

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura: <b>Fenómenos de Transporte II</b>
Carrera: <b>Ingeniería Química</b>
Clave de la asignatura: <b>QUM – 0509</b>
Horas teoría-horas práctica-créditos: <b>3 2 8</b>

## 2.- HISTORIA DEL PROGRAMA

<b>Lugar y fecha de elaboración o revisión</b>	<b>Participantes</b>	<b>Observaciones (cambios y justificación)</b>
Instituto Tecnológico de Aguascalientes del 9 al 13 de agosto de 2004.	Representantes de las Academias de Ingeniería Química de los Institutos Tecnológicos.	Reunión Nacional de Evaluación Curricular de la Carrera de Ingeniería Química.
Institutos Tecnológicos de Aguascalientes, Chihuahua, Mérida, Veracruz y Zacatepec.	Academias de la carrera de Ingeniería Química.	Análisis y enriquecimiento de las propuestas de los programas diseñados en la Reunión nacional de evaluación curricular.
Instituto Tecnológico de Durango del 22 al 26 de noviembre de 2004.	Comité de Consolidación de la Carrera de Ingeniería Química.	Definición de los Programas de Estudio de la Carrera de Ingeniería Química.

## 3.- UBICACIÓN DE LA ASIGNATURA

### a). Relación con otras asignaturas del plan de estudio

<b>Anteriores</b>		<b>Posteriores</b>	
<b>Asignaturas</b>	<b>Temas</b>	<b>Asignaturas</b>	<b>Temas</b>
Matemáticas I	Cálculo diferencial e integral	Operaciones Unitarias II y III	Transferencia de calor
Matemáticas IV	Ecuaciones diferenciales		Destilación
Termodinámica	Sistemas de unidades y leyes de los gases ideales	Reactores Químicos	Humidificación
Programación	Lenguaje más versátil		Secado
Balace de Materia y Energía	Balances en todas sus derivaciones		Reactores homogéneos y heterogéneos
Fenómenos de Transporte I	Transporte de cantidad de movimiento y calor		

**b). Aportación de la asignatura al perfil del egresado**

- Proporcionar los fundamentos de transporte de calor al estado transitorio y en la interfase y de masa para que el ingeniero químico en formación pueda abordar científicamente y con mayor comprensión, las operaciones unitarias y reactores.

**4.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO**

Distinguirá las leyes, teorías y modelos, en el comportamiento a nivel microscópico y macroscópico de los sistemas donde exista transferencia de calor al estado transitorio y en la interfase y de masa, para aplicarlos en la comprensión de los procesos unitarios.

## 5.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Balance de calor en un sistema en estado transitorio, Flujo unidireccional	1.1 Obtención de Perfiles de temperatura y flujo de calor <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.1 Solución de la placa simple</li> <li>1.1.2 Metodo de Schmidt</li> <li>1.1.3 Solución de la placa simple con frontera conectiva</li> <li>1.1.4 Modulo de Biot y de Fourier</li> <li>1.1.5 Aplicación de las Graficas de Heissler para problemas en geometrías simples. Placas, cilindros y esferas en estado transitorio.</li> </ul>
2	Transferencia de interfase	2.1 Teoría de la capa limite en flujo laminar <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1.1 Concepto de capa límite</li> <li>2.1.2 Ecuaciones de masa y calor en capa limite</li> <li>2.1.3 Números de Nusselt, Reynolds y Prandtl</li> <li>2.1.4 Concepto de coeficiente de transferencia local y coeficiente de transferencia medio</li> </ul> 2.2 Transferencia en flujo turbulento <ul style="list-style-type: none"> <li>2.2.1. Analogía de Reynolds de la transferencia de calor y la transferencia de momentum</li> <li>2.2.2. Longitud de mezcla y difusividad eddy.</li> <li>2.2.3. Analogía de Prandtl-Taylor</li> <li>2.2.4. Analogía de Von Karman</li> </ul> 2.3. Correlaciones para cálculo de coeficientes de transferencia de calor <ul style="list-style-type: none"> <li>2.3.1 Placas</li> <li>2.3.2 Tubos, flujo interno y flujo externo</li> <li>2.3.3 Aplicaciones especiales, serpentines y chaquetas</li> <li>2.3.4 Coeficientes para ebullición y</li> </ul>

		<p>condensación.</p> <p>2.4. Correlaciones para convección natural</p> <p>2.4.1 Concepto de Número de Grashoff</p> <p>2.4.2 Placas y tubos verticales a temperatura y calor constantes</p> <p>2.4.3 Tubos horizontales</p> <p>2.4.4 Esferas</p> <p>2.4.5 Ecuaciones simplificadas para aire</p>
3	Mecanismos de transferencia de masa	<p>3.1 Conceptos</p> <p>3.1.1 Concentraciones (masa, molar)</p> <p>3.1.2 Fracciones (masa, molar)</p> <p>3.1.3 Densidad de flujo (masa, molar)</p> <p>3.1.4 Velocidad media de flujo (masa, molar)</p> <p>3.1.5 Transporte molecular</p> <p>3.2 Difusión molecular</p> <p>3.2.1. Deducción de la Ley de Fick</p> <p>3.2.2. Diferentes equivalencias de la Ley de Fick</p> <p>3.2.3. Aplicación</p> <p>3.3 Estimación de la difusividad</p> <p>3.3.1 Modelos matemáticos</p> <p>3.3.2 Cálculos</p> <p>3.3.2.1 Cálculo de difusividades en mezclas binarias</p> <p>3.3.2.2 Cálculo de difusividades en multicomponentes</p> <p>3.3.2.3 Variación de la difusividad con la presión y la temperatura.</p>

4	Balance en sistemas coordenados	4.1. Condiciones límite 4.2. Balances de materia aplicados a una envoltura <ul style="list-style-type: none"> <li>4.2.1. Difusión a través de una película gaseosa</li> <li>4.2.2. Difusión con reacción química heterogénea</li> <li>4.2.3. Difusión con reacción química homogénea</li> <li>4.2.4. Difusión en una película líquida descendente</li> <li>4.2.5. Difusión y reacción química en el interior de un catalizador poroso</li> <li>4.2.6. Difusión en mezclas multicomponentes</li> </ul>
5	Transferencia Convectiva de Masa	5.1 Coeficientes de transferencia convectiva de masa <ul style="list-style-type: none"> <li>5.1.1 Tipos de coeficientes de transferencia de masa</li> <li>5.1.2 Coeficiente de transferencia de masa para contradifusión equimolar</li> <li>5.1.3 Coeficiente de transferencia de masa de A a través de B en reposo y no difusivo</li> <li>5.1.4 Coeficientes de transferencia de masa para diversas geometrías</li> <li>5.1.5 Analogías en la transferencia de masa, calor y momento</li> </ul> 5.2 Correlaciones <ul style="list-style-type: none"> <li>5.2.1 Transferencia de masa en flujo por tuberías</li> <li>5.2.2 Transferencia de masa para el flujo turbulento dentro de tuberías</li> <li>5.2.3 Transferencia de masa para el flujo en torres de pared húmeda</li> <li>5.2.4 Transferencia de masa de flujo paralelo a placas planas</li> <li>5.2.5 Transferencia de masa con flujo que pasa por esferas individuales</li> <li>5.2.6 Transferencia de masa en</li> </ul>

		<p>lechos empacados</p> <p>5.2.7 Transferencia de masa para flujo alrededor de cilindros sencillos}</p> <p>5.3. El estado inestable</p> <p>5.3.1. Difusión en una placa plana con resistencia superficial despreciable</p> <p>5.3.2. Difusión en estado no estacionario en diversas geometrías</p> <p>5.3.3. Relación entre los parámetros de transferencia de masa y calor</p> <p>5.3.4. Difusión en estado no estacionario en más de una dirección</p> <p>5.3.5. Métodos numéricos para difusión molecular en estado no estacionario</p>
6	Transferencia de Masa en la Interfase	<p>6.1. Concepto de equilibrio</p> <p>6.2. Solubilidad de gases en líquidos.</p> <p>6.3. Teoría de la doble película</p> <p>6.3.1 Coeficiente individual de transferencia de masa</p> <p>6.3.2 Coeficiente global de transferencia de masa</p> <p>6.3.3 Resistencia determinante en la difusión entre fases</p> <p>6.4 Aplicaciones</p>

## 6.- APRENDIZAJES REQUERIDOS

- Cálculo diferencial e integral.
- Ecuaciones diferenciales.
- Conceptos básicos de termodinámica.
- Balances de materia y energía.
- Programación.

## 7.- SUGERENCIAS DIDACTICAS

- Estimar mediante un examen diagnóstico el nivel de aprendizaje y comprensión de los conocimientos previos, con objeto de homogeneizarlos.
- Taller de solución de problemas de transferencia de masa.
- Realizar visitas a industrias que tengan equipo de transferencia de masa.
- Fomentar la investigación experimental y documental para la obtención de coeficientes de difusión de diversas mezclas binarias.
- Que se presenten trabajos en grupo para discusión de los conceptos que se aplican en el programa.
- Desarrollar software de aplicación para la solución de problemas de transferencia de masa.
- Realizar una recapitulación de los temas principales, al término de cada unidad

## 8.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

- Redacción de investigaciones documentales y experimentales.
- Redacción de visitas industriales realizadas durante el semestre.
- Participación activa durante el desarrollo del curso.
- Presentación de modelos y prototipos didácticos en concursos y exposiciones.
- Desarrollo de programas de computo en las tareas sugeridas.
- Evaluación escrita.

## 9.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

**Unidad 1.-** Balances de calor en sistemas en estado Transitorio, flujo unidireccional

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
El estudiante determinará el perfil de temperatura y el flujo de calor en sistemas sencillos al estado transitorio y unidireccional.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigar el Modulo de Biot y de Fourier y sus aplicaciones.</li><li>• Comprender el uso las Graficas de Heissler en la solución de problemas de transferencia de calor.</li><li>• Resolver problemas de transferencia en estado transitorio por métodos gráficos y numéricos.</li></ul>	1, 2, 3, 4, 7, 8

## Unidad 2.- Transferencia de interfase

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Comprenderá el concepto de capa límite térmica y la relación entre el coeficiente de película y el transporte de calor y momentum dentro de la capa límite.</p> <p>Deducirá ecuaciones para el cálculo del coeficiente de transferencia para la convección forzada y la convección natural.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar los conceptos de capa límite hidrodinámica y capa límite térmica.</li> <li>• Resolver por método aproximado las ecuaciones de capa límite para determinar el coeficiente de transferencia en placa plana y su relación con los números adimensionales en transferencia de calor.</li> <li>• Interpretar las analogías de Reynolds, Von Karman y Prandtl entre el flujo de fluidos y la transferencia del calor.</li> <li>• Investigar en la bibliografía las diferentes correlaciones para cálculo de coeficientes transferencia de calor en convección natural y convección forzada.</li> <li>• Solucionar problemas para diferentes sistemas que impliquen el cálculo de coeficientes de transferencia de calor.</li> </ul>	<p>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7</p>

## Unidad 3.- Mecanismos de transferencia de masa

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje	Fuentes de Información
<p>Interpretará los mecanismos de transferencia de masa y las leyes que los rigen.</p> <p>Deducirá y aplicará las ecuaciones de velocidad de rapidez de Fick.</p> <p>Interpretará los</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar y diferenciar los mecanismos de transporte de masa molecular y convectiva.</li> <li>• Explicar y deducir los diferentes tipos de concentraciones masa y molar.</li> <li>• Deducir las diferentes maneras de expresar las fracciones masa y molar.</li> <li>• Deducir las densidades de flujo masa y molar, así como, las diferentes velocidades de flujo masa y molar.</li> <li>• Conocer e identificar las interrelaciones de la masa de un sistema.</li> <li>• Interpretar la Ley de Fick.</li> <li>• Explicar y deducir la Ley de Fick que</li> </ul>	<p>1, 2, 3, 4, 5, 6, 7</p>



<p>modelos matemáticos para determinar los coeficientes de difusión en sus tres fases.</p>	<p>controla el transporte de masa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las formas equivalentes de la Ley de difusión de Fick.</li> <li>• Comprender las propiedades de la difusividad.</li> <li>• Comprender los mecanismos de difusión molecular.</li> <li>• Determinar los coeficientes de difusión binaria.</li> <li>• Determinar coeficientes de difusión gaseosa en mezclas múltiples.</li> <li>• Establecer correlaciones gráficas y analíticas que permitan obtener los coeficientes de difusión para gases, líquidos y sólidos.</li> <li>• Aplicar los modelos matemáticos a problemas de difusión.</li> </ul>	
--	--	--

#### Unidad 4.- Balance en sistemas coordenados

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
<p>Realizará balances de materia en un elemento diferencial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar las ecuaciones de cambio a sistemas.</li> <li>• Interpretar el significado de los términos en las ecuaciones de cambio.</li> <li>• Realizar balances de materia con reacción química.</li> <li>• Establecer las condiciones límite en el análisis diferencial de un elemento.</li> <li>• Aplicar el concepto de difusión molecular más convección en reacciones homogéneas y heterogéneas.</li> <li>• Enunciar los tipos de difusión de sólidos.</li> <li>• Definir el mecanismo de la difusión de gases de Knudsen.</li> <li>• Aplicar el concepto de difusión molecular de gases en sólidos poroso.</li> </ul>	<p>1, 2, 3, 4</p>

## Unidad 5.- Transferencia convectiva de masa

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
Definirá y aplicará el concepto de coeficiente de transferencia de masa.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definir el concepto de coeficiente de transferencia de masa.</li><li>• Aplicar el concepto de coeficiente de transferencia de masa en flujo laminar para contradifusión equimolar y para el flujo de A a través de B estacionario.</li><li>• Investigar métodos para determinar el coeficiente de transferencia de masa.</li><li>• Investigar los métodos para determinar el coeficiente de transferencia de masa en flujo turbulento.</li><li>• Aplicar los conceptos anteriores a problemas.</li></ul>	3, 4

## Unidad 6.- Balance en interfase

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
Establecerá los principios que definen los coeficientes de transferencia de masa locales y globales.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar balances de materia en interfase.</li><li>• Deducir los coeficientes de transferencia de masa a partir de correlaciones.</li><li>• Efectuar cálculos de coeficientes de transferencia de masa individuales y globales.</li><li>• Obtener modelos matemáticos para medir el tiempo de difusión en celdas de Arnold.</li><li>• Analizar el modelo matemático para medir el coeficiente de difusión en función del tiempo para celdas de Arnold.</li></ul>	3, 4

## **10.- FUENTES DE INFORMACIÓN**

1. Bird, R. B., Stewart, W. E. y Lightfoot, E. N. *Fenómenos de Transporte*. Reverté.
2. Welty, James R. , Wicks, Charles E. y Wilson, Robert E. *Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa*. Limusa.
3. Geankoplis, Christie J. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. CECSA.
4. Hines, C. Anthony y Maddox, N. Robert. *Transferencia de Masa*. Prentice – Hall.
5. Holoman, J. P. *Principios de Transferencia de Calor*. McGraw – Hill.
6. Incropera, F. P. & De Witt, D. P. *Fundamentos de Calor*. Prentice – Hall.
7. Kreith, F. & Bohn, M. S. *Principios de Transferencia de Calor*. Thompson Learning.
8. Kern, D. Q. *Procesos de Transferencia de Calor*. CECSA.

## **11.- PRÁCTICAS**

### **A realizarse en el laboratorio integral**

- 1 Determinación del perfil de temperaturas en estado transitorio.
- 2 Determinación de coeficientes de transferencia de masa.
- 3 Demostración de la Ley de Fick.
- 4 Determinación de la difusividad en líquidos.
- 5 Determinación de la densidad de flujo de masa en líquidos.
- 6 Práctica de campo.