



## Máster en Ingeniería Química 66210 - Ampliación de procesos de separación

Guía docente para el curso 2015 - 2016

Curso: , Semestre: , Créditos: 6.0

---

### Información básica

---

#### Profesores

- **María Pilar Aznar Villacampa** paznar@unizar.es
- **Rafael Bilbao Duñabeitia** rbilbao@unizar.es

#### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Para cursar con mayor aprovechamiento la asignatura de carácter obligatorio de *Ampliación de Procesos de Separación* se recomienda haber cursado la asignatura *Operaciones de Separación*, del Grado en Ingeniería Química, u otra similar.

La asistencia regular a clase y el trabajo constante son fundamentales para que el alumno alcance de manera satisfactoria el aprendizaje propuesto. Los estudiantes disponen del profesor para su asesoramiento en tutorías personalizadas y grupales. La asignatura estará presente en el Anillo Digital Docente (ADD), por lo que es conveniente estar al día en el uso de tal plataforma.

#### Actividades y fechas clave de la asignatura

Se trata de una asignatura de 6 créditos ETCS, lo que equivale a 150 horas de trabajo del estudiante, a realizar tanto en horas presenciales como no presenciales, repartidas del siguiente modo:

- **30 horas de clase presencial**, distribuidas aproximadamente en dos horas semanales. En ellas se realizará la exposición de contenidos teóricos y conceptos necesarios para la resolución de casos prácticos.
- **15 horas de aprendizaje basado en problemas**, distribuidas aproximadamente en una hora semanal. En ellas se desarrollarán problemas y casos prácticos coordinados en contenido con la evolución temporal de las exposiciones teóricas.
- **12 horas de trabajo práctico** en las que realizar búsquedas avanzadas y resolver problemas complejos mediante el uso de herramientas informáticas como Excel o el simulador Hysys. Estas sesiones se realizarán en horario de clase, individualmente o en parejas, según el número de alumnos o la dificultad de la tarea en particular. Habrá aproximadamente dos horas por cada bloque temático.
- **3 horas de prácticas especiales** correspondientes a una sesión de visita a empresa, charla de expertos, seminario temático, debate, etc.
- **64 horas de estudio personal y tutorías personalizadas**, repartidas a lo largo de todo el semestre.
- **20 horas de trabajos tutelados** que consistirán en la realización de tareas de desarrollo, ampliación, documentación, resolución... de casos propuestos por el profesor, basados en los conceptos vistos en el aula. Estos trabajos estarán distribuidos durante el curso, serán de realización individual o en grupo pequeño (2 alumnos) y se plasmarán en entregables (búsquedas, ejercicios, presentaciones) que serán corregidos y calificados. Aproximadamente habrá un entregable por bloque temático. Estas horas se combinarán con las 12 horas de trabajo práctico arriba mencionadas.

- **6 horas de pruebas de evaluación**, correspondientes a un examen global escrito, cuya fecha será fijada por la EINA, y a una presentación individual o por parejas de 7-10 minutos de duración y que se realizará hacia el final del periodo de clases presenciales.

El calendario de la asignatura se adaptará al establecido en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), así como sus horarios y calendario de exámenes. Todos ellos se pueden consultar en <http://eina.unizar.es>.

---

## Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1:** Sabe seleccionar la operación más adecuada para un proceso de separación.
- 2:** Aplica métodos de cálculo basados en balances de materia y energía, así como en conceptos específicos de transferencia de propiedad.
- 3:** Diseña operaciones de separación específicas, selecciona su configuración y calcula su tamaño y rendimiento.
- 4:** Resuelve problemas complejos basándose en los conocimientos adquiridos de matemáticas, física, química y fundamentos de la ingeniería química.
- 5:** Analiza y discute los resultados alcanzados para ser capaz de entender y explicar el funcionamiento específico de cada una de las operaciones.
- 6:** Aplica los conocimientos adquiridos a la comprensión de sistemas que combinen varias operaciones unitarias.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

La Ingeniería Química está relacionada con los procesos industriales en los que ciertas materias primas se transforman o separan para dar productos útiles. La función del ingeniero químico es desarrollar y diseñar tanto los procesos completos como los correspondientes equipos utilizados, escoger las materias primas más adecuadas, operar las plantas de forma eficaz, segura y económica y ver si los productos manufacturados cumplen las exigencias de los clientes. A pesar del carácter multidisciplinar de la formación que en nuestros días recibe el ingeniero químico, sus labores de ingeniería de procesos siguen siendo quizá las más importantes.

Los procesos químicos pueden consistir en diversas secuencias de etapas, cuyos principios de funcionamiento pueden ser independientes de las características particulares del material que se manipula y del sistema que se utiliza para ello. Cada una de las etapas puede considerarse como una operación unitaria y estudiarse por separado. Algunas operaciones unitarias involucran cambios físicos, a menudo separaciones, estudiados así de forma básica en la asignatura *Operaciones de Separación del Grado en Ingeniería Química*, como de forma avanzada en la presente asignatura de *Ampliación de Procesos de Separación*.

---

## Contexto y competencias

---

# Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

## La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

La asignatura de Ampliación de Procesos de Separación parte del estudio de las operaciones básicas de separación (destilación, absorción, extracción, etc.) para alcanzar las que se podría llamar operaciones de separación avanzadas, a menudo más complejas y específicas, como son el secado, la cristalización, la adsorción, las operaciones con membranas y la electroforesis, entre otras. Además se incluyen aquí las denominadas operaciones básicas con sólidos particulados (el uso de lechos fijos y fluidizados, la molienda, la filtración, la centrifugación, etc.). A estos dos grupos de operaciones se añaden dos temas transversales de selección de operaciones de separación y de intensificación de procesos.

Además de sumergir al alumno en los conceptos y contenidos descritos en el párrafo anterior, la asignatura está orientada a la correcta elección del tipo de operación de separación básica en función de las propiedades físicas y químicas de la mezcla a separar, de la escala de la operación y de la eficacia buscada, entre otros aspectos importantes. Todo esto sin descuidar lo relativo a la preservación del medio ambiente y a la economía. Se espera aportar al alumno la visión de la parte más innovadora, incluso a menudo por explotar a escala industrial, de las operaciones de separación usando ejemplos actuales de materiales y procesos en fase de investigación y/o de desarrollo.

## Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

El alumno que curse esta asignatura profundizará en los conocimientos, competencias y resultados de aprendizaje adquiridos en la asignatura *Operaciones de Separación* del Grado en Ingeniería Química. Sabrá seleccionar y diseñar procesos de separación en función de los requerimientos de la mezcla a separar (estado, pureza, escala de operación, estabilidad química y térmica, etc.).

La asignatura de *Ampliación de Procesos de Separación* pertenece al bloque de Formación Obligatoria de la Titulación, formando parte del módulo de *Ingeniería de Procesos y Producto*. Al cursar la asignatura el alumno adquirirá competencias características de este módulo para el caso específico de las operaciones de separación.

## Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

### 1:

#### **Competencias Genéricas**

- Capacidad para aplicar el método científico y los principios de la ingeniería y economía, para formular y resolver problemas complejos en procesos, equipos, instalaciones y servicios, en los que la materia experimente cambios en su composición, estado o contenido energético, característicos de la industria química y de otros sectores relacionados entre los que se encuentran el farmacéutico, biotecnológico, materiales, energético, alimentario o medioambiental (CG1).
- 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 (CG2).
- 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 (CG4).
- 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 (CG5).
- 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 (CG6).
- 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 (CG7).
- Comunicar y discutir propuestas y conclusiones en foros multilingües, especializados y no especializados, de un modo claro y sin ambigüedades (CG9).
- Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nuevas y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor (CG10).
- 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 (CG11).

## 2: Competencias Específicas

- 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 (CE1).
- 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 (CE2).
- 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 (CE3).
- 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 (CE4).
- Diseñar, construir e implementar métodos, procesos e instalaciones para la gestión integral de suministros y residuos, sólidos, líquidos y gaseosos, en las industrias, con capacidad de evaluación de sus impactos y de sus riesgos (CE6).
- Adaptarse a los cambios estructurales de la sociedad motivados por factores o fenómenos de índole económico, energético o natural, para resolver los problemas derivados y aportar soluciones tecnológicas con un elevado compromiso de sostenibilidad (CE10).

### Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:

El seguimiento y superación de la asignatura tiene como finalidad completar la formación científica y técnica del estudiante, y fijar los conocimientos específicos del módulo de *Ingeniería de Procesos y Producto*, definido en Resolución de 8 de junio de 2009 de la Secretaría General de Universidades - BOE 4 agosto 2009-, en su aplicación concreta al caso de las operaciones de separación. En particular, sin descartar otros aspectos de interés en tal documento, se hace hincapié en lo que se dice de "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". Así como en "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."

---

## Evaluación

### Actividades de evaluación

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

**1:**

La evaluación es global y comprende:

- 1.** Realización de presentaciones orales (**P**).
- 2.** Resolución de casos prácticos y realización de trabajos académicos. Estos se convertirán en entregables, uno por bloque, menos de aquel del que se realice la presentación oral. Además del contenido y del resultado esperado, se valorarán los razonamientos realizados y aspectos formales, así como la presentación puntual (**E**).
- 3.** Observación directa sobre la participación activa en las clases (**O**).

4. Realización de un examen al finalizar la asignatura. Esta prueba se llevará a cabo con apuntes y libros y constará de 6-7 cuestiones teórico-prácticas razonadas en las que se pedirá la aplicación de las enseñanzas correspondientes a los diferentes bloques (**F**).

La nota de la asignatura se calculará según la siguiente fórmula:

$$\text{Nota} = 0,1 \cdot P + (0,5-0,6) \cdot E + (0-0,1) \cdot O + 0,3 \cdot F$$

Se precisa una nota mínima en el examen, **F**, de 3,5 sobre 10 para superar la asignatura.

**2:**  
**Opción 2:**

Aquellos alumnos que no quieran seguir la evaluación según la opción 1, pueden optar por presentarse al examen de convocatoria (100% de la nota final) de similares características que el examen final de la opción 1.

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

#### El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

El proceso de aprendizaje se desarrollará en varios niveles: clases magistrales, resolución de problemas (casos), sesiones de trabajo práctico usando softwares específicos, práctica especial, presentaciones orales y entregables varios, siendo creciente el nivel de participación del estudiante. En las clases magistrales se darán las bases teóricas que conforman la asignatura y resolverán algunos problemas modelo. Las clases de problemas y casos y las sesiones de trabajo práctico y práctica especial son el complemento eficaz de las clases magistrales, ya que permitirán verificar la comprensión de la materia, a la vez que contribuirán a desarrollar en el alumno un punto de vista más aplicado y crítico. Los entregables constituirán la parte más importante de la evaluación en la que el estudiante establecerá los pilares de su éxito académico.

#### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

##### El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...

- 1:** Clases magistrales (30 h) donde se impartirá la teoría de los distintos temas que se han propuesto y se resolverán en la pizarra problemas modelo.
- 2:** Clases presenciales de resolución de problemas y casos (15 h). En estas clases se resolverán problemas por parte del profesor y del alumno supervisado por el profesor. Los problemas o casos estarán relacionados con la parte teórica explicada en las clases magistrales.
- 3:** Sesiones de trabajo práctico (12 h) en las que realizar búsquedas avanzadas y resolver problemas complejos mediante el uso de herramientas informáticas como Excel o el simulador Hysys. Estas sesiones culminarán cada uno de los temas y/o bloques. Se iniciarán de la mano del profesor de modo que el ejercicio correspondiente será concluido por el alumno (de forma individual o en grupos de 2-3 personas, según la dificultad, extensión del trabajo, disponibilidad de medios, etc.). Estas sesiones, en la mayoría de los casos, exigirán un entregable para ser corregido y evaluado por el profesor.
- 4:** Prácticas especiales (3 h) correspondientes a una sesión de visita a empresa, charla de expertos, seminario temático, debate con la opción de presencia de un experto externo, etc.

**5:**

Estudio individual (54 h no presenciales). Se recomienda al alumno que realice el estudio individual de forma continuada a lo largo del semestre.

- 6:** Las sesiones prácticas anteriores así como las exposiciones individuales requerirán de otras 20 h no presenciales para concluir un entregable (un ejercicio resuelto, la exposición, etc.) por cada uno de los bloques temáticos. La actividad anterior y esta serán vasos comunicantes, dependiendo del tema o bloque.
- 7:** Tutela personalizada profesor-alumno (10 h presenciales).
- 8:** Evaluación (6 h). Se realizará un examen final (3 h) donde el alumno, con la ayuda de libros y apuntes, mostrará, individualmente, sus conocimientos teóricos y prácticos, así como su capacidad para razonar sobre cuestiones específicas a la vez que relevantes de la asignatura. Además, habrá exposiciones individuales (o por parejas dependiendo del número de alumnos) de los alumnos (3 h) sobre temas propuestos por el profesor relacionados con los bloques de contenidos, tendrán una duración de 7-10 minutos.

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Las clases magistrales y de resolución problemas se imparten según horario establecido por la EINA además cada profesor informará de su horario de atención de tutorías. El temario previsto para la asignatura es el siguiente:

#### **BLOQUE 1.- INTRODUCCIÓN**

1. Selección de operaciones de separación.
2. Intensificación de procesos.

#### **BLOQUE 2.- OPERACIONES CON SÓLIDOS PARTICULADOS**

3. Conceptos generales. Lechos fijos, lechos fluidizados y sistemas circulantes.
4. Separaciones mecánicas de sólidos.
5. Reducción y aumento de tamaño.

#### **BLOQUE 3.- EVAPORACIÓN Y CRISTALIZACIÓN**

6. Evaporación.
7. Cristalización.

#### **BLOQUE 4.- SECADO Y ADSORCIÓN**

8. Secado de sólidos.
9. Adsorción en lecho fijo.

#### **BLOQUE 5.- OPERACIONES CON MEMBRANAS Y ELECTROFORESIS**

10. Transporte a través de membranas.
11. Electroforesis.

## Bibliografía

### Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Baker, Richard William. Membrane technology and applications / Richard W. Baker New York, etc. : McGraw-Hill, cop. 2000
- Coronas Ceresuela, Joaquín. La cristalización como proceso de separación / Joaquín Coronas Ceresuela . - 1ª ed. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007
- Coulson, John Metcalfe. Chemical engineering / J.M Coulson and J.F. Richardson. Vol. II, Particle technology and separation processes / with J.R. Backhurst y J.H. Harker . - [4th. ed., repr. with revisions] Oxford [etc.] : Butterworth Heinemann, 1996
- Coulson, John Metcalfe. Ingeniería química : unidades SI / J. M. Coulson y J. F. Richardson. T. I, Flujo de fluidos, transmisión de calor y transferencia de materia / con la colaboración de J.R. Backhurst y J.H. Harker ; versión española de la 3a ed. original por Fidel Mato Vázquez . - [1a ed.] Barcelona [etc.] : Reverté, D.L. 1979
- King, C. Judson. Procesos de separación / C. Judson King Barcelona [etc.] : Reverté, D.L.1980
- Kunii, Daizo. Fluidization engineering / Daizo Kunii, Octave Levenspiel. - 2nd ed. Boston [etc.] : Butterworth-Heinemann, cop. 1991
- Levenspiel, Octave. Flujo de fluidos e intercambio de calor / O. Levenspiel Barcelona [etc.] : Reverté, D.L. 1993
- Martínez de la Cuesta, Pedro José. Operaciones de separación en ingeniería química : métodos de cálculo / Pedro J. Martínez de la Cuesta, Eloísa Rus Martínez Madrid [etc.] : Pearson Prentice Hall, D. L. 2004
- McCabe, Warren L.. Unit operations of chemical engineering / Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Pvoeter Harriott . - 6th. ed. Boston [etc] : McGraw-Hill, 2001
- Mullin, John William. Crystallization / J.W. Mullin . - 4th ed. Oxford, [etc.] : Butterworth Heinemann, 2001
- Rhodes, Martin. Introduction to particle technology / Martin Rhodes Chichester [etc.] : John Wiley and sons, cop. 1998
- Rouquérol, François. Adsorption by powders and porous solids : principles, methodology and applications / François Rouquerol, Jean Rouquerol and Kenneth Sing San Diego [etc.] : Academic Press, cop. 1999
- Seader, J. D.. Separation process principles / J. D. Seader, Ernest J. Henley . - 2nd ed. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, cop. 2006
- Treybal, Robert E.. Operaciones de transferencia de masa / Robert E. Treybal ; traducción Amelia García Rodríguez, revisión técnica Francisco José Lozano . - 2a ed. [reimp.] México [etc] : McGraw-Hill, 1989
- Wankat, Phillip C.. Equilibrium staged separations / Phillip C. Wankat Englewood Cliffs (New Jersey) : Prentice Hall, cop. 198
- Wankat, Phillip C.. Rate-controlled separations / Phillip C. Wankat . - 1st ed. 1990, repr. 1994 London [etc.] : Blackie Academic & Professional, 1994