



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
GUÍA PARA EL EXAMEN EXTRAORDINARIO

Ingeniería de Reactores II

(clave 1740)

Noviembre / 2024

Al estudiante:

En esta guía para el examen extraordinario de la asignatura Ingeniería de Reactores II clave 1740, encontrará una recopilación de las secciones de las principales referencias bibliográficas que corresponden a los temas presentes en el programa de la asignatura para el plan de estudios vigente.

Esta guía no pretende sustituir a los cursos dados en la Facultad, ya que este documento solo pretende ser una guía para que el estudiante recurra a las referencias más importantes del curso. Debido a la naturaleza de la materia se recomienda que el estudiante realice ejercicios presentes en las referencias proporcionadas.

Guía de Estudio para Exámenes Extraordinarios realizada por miembros del claustro que imparten la asignatura

Libros de texto recomendados:

1. Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.
2. Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3ª Edición, Limusa-Wiley, 2004.
3. Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

UNIDAD I. Introducción al diseño de reactores heterogéneos. Importancia de los reactores heterogéneos en los procesos de transformación.

En realidad, y como su nombre lo indica, este es un tema de introducción. Se recomienda revisar que traten sobre **reactores heterogéneos** y **diseño de reactores**. También secciones sobre **aplicaciones industriales** y **procesos de transformación**. Aquí se suele abordar la relevancia de los reactores heterogéneos en diferentes industrias y sus ventajas en la eficiencia de los procesos químicos.

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Capítulo 1: Introducción (pág. 21).**
 - **Sección 1-5:** Clasificación de los reactores (pág. 47).

UNIDAD 2. Conceptos básicos. Principios básicos de cinética química y catálisis en sistemas heterogéneos.

En esta unidad se da una introducción sobre términos necesarios para entender las cinéticas aplicadas a catalizadores sólidos, destacando los conceptos de los pasos de reacción en catalizadores sólidos (adsorción, reacción superficial y desorción), así como la cinética de reacción tipo LHHW.

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Capítulo 7: Procesos heterogéneos, catálisis y adsorción (pág. 351).**
- **Capítulo 9. Ecuaciones de velocidad para reacciones catalíticas Fluido sólido (pág. 419).**
 - **Sección 9-1** Velocidades de adsorción, desorción y reacción superficial (pág. 420).
 - **Sección 9-2** Ecuaciones de velocidad en términos de concentraciones de la fase fluida de la superficie catalítica (pág. 424).
 - **Sección 9-3** Análisis cualitativo de las expresiones de velocidad (pág. 428)
 - **Sección 9-4** Interpretación cuantitativa de las expresiones de velocidad (pág. 433).

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3^{ra} Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Capítulo 17: Introducción a las reacciones heterogéneas: (pág. 369).**
- **Capítulo 18. Reacciones catalizadas por sólidos (pág. 376).**
 - **Sección 18.1:** Ecuación de velocidad para cinéticas de superficie (pág. 379).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 10: Catalysis and Catalytic Reactors (pp. 399).**
 - **Section 10.2:** Steps in a Catalytic Reaction (pp. 409).
 - **Section 10.3:** Synthesizing a Rate Law, Mechanism, and Rate-Limiting Step (pp. 421).
 - **Section 10.4:** Heterogeneous Data Analysis for Reactor Design (pp. 436).
 -

UNIDAD 3. Fenómenos de transferencia en la interfase gas-sólido.

3.1. Cálculo de coeficientes de transferencia

3.2. Efecto de los fenómenos de transferencia sobre la rapidez global de reacción.

En esta unidad se revisa los conceptos de transporte de materia externa, tales como el coeficiente de transferencia de materia, las variables involucradas para descartar la resistencia a la transferencia de materia externa y sus efectos sobre la rapidez de reacción global.

3.1. Cálculo de coeficientes de transferencia.

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986

- **Capítulo 10: Reactores heterogéneos**
 - **Sección 10-2:** Coeficientes de transferencia de masa y calor (fluido partícula) en lechos empacados (pág. 458)
 - **Sección 10-3:** Tratamiento cuantitativo de los efectos de transporte externos (pág. 463).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 14: Mass Transfer Limitations in Reacting Systems.**
 - **Section 14.4.** Diffusion Through a Stagnant Film (pp. 688).

3.2. Efecto de los fenómenos de transferencia sobre la rapidez global de reacción

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Capítulo 10: Procesos de transporte externo en reacciones heterogéneas (pág. 452)**
 - **Sección 10-1:** Efecto de los procesos físicos sobre las velocidades de reacción observadas. (pág. 456).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 14: Mass Transfer Limitations in Reacting Systems (pp. 679).**
 - **Section 14.4.** Diffusion Through a Stagnant Film (pp. 688).

Unidad 4. Fenómenos de transferencia en la intrafase del sólido catalítico.

4.1. Cálculo de coeficientes de transferencia

4.2. Efecto de los fenómenos de transferencia sobre la rapidez global de la reacción

4.3. Módulo de Thiele y factor de efectividad

En esta unidad se estudia los efectos de la resistencia al transporte de materia interna sobre la rapidez de reacción global. Se introduce al concepto de módulo de Thiele y el factor de efectividad interno.

4.1. Cálculo de coeficientes de transferencia

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986

Cálculo del coeficiente de difusión, difusividad combinada y difusividad de Knudsen

- **Capítulo 11: Procesos de transporte interno-reacción y difusión en catalizadores porosos (pág. 523).**
 - **Sección 11-1:** Difusión gaseosa en un solo poro cilíndrico (pág. 524).
 - **Sección 11-2:** Cálculo del coeficiente de difusión en líquidos (pág. 535)
 - **Sección 11-3:** Difusión en catalizadores porosos, concepto de difusividad efectiva (pág. 536).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction (pp. 719).**
 - **Section 15.1.** Diffusion and Reactions in Homogeneous Systems (pp. 720).
 - **Section 15.2.** Diffusion and Reactions in Spherical Catalyst Pellets (pp. 720).

4.2. Efecto de los Fenómenos de transferencia en la intrafase del sólido catalítico

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986

- **Capítulo 11: Procesos de transporte interno-reacción y difusión en catalizadores porosos (pág. 523).**
 - **Transferencia intragranular de masa (pág. 524).**

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3ª Edición, Limusa-Wiley, 2004.

Capítulo 18: Reacciones catalizadas por sólidos

- **Sección 18.2:** Resistencia a la difusión en los poros combinada con la cinética de superficie. Poro cilíndrico único, primer orden (pág. 381)
- **Sección 18.3:** Partículas porosas de catalizador (pág. 385): Importancia de la transferencia de masa y energía en la eficiencia de los reactores catalíticos.

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction (pp. 719).**
 - **Section 15.1:** Diffusion and Reactions in Homogeneous Systems (pp.720).
 - **Section 15.2:** Diffusion and Reactions in Spherical Catalyst Pellets (pp.720).
 - **Section 15.3:** The Internal Effectiveness Factor (pp. 730).
 - **Section 15.4:** Falsified Kinetics (pp. 737).
 - **Section 15.8:** Determination of Limiting Situations from Reaction-Rate Data (pp.751).

4.3. Módulo de Thiele y factor de efectividad

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

Transferencia de masa durante la reacción

- **Factor de efectividad (interno)** (pág. 554)
 - **Módulo de Thiele y factor de efectividad interno**
- **Sección 11-8:** Importancia de la difusión intragranular: evaluación del factor de efectividad (pág. 560)
- **Sección 11-9:** Factores de efectividad experimentales y calculados. (pág. 569)
- **Sección 11-10:** Efecto de la transferencia intragranular de masa sobre la cinética observada. (pág. 572)

Transferencia de masa y calor durante la reacción.

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3ª Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Sección 18.4:** Efectos caloríficos durante la reacción (pág. 391)

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction (pág. 719).**
 - **Section 15.2:** Diffusion and Reactions in Spherical Catalyst Pellets (pp.720).
 - **Section 15.3:** The Internal Effectiveness Factor (pp. 730).

UNIDAD 5. Diseño del reactor catalítico heterogéneo gas-sólido de lecho fijo. Isotérmico y no isotérmico
5.1. Establecimiento del modelo del reactor
5.2. Criterios de selección del modelo del reactor
5.3. Resolución numérica del modelo y diseño del reactor catalítico.

5.1. Establecimiento del modelo del reactor

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Capítulo 13. Diseño del reactor catalítico (pág. 636).**

Reactores de lecho fijo

- **Sección 13-1:** Construcción y operación (pág. 636).
- **Sección 13-2.** Bosquejo de problemas de diseño no isotérmico de reactores de lecho fijo (pág. 640).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction (pág. 719).**
 - **Section 15.5:** Overall Effectiveness Factor (pp. 739).
 - **Section 15.7:** Mass Transfer and Reaction in a Packed Bed (pp. 744).

5.2. Criterios de selección del modelo del reactor

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986

Reactores de lecho fijo

- **Sección 13-1:** Construcción y operación. (pág. 636)
- **Sección 13-2.** Bosquejo de problemas de diseño no **isotérmico de reactores de lecho fijo** (pág. 640)

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3ª Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Sección 18.5:** Ecuaciones de diseño para reactores que contienen partículas porosas de catalizador (pág. 393).

5.3. Resolución numérica del modelo.

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3ª. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

Reactores de lecho fijo isotérmicos y adiabáticos

- **Sección 13-3: Operación isotérmica:** Modelos de reactores de lecho fijo (pág. 642)
- **Sección 13-4: Operación adiabática (pág. 652).**

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3^{ra} Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Capítulo 19 Reactor catalítico de lecho empacado (pág. 427)**

UNIDAD 6. Sistema Pseudo-homogéneo

6.1. Modelo unidimensional

6.2. Modelo bidimensional

En esta unidad se muestran los modelos unidimensionales y bidimensionales pseudo-homogéneos para reactores de lecho fijo.

6.1. Modelo unidimensional

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3^a. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Sección 13-5** Modelo unidimensional. (pág. 658).

6.2. Modelo bidimensional

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3^a. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Sección 13-6** Modelo bidimensional. (pág. 672).

UNIDAD VII Diseño Reactores Industriales.

7.1. Reactores Fluido-fluido

7.2. Reactor Trifásico

7.3. Reactor de Lecho Fluidizado

En esta unidad se da una introducción a los reactores fluido-fluido, reactores trifásicos (en especial al reactor de lecho percolador) y a los reactores de lecho fluidizado, donde se presenta las diferentes resistencias al transporte de materia involucrados en dichos reactores.

7.1. Reactores Fluido-fluido

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3^{ra} Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Capítulo 23: Reacciones fluido-fluido: Cinética (pág. 523).**
 - **Sección 23.1:** La ecuación de velocidad (pág. 524).
- **Capítulo 24: Reactores fluido-fluido: Diseño (pág. 540).**
 - **Sección 24.1:** Transferencia de masa sin reacción química (pág. 543).
 - **Sección 24.2:** Transferencia de masa reacción no muy lenta (pág. 546).

7.2. Reactor Trifásico

Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, 3^a. Edición, México, Compañía Editorial Continental, 1986.

- **Capítulo 13: Diseño de Reactores Catalíticos Heterogéneos:**
Reactores de lecho percolador (pág. 708).
 - **Sección 13-13.** Modelo de reactor de lecho percolador (pág. 709).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

Los temas correspondientes a reactores trifásicos se encuentran en el suplemento del libro, los cuales están disponibles en las siguientes ligas:

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction in Porous Catalysts:**
<https://websites.umich.edu/~elements/5e/15chap/prof.html>
2. Trickle Bed Reactors:
<https://websites.umich.edu/~elements/5e/15chap/pdf/trickle.pdf>

7.3. Reactor de Lecho Fluidizado

Levenspiel, O., *Ingeniería de los Reactores Químicos*, 3^{ra} Edición, Limusa-Wiley, 2004.

- **Capítulo 20: Reactores con catalizador sólido en suspensión, reactores de lecho fluidizado de varios tipos (pág. 447).**
 - **Sección 20.1:** Antecedentes de los reactores con sólidos en suspensión (pág. 447).
 - **Sección 20.2:** Lecho fluidizado de borboteo (BFB) (pág. 450).
 - **Sección 20.3:** Modelo K-L del BFB (pág. 455).

Fogler, S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 5th. Edition, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2016.

Los temas correspondientes a reactores de lecho fluidizado se encuentran en el suplemento del libro, los cuales están disponibles en las siguientes ligas:

- **Chapter 15: Diffusion and Reaction in Porous Catalysts:**

<https://websites.umich.edu/~elements/5e/15chap/prof.html>

3. Fluidized Bed Reactors:

<https://websites.umich.edu/~elements/5e/15chap/pdf/FluidizedBed.pdf>