



## Grado en Ingeniería Química 29926 - Diseño de reactores

Guía docente para el curso 2015 - 2016

Curso: , Semestre: , Créditos: 6.0

---

### Información básica

---

#### Profesores

- **Francisco Javier Herguido Huerta** jhergui@unizar.es

- **María Reyes Mallada Viana** rmallada@unizar.es

#### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Para cursar la asignatura de "Diseño de Reactores" son imprescindibles conocimientos de cinética química y de transferencia de materia y energía. Por ello, es recomendable haber cursado y superado la materia de Bases de la Ingeniería Química (asignaturas *Cinética Química Aplicada* y *Transferencia de Materia*), que se imparte en tercer curso (primer semestre) del Grado de Ingeniería Química, así como la asignatura *Termodinámica técnica y fundamentos de transmisión de calor*, que se imparte en segundo curso (primer semestre).

El estudio y trabajo continuado, desde el primer día del curso, son fundamentales para superar con el máximo aprovechamiento la asignatura.

#### 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:

- 40 horas de clase presencial, distribuidas aproximadamente en 3 horas semanales. En ellas se realizará la exposición de contenidos teóricos y conceptos necesarios para la resolución de casos prácticos.
- 20 horas de aprendizaje basado en problemas, distribuidas aproximadamente en 1 hora semanal. En ellas se desarrollarán problemas y casos prácticos coordinados en contenido con la evolución temporal de las exposiciones teóricas.
- 28 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 (2-3 alumnos) y se plasmarán en un entregable que será corregido y calificado.
- 59 horas de estudio personal, repartidas a lo largo de las 15 semanas de duración del curso.
- 3 horas de prueba de control global realizada en el periodo de exámenes tras el periodo docente del semestre.

El calendario de la asignatura se adapta al establecido en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), así como sus horarios y calendario de exámenes, y se pueden consultar todos ellos en su página Web: <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 el tipo de reactor químico más adecuado para un proceso concreto.
- 2:** Desarrolla modelos de reactores homogéneos y heterogéneos basados en los balances de materia, energía y cantidad de movimiento, así como el tipo de flujo y contacto entre las fases.
- 3:** Diseña reactores químicos determinando la configuración y tamaño más adecuado y la sensibilidad de su funcionamiento a una variación de los parámetros de operación y por consiguiente su estabilidad, condiciones óptimas de funcionamiento y control.
- 4:** Caracteriza el flujo real en el reactor y lo considerara convenientemente en el diseño del mismo.
- 5:** Selecciona, modela y diseña reactores bioquímicos.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

La asignatura de “Diseño de Reactores” desarrolla y aplica los fundamentos básicos de selección y diseño de los reactores químicos. Ello supone, para un proceso químico determinado, la elección del tipo de reactor más adecuado, su dimensionado y la determinación de las condiciones óptimas de funcionamiento.

---

## 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 está orientada a la correcta elección del tipo de reactor químico para una proceso de reacción dado, el dimensionado de dicho reactor, la determinación de las condiciones óptimas de operación de éste, la previsión de su comportamiento ante alteraciones en los valores de las variables de operación y las medidas de seguridad hacia su entorno que es necesario adoptar.

### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

#### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

*Diseño de Reactores* forma parte del módulo de asignaturas de formación de tecnología específica en Química Industrial, y se imparte en el segundo semestre del 3<sup>er</sup> curso del Grado en Ingeniería Química. Dentro de dicho módulo, junto con la asignatura *Operaciones de Separación*, constituyen la materia de *Diseño de Procesos Químicos*. Estas asignaturas, junto con sus antecesoras en la titulación *Cinética Química Aplicada* y *Transferencia de Materia* (que forman la materia *Bases de la Ingeniería Química*), constituyen el núcleo de las dos ramas clásicas de la Ingeniería Química: la Ingeniería de las Reacciones Químicas y las Operaciones Básicas.

La asignatura *Diseño de Reactores*, supone un ejercicio de análisis de conocimientos de asignaturas previas (especialmente de *Cinética Química Aplicada* y de *Transferencia de Materia*, pero también de *Termodinámica Técnica* y *Fundamentos de Transmisión de Calor*, *Química*, *Ampliación de Química* y *Experimentación en Química*) y su síntesis con el objetivo final del diseño del reactor químico. En tanto el reactor químico es unidad esencial en la industria química y, por ende en la Ingeniería Química, son diversas las asignaturas posteriores (*Control de Procesos Químicos*, *Química Industrial*, *Experimentación en Ingeniería Química*, *Trabajo Fin de Grado*,...) en las que se requerirá de lo aprendido en esta asignatura como conceptos muy relevantes.

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

- 1:** Capacidad para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de Ingeniería.
- 2:** Capacidad para combinar los conocimientos básicos y los especializados de Ingeniería para generar propuestas innovadoras y competitivas en la actividad profesional.
- 3:** Capacidad para resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.
- 4:** Capacidad para aplicar las tecnologías de la información y las comunicaciones en la Ingeniería.
- 5:** Capacidad para aprender de forma continuada y desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.
- 6:** Conocimientos sobre balances de materia y energía, biotecnología, transferencia de materia, operaciones de separación, ingeniería de la reacción química, diseño de reactores, y valorización y transformación de materias primas y recursos energéticos.
- 7:** Capacidad para el análisis, diseño, simulación y optimización de procesos y productos

### **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 campo de la Química Industrial necesarios para poder desarrollar las competencias laborales asociadas al Grado en Ingeniería Química.

Con esta intención, se pretende que el alumno sea capaz de adquirir los resultados de aprendizaje enumerados en el apartado correspondiente.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

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

- 1:** Con el fin de incentivar el trabajo continuado del estudiante, se aplicará una evaluación global compuesta por la valoración de las siguientes actividades:

- **Calificación de Tareas** (20% de la nota final): Consistirá en la valoración de los trabajos realizados por el alumno durante el periodo docente de la asignatura, con dos componentes diferentes:

a) **Trabajos tutelados:** Los entregables correspondientes a trabajos tutelados (del orden de 4-5 tareas por curso), serán calificados valorándose su contenido, la comprensión de los conceptos que en ellos se demuestre y la correcta presentación (habitualmente será escrita, pero opcionalmente alguna de ellas puede serlo de forma oral). Se valorará el conjunto total de entregables solicitados cada curso. Los resultados de aprendizaje valorados con esta actividad de evaluación serán fundamentalmente los resultados 1, 2 y 5.

b) **Problemas:** Se evaluará la participación activa y voluntaria del alumno en las clases de aprendizaje basado en problemas, consistente en la exposición de la resolución realizada por él de uno de los problemas planteados. La valoración media de este apartado (b) se hará teniendo en cuenta todas las intervenciones del alumno y contabilizará en la calificación total de tareas (apartados a + b) en un porcentaje (P) en función del número (N) de dichas intervenciones:

$$P(\%) = 15.N \text{ si } N \leq 3$$

$$P(\%) = 50 \text{ si } N > 3$$

Los resultados de aprendizaje valorados con esta actividad de evaluación serán fundamentalmente los resultados 3 y 4.

- **Examen final** (80% de la nota final): Consistirá en una prueba escrita, a realizar dentro del período de exámenes, con una parte teórica y una parte práctica (resolución de problemas), que evalúa todos los conocimientos vistos en las *clases presenciales* y en *clases de aprendizaje basado en problemas*. En ese sentido, los resultados de aprendizaje valorados con esta actividad de evaluación son todos, del 1 al 5.

La parte teórica consistirá en tres cuestiones aplicadas en las que el alumno, sin ayuda de material de consulta, deberá encontrar la solución adecuada y exponerla de manera concisa y breve en un tiempo de 1 hora.

La parte práctica consistirá en dos problemas de resolución numérica, semejantes a los realizados en las *clases de aprendizaje basado en problemas*, que el alumno deberá resolver con ayuda de material de consulta, si así lo desea, en un tiempo de 2 horas.

Cada una de las partes supone un 50% de la nota del examen, siendo necesario obtener una puntuación mínima de 3,5 sobre 10 en cada una de ellas para poder promediar.

Para superar la asignatura es condición necesaria el obtener una puntuación mínima de 4,0 sobre 10 en la calificación del examen final.

Si el alumno no tiene calificación de tareas la calificación del examen final será el 100% de la nota final.

---

## 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 ha planteado para fomentar el trabajo continuado del estudiante y se centra en los aspectos teóricos básicos para poder comprender, analizar y aplicar esos conocimientos a la resolución de problemas reales.

Para el desarrollo de la asignatura, por una parte se impartirán sesiones teóricas con el grupo completo, en las que se expondrán los fundamentos teóricos de la asignatura en forma de clase magistral. Esas clases se complementarán con la resolución de problemas-tipo en clases de aprendizaje basado en problemas, en las que los alumnos en grupo más reducido, serán tutorizados por el profesor.

Paralelamente, durante las 15 semanas del semestre, el alumno tendrá que resolver unos trabajos tutelados por el profesor y plasmados en unos entregables que serán corregidos y evaluados.

También se realizará una prueba de examen escrita al final del periodo de clases.

## 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:**

**Actividades presenciales** (60 horas), distribuidas en:

- *Clases presenciales* (M1). 40 horas. En ellas se realizarán sesiones de exposición y explicación de contenidos teóricos, relacionados con el diseño de reactores químicos, según el programa de la asignatura que se expone en el apartado de Planificación y Calendario.

El alumno dispondrá de material docente preparado por el profesorado, así como de una agenda de evolución de la asignatura accesible vía Web que le ayude al seguimiento de las clases teóricas:

[http://iqtma.cps.unizar.es/index.php?option=com\\_docman&Itemid=27&task=view\\_category&catid=117&order=dmdate\\_published&ascdesc=DESC](http://iqtma.cps.unizar.es/index.php?option=com_docman&Itemid=27&task=view_category&catid=117&order=dmdate_published&ascdesc=DESC)

- *Clases de aprendizaje basado en problemas* (M4). 20 horas. De forma coordinada con las clases de contenidos teóricos, se desarrollarán problemas y casos prácticos relacionados con dichas exposiciones teóricas. Los alumnos abordarán problemas bajo la supervisión de un tutor.

**2:**

**Trabajos tutelados** (28 horas no presenciales). Durante el desarrollo del curso, en relación con los contenidos de algunos de los temas, se propondrá a los alumnos la realización de trabajos de aplicación y extensión de los conceptos estudiados. Estos estarán relacionados con búsquedas bibliográficas, desarrollo de casos prácticos, preparación de presentaciones, etc... Estos trabajos estarán distribuidos durante el curso (con un número total en torno a cuatro), serán de realización individual o en grupo pequeño (2-3 alumnos) y se plasmarán en un entregable que será corregido y calificado.

**3:**

**Estudio individual** (59 horas no presenciales), repartidas a lo largo de las 15 semanas de duración del curso. Se fomentará el trabajo continuado del estudiante, mediante la distribución homogénea a lo largo del semestre de las diversas actividades de aprendizaje.

**4:**

**Pruebas de evaluación** (3 horas presenciales). Además de tener una función calificadora, la evaluación también es una herramienta de aprendizaje con la que el alumno comprueba el grado de comprensión y asimilación de conocimientos y destrezas conseguido

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

El programa de la asignatura se divide en cinco bloques principales, en los que se desarrollan los conceptos básicos sobre diseño de reactores. y que en forma esquemática son los siguientes:

Bloque 1.- Conceptos y fundamentos del diseño

Bloque 2.- Reactores homogéneos ideales

Bloque 3.- Reactores homogéneos de flujo no ideal

Bloque 4.- Reactores heterogéneos bifásicos

Bloque 5.- Aspectos adicionales

La secuencia de contenidos pretende que el alumno comience viendo los fundamentos del diseño y tipos de reactores, aborde después el diseño y las particularidades del caso más sencillo, como serán los reactores homogéneos. Después de

haberse familiarizado con el diseño ideal se introducirá una desviación de esa idealidad; el flujo real, y se analizará la forma de tenerla en cuenta en el diseño. El siguiente bloque abordará el diseño para sistemas heterogéneos, centrándose en los procesos sólido-gas, que son los más habituales, pretendiendo conjugar en el diseño la cinética intrínseca de cada sistema con los procesos físicos de transferencia. El final de la asignatura se realiza con un bloque en el que se prestará atención a un tipo específico de reactores como son los biorreactores y se consideran aspectos de estabilidad, control y seguridad de operación del reactor industrial.

Así, el temario se distribuye en 18 capítulos de la siguiente manera:

#### BLOQUE 1.- CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

1.- Concepto, etapas del diseño y tipos de reactores. Ecuaciones de diseño.

#### BLOQUE 2.- REACTORES HOMOGÉNEOS IDEALES

##### 2.1.- Reactores tipo

2.- Reactor ideal discontinuo

3.- Reactor continuo de mezcla perfecta ideal

4.- Reactor tubular continuo ideal

5.- Reactor semicontinuo de mezcla perfecta

##### 2.2.- Elección de reactor y condiciones de operación

6.- Diseño para reacciones irreversibles sencillas

7.- Diseño para reacciones complejas

8.- Regímenes de temperatura

#### BLOQUE 3.- REACTORES HOMOGÉNEOS DE FLUJO NO IDEAL

9.- Circulación no ideal en reactores.

10.- Modelos para flujo no ideal

#### BLOQUE 4.- REACTORES HETEROGÉNEOS BIFÁSICOS

11.- Consideraciones generales de diseño en reactores heterogéneos

##### 4.1.- Reacciones sólido-fluido catalíticas

12.- Reactores de lecho fijo- Modelos pseudo-homogéneos y heterogéneos

13.- Reactores de lecho fluidizado. Modelos de diseño

##### 4.2.- Reacciones sólido-fluido no catalíticas

14.- Reactores de lecho fijo, móvil y fluidizado

##### 4.3.- Reacciones fluido-fluido

15.- Reactores gas-líquido y líquido-líquido.

#### BLOQUE 5.- ASPECTOS ADICIONALES

16.- Reactores específicos. Biorreactores.

17.- Régimen autotérmico

18.- Control y seguridad en reactores químicos

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- 1. Levenspiel, Octave. Ingeniería de las reacciones químicas / Octave Levenspiel ; [con la colaboración en la traducción de Juan A. Conesa ; revisión técnica, Enrique Arriola Guevara] . - 3ª ed. México : Limusa Wiley, cop. 2004
- 2. Ingeniería de reactores / Jesús Santamaría ... [et al.] . - [1ª ed.], 1ª reimp. Madrid : Síntesis, D. L. 2002
- 3. Smith, Joe Mauk. Ingeniería de la cinética química / J.M. Smith . - 1a ed, 10a reimp. México D.F. : CECSA, 1997
- 4. Fogler, H. Scott. Elements of chemical reaction engineering / H. Scott Fogler . - 3rd ed., reprinted with corrections Upper Saddle River, New Jersey : Prentice-Hall, 2000