



Planificaciones

7653 - Diseño de Reactores

Docente responsable: AMADEO NORMA ELVIRA

OBJETIVOS

Esta asignatura tiene como objetivo el diseño de los reactores químicos. El diseño y operación del equipo para llevar a cabo reacciones químicas requiere un análisis de los procesos tanto físicos como químicos que ocurren en su interior, ya que los principios que gobiernan las transferencias de masa y energía son tan importantes como los que rigen a la cinética química. Por lo tanto, siendo una de las características distintivas de la ingeniería química la combinación de las operaciones físicas y químicas, el diseño de los reactores químicos es una actividad específica de los ingenieros químicos.

CONTENIDOS MÍNIMOS

PROGRAMA SINTÉTICO

Estequiometría - Termodinámica y equilibrio

Cinética de reacciones químicas homogéneas

Modelos fluidodinámicos de reactores químicos- Reactor tanque agitado - Reactor tubular TUB. Comparación de reactores

Desviaciones a la hipótesis de flujo ideal

Sistemas fluido - fluido

Sistemas fluido - sólido reactivo

Sistemas fluido - sólido catalítico

PROGRAMA ANALÍTICO

Parte 1 . Fundamentos de la cinética química

1. Estequiometría

1.1 Independencia de las reacciones.

1.2 Medida de los cambios debidos a la reacción química

Grado de avance, conversión, reactivo limitante.

1.3 Medidas de concentración

2. Termodinámica y equilibrio

2.1 La constante de equilibrio

2.2 Composición de mezclas de equilibrio: Reacciones simples.

2.3 Funcionalidad del avance de reacción en el equilibrio

2.4 Aplicación del equilibrio químico al diseño de reactores.

2.5 Condiciones de equilibrio para reacciones simultáneas.

2.6 Composición de mezclas en equilibrio: Reacciones simultáneas.

3. Cinética de reacciones químicas homogéneas

3.1 Definición de velocidad de reacción.

3.2 Dependencia de la velocidad de reacción con la concentración, ecuación cinética.

3.3 Cinética química y equilibrio. Restricciones termodinámicas.

3.4 Dependencia de la velocidad de reacción con la temperatura.

3.5 Ley de Arrhenius

3.6 Influencia del avance de la reacción y concentraciones iniciales sobre la velocidad de reacción.

3.7 Reacción autocatalítica.

Parte II : Modelos fluidodinámicos de reactores químicos

4. Reactor tanque agitado

4.1 Hipótesis del mezclado perfecto

4.2 Balance de masa del reactor tanque

4.3 Balance de calor del reactor tanque

4.4 Calor intercambiado

5. Reactor tanque agitado discontinuo. TAD

5.1 Balance de masa y energía del reactor TAD

5.2 Operación isotérmica del reactor TAD.

- 5.3 Operación adiabática del reactor TAD
 - 5.4 Operación no isotérmica ni adiabática del reactor TAD
 - 5.5 Balance de energía en el fluido intercambiador , camisa o serpentín
 - 5.6 Graficos de conversión - temperatura, recta de operación adiabática, camino óptimo.
 - 5.7 Operación óptima del reactor TAD.

 6. Reactor tanque agitado continuo TAC
 - 6.1 Balance de masa y energía del reactor TAC.
 - 6.2 Operación isotérmica del reactor TAC.
 - 6.3 Calor intercambiado: camisa o serpentín
 - 6.4 Tiempo de residencia
 - 6.5 Operación adiabática del reactor TAC
 - 6.6 Operación óptima del reactor TAC (camino de las velocidades máximas)
 - 6.7 Operación NINA del reactor TAC
 - 6.8 Multiplicidad de estados estacionarios.
 - 6.9 Histéresis del estado estacionario
 - 6.10 Estabilidad del estado estacionario.
 - 6.11 Análisis del estado no estacionario. Plano de fases.
 - 6.12 Sistema de múltiples reactores TAC. Combinación en serie y paralelo.

 7. Reactor tubular TUB
 - 7.1 Hipótesis de flujo en pistón
 - 7.2 Balance de masa del reactor TUB
 - 7.3 Balance de energía del reactor TUB
 - 7.4 Tiempo de residencia y velocidad espacial.
 - 7.5 Operación isotérmica ; operación adiabática. Optimos isotérmico y adiabático.
 - 7.6 Operación NINA. Camino de velocidades óptimas.
 - 7.7 Estabilidad y sensibilidad. Punto caliente. Criterios para minimizar el punto caliente
 - 7.8 Reactor autotérmico.
 - 7.9 Reactor TUB con reciclo. Su aplicación a : reacciones exotérmicas y autocatalíticas y a la determinación de parámetros cinéticos.

 8. Comparación de reactores
 - 8.1. Comparación de reactores ideales para reacciones simples de distintos órdenes.
 - 8.2. Sistema de reactores múltiples.
 - 8.3. Reacciones múltiples. Selectividad y rendimiento.
 - 8.4. Reacciones en paralelo. Efecto de la composición y la temperatura. Distribución de producto. Criterios para la elección del reactor y las condiciones de operación.
 - 8.5. Reacciones en serie. Concentraciones máximas y tiempo óptimo de reacción. Criterios para la elección del reactor y las condiciones de operación.
 - 8.6. Reacciones serie-paralelo. Criterios para la elección del reactor y las condiciones de operación. Reacciones de polimerización.

 9. Desviaciones a la hipótesis de flujo ideal
 - 9.1. Ensayos estímulo-respuesta. Curvas C y F.
 - 9.2. Función de distribución de tiempo de residencia. Curva E.
 - 9.3. Modelos de un solo parámetro : dispersión axial, TUB con reciclo y batería de tanques agitados continuos.
 - 9.4. Modelo de flujo segregado. Efecto del grado de segregación sobre la performance del reactor.
 - 9.5. Modelos combinados
- Parte III : Transferencia de masa con reacción química
10. Sistemas fluido - fluido
 - 10.1. Ejemplos de procesos fluido - fluido.
 - 10.2. Modelo de la película. Aplicación a reacciones de primero y segundo orden.
 - 10.3. Factor de reacción. Gráfico de Van Krevelen.
 - 10.4. Reactores fluido-fluido. Parámetros fluidodinámicos. Criterios de selección.
 - 10.5. Diseño de una columna rellena
 - 10.6. Diseño de una columna de burbujeo

 11. Sistemas fluido - sólido catalítico
 - 11.1. Propiedades de los catalizadores sólidos. Superficie específica ; volumen poral, densidad, distribución de

tamaño de poros.

11.2. Adsorción física y adsorción química. Isotermas de adsorción. Cinética catalítica. Etapa controlante. Expresiones cinéticas tipo Langmuir-Hinshelwood.

11.3. Efectos difusionales en una pastilla catalítica. Difusividad molecular, Knudsen y efectiva. Balances de masa y calor en la pastilla. Factor de efectividad.

11.4. Desactivación, mecanismos, cinética.

11.5. Reactores catalíticos de lecho fijo. Porosidad de lecho, pérdida de carga.

11.6. Modelo seudohomogéneo de diseño.

11.7. Ejemplos industriales.

12. Sistemas fluido - sólido reactivo

12.1. Ejemplos industriales

12.2. Modelos cinéticos: homogéneo, heterogéneo y generalizado.

12.3. Modelo del frente móvil. Etapas controlantes. Partículas de tamaño constante y tamaño decreciente. Tiempo de reacción completa.

12.4. Diseño de reactores fluido - sólido reactivo. Cintas transportadoras, bandejas, lecho fluidizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986.
- Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.1992
- Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979.
- J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986.
- O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
- H. Rase. Chemical Reactor design for process plants. Vol I yII. J. Wiley, 1977.
- K. Denbigh y J. Turney. Introducción a la teoría de los reactores químicos. Limusa, 1990.
- R. Aris. Introduction to the Analysis of Chemical Reactors. Prentice Hall, 1965.
- R. Aris. Análisis de Reactores. Ed Alhambra, 1973.
- C. Hill An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design. J. Wiley, 1977.
- A. Hougen y M. Watson. Principios de los procesos químicos III. Cinética y Catálisis. Géminis 1977.
- J. Carberry. Chemical and Catalytic Reaction Engineering. Mc Graw Hill, 1976.
- R. Cunningham y J. Lombardi. Fundamentos del diseño de reactores. EUDEBA, 2 da edición, 1978.
- H. Kramers y K. Westertep. Elements of Chemical Reator Design and Operation. Academic Press, 1968.
- Smith & Van Ness. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Mc Graw Hill, 1959.

RÉGIMEN DE CURSADA

Metodología de enseñanza

El método de enseñanza propuesto se basa en propiciar una participación activa del alumno. Dicha interacción es garantizada mediante una comunicación fluida docente-alumno, de manera de lograr un ámbito propicio para la exposición y discusión de los distintos temas. Para lograr este estado de participación por parte del alumno, el docente deberá distanciarse del concepto de "clase magistral" y motivar al alumno desarrollando claramente los conceptos, relacionándolos y desafiando al alumno con el planteo oportuno de preguntas o problemas. No se propicia la redacción de apuntes de clases teóricas, de esta manera se induce al alumno a recurrir al libro de texto.

Las clases de problemas tienen por objetivo aplicar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas a la resolución de problemas. Son clases con gran participación individual del alumno en las que el docente es solo una guía a la que el alumno recurre para clarificar conceptos y recibir orientación en la resolución del problema. Luego se hace una discusión grupal, bajo la guía del docente, intercambiándose opiniones sobre los diferentes caminos de resolución, suposiciones, procedimientos numéricos utilizados. La combinación de metodología de resolución individual y grupal permite que el alumno aplique inicialmente sus conocimientos y su esfuerzo personal y que luego se enriquezca con la confrontación de ideas.

Modalidad de Evaluación Parcial

El método de evaluación consiste en 2 exámenes parciales y una evaluación integradora. Los exámenes parciales se aprueban con un mínimo de 4 puntos, existiendo dos instancias para la recuperación al final del cuatrimestre.. Los alumnos que hayan aprobado con 7 puntos o más cada parcial en la primera oportunidad quedan eximidos de la evaluación integradora.

CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Presentación de la materia. Estequiometría. Termodinámica y Equilibrio.	Estequiometría y Termodinámica				<ul style="list-style-type: none"> - Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<2> 16/03 al 21/03	Cinética R. Q. Homogéneas . Arrhenius. Determ. Parámetros cinéticos.	Termodinámica. Cinética				<ul style="list-style-type: none"> - Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<3> 23/03 al 28/03	TAD: R. Simples, Isotérmico y no isotérmico Cinética.	TAD: R. Simples, isotérmico y no-isotérmico Cinética				- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<4> 30/03 al 04/04	TAC: R. Simples, Isotérmico. No-Isotérmico. Multiplicidad de Estados estacionarios.	TAD: R. Simples, no-Isotérmico				- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						<p>Jersey.1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CEECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.</p>
<5> 06/04 al 11/04	Combinación de TAC. FPI: Balances de masa y energía	TAC, Reactores TAC en serie y en paralelo				<p>- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CEECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.</p>
<6> 13/04 al 18/04	FPI Isotérmico, No-Isotérmico. FPI con Reciclo.	FPI				<p>- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986.</p>

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						<ul style="list-style-type: none"> - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<7> 20/04 al 25/04	Comparación de Reactores. Reacciones autocatalíticas, múltiples, Rendimiento.	FPI Comparación de reactores				<ul style="list-style-type: none"> - Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<8> 27/04 al 02/05	. Modelos No-Ideales	Reacciones múltiples				<ul style="list-style-type: none"> - Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<9> 04/05 al 09/05	Consultas Parcial (parte a)	Repaso y consultas				<ul style="list-style-type: none"> - Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química.

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<10> 11/05 al 16/05	Reacciones Fluido-Fluido.	Reactores No-Ideales				- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<11> 18/05 al 23/05	Reacciones Fluido-Fluido. Catalisis	Reacciones Fluido-Fluido				- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						<p>Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979.</p> <p>- J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986.</p> <p>- O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.</p>
<12> 25/05 al 30/05	Reacciones catalíticas Factor de efectividad-isotérmico y no isotérmico	Reacciones Fluido - Fluido				<p>- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986.</p> <p>- Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992</p> <p>- Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979.</p> <p>- J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química.</p> <p>-</p>
<13> 01/06 al 06/06	Efectos difusionales externos -Reactores catalíticos	Catálisis				<p>- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986.</p> <p>- Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992</p> <p>- Froment y</p>

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. -
<14> 08/06 al 13/06	Solido reactivo-fluido: cinetica	Catálisis				- Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - Fogler H. Scott . Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey. 1992 - Froment y Bischoff. Chemical Reactor Analysis & Design. J. Wiley, 1979. - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<15> 15/06 al 20/06	Solido reactivo-fluido: Diseño	Solido reactivo - fluido				Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
						Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.
<16> 22/06 al 27/06	consulta	Solido reactivo - fluido				Farina, Ferretti, Barreto. Introducción al Diseño de Reactores Químicos. EUDEBA, 1986. - - J.M.Smith. Ingeniería de la Cinética Química. CECSA, 3ra Edición, 1986. - O. Levenspiel Ingeniería de las Reacciones Químicas. Ed Reverté S.A. 1979.

CALENDARIO DE EVALUACIONES

Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	9	10/05	14:00	
2º	16	21/06	14:00	
3º		07/07	14:00	
4º		16/07	14:00	