



Ministerio de Educación  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Rosario

Rosario, 5 de diciembre de 2017

VISTO el Expediente ID N° 8086755, relacionado con el programa analítico de la asignatura *Ingeniería de las Reacciones Químicas*, de la carrera Ingeniería Química, y

CONSIDERANDO

Que los objetivos y contenidos del mismo se ajustan a la reglamentación vigente.

Que dicho programa cuenta con el aval del respectivo Consejo Departamental.

Que la Comisión de Enseñanza evaluó la presentación y aconsejó su aprobación.

Por ello y atento a las atribuciones otorgadas por el artículo 85° del Estatuto Universitario.

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD REGIONAL ROSARIO  
DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

RESUELVE:

ARTÍCULO 1°.- Aprobar el programa analítico de la asignatura *Ingeniería de las Reacciones Químicas*, que se agrega como Anexo I de la presente resolución, de la carrera Ingeniería Química.

ARTÍCULO 2°.- Regístrese. Comuníquese. Cumplido, archívese.

RESOLUCIÓN N° 748/2017

UTN
FAC. REG. ROS.
<i>[Handwritten signature]</i>
<i>[Handwritten signature]</i>

Ing. Rubén F. CICCARELLI  
Decano

Dra. Sonia J. BENZ  
Secretaria Académica

**ANEXO I**  
**RESOLUCIÓN N° 748/2017****I. DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR**

ASIGNATURA			
INGENIERÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS			
CARRERA	DEPARTAMENTO	PLAN DE ESTUDIOS	CARÁCTER
Ingeniería Química	Ingeniería Química	2004	Obligatoria
CARGA HORARIA ANUAL (hs cátedra)		RÉGIMEN DE DICTADO	
160		Anual	

**II. OBJETIVOS****Objetivo General:**

Introducir al alumno en la Ingeniería de la Reacción Química con el fin de que adquiera un conocimiento claro de la metodología empleada en el diseño de los reactores químicos y pueda aplicarla a diferentes situaciones que se presentan en la industria química y en instalaciones destinadas a la transformación de sustancias contaminantes. Conseguir que logre destreza en la identificación y descripción cuantitativa de los fenómenos que determinan el comportamiento de los reactores químicos, en la formulación de modelos cinéticos de reacciones y de reactores, en la obtención e interpretación de datos cinéticos y, finalmente, que disponga de criterios claros para seleccionar reactores y condiciones de operación apropiadas para llevar a cabo procesos de fabricación o de transformación en instalaciones industriales.

**Objetivo Específicos:**

Conseguir que el alumno logre comprender los diferentes métodos de interpretación de datos cinéticos de las velocidades de reacción.

Relacionar mecanismos de reacción con las ecuaciones cinéticas.

Interpretar las curvas de distribución de tiempos de residencia, para conocer las condiciones fluidodinámicas reales del reactor a los efectos de interactuar para mejorar su comportamiento según el modelo prefijado.

Realizar actividades con reactores reales en Planta Piloto para adquirir destreza con respecto al trabajo de campo específico.

Aplicar los balances de materia y energía que permitan el diseño de los diferentes modelos de reactores en fase homogénea y heterogénea respectivamente.



---

Analizar y establecer las condiciones operativas necesarias a los efectos de optimizar el funcionamiento de los reactores desde el punto de vista del rendimiento.

Seleccionar la configuración de reactor más conveniente para llevar a cabo un determinado proceso químico, en función de sus características específicas.

Analizar la estabilidad de los diversos reactores químicos.

Comprender las etapas que se presentan en las reacciones sólido-fluido

Analizar la influencia de las etapas físicas en las reacciones polifásicas.

Valorar el efecto de las principales variables (temperatura, composición, área interfacial, tamaño partículas, porosidad de partículas, etc.) en la velocidad de reacción observada en reacciones heterogéneas.

---

### III. CONTENIDOS

#### UNIDAD 1: CINÉTICA EN SISTEMAS HOMOGÉNEOS

Introducción. Objeto de la cinética química. Estequiometría. Grado de avance. Conversión. Velocidad de reacción en sistemas de volumen constante y variable. Constante de la velocidad de reacción. Orden de reacción. Modelos experimentales para interpretación de datos cinéticos. Métodos: Integral, Diferencial, de las Velocidades iniciales, del Tiempo de vida media y del Aislamiento. Expresión de Arrhenius. Teoría de la Colisión. Teoría del Estado de transición (complejo activado). Nociones sobre mecanismos de reacción. Reacciones autocatalíticas.

#### UNIDAD 2: REACTORES IDEALES

Definición y clasificación de los reactores químicos. Simplificación de las ecuaciones de diseño: tanque discontinuo, tanque continuo agitado y flujo pistón. Comparación de reactores tanques agitados en serie con el reactor flujo pistón. Adimensionalización. Número de Damköhler. Reactores en serie y en paralelo de distintos volúmenes. Optimización de reactores MC en serie. Flujo pistón ideal con recirculación. Métodos gráficos y analíticos. Operación en estado no estacionario para reactores con agitación: Puesta en marcha de un reactor MC y reactor semicontinuo con agregado de reactivo.

#### UNIDAD 3: REACCIONES MÚLTIPLES

Introducción. Rendimiento y selectividad. Reacciones paralelo: distribución de productos. Estudio cuantitativo. Rendimiento fraccional instantáneo y global. Métodos gráficos y analíticos. Sistemas múltiples. Determinación del volumen del reactor. Condiciones óptimas.

Reacciones en serie: Reacciones sucesivas irreversibles de diferentes órdenes. Distribución de productos empleando diferentes modelos de reactores. Condiciones de máximo componente intermedio. Reacciones en serie-paralelo. Estudio cuantitativo sobre la distribución del producto empleando diferentes modelos de reactores. Condiciones del máximo componente intermedio para reacciones en serie. Aplicación de gráficas.

#### UNIDAD 4: REACTORES NO IDEALES

---



---

Desviaciones de los modelos de flujos ideales. Funciones de distribución de tiempos de residencia. Señal en escalón, en pulso. Curvas. Tiempo medio de residencia y varianza. Modelos de flujos no ideales: Modelo de dispersión axial. Modelo de tanques agitados en serie. Modelo de segregación total. Modelos combinados de Cholette y Cloutier.

#### UNIDAD 5: DISEÑO DE REACTORES NO ISOTÉRMICOS

Efectos térmicos sobre la cinética y el equilibrio químico. Balance de Energía. Reactores en estado estacionario: Reactores adiabáticos, para los diferentes tipos de flujo. Reactores ni isotérmicos ni adiabáticos. Estabilidad e histéresis del estado estacionario en reactores MC. Reactores bidimensionales. Reactores en estado No estacionario: Reactor TAD, operación adiabática y NINA.

#### UNIDAD 6: REACCIONES HETEROGÉNEAS CATALÍTICAS

Introducción y aspectos generales. Adsorción física y química. Teoría de Lagmuir. Teoría de Brummer, Enmet y teller (B.E.T) aplicables a multicapas. Volumen de monocapa. Superficie específica de catalizadores. Histéresis de adsorción. Distribución de tamaño macro y micro poros. Teoría de condensación y depresión capilar. Modelo de Hougen y Watson para la cinética controlada por: adsorción –reacción en la superficie- desorción. Efecto de la difusión externa en la reacción heterogénea: Leyes de Fick. Ecuación de conservación de Continuidad. Condiciones de frontera. Transferencia de materia en el límite de una fase. Modelo de película. Modelo de penetración. Reacción y difusión: Difusión con reacción química homogénea. Factor de efectividad. Módulo de Thiele. Cinética falsificada. Método de las velocidades estimadas para diseño de lechos catalíticos mono y bi dimensionales no isotérmicos.

#### UNIDAD 7: REACCIONES HETEROGÉNEAS NO CATALÍTICAS

Reacciones sólido-fluido (no catalíticas). Introducción y aspectos generales. Modelo del núcleo sin reaccionar para partículas de distintas formas; de tamaño constante y decreciente. Diferentes etapas controlantes. Determinación de la etapa controlante de la velocidad. Aplicación al diseño: reactor semicontinuo de lecho fijo y fluidizado, reactor de lecho móvil y reactor continuo de lecho fluidizado con y sin arrastre, para partículas de un solo tamaño y de diferentes tamaños. Sistemas con gas de composición variable.

#### UNIDAD 8: FERMENTACIÓN

Fermentación Enzimática: Introducción y aspectos generales, Cinética de Michaelis-Menten, Fermentador continuo de flujo pistón y de flujo mezclado. Procesos fermentativos con y sin inhibición competitiva.

Fermentación microbiana: Introducción y aspectos generales, distribución de productos y rendimientos fraccionales. Cinética de Monod. Efecto de los residuos nocivos. Fermentador continuo de flujo pistón y de flujo mezclado. Tiempo espacial de lavado. Tiempo espacial de mezclado óptimo. Operaciones utilizando concentración y recirculación de células. Fermentador de flujo en pistón con concentración de células y recirculación. Reciclo óptimo.

---



#### IV. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES TEÓRICAS Y PRÁCTICAS

Dictado de clases teóricas con tiza y pizarrón. Proyecciones de ilustraciones, videos, etc. utilizando cañón.

Observación y uso en planta piloto de 3 tipos de reactores: Tanque Agitado Discontinuo, Flujo Pistón y Tanque Agitado Continuo.

Realización de trabajos prácticos de laboratorio (Unidad 1, Unidad 2 y unidad 6) y planta piloto (Unidad 4)

Resolución de problemas de aula, en forma guiada por los docentes, y en forma grupal.

Resolución de parciales correspondientes a las Unidades 1,2, 3 y 5.

Resolución de parciales-proyecto correspondiente a las Unidades 6, 7 y 8.

Realización de los siguientes trabajos prácticos durante el cursado:

TP Nº 1: Reactor discontinuo, experiencia que se lleva a cabo en el laboratorio realizando la hidrólisis ácida de un éster. Se determinan los parámetros cinéticos de la reacción.

TP Nº 2: Adsorción, esta experiencia permite determinar la constante de equilibrio en un proceso de adsorción de ácido acético en carbón activado, y el volumen de la monocapa del adsorbente. Se lleva a cabo en el laboratorio.

TP Nº 3: Distribución de tiempos de residencia en un reactor continuo tubular mediante una señal en pulso. Determinación de los parámetros utilizados para los modelos de reactores no-ideales: módulo de dispersión, número de reactores MC en serie. Se realiza en Planta Piloto.

TP Nº 4: Reactor tubular, hidrólisis alcalina de un éster: obtención de la conversión en estado estacionario. Comparación del resultado con los que se obtendrían con modelos de reactores ideales y no-ideales. Se lleva a cabo en Planta Piloto.

TP Nº 5: Reactor discontinuo NINA: Determina la evolución temporal de la temperatura en un reactor discontinuo agitado con intercambio de calor (NINA) para una reacción exotérmica y se comparan los resultados experimentales obtenidos con los teóricos realizados por simulación numérica.

TP optativo: Obtención de biodiesel en el laboratorio y realización de algunas determinaciones analíticas referidas a la calidad del mismo.

#### V. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA

Los contenidos de la asignatura se presentan a los alumnos en clases presenciales, divididas en tres tipos:

Las denominadas clases presenciales de teoría se impartirán al grupo completo, y en ellas se dará a conocer al alumno el contenido de la asignatura. Al comienzo de cada tema se expondrá claramente el contenido y objetivos principales de dicho tema. Al final del tema se hará un breve resumen de los contenidos más relevantes.



Durante la exposición de contenidos se propondrán cuestiones que ejemplifiquen los conceptos desarrollados o que sirvan de introducción a nuevos contenidos. Para facilitar la labor de seguimiento por parte del alumno de las clases presenciales se le proporcionará la parte que se estime necesaria del material docente utilizado por el profesor, bien en fotocopia o en el Campus Virtual. La exposición de cada uno de los temas se hará haciendo uso de tiza y pizarrón y de software de presentaciones como power point o prezi, etc.

Las clases presenciales de problemas. Se suministrará al alumno una serie de guías de problemas que estarán subidas en el campus. Algunos de estos ejercicios serán resueltos en clase por el profesor, otros lo resolverán los alumnos en clases trabajando en pequeños grupos y se propondrán otros al alumno para ser resueltos como trabajo personal fuera del horario de clases.

Las clases presenciales de realización de trabajos prácticos en laboratorio o planta piloto. A lo largo del curso se realizarán cinco prácticas experimentales, con asistencia obligatoria. En ellas, el alumno, trabajando en grupos de 5 personas, obtendrá datos en un sistema experimental y aplicará los conceptos, habilidades y destrezas adquiridos en las clases de teoría y problemas para su análisis e interpretación.

Los trabajos prácticos tendrán la siguiente secuencia: El docente explica del TP antes de la realización del mismo, El día del Trabajo práctico al alumno se le toma un cuestionario de 5 preguntas relacionadas con el mismo, luego realiza el trabajo práctico y finalmente elabora el informe correspondiente. El informe es grupal y deberá contener como mínimo: objetivos, la experimentación realizada, los resultados experimentales obtenidos y la discusión razonada de éstos que le permita elaborar las conclusiones alcanzadas.

Se calificará tanto el cuestionario como el trabajo realizado en el laboratorio y el informe presentado.

En las actividades dirigidas los alumnos deberán realizar un parcial proyecto a lo largo del cursado, sobre temas propios de la asignatura (unidades 6, 7 y 8), que se evaluarán como actividades de trabajo autónomo o no presencial. El objetivo general de estos parciales proyectos es que los alumnos aprendan a realizar búsquedas bibliográficas para obtener la información necesaria para resolver un problema abierto y orientado hacia la realidad industrial, analizarla, valorarla y aplicarla.

Los alumnos deben generar los diagramas y gráficos correspondientes a la temática y obtener las conclusiones pertinentes, permitiendo de esta manera el desarrollo del criterio ingenieril: se pretende lograr el manejo de las variables que influyen en la cinética de las reacciones y el diseño de los reactores.

Para los alumnos que no alcancen a realizarlo durante el cursado, lo tendrán que tener hecho antes del examen final.

## **VI. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Condiciones para la Regularización (Alumno con Aprobación no directa de la Materia)

---



---

Tener el 80% de los trabajos prácticos (incluye tener aprobados los exámenes previos a los TP, asistencia a los TP y entrega de los informes del TP)

Tener los dos parciales aprobados (Sólo se puede recuperar uno en noviembre del año en curso, en caso de tener los dos desaprobados tendrá posibilidad de globalizador en febrero del año próximo)

Asistencia a clases según lo establece la ordenanza 1549

Primer parcial, es teórico - práctico e incluyen los temas correspondientes a las unidades, 1 y 2.

Segundo parcial, es teórico- práctico e incluyen los temas correspondientes a las unidades, 3 y 5.

Recuperatorio del primero o segundo parcial, es teórico- práctico e incluyen los mismos temas según el parcial que se recupere

Globalizador, es teórico – práctico e incluyen los temas de las unidades 1, 2, 3 y 5.

Condiciones para Aprobación directa de la Materia

Para la fecha de finalización de clases, debe cumplir con los siguientes requisitos

Tener el 100% de los trabajos prácticos (incluye tener aprobados los exámenes previos a los TP, asistencia a los TP y entrega de los informes)

Tener los dos parciales aprobados (Sólo se puede recuperar uno en noviembre del año en curso)

Asistencia a clases según lo establece la ordenanza 1549

Tener aprobados los dos complementos establecidos por la cátedra

Tener aprobado el problema proyecto

Complemento 1, es un examen escrito y oral sobre las unidades 1, 2, 3, 4 y 5

Complemento 2, es un examen escrito y oral sobre las unidades 6, 7, 8 y 9

Problema proyecto, son problemas que se le brinda al alumno tres semanas antes del complemento 2 para que realice en su casa ya que se necesita realizarlos en computadoras. El alumno lo entregará una semana antes del complemento 2

Condiciones previas al examen final (para los alumnos que no hayan logrado la aprobación directa)

El examen final se podrá rendir en dos partes:

Primera Parte: Unidades 1, 2, 3, 4 y 5. Se requiere tener regularizada la materia. Este examen tendrá una vigencia máxima de 6 meses, vencido dicho plazo, el alumno deberá volver a rendir esta parte o irá a un examen de toda la materia.

---



---

Segunda parte: Unidades 6, 7, 8 y 9. Se requiere la realización de un parcial proyecto sobre algún tema designado por el profesor titular.

Problema proyecto, son problemas que se le brinda al alumno dos meses antes de rendir la segunda parte para que realice en su casa ya que se necesita realizarlos en computadoras. Debe tenerlo aprobado para poder rendir el examen final.

#### VII. BIBLIOGRAFÍA

- Ingeniería de las Reacciones Químicas. O. Levenspiel. Reverté. 1997
- Ingeniería de las Reacciones Químicas. O. Levenspiel, 3ª Edición. Reverté. 2004
- Elementos de ingeniería de las Reacciones Químicas. Fogler, H. Scout, 3º Edición. Pearson. 2001
- Elementos de ingeniería de las Reacciones Químicas. Fogler, H. Scout, 4º Edición. Pearson. 2008
- Introducción al Diseño de Reactores Químicos. Tomo I I.H.Farina, O.A.Ferretti, G.F. Barreto. Nueva Librería. Libro de la UNLP. 1977
- Introducción al Diseño de Reactores Químicos. Tomo II I.H.Farina, O.A.Ferretti, G.F. Barreto. Nueva Librería. Libro de la UNLP. 1977
- El Omnilibro de los Reactores Químicos. O. Levenspiel. Reverté. 1º reimpresión. 2002
- Reactores Químicos con Multireacción. Lechuga Fernando T. Ed. Reverté. 2008
- Principios de los Procesos Químicos III. Cinética y Catálisis. O. Houghen y K, Watson. Ed. Géminis S.r.l. 1980
- Cinética Química. J. M. Smith. Continental. 1973
- Ingeniería de la Cinética Química. J. M. Smith. Continental. 1986
- Fundamentos del Diseño de Reactores— R. E. Cunningham y J. L. Lombardi. EUDEBA 2da. Edición. 1972
- Introducción a la teoría de los reactores químicos. Denbigh, Kenneth George; Turner, James Charles Robin. Limusa. 1990
-