Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias
Departamento: Ingenieria de Procesos
Area: Procesos Químicos

(Programa del año 2025)
(Programa en trámite de aprobación)
(Presentado el 06/08/2025 10:12:40)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
Ingeniería de las Reacciones Químicas 2	INGENIERÍA QUÍMICA	OCD Nº 21/2022	2025	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
TONELLI, FRANCO	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
HERRERO, ALFREDO RICARDO	Responsable de Práctico	JTP Exc	40 Hs
BELZUNCE, PABLO SANTIAGO	Auxiliar de Práctico	P.Adj Exc	40 Hs
BRUSASCA, FABIANA ALEJANDRA	Auxiliar de Práctico	A.1ra Exc	40 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	**Teóricas**	**Prácticas de Aula**	**Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.**	**Total**
8 Hs	Hs	Hs	Hs	8 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2º Cuatrimestre

Duración			
Desde	**Hasta**	**Cantidad de Semanas**	**Cantidad de Horas**
04/08/2025	14/11/2025	15	120

IV - Fundamentación

El eje fundamental de la Asignatura es el diseño de reactores catalíticos heterogéneos.
Tiene sus pilares fundamentales en materias tales como la Termodinámica, la Fisicoquímica, los Fenómenos de Transporte y la Ingeniería de las Reacciones Químicas.
Ingeniería de las Reacciones Químicas 2 junto con Ingeniería de las Reacciones Químicas 1 son las materias que marcan una de las diferentes más notables entre la educación del Ingeniero Químico y la de otros Ingenieros. De allí la importancia de su inclusión en el Plan de Estudios.
Como asignaturas auxiliares son de particular importancia la Computación y los Métodos Numéricos.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Se plantean como objetivos los siguientes:
Una vez finalizada la asignatura el alumno deberá ser capaz de:
1.- Integrar los conocimientos de las asignaturas previas, Termodinámica, Fisicoquímica, Fenómenos de Transporte e

Ingeniería de las Reacciones Químicas, para su aplicación en el análisis y diseño de reactores catalíticos heterogéneos.
2.- Diseñar reactores catalíticos heterogéneos de lecho fijo, para optimizar procesos químicos industriales mediante herramientas de modelado y simulación.
3.- Evaluar desviaciones del comportamiento ideal y modelarlas en el sentido de optimizar los diseños, para mejorar el rendimiento de reactores en condiciones reales de operación

VI - Contenidos

TEMA 1: REACCIONES HETEROGÉNEAS - CATALISIS HETEROGENEA

Reacciones heterogéneas. Características generales. Clasificación. Definición general de la catálisis. Catalizadores: propiedades. Desactivación. Etapas de una reacción catalítica. Velocidad global de reacción. Adsorción física y química. El modelo de Langmuir: tratamiento Cuantitativo. La teoría de adsorción en multicapas (Ecuación BET).
Propiedades físicas de los catalizadores. Superficie específica. Volumen hueco y densidad del sólido. Distribución de volumen de poros: método de penetración de mercurio, método de desorción de Nitrógeno.

TEMA 2: CINETICA HETEROGENEA

Reactores Catalíticos heterogéneos. Evaluación de reactores de laboratorio. Eliminación de controles. Expresiones de velocidad para reacciones catalíticas heterogéneas. Derivación de ecuaciones de velocidad. Adsorción. Reacción química superficial. Desorción. Mecanismos. Etapa controlante. Metodología de análisis cinético. Método diferencial: discriminación y estimación basada en la representación de los datos. Estimación de parámetros por regresión lineal: a) Procedimiento de estimación; b) Propiedades estadísticas y pruebas de hipótesis. Estimación de parámetros por regresión no lineal. Método integral de análisis cinético.

TEMA 3: PROCESOS DE TRANSPORTE EXTERNO EN REACCIONES HETEROGÉNEAS

Efecto de los procesos físicos sobre la velocidad de reacción observada. Resistencia a la transferencia de materia. Correlaciones. Difusión y reacción en la interfase. Factor de efectividad externo, isotérmico. Efectividad en términos de observables. Efectividad externa no isotérmica generalizada.

TEMA 4: DIFUSIÓN Y REACCIÓN EN MEDIOS POROSOS

Transferencia de masa intragranular. Mecanismos de transferencia de materia en capilares. Difusión molecular, Knudsen, combinada, configuracional, superficial. Difusividad efectiva. Definición. Estima a partir de modelos de la estructura porosa. Modelo de poros paralelos. Modelo de poros en desorden.
Interacción entre transferencia de masa y reacción. Partícula catalítica isotérmica: Diferentes geometrías. Módulo de Thiele. Factor de efectividad interno. Módulo de Thiele observable. Reacciones limitadas por la difusión. Partícula no isotérmica. Diferentes geometrías. Factor de efectividad.
Factor de efectividad global. Eliminación de regímenes limitados por reacción y difusión: criterio de Weisz-Prater, criterio de Mears.

TEMA 5: DISEÑO DE REACTORES HETEROGÉNEOS. REACTORES CATALÍTICOS

Introducción. Diseño de reactores para reacciones catalíticas heterogéneas. Tipos comercialmente significativos de reactores catalíticos heterogéneos. Reactores de lecho fijo. Reactores trickle-bed. Reactores de lecho móvil. Reactores de lecho fluidizado. Reactores slurry. Clasificación de los modelos de reactores de lecho fijo. Modelos

pseudo-homogéneos de reactores de lecho fijo. Modelo unidimensional pseudo-homogéneo de reactores de lecho fijo. Modelo bidimensional pseudo-homogéneo de reactores de lecho fijo.

TEMA 6 : REACTORES REALES

La técnica trazador respuesta. Discusión cualitativa. Ecuación de balance de trazador tiempo medio de Residencia. Modelos para reactores no ideales. Modelos para reactores ideales. Flujo pistón y mezcla completa ideales. Estancamiento. Canalizaciones. Dispersión. Modelo de dispersión. Modelo tanques en serie. Modelo en reciclo. Reactor de flujo laminar.

Modelo de Dispersión: La ecuación del modelo. Análisis dimensional.
Análisis de reactores con flujo pistón disperso. Correlaciones para coeficientes de dispersión. Efectos de la dispersión sobre la perfomance del reactor. Criterios para despreciar efectos de dispersión. Medición de coeficientes de dispersión. Determinación de De. Distribuciones de tiempos de residencia. Función de densidad de tiempos de residencia. Determinación de E(t) desde la repuesta a un impulso de trazador. Determinación del tiempo medio de residencia. Distribución de tiempo de residencia. Determinación de F(t) desde una respuesta a trazador en escalón positiva o negativa. Tiempo reducido.
Desviación desde los patrones de flujo ideal: zonas estancas. By-pass recirculación interna.
Micromezclado y modelo de flujo segregado. Perdición de mezclado. Estados de agregación y mezclado. Modelo de flujo segregado. Modelo de máximo mezclado. Efecto del Micromezclado sobre la conversión.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

TRABAJOS PRÁCTICOS DE AULA

Consistirán en la resolución de problemas oportunamente propuestos por la cátedra. A su vez deberán resolverse problemas con el auxilio de la computadora para lo cual los mismos serán planteados en el aula y posteriormente aplicados en máquina.

TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO

Se realizarán los siguientes trabajos prácticos de laboratorio:
1.- Determinación de distribución de tiempos de residencia en reactores tanque agitado continuos.
2.- Determinación de distribución de tiempos de residencia en reactores flujo pistón.

VIII - Regimen de Aprobación

METODOLOGÍA DE DICTADO DEL CURSO:
El dictado de la asignatura ingeniería de las Reacciones Químicas 2, se subdivide en el dictado de clases Teóricas, clases con Trabajos prácticos de aula y clases con Trabajos prácticos de laboratorio.
En las clases teóricas se desarrollan los contenidos fundamentales de cada Unidad. La metodología del dictado consiste en clases expositivas en forma de seminarios. Con el desarrollo de las clases teóricas se pretende también que el alumno pueda comprender a la lectura de distintos textos específicos de cinética y diseño de reactores.
En las clases de trabajo práctico de Aula se pone en efecto los Práctico de cada Unidad. La metodología de trabajo consiste en el desarrollo de ejemplos utilizando los conceptos teóricos. Con el desarrollo de las clases se pretende que el alumno elabore de modo personal los prácticos de aula.
En las clases de trabajo práctico de laboratorio se aplica los contenidos conceptuales adquiridos en las clases teóricas-practicas, los mismos serán de carácter obligatorio. Los Prácticos de laboratorio tienen gran importancia para ayudar a fijar conceptos teóricos que responde a una interpretación de fenómenos físicos químicos. Los datos obtenidos en los trabajos prácticos serán procesados y utilizados para simulación en programas específicos en clases especiales dedicadas al efecto.
CONDICIONES PARA REGULARIZAR EL CURSO
REGIMEN DE ALUMNOS REGULARES
- Asistir como mínimo al 80% de las clases teórico-prácticas y 100% los trabajos prácticos de laboratorio.
- Aprobar las Guías de trabajo práctico o sus correspondientes recuperaciones, con un mínimo de 7 (siete) puntos y las guías

de trabajos prácticos de laboratorio.
- Las guías de trabajo práctico de Aula se evaluarán tomando como base dos exámenes parciales.
- Las guías de trabajo práctico de laboratorio se evaluarán cada práctico individual.
Ambas evaluaciones requieren aprobar un examen escrito, de carácter eliminatorio, concite en la resolución de problemas (teóricos-prácticos).
•
RÉGIMEN DE APROBACIÓN CON EXÁMEN FINAL
Se deberá describir modalidad y características del examen final para los estudiantes que alcancen la condición de regulares en el curso.
Régimen de aprobación para alumnos regulares:
- Aprobar examen oral individual sobre la totalidad de los contenidos de la asignatura.
RÉGIMEN DE PROMOCIÓN SIN EXAMEN FINAL
Este régimen se restringe a los alumnos que presentan aprobadas las asignaturas correlativas requeridas por el plan de estudios, hasta la fecha determinada por el calendario académico, y figuren en condición de promocional en el sistema de alumnos.
Condición de Promoción de la asignatura:
- Asistir como mínimo al 80% de las clases teórico-prácticas.
- Realizar el 100 % los trabajos prácticos de laboratorio y aprobar a través de la elaboración de los informes respectivos.
- Aprobar dos evaluaciones parciales, de carácter práctico, o sus correspondientes recuperaciones, con un mínimo de 7 (siete) puntos.
- Aprobar dos evaluaciones sobre conceptos teóricos de la asignatura, con un mínimo de 7 (siete) puntos. Las evaluaciones se tomarán en fechas a convenir con los alumnos, durante el transcurso del cuatrimestre.
- Aprobar un coloquio integrador, que se evaluara en la semana siguiente a la finalización del cuatrimestre.

REGIMEN DE ALUMNOS LIBRES

- Alumno que cursó la asignatura y quedó libre por parciales, habiendo aprobado todas las instancias de trabajos prácticos de laboratorio.
Se requiere:
1. Aprobar un examen escrito, de carácter eliminatorio, que consistirá en la resolución de problemas basado en los trabajos prácticos de aula.
2. Aprobar un examen oral de los temas teóricos del curso.
- Alumno que no cursó la asignatura.
Se requiere:
1. Aprobar el Práctico 0, Seguridad en el Laboratorio.
2. Realizar y aprobar con el correspondiente informe, como mínimo, un trabajo práctico de laboratorio a sortear (Prácticos 1 a 3).
3. Aprobar un examen escrito, que consistirá en la resolución de problemas basado en los trabajos prácticos de aula.
4. Aprobar un examen oral de los temas teóricos del curso.
Cada instancia tiene carácter eliminatorio.

IX - Bibliografía Básica

[1] Chemical Reactor Analysis and Design. Froment & Bischof. J. Wiley and Sons. N.Y
[2] Ingeniería de la Cinética Química. J.M. Smith. Ed. CECSA.3
[3] Ingeniería de las Reacciones Químicas. O. Levenspiel. Ed. Reverté
[4] Elements of Chemical Reaction Engineering. H.Scott Fogler. Forth Edition, Prentice Hall.
[5] Apuntes de Cátedra.

X - Bibliografia Complementaria

[1] https://elibro.net/es/lc/unsl
[2] Charles G. Hill, Jr. John Wiley & Sons
[3] Análisis y Simulación de Procesos. Himmelblau, Bischoff. J. Wiley and Sons, N.Y.
[4] Introducción al Diseño de Reactores Químicos. Ferreti, Farina y Barreto. Ed. EUDEBA.

[5] Process Analysis by Statistical Methods. Himmelblau. J. Wiley and Sons. N.Y.
[6] Chemical kinetics. Laidler K.J. Mc. Graw Hill Book Comp.
[7] Introduction to the Analysis of Chemical Reactors. Aris R., Prentice Hall.
[8] Elementary Chemical Reactor Analysis. Aris, R. Prentice Hall.
[9] Kinetics of Chemical Processes. Boudart, M. Prentice Hall.
[10] Chemical Process Principles. Hougen and Watson.

XI - Resumen de Objetivos

Se plantean como objetivos los siguientes:
Una vez finalizada la asignatura el alumno deberá ser capaz de:

1.- Integrar los conocimientos de las asignaturas previas, Termodinámica, Fisicoquímica, Fenómenos de Transporte e Ingeniería de las Reacciones Químicas.
2.- Diseñar reactores catalíticos heterogéneos de lecho fijo.
3.- Evaluar desviaciones del comportamiento ideal y modelarlas en el sentido de optimizar los diseños.

XII - Resumen del Programa

TEMA 1: REACCIONES HETEROGÉNEAS - CATALISIS HETEROGENEA

Reacciones heterogéneas. Clasificación. Definición general de la catálisis. Catalizadores. Etapas de una reacción catalítica. Velocidad global de reacción. Propiedades físicas de los catalizadores

TEMA 2: CINETICA HETEROGENEA

Expresiones de velocidad para reacciones catalíticas heterogéneas. Derivación de ecuaciones de velocidad. Metodología de análisis cinético.

TEMA 3: PROCESOS DE TRANSPORTE EXTERNO EN REACCIONES HETEROGÉNEAS

Efecto de los procesos físicos sobre la velocidad de reacción observada. Factor de efectividad externo, isotérmico. Efectividad en términos de observables. Efectividad externa no isotérmica generalizada.

TEMA 4: DIFUSIÓN Y REACCIÓN EN MEDIOS POROSOS

Transferencia de masa intragranular. Interacción entre transferencia de masa y reacción. Módulo de Thiele. Factor de efectividad interno. Módulo de Thiele observable. Reacciones limitadas por la difusión. Factor de efectividad. Factor de efectividad global. Eliminación de regímenes limitados por reacción y difusión: criterio de Weisz-Prater, criterio de Mears.

TEMA 5: DISEÑO DE REACTORES HETEROGÉNEOS. REACTORES CATALÍTICOS

Diseño de reactores para reacciones catalíticas heterogéneas. Reactores de lecho fijo. Clasificación de los modelos de reactores de lecho fijo. Modelos pseudo-homogéneos de reactores de lecho fijo. Modelo unidimensional pseudo-homogéneo de reactores de lecho fijo. Modelo bidimensional pseudo-homogéneo de reactores de lecho fijo.

TEMA 6 : REACTORES REALES

La técnica trazador respuesta. Modelos para reactores ideales. Estancamiento. Canalizaciones. Dispersión. Modelo de dispersión. Modelo tanques en serie. Modelo en reciclo. Reactor de flujo laminar. Modelo de Dispersión. Distribuciones de tiempos de residencia. Función de densidad de tiempos de residencia. Micromezclado y modelo de flujo segregado. Perdición de mezclado. Estados de agregación y mezclado. Modelo de flujo segregado. Modelo de máximo mezclado. Efecto del micromezclado sobre la conversión.

XIII - Imprevistos

Para el caso de medidas de fuerza que alteren sustancialmente la presencialidad en el dictado de la asignatura, se implementarán sistemas de dictado on-line sobre plataforma virtual de forma asincrónica para las teorías y sincrónica para las guías de trabajos prácticos y consultas.

XIV - Otros

Objetivo específico de la asignatura:
Identificar características Físico-Químicas de los Catalizadores Sólidos (Superficie específica, diámetro de partícula, porosidad, densidad del lecho etc.)
Plantear y calcular modelos de mecanismos de reacción, para determinar una expresión algebraica de la velocidad de reacción heterogénea. Determinación de los parámetros cinéticos.
Interpretar los fenómenos simultáneos de transferencia de materia y energía, internos y externos. Determinación del factor de efectividad.
Diseñar, modelar y simular reactores tubulares heterogéneos catalíticos en fase gas-solido, controladas por la transferencia simultánea de materia y calor.
Identificar y formular, desviaciones del comportamiento ideal en los diferentes tipos de reactores (Bach, Tanque Agitado Continuo y Flujo Pistón Ideal). Aplicar a los reactores homogéneos y heterogéneos.
Detalles de horas de la Intensidad de la formación práctica. Cantidad de horas de Teoría: 40 h, Cantidad de horas de Práctico Aula (Resolución Problemas Ingeniería, Diseño o Proyecto de Ingeniería con utilización de software específico y laboratorios): 80 h
Aportes del curso al perfil de egreso:
Identificar, formular y resolver problemas (Nivel 2)
Utilizar y adoptar de manera efectiva las técnicas, instrumentos y herramientas de aplicación (Nivel 1).
Aplicar conocimientos de las ciencias básicas de la ingeniería y de las tecnologías básicas (Nivel 2).
Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo multidisciplinarios (Nivel 2).
Comunicarse con efectividad en forma escrita, oral y gráfica (Nivel 2)

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA	
	Profesor Responsable
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	