



## Máster en Ingeniería Química (Plan 2018)

### DATOS DE LA ASIGNATURA

**Nombre:**

Análisis y Diseño Avanzado de Reactores en la Industria Química y Petroquímica

**Denominación en inglés:**

Analysis and Advanced Design of Reactors for Chemical and Petrochemical industry

**Código:**

1180102

**Carácter:**

Obligatorio

**Horas:**

|                   | Totales | Presenciales | No presenciales |
|-------------------|---------|--------------|-----------------|
| Trabajo estimado: | 150     | 60           | 90              |

**Créditos:**

| Grupos grandes | Grupos reducidos |             |                    |                     |
|----------------|------------------|-------------|--------------------|---------------------|
|                | Aula estándar    | Laboratorio | Prácticas de campo | Aula de informática |
| 3              | 1                | 1           | 0                  | 1                   |

**Departamentos:**

Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales

**Áreas de Conocimiento:**

Ingeniería Química

**Curso:**

1º - Primero

**Cuatrimestre:**

Primer cuatrimestre

### DATOS DE LOS PROFESORES

**Nombre:**

\*Navarro Domínguez,  
Francisco Javier

**E-Mail:**

frando@uhu.es

**Teléfono:**

959218205

**Despacho:**

ETB51

\*Profesor coordinador de la asignatura

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### 1. Descripción de contenidos

#### 1.1. Breve descripción (en castellano):

- Diseño de reactores para reacciones complejas de diversa naturaleza.
- Reactores multifásicos. Reactores catalíticos.
- Reacciones enzimáticas y microbianas y bioprocesos.
- Procesos y reactores de la industria petroquímica.

#### 1.2. Breve descripción (en inglés):

- Design of reactors for complex reactions of different nature.
- Multiphase reactors
- Catalytic reactors
- Enzymatic and microbial reactions and bioprocesses.
- Processes and reactors in the petrochemical industry.

### 2. Situación de la asignatura

#### 2.1. Contexto dentro de la titulación:

La asignatura se enmarca en el primer cuatrimestre del plan de estudios correspondiente a un bloque de materias básicas de la Ingeniería Química, de vital importancia en la formación de los Ingenieros Químicos. De hecho, el diseño de reactores químicos es una actividad exclusiva de los ingenieros químicos y es lo que los diferencia de otros ingenieros. Por lo tanto, para el Ingeniero Químico, el conocimiento del diseño de reactores químicos de sistemas homogéneos y heterogéneos es de suma importancia

Por otra parte, esta asignatura presenta una gran relación con otras del mismo curso del máster como los Fenómenos de Transporte o el Análisis y Diseño Avanzado de Operaciones de Transferencia en la industria química y del refino.

#### 2.2. Recomendaciones:

Para llevar a cabo un aprendizaje significativo y una adecuada adquisición de competencias se recomienda que el alumno tenga conocimientos previos de las siguientes materias:

- Cinética de las reacciones químicas homogéneas y heterogéneas
- Reactores ideales isotérmicos
- Trasmisión de calor
- Fenómenos de transporte
- Fundamentos de los procesos de transferencia de materia

### 3. Objetivos (Expresados como resultados del aprendizaje):

- Conocer y saber aplicar la metodología de estudio de sistemas de reacciones químicas complejas de diversa naturaleza.
- Conocer el diseño reactores químicos, para reacciones complejas, la configuración y tamaño más adecuado y la sensibilidad de su funcionamiento a los parámetros de operación.
- Conocer los criterios de selección del tipo de reactor químico más adecuado y las condiciones óptimas de funcionamiento, control y estabilidad para un proceso químico complejo.
- Ser capaz de obtener datos experimentales de transformaciones químicas complejas, formular modelos cinéticos y aplicarlos al diseño de reactores a escala industrial.
- Saber aplicar la metodología de diseño de reactores al caso particular de la industria petroquímica

### 4. Competencias a adquirir por los estudiantes

#### 4.1. Competencias específicas:

- **CEPP1:** 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 teóricos
- **CEPP2:** Diseñar productos, procesos, sistemas y servicios de la industria química, así como la organización 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
- **CEPP3:** 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
- **CEPP4:** Tener habilidad para solucionar problemas que son poco familiares, incompletamente definidos o que tengan 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

#### 4.2. Competencias básicas, generales o transversales:

- **CB6:** Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación
- **CB7:** Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
- **CB8:** Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios
- **CB10:** Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo
- **CG01:** 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
- **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
- **CG05:** 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
- **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
- **CT3:** Capacidades asociadas al trabajo en equipo: cooperación, liderazgo, responsabilidad
- **CT5:** Capacidad de razonamiento crítico y creatividad

## 5. Actividades Formativas y Metodologías Docentes

### 5.1. Actividades formativas:

- Sesiones de Teoría sobre los contenidos del Programa.
- Sesiones de Resolución de Problemas.
- Sesiones Prácticas en Laboratorios Especializados o en Aulas de Informática.
- Sesiones de Campo de aproximación a la realidad Industrial.
- Actividades Académicamente Dirigidas por el Profesorado: seminarios, conferencias, desarrollo de trabajos, debates, tutorías colectivas, actividades de evaluación y autoevaluación.

### 5.2. Metodologías docentes:

- Clase Magistral Participativa.
- Desarrollo de Prácticas en Laboratorios Especializados o Aulas de Informática en grupos reducidos.
- Resolución de Problemas y Ejercicios Prácticos.
- Tutorías Individuales o Colectivas. Interacción directa profesorado-estudiantes.
- Planteamiento, Realización, Tutorización y Presentación de Trabajos.
- Conferencias y Seminarios.
- Evaluaciones y Exámenes.

### 5.3. Desarrollo y justificación:

#### **Clases magistrales participativas**

Consisten en sesiones dirigidas a todos los alumnos donde el profesor desarrollará el contenido teórico del tema correspondiente. En el desarrollo se incluyen una introducción y el planteamiento de un esquema y objetivos perseguidos en la misma.

#### **Desarrollo de Prácticas en Laboratorios Especializados o Aulas de Informática en grupos reducidos:**

Las Prácticas de Laboratorios consisten en sesiones de trabajo experimental en el laboratorio de plantas piloto de reactores químicos. En ellas se comparan los resultados de diseño teórico con los obtenidos de forma experimental.

Las sesiones en el aula de informática consisten en la realización de problemas de diseño y simulación de reactores químicos/bioquímicos, empleando un software de cálculo matemático, como por ejemplo Mathcad.

Se realizará una exposición escrita de los resultados obtenidos en los trabajos e informes realizados. En una seguida de una fase el profesor realizará una serie de preguntas y se discutirá sobre los resultados y conclusiones obtenidos.

#### **Resolución de Problemas y Ejercicios Prácticos**

Las clases de problemas y ejercicios prácticos consisten en la resolución de uno o más problemas tipo propuestos, que tengan relación con los contenidos teóricos incluidos en la materia. El objetivo es clarificar, asentar y aplicar los conocimientos teóricos. Asimismo, estas clases permiten que los alumnos aprendan a aplicar las herramientas y técnicas que facilitan la resolución de problemas y la toma de decisiones.

#### **Tutorías Individuales o Colectivas. Interacción directa profesorado-estudiantes**

Se realizarán tutorías individualizadas, a demanda de los alumnos, donde se les guiará en el desarrollo y resolución de problemas teórico-experimentales

#### **Planteamiento, Realización, Tutorización y Presentación de Trabajos**

Se realizarán actividades donde se plantearán y realizarán trabajos teórico prácticos sobre diseño de reactores. Consisten en ejercicios a resolver, tanto en papel como por aplicación de herramientas informáticas, relativos a problemas reales de diseño y optimización de reactores. Se propondrán, de forma puntual, otra serie de actividades como búsqueda en la bibliografía de aplicaciones, así como datos y propiedades necesarios para la resolución de problemas reales.

#### **Seminarios**

Los seminarios consisten en clases eminentemente prácticas o aplicadas donde se detallan ejemplos concretos de reactores químico/bioquímicos que actualmente emplean empresas del sector

#### **Evaluaciones y Exámenes.**

Consistenten en pruebas escritas y orales donde se evalúan las competencias recogidas en esta guía docente

## 6. Temario desarrollado:

1. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO AVANZADO DE REACTORES
  - Introducción
  - Velocidad de Reacción
  - Tipos de reactores
  - Balances de materia. Ecuaciones de diseño en reactores ideales
  - Balances de energía
  - Pérdidas de presión en reactores
2. REACTORES HOMOGÉNEOS NO ESTACIONARIOS
  - Balances de materia y energía en estado no estacionario.
  - Operación discontinua y operación semicontinua.
  - Optimización de operaciones discontinuas
  - Operaciones semicontinuas
  - Reactores mezcla completa y flujo pistón no estacionarios
3. DISEÑO AVANZADO DE REACTORES NO ISOTÉRMICOS
  - Introducción.
  - Estrategias de operación óptima
  - Diseño de reactores discontinuos
  - Diseño de reactores continuos
  - Estabilidad de reactores químicos
1. BASES DEL DISEÑO DE REACTORES HETEROGÉNEOS
  - Tipos de reactores y reacciones heterogéneas
  - Ecuación de velocidad para reacciones heterogéneas
  - Cinética de las reacciones heterogéneas.
2. DISEÑO DE REACTORES HETEROGÉNEOS
  - Reactores de lecho fijo
  - Reactores de lecho móvil y de transporte neumático
  - Reactores de lecho fluidizado
3. DISEÑO DE REACTORES PARA SISTEMAS FLUIDO-FLUIDO.
  - Introducción
  - Diseño de reactores para sistemas fluido-fluido
  - Factores a considerar en la selección del reactor.
  - Diseño de reactores para sistemas fluido-fluido.
4. DISEÑO DE REACTORES PARA SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO NO CATALÍTICOS.
  - Reacciones gas-sólido no catalíticas
  - Elección del reactor y planteamiento general de diseño
  - Diseño de reactores para sistemas sólido-fluido no catalíticos.
5. DISEÑO DE REACTORES PARA SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO CATALÍTICOS
  - Introducción.
  - Geometría y propiedades geométricas del sólido.
  - Resistencias en reacciones S-F catalíticas
  - El transporte interno
  - La transformación catalítica: adsorción, reacción y desorción
  - Difusión y reacción en catalizadores porosos
  - La velocidad global
  - Elección del reactor
  - Diseño de reactores para reacciones catalíticas
  - Desactivación de catalizadores
6. DISEÑO DE REACTORES BIOQUÍMICOS.
  - Reacciones enzimáticas y microbianas
  - Reactores ideales
  - Transferencia de materia del reactores bioquímicos
  - Diseño de reactores bioquímicos..
7. DISEÑO DE REACTORES DE POLIMERIZACIÓN FOTOQUÍMICOS Y SONOQUÍMICOS
  - Introducción
  - Hipótesis del pseudoestado estacionario
  - .Diseño de reactores de polimerización
  - Reactores fotoquímicos y sonoquímicos
8. SEGURIDAD EN LOS REACTORES QUÍMICOS.
  - Introducción
  - Explosiones
  - Sobrepresión
  - Diseño de reactores más seguros

## 7. Bibliografía

### 7.1. Bibliografía básica:

Fogler, H. S. Elements of Chemical Reaction Engineering. (International Edition) 4th Edition -Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., (2005). Traducción al castellano: Elementos de ingeniería de las reacciones químicas 3ª Ed. Pearson Educación, (2001).

Hill CG. AN. Introduction To Chemical Engineering Kinetics And Reactor Design. John Wiley, Nueva York (1977)

Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. 3ª Ed. John Wiley, Nueva York, (1998). Traducción al castellano Ingeniería de las reacciones químicas 3ª Edición Ed. Limusa, (2004).

Levenspiel, O. The chemical reactor omnibook. Oregon st Univ Bookstores. (1989). Traducción al castellano: El omnilibro de los reactores químicos. Reverté. Barcelona, (1985).

Missen, R. W., Mims, C. A., Saville, B. A. Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics. Wiley (1999).

Santamaría, J. M. y col. Ingeniería de reactores, Síntesis, Madrid, (1999).

Smith, J.M., Chemical Engineering Kinetics, 3ª Ed. McGraw-Hill, New York (1981). Traducción al castellano. Ingeniería de la cinética Química. 3ª. Ed., CECSA, (1986).

## 7.2. Bibliografía complementaria:

Bailey J. E. , Ollis DF. Biochemical Engineering Fundamental. McGraw-Hill, Nueva York (1986).

Butt, J.B., "Reaction Kinetics and Reactor Design", Prentice Hall Englewood Cliffs, (1980)-

Carberry, J.J., "Ingeniería de las Reacciones Químicas y Catalíticas", Géminis, Bs. As., (1980).

Casablanco, G. y López-Santín J. Ingeniería Bioquímica. Editorial Síntesis. Madrid. . (1998).

Coulson, J. M. Richardson, J. F. Sinnott R. K., Backhurst, J. R. Harker, J. H. Peacock, D. G. Chemical Engineering Vol. 3. Chemical and Biochemical Reactors and Process Control. 3ª Ed. Butterworth Heinemann (1994). Traducción al castellano. Ingeniería Química. Tomo III. Diseño de reactores químicos. Ingeniería de la reacción bioquímica. Control y métodos de cálculo con ordenadores. 2ª Ed. Barcelona, Madrid (1984).

Froment, G. F., Bischoff K. B. Chemical Reactor Analysis and Design, 2ª Ed. Wiley (1990).

Hougen, O.A., Watson, K.M., "Principios de los Procesos Químicos. Cinética y Catálisis", Géminis, Bs. As., (1977).

Wallas, S.M., "Reaction Kinetics for Chemical Engineers", McGraw-Hill, N.Y., (1959)

Westertep, W.R., Van Swaaij, W.P., Beenackers, A.A., "Chemical Reactor Design and Operations", J. Wiley and Sons Chichester, (1984)

## 8. Sistemas y criterios de evaluación.

### 8.1. Sistemas de evaluación:

- Examen de teoría/problemas
- Defensa de Prácticas
- Defensa de Trabajos e Informes Escritos
- Seguimiento Individual del Estudiante
- Examen de prácticas

### 8.2. Criterios de evaluación y calificación:

#### **OPCIÓN A: EVALUACION PROGRESIVA**

##### **Examen de teoría y problemas**

Los exámenes escritos constarán de parte teórica y parte de problemas, donde se evalúan las competencias CEPP1, CEPP2, CEPP3, CEPP4, CB6, CB7, CB8, CG02, CG05, CB07, CT5. Para superar la asignatura será necesario obtener más de 5 puntos sobre 10. La calificación del examen final representará un 70% de la nota final de la asignatura.

##### **Examen de prácticas:**

Se realizará un examen de los aspectos teórico experimentales de las prácticas de laboratorio, donde se evalúan las competencias CEPP1, CEPP3, CEPP4, CB6, CB7, CB8, CB10, CG01, CG02, CG05, CB07, CT3, CT5. Representará un 5% de la nota final de la asignatura.

##### **Defensa de prácticas:**

Se realizará una exposición de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio, seguida de una fase de preguntas y discusión de las mismas donde se evalúan las competencias CEPP1, CEPP3, CEPP4, CB6, CB7, CB8, CB10, CG01, CG02, CG05, CB07, CT3, CT5. Representará un 5% de la nota final de la asignatura.

##### **Defensa de Trabajos e informes escritos:**

Se realizará una exposición escrita de los resultados obtenidos en los trabajos e informes realizados. En una seguida de una fase el profesor realizará una serie de preguntas y se discutirá sobre los resultados y conclusiones obtenidos. Se valorará la aplicación práctica de los conocimientos teóricos desarrollados en las clases y seminarios y la adecuación de la bibliografía consultada. En este apartado se evalúan las competencias CEPP1, CEPP2, CEPP3, CEPP4, CB6, CB7, CB8, CB10, CG01, CG02, CG05, CT5. Representará un 15% de la nota final de la asignatura.

##### **Seguimiento individual:**

Se realizará un control y seguimiento del trabajo personal del alumno, analizando de forma individualizada su progreso, evaluando las competencias CEPP2, CEPP4, CB6, CB8, CB10, CB07, CT5, valorando el grado de participación, actitud y destrezas adquiridas. Representará un 5% de la nota final de la asignatura

#### **OPCIÓN B: EVALUACION UNICA FINAL**

Aquellos estudiantes que no deseen ser evaluados de acuerdo a la Opción A tendrán la opción de evaluarse mediante una evaluación única final, consistente en un único examen que constará de parte teórica y de problemas. La calificación final de la asignatura será la nota obtenida en este examen, siendo necesario obtener 5 puntos sobre 10 para superar la asignatura. Aquellos estudiantes que deseen evaluarse mediante esta opción deberán enviar en las dos primeras semanas de impartición de la asignatura un correo electrónico al coordinador de la asignatura indicando su deseo de ser evaluado mediante la evaluación única final.

**9. Organización docente semanal orientativa:**

|     | Semanas | Grupos Grandes | Grupos Reducidos<br>Aula Estándar | Grupos Reducidos<br>Aula de Informática | Grupos Reducidos<br>Laboratorio | Grupos Reducidos<br>prácticas de campo | Pruebas y/o<br>actividades evaluables | Contenido desarrollado |
|-----|---------|----------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------|
| #1  | 3       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #2  | 3       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #3  | 3       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #4  | 3       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #5  | 3       | 2              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #6  | 3       | 2              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #7  | 3       | 0              | 0                                 | 10                                      | 0                               |  |                                       |                        |
| #8  | 3       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #9  | 3       | 3              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #10 | 3       | 3              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #11 | 0       | 0              | 3                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #12 | 0       | 0              | 0                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #13 | 0       | 0              | 3                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #14 | 0       | 0              | 2                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
| #15 | 0       | 0              | 2                                 | 0                                       | 0                               |  |                                       |                        |
|     | 30      | 10             | 10                                | 10                                      | 0                               |  |                                       |                        |