Education International (2017).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008169389405774

Seader, J.D., and Henley, E.J. Separation Process Principles. (2nd Edition). John Wiley & Sons (2006)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

g.2 Bibliografía complementaria

Supplementary Reading

Rousseau, R.W. Handbook of Separation Process Technology. John Wiley & Sons (1987)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

Schweitzer, P.A. Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers (3th edition) Mc-Graw-Hill New York (1997). https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003976369705774

J.F. Richardson and J.H. Harker with J.R. Backhurst and Coulson, J. M. Coulson & Richardson's chemical engineering. Vol. 2, Particle technology and separation processes / 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774

Artículos científicos sobre el tema.

g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)

Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula de clases teóricas y de problemas con ordenador y proyector

Aula de informática

Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
1	Bloques correlativos, según calendario

Bloque 3: Cristalización

Module 3: Crystallization

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1
Workload in ECTS credits:

a. Contextualización y justificación

a. Context and rationale

Este bloque aborda diferentes tipos de cristalización, a partir de disoluciones y de fundidos. La cristalización a partir de disoluciones se plantea como una operación basada en el equilibrio en lo que a balances de materia y energía se refiere, pero el tamaño y distribución de los cristales está controlado por la cinética del proceso.

b. Objetivos de aprendizaje***b. Learning objectives***

- Seleccionar el tipo de cristizador más adecuado para una aplicación concreta.
- Calcular rendimientos de cristalización a partir de disolución, tanto en diagramas temperatura-composición como en diagramas triangulares.
- Diferenciar las etapas de transferencia y cinéticas implicadas en un proceso de cristalización.
- Predecir la distribución de tamaños de cristales utilizando el balance de población para sistemas que cumplen la ley de McCabe, teniendo en cuenta el efecto de los parámetros de operación y el tipo de cristizador empleado.
- Conocer las bases del proceso de cristalización por fundidos.

c. Contenidos***c. Contents***

Equipo de cristalización. Diseño de procesos de cristalización. Cinéticas de cristalización. Diseño de cristizadores. Cristalización a partir de fase fundida

d. Métodos docentes***d. Teaching and Learning methods***

Clases de teoría (4h), clases de problemas (1h), laboratorio informático/experimental (4h) y seminarios (1h)

e. Plan de trabajo***e. Work plan***

Inicialmente se comparan procesos de cristalización, incluyendo los métodos de generación de sobresaturación y los equipos de cristalización más habituales. A continuación, se trabajan los balances de materia y energía sobre los diagramas de solubilidad. Se estudian, a continuación, los aspectos cinéticos de la cristalización, que determinan la distribución de tamaños de los cristales obtenidos, aplicando la ley de McCabe. A continuación, se expone la metodología experimental para el cálculo de los parámetros cinéticos de nucleación y crecimiento y el orden cinético relativo. Así mismo, se comentan las variaciones cuando no se cumplen las suposiciones realizadas en el modelo ideal

Finalmente, se introducen los fundamentos de la operación de cristalización a partir de fundidos. La parte teórica se completa con la realización de una práctica de cristalización desde disoluciones..

f. Evaluación***f. Assessment***

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente***g Teaching material*****g.1 Bibliografía básica*****Required Reading***

Wankat, P. C. Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis (4th Edition). Upper Saddle River: Pearson Education International (2017).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008169389405774

Seader, J.D., and Henley, E.J. Separation Process Principles. (2nd Edition). John Wiley & Sons (2006)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

McCabe W. L., Smith, J. C., Harriot, P. Operaciones unitarias en ingeniería química (7ª edición) McGraw-Hill (2007)

Coronas Ceresuela, J. La cristalización como proceso de separación (1ª Edición). Prensas Universitarias de Zaragoza (2007).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991000459339705774

g.2 Bibliografía complementaria

Supplementary Reading

Mullin, J. W. Crystallization J.W. Mullin. 4th ed. Oxford, Butterworth-Heinemann (2001)
https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072216505774

J.F. Richardson and J.H. Harker with J.R. Backhurst and Coulson, J. M. Coulson & Richardson's chemical engineering. Vol. 2, Particle technology and separation processes / 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.
https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774

g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)

Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula con puestos de ordenador, pizarra y proyector
Laboratorio experimental
Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
1	Bloques correlativos, según calendario

Bloque 4: Extracción líquido-líquido y sólido-líquido

Module 4: Liquid-liquid and solid-liquid Extractions

Carga de trabajo en créditos ECTS: 1.2
Workload in ECTS credits:

a. Contextualización y justificación

a. Context and rationale

En este tema se retoman las operaciones de separación basadas en el equilibrio, ya conocidas por el estudiante, pero aplicadas aquí a sistemas y configuraciones complejas, introduciendo las separaciones multicomponentes. Las operaciones de extracción son tratadas a un nivel muy básicos en la asignatura de Grado, debido a la dificultad que supone el trabajo con diagramas triangulares. Precisamente esa complejidad del equilibrio, hacen que estas operaciones resulten idóneas para afianzar conocimientos y profundizar en la resolución gráfica y analítica de operaciones basadas en el equilibrio.

b. Objetivos de aprendizaje

b. Learning objectives

- Seleccionar el equipo de extracción más adecuado para una aplicación concreta.
- Aplicar los métodos de McCabe y Kremser para el dimensionado de equipos de extracción líquido-líquido en sistemas inmiscibles, con varios solutos, operando en contracorriente.
- Diseñar procesos de extracción fraccional en columna para recuperación de varios solutos en mezclas inmiscibles, empleando técnicas gráficas y analíticas.
- Aplicar los cálculos gráficos y analíticos desarrollados para procesos en contracorriente basados en equilibrio al diseño de operaciones de extracción sólido-líquido y lavado.



- Nuevas tendencias de extracción utilizando disolventes verdes: fluidos supercríticos (dióxido de carbono supercrítico) y disolventes eutécticos profundos (convencionales y naturales).

c. Contenidos**c. Contents**

Equipo de extracción. Extracción líquido-líquido en sistemas inmiscibles. Extracción fraccional en sistemas inmiscibles diluidos. Extracción líquido-líquido en sistemas parcialmente miscibles. Lavado de sólidos. Generalización de métodos de diseño de procesos complejos basados en equilibrio. Disolventes verdes.

d. Métodos docentes**d. Teaching and Learning methods**

Clases de teoría (2h), clase de problemas en aula (3 h), laboratorio informático/experimental (6 h), seminario (1 h)

e. Plan de trabajo**e. Work plan**

El bloque se inicia con una comparación de los diferentes equipos empleados a nivel industrial, tanto para extracción líquido-líquido como para extracción sólido-líquido. Se plantean los cálculos para el diseño de procesos de extracción en sistemas inmiscibles, comenzando por la aplicación del método de McCabe–Thiele para la resolución de cascadas en contracorriente y el método de Kremser en el caso de equilibrio lineal. Se introduce por primera vez el análisis de sistemas multicomponentes diluidos. Los métodos de McCabe y Kremser se aplican también para el cálculo de procesos de extracción fraccional.

Se trabaja, a continuación, con operación en contracorriente en sistemas parcialmente miscibles, realizando cálculos comparados con el diagrama triangular y el de McCabe.

Se generalizan los métodos de cálculo desarrollados para la resolución de otras operaciones, operando en contracorriente como la extracción sólido-líquido, el lavado de sólidos o los sistemas trifásicos en los que se opera con dos disolventes inmiscibles.

Por último, se explican las nuevas tendencias en el uso y desarrollo de disolventes verdes, como son los fluidos supercríticos y disolventes eutécticos profundos.

f. Evaluación**f. Assessment**

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente**g Teaching material****g.1 Bibliografía básica****Required Reading**

Wankat, P.C. *Equilibrium Staged Separations. Separations in Chemical Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (1988).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tg2h1/alma991002158729705774

Wankat, P. C. *Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis* (4th Edition). Upper Saddle River: Pearson Education International (2017).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tg2h1/alma991008169389405774

g.2 Bibliografía complementaria

Supplementary Reading

Humphrey, J.L., Keller II, G.E. *Separation Process Technology*. Mc Graw Hill, New York (1997)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

King, C.J. *Separation Processes*: Second Edition. Dover Publications Inc.(2013).

Lindeburg, M.R. *Practice Problems for the Chemical Engineering PE Exam: A Companion to the Chemical Engineering Reference Manual. Professional Publication*. Inc Engineering-General Engineering; 7th Edition. (2012)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003680589705774

McCabe W., Smith J., Harriot P. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th Edition). Mc Graw Hill's.(2005) https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991001540879705774

Rousseau, R.W. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley & Sons (1987)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

Seader, J.D., Henley, E.J. *Separation Process Principles* (2nd Edition). John Wiley & Sons (2005)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

Schweitzer, P.A. *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers* (3th edition) Mc-Graw-Hill New York (1997)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa* (2^a edición). McGraw-Hill, México (1991)

Artículos científicos sobre el tema

g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)

Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula con puestos de ordenador, pizarra y proyector

Laboratorio experimental

Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
1.2	Bloques correlativos, según calendario

Bloque 5: Separación basada en equilibrio de mezclas multicomponentes
Module 5: Equilibrium based multicomponent separation processesCarga de trabajo en créditos ECTS: 0.8
Workload in ECTS credits:**a. Contextualización y justificación****a. Context and rationale**

Este bloque aborda la separación con múltiples etapas de equilibrio, operando en mezclas multicomponentes. A excepción de algunos ejemplos concretos, a nivel de Grado, siempre se ha trabajado con sistemas binarios, dada la complejidad añadida y el nivel de incertidumbre que suponen las mezclas multicomponentes. Sin embargo, el trabajo con estas mezclas es la situación más habitual a nivel industrial.

b. Objetivos de aprendizaje**b. Learning objectives**

- Predecir la tendencia de los perfiles de flujo, temperatura, y composición a lo largo de una columna de destilación multicomponente, teniendo en cuenta las especificaciones de diseño y la volatilidad relativa de los componentes.
- Evaluar el efecto de aplicar suposiciones o simplificaciones en los resultados de diseño de una separación multicomponente.
- Plantear las ecuaciones para el cálculo de flujos, composiciones y temperatura en cada una de las etapas de una columna de destilación multicomponente, combinando balances de materia, de energía y ecuaciones de equilibrio.
- Aplicar las ecuaciones de Fenske, Underwood y Gilliland para realizar un diseño aproximado de una columna de destilación multicomponente.
- Realizar el planteamiento general de los métodos matriciales de simulación de destilación multicomponente.
- Generalizar los métodos de cálculo para mezclas multicomponentes, aplicando McCabe, Kremser y procedimientos matriciales para el cálculo de columnas de absorción con varios solutos.

c. Contenidos**c. Contents**

Rectificación de mezclas multicomponentes: Variables de diseño y perfiles cualitativos. Métodos aproximados de cálculo para rectificación de mezclas multicomponentes. Métodos exactos de cálculo para rectificación de mezclas multicomponentes. Generalización de diseño de procesos de separación de multicomponentes: Absorción

d. Métodos docentes**d. Teaching and Learning methods**

Clases de teoría (2h), clases de problemas (3h), laboratorio informático/experimental (2h) y seminarios (1h)

e. Plan de trabajo**e. Work plan**

El tema se inicia cualitativamente exponiendo la complejidad que supone el diseño de procesos de separación de mezclas multicomponentes. Se definen los componentes claves y las aproximaciones habitualmente empleadas para el cálculo de las composiciones de los no claves en cabezas y en colas y la resolución etapa a etapa de la columna, cuando ésta es posible. Se comentan los perfiles de temperatura y composición en el interior de la torre para ejemplos concretos. Se desarrollan los métodos aproximados para el cálculo del número de etapas necesarias para una separación y la localización óptima de la alimentación, según las ecuaciones de Fenske, Underwood y la correlación de Gilliland.

A continuación, se estudian los métodos rigurosos para la separación de mezclas multicomponentes en columnas de rectificación continua. Se plantean las posibilidades de resolución según los métodos clásicos de etapa a etapa y de ecuación a ecuación, dependiendo de las variables especificadas en el problema. Dada la inestabilidad numérica de estas resoluciones, se aborda el planteamiento teórico de las etapas de equilibrio y la formulación en cada etapa de las ecuaciones MESH.

Finalmente, se extiende este estudio al cálculo de absorción y stripping de multisolutos, aplicando McCabe y Kremser para disoluciones diluidas y adaptando los métodos matriciales para el trabajo con disoluciones concentradas.

f. Evaluación

f. Assessment

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente

g Teaching material

g.1 Bibliografía básica

Required Reading

Wankat, P.C. *Equilibrium Staged Separations. Separations in Chemical Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (1988).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008169389405774

Wankat, P. C. *Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis* (4th Edition). Upper Saddle River: Pearson Education International (2017).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008169389405774

g.2 Bibliografía complementaria

Supplementary Reading

Humphrey, J.L., Keller II, G.E. *Separation Process Technology*. Mc Graw Hill, New York (1997)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

King, C.J. *Separation Processes: Second Edition*. Dover Publications Inc.(2013).

Lindeburg, M.R. *Practice Problems for the Chemical Engineering PE Exam: A Companion to the Chemical Engineering Reference Manual. Professional Publication*. Inc Engineering-General Engineering; 7th Edition. (2012)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003680589705774

McCabe W., Smith J., Harriot P. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th Edition). Mc Graw Hill's.(2005) https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991001540879705774

Rousseau, R.W. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley & Sons (1987)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

Seader, J.D., Henley, E.J. *Separation Process Principles* (2nd Edition). John Wiley & Sons (2005)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa* (2^a edición). McGraw-Hill, México (1991)

Artículos científicos sobre el tema

- g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)**
Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula con puestos de ordenador, pizarra y proyector
Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
0.8	Bloques correlativos, según calendario

Bloque 6: Diseño de columnas de separación

Module 6: Column design

Carga de trabajo en créditos ECTS: 0.6
Workload in ECTS credits:

a. Contextualización y justificación

a. Context and rationale

En este bloque, se estudian los detalles de diseño interno de columnas de platos y de relleno, tipos de platos y geometría, tipos y material de relleno, las bajantes, los accesorios. Se evalúa el efecto de este diseño en la caída de presión, en la eficacia de los platos y en la altura de relleno. Se calcula también el diámetro de la columna

b. Objetivos de aprendizaje

b. Learning objectives

- Conocer los diferentes tipos de platos, los regímenes y los modelos de flujo más habitualmente encontrados en columnas industriales.
- Describir los parámetros habituales de geometría de platos y los diseños existentes para bajantes, vertederos, entradas de reflujo y de alimentación, salida de corrientes laterales, etc.
- Definir las diversas formas de expresar eficacias de platos, sus métodos de medida y estimación y su aplicabilidad.
- Describir los diferentes tipos de relleno y elementos internos habitualmente empleados en torres de relleno
- Presentar las diferentes alternativas de estimación de altura de una unidad de transferencia en torres de relleno, las variables implicadas y los métodos de cálculo más apropiados en cada caso.
- Determinar la caída de presión en el interior de columnas de platos y de relleno y estimar su diámetro para prevenir la inundación.
- Comparar ventajas e inconvenientes de torres de platos y de relleno, proporcionando información práctica sobre su aplicación.

c. Contenidos

c. Contents

Equipo de columnas de platos. Disposición e hidráulica de platos. Equipo de columnas de relleno. Cálculo de diámetro de columnas de platos y de relleno

d. Métodos docentes**d. Teaching and Learning methods**

Clases teóricas (2h), laboratorio informático (2 h), seminario (2 h)

e. Plan de trabajo**e. Work plan**

En primer lugar, se describen los regímenes de flujo más habituales en torres de relleno en función de los flujos relativos de cada fase, comentando las ventajas e inconvenientes. A continuación, se señalan los elementos internos de las torres de platos, comentando la influencia de la geometría y el diseño en la hidrodinámica de los platos, en los modelos de flujo y, por tanto, en la eficacia. A continuación, se plantean los cálculos para la predicción de eficacias de platos aplicando ecuaciones empíricas y modelos semiteóricos. Se revisan las ecuaciones para el cálculo de la caída de presión, la determinación del diámetro de la columna y el diseño de la geometría de platos y válvulas.

Posteriormente, se desarrolla una descripción equivalente para los elementos internos de una torre de relleno, presentando los tipos de relleno al azar y estructurado habituales. Se comentan posibles diseños de redistribuidores y platos de soporte. El cálculo de la caída de presión y del diámetro de columna se plantea de forma análoga a los realizados para columnas de platos.

f. Evaluación**f. Assessment**

Aplicando los criterios generales de la asignatura (apartado 7 de la guía)

g Material docente**g Teaching material****g.1 Bibliografía básica****Required Reading**

Wankat, P.C. *Equilibrium Staged Separations. Separations in Chemical Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs (1988).

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991002158729705774

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa* (2ª edición). McGraw-Hill, México (1991)

g.2 Bibliografía complementaria**Supplementary Reading**

Humphrey, J.L., Keller II, G.E. *Separation Process Technology*. Mc Graw Hill, New York (1997)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

King, C.J. *Separation Processes*: Second Edition. Dover Publications Inc.(2013).

McCabe W., Smith J., Harriot P. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th Edition). Mc Graw Hill's.(2005) https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991001540879705774

Richardson, J.F., Harker, J.H., Backhurst, J.R. *Chemical Engineering. Vol 2: Particle Technology and Separation Processes*: 5th Edition. Chemical Engineering Series. Elsevier (2002)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774

Rousseau, R.W. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley & Sons (1987)

https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008298157905774

Seader, J.D., Henley, E.J. *Separation Process Principles* (2nd Edition). John Wiley & Sons (2005)
https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003322309705774

Schweitzer, P.A. *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers* (3th edition) Mc-Graw-Hill New York (1997). https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003976369705774

Wankat, P. C. *Separation Process Engineering: includes mass transfer analysis* (3th Edition). Prentice Hall (2012). https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008169389405774

Artículos científicos sobre el tema

g.3 Otros recursos telemáticos (píldoras de conocimiento, blogs, videos, revistas digitales, cursos masivos (MOOC), ...)
Additional Online Resources (microlearning units, blogs, videos, digital journals, massive online courses (MOOC), etc.)

h. Recursos necesarios

Required Resources

Aula con puestos de ordenador, pizarra y proyector
Acceso al Campus Virtual

i. Temporalización

Course Schedule

CARGA ECTS ECTS LOAD	PERIODO PREVISTO DE DESARROLLO PLANNED TEACHING PERIOD
0.6	Bloques correlativos según calendario

5. Métodos docentes y principios metodológicos

Instructional Methods and guiding methodological principles

Clases de aula teóricas. Los alumnos reciben material para preparar estas clases, que se dedican a puestas en común, discusión de dudas y cuestiones planteadas por estudiantes y profesor.

Clases de problemas en aula. Una vez planteados los contenidos teóricos de cada sesión, se trabaja en la resolución de problemas modelo de cálculo y diseño.

Laboratorios informáticos. Los estudiantes, de forma individual, en su ordenador, tutorizados por el profesor, resuelven los ejercicios propuestos. Los ejercicios que se han ido resolviendo en clase, junto a las tareas propuestas, se guardarán en un porta-folio, que se utilizará para la evaluación.

Laboratorios experimentales. Trabajo práctico experimental en el laboratorio, seleccionado en función de las características específicas e intereses de los alumnos. Los alumnos realizarán una memoria que formará parte del porta-folio utilizado para la evaluación.

Seminarios. Sesiones de discusión y puesta en común o conferencias/presentaciones de profesionales de industrias. Se emplearán para actividades que pueden variar como el trabajo sobre artículos científicos publicados en el campo sobre el que se esté tratando, la puesta en común y defensa de resultados de tareas planteadas, o la preparación y presentación de temas concretos a alumnos de Grado.

Visitas técnicas: Se realizarán visitas técnicas a industrias químicas, con el objetivo de acercar al estudiante la realidad industrial y fomentar la necesaria relación Universidad-Empresa. Las visitas incluirá plantas de diferentes sectores de la Ingeniería Química y presentaciones por profesionales especializados.

Web/Aula virtual. Todo el contenido del curso se encuentra disponible en el Campus Virtual UVA (<http://campusvirtual.uva.es>), incluido el programa de la asignatura, la propia guía docente, el calendario de actividades

Para cada tema concreto, se encuentran en el aula virtual:

- Objetivos y resumen de contenidos fundamentales
- Bibliografía de referencia
- Material empleado en clase
- Direcciones de páginas webs de interés.
- Artículos científicos publicados en revistas internacionales de elevado índice de impacto
- Tareas propuestas

6. Tabla de dedicación del estudiantado a la asignatura

Student Workload Table

ACTIVIDADES PRESENCIALES o PRESENCIALES o A DISTANCIA ⁽¹⁾ FACE-TO-FACE/ ON-SITE or ONLINE ACTIVITIES ⁽¹⁾	HORAS HOURS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES INDEPENDENT / OFF-CAMPUS WORK	HORAS HOURS
Clases teóricas	17	Estudio y trabajo autónomo individual	75
Clases de problemas en aula	12	Estudio y trabajo autónomo grupal	15
Laboratorio informático/experimental	18		
Seminarios	9		
Visitas técnicas	4		
Total presencial	60	Total no presencial	90
TOTAL presencial + no presencial			150

7. Sistema y características de la evaluación

Assessment system and criteria

INSTRUMENTO/PROCEDIMIENTO ASSESSMENT METHOD/PROCEDURE	PESO EN LA NOTA FINAL WEIGHT IN FINAL GRADE	OBSERVACIONES REMARKS
Examen final	40%	Examen de cuestiones teórico-prácticas. En el examen extraordinario, previa petición por escrito, el peso del examen en la nota final puede aumentar al 60%.
Tareas y portafolios	40%	
Participación en clases y seminarios	20%	En el examen extraordinario, previa petición por escrito, puede eliminarse el peso de este apartado en la nota final.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN ASSESSMENT CRITERIA**➤ Convocatoria ordinaria. First Exam Session (Ordinary)**

- o EXAMEN FINAL (40% de la nota final)). Prueba escrita, con una duración aproximada de 2 horas, compuesta de 4-6 cuestiones teórico-prácticas
- o TAREAS y PORTA-FOLIO (40% de la nota final). A lo largo del cuatrimestre se propondrán 4 tareas, y los trabajos realizados en clase y las memorias de prácticas experimentales serán recogidos en un porta-folios del estudiante.
- o PARTICIPACIÓN EN SEMINARIOS y DISCUSIONES EN EL AULA (20% de la nota final).

➤ Convocatoria extraordinaria^(*)Second Exam Session (Extraordinary / Resit) ^(*):

A aquellos alumnos que lo soliciten, por escrito, con antelación al examen extraordinario, se les aplicará, los siguientes porcentajes de evaluación:

- o EXAMEN FINAL (60% de la nota final)).
- o TAREAS y PORTA-FOLIO (40% de la nota final).

En caso de no solicitar la opción anterior, se aplicarán los criterios de la convocatoria ordinaria

(*) Se entiende por convocatoria extraordinaria la segunda convocatoria.

RECORDATORIO El estudiante debe poder puntuar sobre 10 en la convocatoria extraordinaria salvo en los casos especiales indicados en el Art 35.4 del ROA 35.4. "La participación en la convocatoria extraordinaria no quedará sujeta a la asistencia a clase ni a la presencia en pruebas anteriores, salvo en los casos de prácticas externas, laboratorios u otras actividades cuya evaluación no fuera posible sin la previa realización de las mencionadas pruebas."

<https://secretariageneral.uva.es/wp-content/uploads/VII.2.-Reglamento-de-Ordenacion-Academica.pdf>

(*)The term "second exam session (extraordinary/resit" refers to the second official examination opportunity.

REMINDER Students must be assessed on a scale of 0 to 10 in the extraordinary session, except in the special cases indicated in Article 35.4 of the ROA: "Participation in the extraordinary exam session shall not be subject to class attendance or participation in previous assessments, except in cases involving external internships, laboratory work, or other activities for which evaluation would not be possible without prior completion of the aforementioned components."

<https://secretariageneral.uva.es/wp-content/uploads/VII.2.-Reglamento-de-Ordenacion-Academica.pdf>

8. Consideraciones finales**Final remarks**



USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El uso de inteligencia artificial generativa (como ChatGPT, Gemini, Copilot, etc.) **está permitido como herramienta de apoyo** en este curso, siempre que se utilice de forma **ética, crítica y transparente**.

Los estudiantes deberán:

- Indicar cuándo y cómo han utilizado IA generativa en sus trabajos.
- No presentar como propias ideas o textos generados automáticamente sin revisión ni contextualización personal.
- Asumir la responsabilidad de verificar la veracidad, coherencia y originalidad del contenido generado con IA.

El mal uso (por ejemplo, presentar trabajos íntegramente generados por IA sin autoría clara) será considerado una falta académica.

En pruebas de evaluación individual cerradas (como exámenes), el uso de IA generativa estará expresamente prohibido, salvo indicación contraria del profesorado.

Esta política tiene como objetivo promover un aprendizaje riguroso y responsable, a la vez que prepara al alumnado para un uso profesional y ético de tecnologías emergentes relevantes en el ámbito de la gestión sostenible.

