



## Proyecto/Guía docente de la asignatura CÁLCULO Y DISEÑO DE OPERACIONES DE SEPARACIÓN

<b>Asignatura</b>	CÁLCULO Y DISEÑO DE OPERACIONES DE SEPARACIÓN		
<b>Materia</b>	OPERACIONES EN INGENIERÍA QUÍMICA		
<b>Módulo</b>	MODULO DE TECNOLOGÍA ESPECÍFICA. QUÍMICA INDUSTRIAL		
<b>Titulación</b>	GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA		
<b>Plan</b>	442	<b>Código</b>	41843
<b>Periodo de impartición</b>	Segundo cuatrimestre	<b>Tipo/Carácter</b>	Obligatoria
<b>Nivel/Ciclo</b>	GRADO	<b>Curso</b>	3º
<b>Créditos ECTS</b>	6		
<b>Lengua en que se imparte</b>	CASTELLANO		
<b>Profesor/es responsable/s</b>	Silvia Bolado Rodríguez / M <sup>a</sup> Dolores Bermejo Roda		
<b>Datos de contacto (E-mail, teléfono...)</b>	Silvia.bolado@uva.es / mariadolores.bermejo@uva.es		
<b>Departamento</b>	Ingeniería Química y Tecnología del medio Ambiente		
<b>Fecha de revisión por el Comité de Título</b>	5 de julio de 2024		



## 1. Situación / Sentido de la Asignatura

### 1.1 Contextualización

Las operaciones de separación forman parte del núcleo central de la Ingeniería Química, constituyendo un aspecto esencial del aprendizaje de esta titulación. Las operaciones de separación resultan vitales en la industria de proceso, participando en diferentes etapas, separando impurezas de las materias primas, concentrando las corrientes de entrada a los reactores, aislando y purificando productos, recuperando subproductos y eliminando contaminantes de las corrientes residuales. Su importancia se pone de manifiesto en términos económicos, en la industria química, las operaciones de separación vienen a suponer entre un 50 y un 90% del coste de la planta y de un 40 a un 70% de los gastos de operación.

Esta asignatura aborda las operaciones de separación difusionales, que son aquellas que tienen lugar a escala molecular, existiendo una transferencia neta de materia entre dos fases. Se trata de operaciones basadas en la transferencia de materia o en la transferencia de materia y calor. El diseño de estas operaciones se desplazará a lo largo del curso, desde la consideración de la operación por etapas teóricas de equilibrio termodinámico para operaciones como la destilación, hasta estudios puramente basados en la cinética de la transferencia de materia, como los aplicados para el cálculo y diseño de membranas, pasando por diversas combinaciones equilibrio-cinética intermedias. En el cálculo y diseño de cada operación, se tendrá en cuenta no sólo el principio físico-químico que origina la separación, sino, en gran medida, el método de contacto empleado.

### 1.2 Relación con otras materias

Como asignatura que aborda un tema central de la Ingeniería Química, está estrechamente ligada con prácticamente todas las demás de la titulación, especialmente con las del módulo de Tecnología específica. En cuanto a conocimientos previos, la asignatura se apoya principalmente en aquellos sobre balances de materia y energía adquiridos en **Introducción a la Ingeniería Química** y sobre equilibrios de fases, fuerzas impulsoras y mecanismos y cinéticas de transferencia de materia, impartidos en **Termodinámica Química y Transferencia de Materia**, ambas de primer cuatrimestre del tercer curso.

La asignatura se complementa con las otras tres que forman la materia de Operaciones en Ingeniería Química: **Cálculo y Diseño de Reactores Químicos**, en cuanto a las posibilidades de concentración o purificación de reactivos y productos, **Operaciones Unitarias Industriales** en la que se abordan los cálculos del contacto entre fases, fundamentales en el diseño de las operaciones de separación difusionales, las operaciones de separación mecánicas y las operaciones basadas en la transferencia de calor y **Experimentación en Ingeniería Química** en la que se realiza la experimentación correspondiente a los contenidos de esta asignatura.

Dada la importancia de las operaciones de separación dentro de los procesos, su conocimiento resulta un requerimiento básico para otras asignaturas de la titulación, especialmente para las de las materias **Ingeniería de Procesos Químicos** y **Trabajo Fin de Grado**. Resulta especialmente destacable la relación con la asignatura **Integración de Procesos**, en la que el alumno aprende a emplear un software comercial (Aspen) para simular, entre otras, las operaciones estudiadas en esta asignatura.

### 1.3 Prerrequisitos

Resulta indispensable haber cursado previamente **Introducción a la Ingeniería Química y Termodinámica Química y Transferencia de Materia**. Resulta conveniente, además, cursar al mismo tiempo la asignatura Operaciones Unitarias Industriales, complementaria de ésta y en la que se ven temas directamente relacionados con el diseño de equipos de Operaciones de Separación.



## 2. Competencias

### 2.1 Generales

- CG1.** Capacidad de análisis y síntesis
- CG2.** Capacidad de organización y planificación del tiempo
- CG3.** Capacidad de expresión oral
- CG5.** Capacidad para aprender y trabajar de forma autónoma
- CG6.** Capacidad de resolución de problemas
- CG7.** Capacidad de razonamiento crítico. Análisis lógico
- CG8.** Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica
- CG9.** Capacidad para trabajar en equipo de forma eficaz
- CG12.** Capacidad para la motivación por el logro y la mejora continua.

### 2.2 Específicas

- CE21.** Conocimientos sobre transferencia de materia
- CE22.** Conocimientos sobre operaciones de separación
- CE35.** Capacidad para el cálculo, diseño y gestión de operaciones de transferencia de materia

## 3. Objetivos

El objetivo básico de la asignatura es que el alumno sea capaz de escoger, analizar y realizar diseños básicos de diferentes operaciones de separación controladas por la transferencia de materia y la transmisión de calor.

Objetivos específicos de la asignatura son los siguientes:

- Clasificar las diferentes operaciones de separación, sus modos de operación y posibles aplicaciones.
- Comprender los conceptos físicos en los que se basan las operaciones de separación difusionales, y como determinan el método de cálculo aplicado.
- Plantear y resolver los métodos de cálculo matemáticos y gráficos habituales y más ilustrativos para el diseño y operación de los procesos y equipos de separación más empleados.
- Escoger los parámetros de operación fundamentales para cada operación de separación
- Realizar el diseño básico de algunos equipos de separación

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

##### Bloque 1: Conceptos generales

Carga de trabajo en créditos ECTS: 0.7

###### a. Contextualización y justificación

Este primer bloque ofrece una visión general de las operaciones de separación en la industria, su importancia y diferentes criterios de clasificación. Durante todo el tema se incide en el carácter general de la metodología aplicada, independientemente de la operación concreta. Se trata de resaltar los numerosos aspectos en común que presentan las operaciones de separación, facilitando el posterior tratamiento sistemático de todas ellas con criterios unificados.

###### b. Objetivos de aprendizaje

- Reconocer las operaciones de separación que se desarrollarán en el programa y los fundamentos físicos de cada una de ellas.
- Clasificar las operaciones de separación en base a diferentes criterios: En función de las fases implicadas, del modo de contacto, del modo de operación, del agente de separación, etc.
- Definir el factor de separación, como concepto general aplicable a cada operación y como criterio inicial de selección.
- Definir los conceptos de etapa de equilibrio, etapa controlada por la cinética y eficacia de separación.
- Reconocer los modos de contacto aplicables al diseño y operación de cualquier proceso, con independencia del tipo particular de separación.

###### c. Contenidos

Procesos de separación utilizados en la Industria Química. Modos de contacto entre fases. La etapa de equilibrio y la etapa controlada por la cinética. La etapa real: Concepto de eficacia. Comparación entre modos de contacto por etapas

###### d. Métodos docentes

Clases de aula teóricas (3 h), seminario (2 h), visitas técnicas (2 h)

###### e. Plan de trabajo

En este tema, fundamental para el desarrollo posterior de la asignatura, se realiza una primera descripción de los principios básicos que rigen cada operación, las fases puestas en contacto, el agente de separación, el sentido de la transferencia de materia y se proporcionan algunos ejemplos de sus aplicaciones industriales. Se define también, de forma general, el factor de separación, la etapa teórica de equilibrio y la etapa teórica cuando la operación es controlada por la cinética y se introduce el concepto de eficacia. Por último, se describen los principales métodos de contacto, analizando una misma operación trabajando en una única etapa de equilibrio, múltiples etapas en flujo cruzado y múltiples etapas en contracorriente.

###### f. Evaluación

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

###### g. Bibliografía básica

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



#### **h. Bibliografía complementaria**

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

Rousseau, R.W. *Handbook of Separation Process Technology*. John Wiley & Sons (1987)  
[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tg2h1/alma991008298157905774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tg2h1/alma991008298157905774)

#### **i. Recursos necesarios**

Aula de clases teóricas con ordenador y proyector  
Aula de informática  
Acceso al Campus Virtual

### **Bloque 2: Separaciones por contacto simple y en flujo cruzado**

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### **a. Contextualización y justificación**

El bloque 2 aborda las operaciones realizadas en una única etapa por contacto simple y en flujo cruzado, enfatizando en la idea de etapa teórica de equilibrio y en el enfoque generalista.

#### **b. Objetivos de aprendizaje**

- Describir las bases de los procesos de destilación de flash y de condensación parcial
- Emplear cálculos gráficos, en diagrama de McCabe, y analíticos para resolver separaciones de mezclas binarias por etapas de equilibrio.
- Operar sobre diagramas ternarios para resolver problemas de separación por extracción líquido-líquido y líquido-sólido en una sola etapa y en flujo cruzado.
- Aplicar los métodos de resolución desarrollados a otras operaciones de equilibrio como la adsorción o la cristalización en una única etapa, usando sus propias ecuaciones de equilibrio

#### **c. Contenidos**

Destilación de flash. Extracción líquido-líquido y líquido-sólido. Cascadas de flujo cruzado. Cristalización. Adsorción

#### **d. Métodos docentes**

Clases de teoría (3h), clase de problemas en aula (4h), clase en el laboratorio informático (1 h), seminario (2h)

#### **e. Plan de trabajo**

El desarrollo teórico inicial se realiza para destilación, trabajando con mezclas binarias, analítica y gráficamente sobre el diagrama de Mc Cabe. A continuación, se introduce el trabajo con diagramas ternarios para realizar cálculos de extracción líquido-líquido en sistemas parcialmente miscibles y lixiviación con retención constante y retención variable, operando en una única etapa y en flujo cruzado. A modo de generalización, se ve la aplicación de estos mismos métodos de resolución, para operaciones en una única etapa de equilibrio para las operaciones de cristalización y de adsorción.

#### **f. Evaluación**

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

#### **g. Bibliografía básica**



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

#### **h. Bibliografía complementaria**

Backhurst, J. R., Harker, J.H.; Richardson, J.F. Coulson and Richardson's *Chemical Engineering Volume 5 - Solutions to the Problems in Chemical Engineering from Volume 2* (5th Edition) Volume 3 (3th Edition). Elsevier (2002)

Ocón, J., Tojo, G. Problemas de Ingeniería Química. Editorial Aguilar (1986)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774)

Richardson J.F. and Harker J.H. with Backhurst J.R. 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](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774)

#### **i. Recursos necesarios**

Aula de clases teóricas y de problemas con ordenador y proyector

Aula de informática

Acceso al Campus Virtual

### **Bloque 3: Separaciones por contacto en contracorriente en etapas discretas**

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### **a. Contextualización y justificación**

Este bloque, el más amplio del programa, y que ocupa un elevado porcentaje del tiempo disponible, se dedica a los cálculos de las separaciones en columnas por etapas discretas operando en contracorriente, centrándose en la absorción, rectificación, extracción líquido-líquido y extracción sólido-líquido.

#### **b. Objetivos de aprendizaje**

- Aplicar los métodos de McCabe y de Kremser para el cálculo del número de etapas y las corrientes de salida en columnas de absorción y stripping.
- Aplicar los métodos de Sorel-Lewis y de McCabe-Thiele para el cálculo del número de etapas y las corrientes de salida de una columna de rectificación.
- Analizar el efecto de variaciones de las principales condiciones de operación en columnas de absorción y de rectificación.
- Analizar configuraciones alternativas de columnas por etapas, como existencia de alimentaciones múltiples, corrientes laterales, ebulliciones o condensadores intermedios o columnas de enriquecimiento y agotamiento.
- Analizar esquemas de operación alternativos para romper azeótropos o separar mezclas de volatilidad relativa reducida por destilación
- Definir las diversas formas de expresar eficacias de platos, sus métodos de medida y estimación.
- Operar con equilibrios ternarios para realizar diseños básicos de extracción líquido-líquido o sólido-líquido en cascadas en contracorriente.



- Emplear el método McCabe-Thiele para el cálculo del número de etapas en otras operaciones como adsorción o intercambio iónico.
- Conocer el equipo básico empleado en operaciones por etapas discretas

### **c. Contenidos**

Destilación fraccional de mezclas binarias. Destilación binaria avanzada: Inyección de vapor, corrientes laterales. Eficacia de platos. Introducción a los métodos de destilación modificada. Absorción de gases: Métodos analítico y gráfico. Extracción líquido-líquido y sólido-líquido en contracorriente. Generalización a otras operaciones

### **d. Métodos docentes**

Clases de teoría (8h), clase de problemas en aula (5 h), clase en el laboratorio informático (3 h), seminario (4h)

### **e. Plan de trabajo**

Se plantean los balances externos e internos de la columna para absorción y destilación, incidiendo en las unidades empleadas en cada caso. La resolución de la torre de platos se realiza de forma analítica y gráfica, y se trabaja el concepto y el cálculo de relación de fases límite y de la dirección de transferencia de materia en función de la posición relativa línea de operación-línea de equilibrio. A continuación, se analiza, para rectificación, el efecto de operar con diferentes calidades de alimentación y de la relación de reflujo y se estudian variaciones sobre la configuración básica de la torre. En este punto se explican los diferentes tipos de eficacia y su significado práctico, y algunas nociones generales sobre cálculo del diámetro de la columna. Después, se plantean los balances externos para extracción líquido-líquido y lixiviación en contracorriente. Los cálculos de los procedimientos más habituales en extracciones líquido-líquido con mezclas parcialmente miscibles y líquido-sólido se realizan fundamentalmente en forma gráfica, empleando el diagrama triangular rectangular. Por último, se realiza una generalización de los métodos analíticos y gráficos para operaciones por etapas discretas de equilibrio en contracorriente, estableciendo analogías y diferencias entre las operaciones estudiadas y otras posibles.

### **f. Evaluación**

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

### **g. Bibliografía básica**

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

McCabe W., Smith J., Harriot P. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th Edition). Mc Graw Hill (2005).

### **h. Bibliografía complementaria**

Backhurst, J. R., Harker, J.H.; Richardson, J.F. Coulson and Richardson's *Chemical Engineering Volume 5 - Solutions to the Problems in Chemical Engineering from Volume 2* (5th Edition) Volume 3 (3th Edition). Elsevier (2002)

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

Martínez de la Cuesta P.J., Rus Martínez, E. *Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos de cálculo*. Pearson Educación S.A. Madrid (2004)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991007099699705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991007099699705774)



Ocón, J., Tojo, G. Problemas de Ingeniería Química. Editorial Aguilar (1986)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774)

Richardson J.F. and Harker J.H. with Backhurst J.R. 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](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774)

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

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma99100322309705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma99100322309705774)

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa*. McGraw-Hill, México (1988)

### **i. Recursos necesarios**

Aula de clases teóricas y de problemas con ordenador y proyector

Aula de informática

Acceso al Campus Virtual

## **Bloque 4: Separaciones por contacto en columnas de relleno**

Carga de trabajo en créditos ECTS:

### **a. Contextualización y justificación**

Este tema supone un cambio en la forma de abordar los procesos de separación ya que se pasa de un análisis por etapas de equilibrio a un análisis basado en la transferencia de materia entre las fases. Supone la transición entre operaciones basadas en equilibrio y operaciones controladas por la cinética.

### **b. Objetivos de aprendizaje**

- Desarrollar las expresiones para la altura de la unidad de transferencia y el número de unidades de transferencia, tanto individuales como globales.
- Calcular la altura de torres de relleno aplicando los conceptos de HTU y de HETP.
- Conocer correlaciones para determinar HTUs y métodos de medida y estimación de la HETP.
- Explicar la adsorción y el intercambio iónico en lechos de relleno, resaltando su carácter cíclico y la necesidad de regeneración.
- Realizar cambios de escala para la operación de adsorción en lecho fijo partiendo de datos de curvas de ruptura experimentales.
- Conocer el equipo básico empleado en este tipo de operaciones

### **c. Contenidos**

Destilación. Unidades de transferencia y HETP. Absorción de gases: Adsorción e intercambio iónico en lecho fijo

### **d. Métodos docentes**

Clases de teoría (6h), clase de problemas en aula (2 h), clase en el laboratorio informático (2 h), seminario (2 h)

### **e. Plan de trabajo**

Se trabaja, inicialmente, con absorción en disoluciones muy diluidas. Se realiza el balance diferencial en la columna y se definen los conceptos de altura de la unidad de transferencia y número de unidades de transferencia y se relacionan estos conceptos con la resistencia controlante. Se explica la ecuación de Colburn y el concepto de altura equivalente del plato teórico. A continuación, se trabaja en absorción con disoluciones concentradas, explicando la necesidad de realizar el cambio de unidades desde



exento hasta flujos y fracciones molares y de introducir en todos los desarrollos el factor de velocidad relativo. Se trasladan todos los conceptos desarrollados a columnas de relleno de rectificación. Se trata muy brevemente el diseño de columnas de relleno para absorción y rectificación.

Por último, se introduce cualitativamente el concepto de operación en lecho fijo, y el cambio de escala a partir del análisis de las curvas de ruptura y del concepto de longitud de lecho no usado. Se explican, además, el carácter cíclico de las operaciones de adsorción e intercambio iónico en lecho fijo y las características específicas de adsorbentes y resinas de intercambio.

---

#### **f. Evaluación**

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

---

#### **g. Bibliografía básica**

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

McCabe W., Smith J., Harriott P. Unit Operations of Chemical Engineering (7th Edition). Mc Graw Hill (2005).

---

#### **h. Bibliografía complementaria**

Backhurst, J. R., Harker, J.H.; Richardson, J.F. Coulson and Richardson's *Chemical Engineering Volume 5 - Solutions to the Problems in Chemical Engineering from Volume 2* (5th Edition) Volume 3 (3th Edition). Elsevier (2002)

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

Martínez de la Cuesta P.J., Rus Martínez, E. *Operaciones de Separación en Ingeniería Química. Métodos de cálculo*. Pearson Educación S.A. Madrid (2004)  
[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991007099699705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991007099699705774)

Ocón, J., Tojo, G. Problemas de Ingeniería Química. Editorial Aguilar (1986)  
[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774)

Richardson J.F. and Harker J.H. with Backhurst J.R. 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](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991008072049005774)

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa*. McGraw-Hill, México (1988)

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

---

#### **i. Recursos necesarios**

Aula de clases teóricas y de problemas con ordenador y proyector  
Aula de informática  
Acceso al Campus Virtual



## Bloque 5: Operaciones con transferencia simultánea de calor y materia

Carga de trabajo en créditos ECTS:

### a. Contextualización y justificación

Este bloque combina operaciones de separación en torres por contacto continuo, calculadas aun tomando como base el equilibrio, con el estudio de otras operaciones, cuyos cálculos se realizarán considerando un control cinético. Ambas operaciones, enfriamiento de agua/deshumidificación de aire y secado de sólidos tienen en común el trabajo con el sistema aire-agua y la transferencia simultánea de calor y materia.

### b. Objetivos de aprendizaje

- Explicar las implicaciones sobre la cinética de transferencia de materia y el HTU de la transferencia simultánea de materia y energía en una torre de contacto aire -agua
- Calcular la altura de una torre de contacto aire-agua a partir del número de unidades de entalpía y de la altura de la unidad de entalpía.
- Identificar los distintos períodos de una curva de secado de un sólido con aire en condiciones constantes y formular las ecuaciones para el tiempo de secado.
- Describir el funcionamiento de los diferentes secaderos industriales, en función de sus principales mecanismos de transferencia de calor.
- Plantear los balances de materia y de energía, los perfiles longitudinales de temperatura y humedad, y las ecuaciones más básicas para el cálculo del tiempo de residencia, en secaderos continuos.
- Conocer el equipo básico empleado en estos tipos de operaciones

### c. Contenidos

Humidificación y deshumidificación de aire. Enfriamiento de agua en torres de relleno. Secado de sólidos. Equipos. Ecuaciones para el cálculo de tiempo de secado

### d. Métodos docentes

Clases de teoría (6h), clase de problemas en aula (1 h), clase en el laboratorio informático (2 h)

### e. Plan de trabajo

El tema se inicia con un repaso de los fundamentos de psicrometría y de los principios generales de los procesos de humidificación-deshumidificación de aire y enfriamiento de agua por contacto aire-agua. Se plantean los perfiles de temperatura y concentración y las velocidades de transferencia de materia y calor a diferentes alturas de las torres de relleno y se define la entalpía como variable de operación. Los balances externos y diferencial a una torre de enfriamiento proporcionan las ecuaciones de diseño de estos equipos.

En la segunda parte de este tema, se introducen ya los aspectos fundamentales de las operaciones controladas por la cinética a través del secado de sólidos. El tiempo de secado se calcula a partir de la curva cinética y se plantean ecuaciones de predicción de la velocidad para los casos en los que no se disponga de datos experimentales. La descripción de los secaderos más habituales en la industria y los perfiles de temperatura y concentración y las ecuaciones para el cálculo del tiempo de secado en secaderos continuos operando en contracorriente son también abordados en el tema.

### f. Evaluación

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



#### **g. Bibliografía básica**

GEANKOPLIS, C.J. *Transport Processes and Separation Process Principles* (4th Edition). Prentice Hall (2003)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991006116809705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991006116809705774)

McCabe W., Smith J., Harriot P. *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th Edition). McGraw Hill (2005).

#### **h. Bibliografía complementaria**

Coulson, J.M., Richardson, J.F., Backhurst, J.R., Harker, *Chemical Engineering Volume 1 - Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer* (6th Edition). Oxford : Butterworth-Heinemann (2000)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991003371859705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003371859705774)

Ocón, J., Tojo, G. *Problemas de Ingeniería Química*. Editorial Aguilar (1986)

[https://almena.uva.es/permalink/34BUC\\_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991005141959705774)

Treybal, R.E. *Operaciones de Transferencia de Masa*. McGraw-Hill, México (1988)

#### **i. Recursos necesarios**

Aula de clases teóricas y de problemas con ordenador y proyector

Aula de informática

Acceso al Campus Virtual

### **Bloque 6: Procesos con membranas**

Carga de trabajo en créditos ECTS:

#### **a. Contextualización y justificación**

Este tema se plantea como una breve introducción, descriptiva, a los procesos de membrana, lo que resulta evidente a la vista del escaso tiempo que se le dedica en el programa. Siguiendo el objetivo globalizador y sistemático con el que se plantea la asignatura, se pretende terminar con un tema representativo de operaciones inherentemente controladas por la velocidad

#### **b. Objetivos de aprendizaje**

- Clasificar los procesos de membrana, en virtud de su fuerza impulsora principal.
- Conocer la morfología básica de las membranas simétricas y relacionar los materiales más usados.
- Describir los tipos de módulos más habituales de membranas y sus posibles formas de acoplamiento.
- Aplicar la ecuación general de flujo para los cálculos básicos de separación por membranas
- Explicar cualitativamente los efectos que tiene la geometría del flujo de los distintos módulos de membrana sobre la separación.
- Explicar el fenómeno de polarización de concentración o acumulación en la superficie de especies retenidas por la membrana.

#### **c. Contenidos**

Descripción de los procesos de membrana más relevantes. Tipos de membranas y materiales. Módulos y configuraciones. Diseño de un módulo de mezcla completa. Polarización

#### **d. Métodos docentes**



Seminario (2 h), preparado e impartido en colaboración con estudiantes del Master en Ingeniería Química

#### **e. Plan de trabajo**

En este bloque se definen los conceptos básicos y se analizan los principios físicos generales en los que se basa la separación para los diversos procesos de membrana existentes. La 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. La mayor parte de los conceptos son desarrollados tomando como referencia los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa.

#### **f. Evaluación**

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

#### **g. Bibliografía básica**

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

#### **h. Bibliografía complementaria**

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](https://almena.uva.es/permalink/34BUC_UVA/12tq2h1/alma991003976369705774)

#### **i. Recursos necesarios**

Aula de informática

Acceso al Campus Virtual

### **5. Métodos docentes y principios metodológicos**

La teoría correspondiente a cada tema se explica y comenta en las dos clases semanales de teoría programadas, en las que se realizan también cuestiones teórico-prácticas y se resuelven ejemplos numéricos. La resolución de problemas de cada tema se distribuye en clases de trabajo en aula, en las que se plantean problemas más sencillos y clases en el laboratorio de informática, para las que se reservan las resoluciones más complejas.

El curso tiene programados 6 seminarios de dos horas de duración cada uno, en los que se trabajan temas que, por sus especiales características, permiten un trabajo independiente, un estudio un tanto aislado de los mismos y no requieren una estricta secuenciación dentro del programa. Algunos de estos contenidos, habitualmente tratados en seminarios son: Características y aplicaciones de las diferentes operaciones de separación, Resolución de flash multicomponente. Esquemas alternativos o formas modificadas de destilación, Diseño de columnas o Membranas.

A lo largo del curso está prevista la entrega de una tarea coordinada con el resto de las asignaturas de tercer curso. Cada año se plantea un tema común, sobre el que cada asignatura trabaja un aspecto particular, habitualmente esta asignatura se ocupa del diseño de alguno de los equipos de separación para tratar las corrientes de entrada o de salida de un reactor químico. En las condiciones de operación seleccionadas, el diseño hidrodinámico del equipo se realiza en Operaciones Unitarias Industriales y la instrumentación y control del mismo en Instrumentación y Control de Procesos Químicos.



Además, durante el cuatrimestre se realizará una evaluación intermedia, de 2 horas de duración, en horario de clase, consistente en cuestiones teórico-prácticas, sobre los contenidos trabajados hasta ese momento, para conocer la evolución de la adquisición de competencias de los estudiantes.

Se realizará una visita técnica a una industria química, con el objetivo de acercar al estudiante la realidad industrial y fomentar la necesaria relación Universidad-Empresa. La visita incluirá plantas de diferentes sectores de la Ingeniería Química y presentaciones por profesionales especializados.

La programación de todas estas actividades, seminarios, tarea y visitas técnicas se realiza de forma coordinada por los profesores de todas las asignaturas de este sexto cuatrimestre de la titulación. El calendario conjunto con las actividades de todas las asignaturas está disponible en la página web de la Escuela de Ingenierías Industriales

(<http://eii.uva.es/titulaciones/Grados/calActividades/index.php?Grado=442>) y en el aula virtual de las asignaturas.

**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, las calificaciones de seminarios y tarea realizados, el horario de clases y un calendario con todos los eventos.

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

- Objetivos y resumen de contenidos fundamentales
- Bibliografía de referencia de teoría y problemas resueltos
- Colecciones de problemas y cuestiones
- Direcciones de páginas webs de interés, principalmente sobre equipo.
- Tarea propuesta y material para su preparación

**6. Tabla de dedicación del estudiante a la asignatura**

ACTIVIDADES PRESENCIALES	HORAS	ACTIVIDADES NO PRESENCIALES	HORAS
Clases teóricas	26	Estudio y trabajo autónomo individual	75
Clases de problemas en aula	12	Estudio y trabajo autónomo grupal	15
Clases de problemas en laboratorio informático	8		
Seminarios	12		
Visitas técnicas	2		
<b>Total presencial</b>	<b>60</b>	<b>Total no presencial</b>	<b>90</b>

**7. Sistema y características de la evaluación**

INSTRUMENTO	PESO EN LA NOTA FINAL	OBSERVACIONES
Examen final	60%	Nota mínima exigida: 40% de su peso. El peso en la nota final en el examen extraordinario puede aumentar, previa petición por escrito, hasta el 80% para los que no se acojan a la evaluación continua.
Tarea	10%	Puede no tener peso en el examen final extraordinario, previa petición por escrito.
Seminarios	20%	
Evaluación intermedia	10%	La prueba elimina materia del primer apartado de la prueba teórico-práctica del examen final, siempre y cuando se alcance una nota mínima de 5 sobre 10. En ese caso, el estudiante podrá decidir, con antelación al examen final, si quiere aplicar la nota de esta evaluación parcial como calificación del primer apartado del examen final de cuestiones teórico-prácticas. Puede no tener peso en el examen final extraordinario, previa petición por escrito.

**CRITERIOS DE CALIFICACIÓN**

- **Convocatoria ordinaria:**
    - ✓ EXAMEN FINAL (60% de la nota final)). Prueba escrita, con una duración total de 4 horas, estará compuesto de:
      - ✓ 2 problemas, 2,5 horas de duración (40% de la nota final). Se permite el empleo de libros, apuntes, o cualquier material de consulta. Se realiza en el aula de informática, sin acceso a internet, únicamente al aula virtual de la UVa.
      - ✓ Descanso, 15 minutos
      - ✓ Cuestiones teórico-prácticas, 2 apartados con un tiempo total de 75 minutos (20% de la nota final). No se permite ningún material de consulta. La evaluación intermedia, siempre y cuando se haya alcanzado una nota mínima de 5 sobre 10, puede eliminar materia del primer apartado de cuestiones del examen final.
- Nota mínima exigida, para aprobar la asignatura: 40% del peso total del examen final.



- ✓ TAREA (10% de la nota final). Se propondrá 1 tarea, para realizar de forma individual o en grupo.
- ✓ SEMINARIOS (20% de la nota final). Se recogerán y evaluarán los resultados de los 6 seminarios realizados durante el curso.
- ✓ EVALUACIÓN INTERMEDIA (10% de la nota final). Se realizará una prueba intermedia, con cuestiones teórico-prácticas, de 2 horas de duración. La prueba elimina materia de la parte teórico-práctica del examen final, siempre y cuando se alcance una nota mínima de 5 sobre 10. En ese caso el estudiante podrá aplicar la nota de la evaluación intermedia en la calificación del primer apartado del examen de cuestiones teórico-prácticas.
- **Convocatoria extraordinaria:**
  - ✓ EXAMEN FINAL, Prueba escrita, con una duración total de 4 horas, compuesta de:
    - ✓ 2 problemas, 2,5 horas de duración (65% del examen final). Se permite el empleo de libros, apuntes, o cualquier material de consulta. Se realiza en el aula de informática, sin acceso a internet, únicamente al aula virtual de la UVa.
    - ✓ Descanso, 15 minutos
    - ✓ Cuestiones teórico-prácticas, 2 apartados con un tiempo total de 75 minutos (35% del examen final). No se permite ningún material de consulta. La evaluación intermedia, siempre y cuando se haya alcanzado una nota mínima de 5 sobre 10, puede eliminar materia del primer apartado de cuestiones teórico-prácticas del examen final.
  - Nota mínima exigida, para aprobar la asignatura: 40% del peso total del examen final.
- ✓ NOTA FINAL:
  - ✓ Por defecto, la nota final de esta convocatoria se calculará como en la ordinaria:  
 $0.6 \cdot \text{NOTA EXAMEN FINAL} + 0.1 \cdot \text{NOTA DE TAREA} + 0.2 \cdot \text{NOTA DE SEMINARIOS} + 0.1 \cdot \text{NOTA DE EVALUACIÓN INTERMEDIA}$
  - ✓ El estudiante podrá renunciar, si lo solicita por escrito con antelación al examen, a las notas de tarea y/o evaluación intermedia, eligiendo entre:
    - $0.7 \cdot \text{NOTA EXAMEN FINAL} + 0.1 \cdot \text{NOTA DE TAREA}$  o  $\text{NOTA DE EVALUACIÓN INTERMEDIA} + 0.2 \cdot \text{NOTA DE SEMINARIOS}$ .
    - $0.8 \cdot \text{NOTA EXAMEN FINAL} + 0.2 \cdot \text{NOTA DE SEMINARIOS}$