



## PROGRAMA ANALÍTICO

**DEPARTAMENTO: TECNOLOGÍA QUÍMICA**

**CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA**

**ASIGNATURA: ANÁLISIS Y DISEÑO DE REACTORES GAS-LÍQUIDO**

**CÓDIGO: 9158**

**AÑO ACADÉMICO: 2018**

**PLAN DE ESTUDIO: 1994**

**UBICACIÓN EN EL PLAN DE ESTUDIO: 2<sup>do</sup>. CUATRIMESTRE DE 5to. AÑO**

**MODALIDAD DE CURSADO: PRESENCIAL**

**DOCENTE A CARGO: Dr. Joaquín A. Orejas – Profesor Titular Exclusivo**

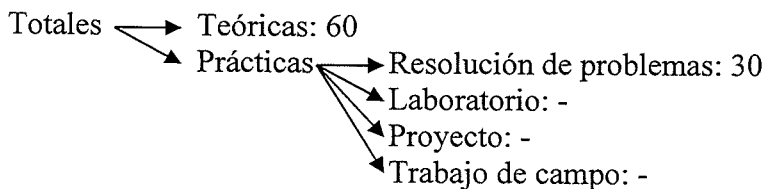
**EQUIPO DOCENTE: Dr. Joaquín A. Orejas – Profesor Titular Exclusivo**

**RÉGIMEN DE ASIGNATURAS:**

<i>Aprobada</i>	<i>Regular</i>
9133	9137

**ASIGNACIÓN DE HORAS:**

Semanales: 6



**CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Optativa**



### **OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA:**

Reactores gas-líquido constituyen, por peso propio, una importante área de la Ingeniería de las Reacciones, a tal punto que existen congresos internacionales específicos sobre el tema. Este tipo de reactores es utilizado en una gran variedad de procesos químicos al igual que biológicos, ya sea con fines de purificación como de producción. Conceptualmente representan un prerrequisito para la comprensión de sistemas más complejos tales como los reactores de tres fases: gas/líquido/sólido, líquido/líquido/gas, líquido/líquido/sólido. También forman la base para el desarrollo de los denominados modelos de no-equilibrio para procesos de purificación o de destilación reactiva.

En este sentido el objetivo del curso es brindar al estudiante una capacidad adicional para la resolución de problemas en el área de la Ingeniería de las Reacciones, específicamente en reactores gas-líquido, al mismo tiempo el curso le permitirá tener una base conceptual que le ayudará a comprender sistemas más complejos.

Una sustancial parte del curso será desarrollada sobre la experiencia propia del docente en este tipo de reactores y en particular en lo referente a reactores tipo columna de burbujeo. Experiencia que va desde lo académico hasta lo profesional. El alumno tendrá la oportunidad de conocer la operación y diseño de un reactor industrial, sobre la base de la experiencia del docente responsable, como Ingeniero de Procesos en una Industria Petroquímica.

### **CONTENIDOS:**

#### **PROGRAMA ANALÍTICO:**

##### ***TEMA 1: Generalidades de reactores gas-líquido***

Introducción. Reactores gas-líquido de tanque agitado. Reactores gas-líquido tipo columna de burbujeo. Columnas de burbujeo con relleno. Reactores ‘gas-lift’. Aplicaciones en la Industria de Procesos

##### ***TEMA 2: El problema de la interfase: Transferencia de masa y reacción química***

La influencia de la transferencia de masa en la capacidad de conversión. Transferencia de masa con reacción química homogénea. Distribución de concentración en la fase de reacción.

El problema de la interfase. Balance de masa general para la transferencia de masa con reacción química.

Modelos para la transferencia de masa en interfases gas-líquido en ausencia de reacción química: el modelo de la película, el modelo de Higbie, el modelo de Danckwerts.

Transferencia de masa con reacción química irreversible, de primer orden, en la fase líquida: modelos de la penetración y de la película estancada.

Conclusiones generales sobre transferencia de masa con reacción química homogénea de primer orden irreversible. Aplicaciones

Transferencia de masa con reacción homogénea irreversible de cinética compleja. Concepto de reacción lenta, reacción rápida, reacción instantánea.

Transferencia de masa con reacción homogénea reversible.

Criterio general para la ausencia de limitaciones por transferencia de masa.

Efectos térmicos en problemas de absorción con reacción química

Reactores de laboratorio para el estudio de cinéticas en sistemas gas-líquido: reactor de película descendente. Reactor de ‘jet’ laminar. Reactor de celdas agitadas.

Técnicas de medición para coeficientes de transferencia de masa y áreas de contacto en reactores gas-líquido. Medición de área interfacial específica. Medición de coeficientes volumétricos de transferencia de masa para la fase gas y para la fase líquida. Medición de coeficientes específicos de transferencia de masa para la fase gas y para la fase líquida.



Aplicaciones prácticas.

**TEMA 3: Transferencia de masa y reacción: reacciones múltiples**

Transferencia de masa simultánea de dos reactivos gaseosos con reacciones químicas independientes en paralelo: Transferencia de masa y reacciones en serie, transferencia de masa y reacciones en paralelo.

Transferencia de masa de un reactivo gaseoso seguida por dos reacciones dependientes en paralelo. Transferencia de masa de dos reactivos gaseosos seguida de reacciones dependientes en paralelo con un tercer reactivo.

Transferencia simultánea de masa de dos reactivos que reaccionan entre sí.

Transferencia de masa con reacciones consecutivas.

Transferencia de masa con esquemas cinéticos complejos serie paralelo.

Aplicaciones prácticas.

**TEMA 4: Columnas de Burbujeo**

Diseños y aplicaciones. Distribución de gas, regímenes de flujo, fluidodinámica, burbujas: distribución de tamaños y velocidad, macromezclado de la fase líquida y de la fase gas, fracción volumétrica, área interfacial específica, coeficientes de volumétricos de transferencia de masa, transferencia de calor. Modelamiento matemático para el análisis y diseño. Un caso estudio: cloración directa de etileno: Estudio experimental en columnas de burbujeo a escala de laboratorio. Modelamiento y determinación de cinéticas de reacción. Operación de columnas de burbujeo de escala industrial en la Industria de Procesos.

**TEMA 5: Reactores gas-líquido de tanque agitado**

Diseños y aplicaciones. Distribución de gas, regímenes de flujo, fluidodinámica macromezclado de la fase líquida y de la fase gas, fracción volumétrica, área interfacial específica, coeficientes de volumétricos de transferencia de masa, transferencia de calor. Modelamiento matemático para el análisis y diseño. Desarrollo de un caso estudio.

**METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA:**

Detallar modalidades de enseñanza empleadas (teórica, resolución de problemas, laboratorio, actividades de campo, prácticas en centros asistenciales, tareas de proyecto y diseño, etc).

El total del tiempo se dedicará a clases teórico-prácticas desarrolladas en aula. El presente curso no requiere trabajos de campo, gabinete o laboratorio, visitas o viajes de estudio.

Las clases tendrán carácter de teórico-prácticas, desarrolladas como es usual mediante exposición oral complementada con pizarrón y/o retroproyector. Las mismas se complementarán con publicaciones científicas sobre el tema.

Las prácticas consistirán en la resolución de problemas concretos de aplicación.

90 horas de clases teórico-prácticas, distribuidas en tres clases semanales de 3 horas cada una durante 11 semanas.

**MODALIDAD DE EVALUACIÓN:**

**Promoción:** Obtención de una calificación promedio de siete puntos (sin registrar instancias evaluativas de aprobación con nota inferior a cinco puntos). Las instancias de evaluación son dos exámenes parciales, los que son teórico-prácticos y por escrito, más la aprobación de trabajos de realización individual, sobre subtemas específicos que requieren el empleo intensivo de computadora, además de la implementación de programas de simulación numérica. También una asistencia no inferior al 80 % a las clases teóricas. En caso de obtener calificación menor que cinco



en alguno de los exámenes parciales, se podrá recuperar el mismo a efectos de mantenerse en el régimen de promoción.

**Regularización:** Aprobación de dos exámenes parciales teórico-prácticos con nota no inferior a 5 (cinco). De no alcanzarse dicha calificación, el estudiante tendrá derecho a una instancia de recuperación por cada examen parcial desaprobado. También se deberán aprobar trabajos de realización individual, sobre subtemas específicos que requieren el empleo intensivo de computadora, además de la implementación de programas de simulación numérica.

**Exámenes Libres:** Los alumnos que opten por la opción de aprobar la asignatura en carácter de alumno libre deberán cumplimentar las mismas exigencias que las previstas para el alumno regular.

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 2018:**

El cronograma de actividades que se implementará durante el segundo cuatrimestre del 2018 es el siguiente:

	Lunes	Miércoles	Viernes
<b><u>Agosto</u></b>	<b><u>Día 13:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 1	<b><u>Día 15:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 1	<b><u>Día 17:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 1
	<b><u>Día 20:</u></b> No Laborable	<b><u>Día 22:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 2	<b><u>Día 24:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 2
	<b><u>Día 27:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 2	<b><u>Día 29:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 2	<b><u>Día 31:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 2
<b><u>Septiembre</u></b>	<b><u>Día 3:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 3	<b><u>Día 5:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 3	<b><u>Día 7:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 3
	<b><u>Día 10:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 3	<b><u>Día 12:</u></b> 14:30-17:30 hs: 1 <sup>er</sup> Parcial	<b><u>Día 14:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 3
	<b><u>Día 17:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 3	<b><u>Día 19:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 4	<b><u>Día 21:</u></b> Día del Estudiante
	<b><u>Día 24:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 4	<b><u>Día 26:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 4	<b><u>Día 28:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 4
<b><u>Octubre</u></b>	<b><u>Día 1:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 4	<b><u>Día 3:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 4	<b><u>Día 5:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 5
	<b><u>Día 8:</u></b> 16:00 – 19:00 hs: Teoría Tema 5	<b><u>Día 10:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 5	<b><u>Día 12:</u></b> 14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 5
	<b><u>Día 15:</u></b> No Laborable	<b><u>Día 17:</u></b>	<b><u>Día 19:</u></b>



		14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 5	14:30 – 17:30 hs: Teoría Tema 5
<b>Día 22:</b> 16:00 – 19:00 hs: 2 <sup>do</sup> Parcial	<b>Día 24:</b> 14:30 – 17:30 hs: Consultas	<b>Día 26:</b> 14:30 – 17:30 hs: Recuperatorios	

**HORARIOS DE CLASES:**

Lunes de 16:00 a 19:00 hs.  
Miércoles de 14:30 a 17:30 hs.  
Viernes de 14:30 a 17:30 hs.

**HORARIOS DE CONSULTA:**

Lunes de 14:00 a 16:00 hs.  
Viernes de 13:00 a 14:30 hs.

**BIBLIOGRAFÍA:**

Título	Autor/s	Editorial	Año de Edición	Ejemplares Disponibles
Transport Phenomena".2 <sup>nd</sup> Ed.	R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot.	John Wiley & Sons	2006 (No hay ediciones más nuevas)	Un ejemplar en Biblioteca
Chemical Reactor Design and Operation	K.R. Westerterp, W.P.M. Van Swaijj, A.A.C.M. Beenackers	John Wiley & Sons	1993 (No hay ediciones más nuevas)	Un ejemplar en Biblioteca
Hydrodynamics of Gas-Liquid Reactors: Normal Operation and Upset Conditions	B.J. Azzopardi, R.F. Mudde, S. Lo, H. Morvan, Y.Y. Yan, D. Zhao	John Wiley & Sons	2011	Sin existencia en Biblioteca

**Básica:** para temas 2 y 3

- "Transport Phenomena".2<sup>nd</sup> Ed. R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. John Wiley & Sons, 2006
- Chemical Reactor Design and Operation, K.R. Westerterp, W.P.M. Van Swaijj, A.A.C.M. Beenackers, John Wiley & Sons, 1993. Capítulos 7, 8 y 9



Específica:

- "Model Evaluation for an Industrial Process of Direct Chlorination of Ethylene in a Bubble-column Reactor with External Recirculation Loop". Autor: Joaquín A. Orejas. Chem. Eng. Sci., (Science Citation Index - ISSN 0009-2509). Vol. 56, No. 2, pp. 513-522, 2001
- "Modelling and Simulation of a Bubble-column Reactor with External Loop: Application to the Direct Chlorination of Ethylene". Autor: Joaquín A. Orejas. Chem. Eng. Sci., (Science Citation Index - ISSN 0009-2509), Vol. 54, No. 21, pp. 5299-5309, 1999
- "Cloración de Etileno en una Columna de Burbujeo a Escala de Laboratorio: I. Modelo y Simulación en Estado Estacionario". Autor: J.A. Orejas. "IV Congreso Argentino de Ingeniería Química", Santa Fe, 18 al 20 de Octubre 1994.
- "Cloración de Etileno en una Columna de Burbujeo a Escala de Laboratorio: II. Modelo y Simulación en Estado Quasi Estacionario". Autor: J.A. Orejas. "IV Congreso Argentino de Ingeniería Química", Santa Fe, 18 al 10 de Octubre 1994.
- "Modelamiento y Simulación de un Reactor Industrial Gas-líquido, Tipo Columna de Burbujeo con Lazo de Recirculación Externo: Aplicación a la Cloración Directa de Etileno", Autor: Joaquín Orejas. Tesis de Doctor en Ingeniería Química, Universidad Nacional del Sur, (1993)
- "Cloración de Etileno en un Reactor de Columna Burbujeante a Escala de Laboratorio: I. Estudio Experimental". Autores: Orejas, J.A., J.A. Miguel, E. Pérez Millán, A.F. Errazu. "XV Jornadas de ADICIQA", Noviembre de 1989, Neuquén.
- "Cloración de Etileno en un Reactor de Columna Burbujeante a Escala de Laboratorio: II. Modelo y Simulación". Autor: Orejas, J.A. "XV Jornadas de ADICIQA", Noviembre de 1989, Neuquén.
- Gas-Liquid Reactors, Sergio Carra & Massimo Morbidelli, Capítulo 9 en 'Chemical Reaction and Reactor Engineering' editado por James J. Carberry & Arvind Varma, Marcel Dekker, Inc. (1987)
- Bubble Columns, Peter Zhener, Matthias Kraume, páginas 275-307, en Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Fifth, Completely Revised Edition, Volume B4: Principles of Chemical Reaction Engineering and Plant Design. Editores: Barbara Elvers, Stephen Hawkins, Gail Schultz, (1992)

Firma Docente Responsable

Firma Secretario Académico