

## 1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura: <b>Fenómenos de Transporte</b>
Carrera: <b>Ingeniería Bioquímica</b>
Clave de la asignatura: <b>BQC - 0512</b>
Horas teoría-horas práctica-créditos <b>4-2-10</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 Tuxtepec del 17 al 21 de Enero de 2005	Representantes de las academias de Ingeniería Bioquímica.	Reunión Nacional de Evaluación Curricular de la Carrera de Ingeniería Bioquímica.
Institutos Tecnológicos de La Celaya, Culiacán, Tehuacán, Tijuana. Abril del 2005	Academia de Ingeniería Bioquímica.	Análisis y enriquecimiento de las propuestas de los programas diseñados en la reunión nacional de evaluación
Instituto Tecnológico de Tepic del 25 al 29 de abril del 2005	Comité de Consolidación de la carrera de Ingeniería Bioquímica.	Definición de los programas de estudio de la carrera de Ingeniería Bioquímica.

### 3.- UBICACIÓN DE LA ASIGNATURA

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

Anteriores		Posteriores	
Asignaturas	Temas	Asignaturas	Temas
Matemáticas IV y V	Coordenadas curvilíneas, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales	Operaciones unitarias I, II, III	Fluidización, sedimentación, filtración, transporte de fluidos, evaporación, intercambiadores de calor, destilación, absorción, secado.
Termodinámica	Primera Ley de la Termodinámica	Ingeniería de Biorreactores	Agitación y mezclado, diseño de biorreactores, eficiencia de reacciones heterogéneas.
Balance de materia y energía	Balances de materia y energía	Ingeniería de Bioseparaciones	Adsorción
Métodos numéricos	Mínimos cuadrados, Métodos de solución de ecuaciones algebraicas no lineales		

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

- Establecer los fundamentos para diseñar, seleccionar, adaptar, operar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se utilicen de manera sostenible los recursos naturales.

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

Aplicará los fundamentos de análisis en los balances microscópicos de cantidad de movimiento calor y masa para la obtención e interpretación de modelos matemáticos en los procesos bioquímicos y obtener las propiedades del transporte mediante correlaciones.

## 5.- TEMARIO

1	Mecanismos de transporte molecular.	1.1 Enfoques de la Ingeniería y de la Física. Análisis macroscópico y microscópico de los sistemas. 1.2 Teoría de medio continuo. 1.3 Tipos de Transferencia. 1.3.1 Fuerzas impulsoras, fuerzas superficiales y fuentes volumétricas. 1.3.2 Leyes que las rigen y propiedades de transporte (viscosidad, conductividad térmica y difusividad). 1.3.3 Analogías existentes.
2	Transferencia de cantidad de movimiento.	2.1 Ley de Newton de la viscosidad. 2.2 Fluidos newtonianos y no newtonianos 2.2.1 Modelos reológicos. 2.2.2 Mediciones de propiedades reológicas. 2.3 Régimen de un fluido: Laminar y turbulento. Experimento de Reynolds. 2.4 Medición y estimación de viscosidad en gases y líquidos. 2.5 Ecuación de continuidad. 2.6 Ecuaciones de Navier-Stokes. 2.6.1 Deducción y uso de tablas en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas. 2.6.2 Cálculo de perfiles de velocidad en problemas de aplicación y su empleo en el diseño (velocidad promedio, número de Reynolds, flujo volumétrico, fuerza que ejerce un fluido sobre las paredes del sistema. entre otros).

## 5.- TEMARIO (Continuación)

3	Transferencia Interfacial de Cantidad de movimiento.	<ul style="list-style-type: none"><li>3.1 Turbulencia: Concepto y características.</li><li>3.2 Propiedades promedio: Descripción de modelos de turbulencia.</li><li>3.3 Teoría de capa límite. Perfiles de velocidad.</li><li>3.4 Flujo a través de medios porosos: Ley de Darcy, ecuación de Ergun, permeabilidad y porosidad.<ul style="list-style-type: none"><li>3.4.1 Fluidización.</li></ul></li><li>3.5 Factor de fricción en régimen laminar y turbulento.</li><li>3.6 Balance de energía mecánica.<ul style="list-style-type: none"><li>3.6.1 Deducción a partir de la primera Ley de la Termodinámica.</li><li>3.6.2 Metodología de diseño de sistemas de flujo de fluidos.</li></ul></li><li>3.7 Análisis dimensional.</li></ul>
4	Transferencia de calor.	<ul style="list-style-type: none"><li>4.1 Formas de transferencia de calor.</li><li>4.2 Ley de Fourier.</li><li>4.3 Conductividad térmica: Medición y estimación.</li><li>4.4 Balance microscópico de calor.<ul style="list-style-type: none"><li>4.4.1 Deducción y uso de tablas en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas.</li><li>4.4.2 Cálculo de perfiles de temperatura en problemas de aplicación. Condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann y Robins.</li><li>4.4.3 Introducción al estado dinámico</li></ul></li><li>4.5 Transporte en la interfase.<ul style="list-style-type: none"><li>4.5.1 Ley de enfriamiento de Newton.</li><li>4.5.2 Coeficiente convectivo de transferencia de calor. Correlaciones.</li><li>4.5.3 Análisis dimensional.</li></ul></li><li>4.6 Transferencia de calor por radiación: Ley de Stefan-Boltzmann.</li></ul>

## 5.- TEMARIO (Continuación)

5	Transferencia de Masa en sistemas binarios.	<p>5.1 Ley de Fick.</p> <p>5.2 Fuerzas impulsoras: Concentración, presión parcial, fracción masa y molar.</p> <p>5.3 Difusividad: Medición y estimación. Concepto de difusividad efectiva.</p> <p>5.4 Balance microscópico de masa para un componente en sistemas binarios.</p> <p>5.4.1 Deducción y uso de tablas en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas.</p> <p>5.4.2 Cálculo de perfiles de concentración en problemas de aplicación.</p> <p>5.4.3 Introducción al estado dinámico.</p> <p>5.5 Transferencia de masa interfacial.</p> <p>5.5.1 Modelo de transferencia convectiva de masa.</p> <p>5.5.2 Coeficiente de transferencia de masa, correlaciones y analogías (Reynolds, Chilton-Colburn).</p> <p>5.6 Introducción a los fenómenos acoplados y aplicaciones en los procesos bioquímicos.</p>
---	---	--

## 6.- APRENDIZAJES REQUERIDOS

- Cálculo diferencial e integral.
- Álgebra vectorial.
- Coordenadas curvilíneas.
- Ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales.
- Primera Ley de la Termodinámica.
- Balances macroscópicos de materia y energía.
- Métodos Numéricos

## **7.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS**

- Propiciar en el estudiante la participación en eventos académicos (Concursos de creatividad, congresos, entre otros).
- Realizar dinámicas grupales en las que se defiendan y discutan ideas, leyes, modelos y conceptos.
- Organizar talleres de resolución de problemas relacionados con cada uno de los temas del programa.
- Programar visitas a industrias con objeto de conocer físicamente equipos en donde exista transferencia de momentum, calor y masa.
- Emplear recursos audiovisuales como proyector digital y medios cibernéticos en el aula.
- Promover la discusión de artículos científicos apropiados, en donde se apliquen los fenómenos de transporte.
- Empleo de software apropiado (Excel, Matemática, MathCad, CFD, software local, entre otros) para la solución y análisis de problemas.
- Trabajos de investigaciones documentales y exposición de los mismos
- Seminarios impartidos por los estudiantes
- Elaborar un proyecto propio de la asignatura

## **8.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN**

- Trabajos de investigaciones documentales y exposición de los mismos
- Participación del estudiante durante el desarrollo del curso.
- Exámenes dentro y fuera del aula.
- Reportes de prácticas.
- Reportes de visitas a industrias.
- Seminarios impartidos por los estudiantes
- Presentación de un proyecto propio de la asignatura.
- Talleres de resolución de problemas
- Realización de problemas selectos.

## 9.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

### UNIDAD 1.- Mecanismos de transporte molecular.

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
El estudiante comprenderá los diferentes tipos de balance microscópico, su relación con los balances macroscópicos y su aplicación al diseño de procesos.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Explicar los enfoques de la ingeniería y de la Física para el tratamiento de problemas, con el uso de Internet en el aula.</li><li>• Explicar a través de seminarios en donde se analicen las transferencias de momentum, calor y masa, las leyes que las rigen y sus parámetros de transporte.</li><li>• Diseñar trabajos de investigación sobre las diversas aplicaciones de los fenómenos de transferencia.</li></ul>	1, 2, 5, 6, 10, 12

### UNIDAD 2.- Transferencia de cantidad de movimiento..

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
Aplicará el balance microscópico de cantidad de movimiento en el cálculo de perfiles de velocidad en diversos sistemas geométricos en régimen laminar.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la viscosidad de fluidos.</li><li>• Calcular la viscosidad de gases y líquidos mediante correlaciones generalizadas.</li><li>• Presentar un video referente a la medición de propiedades reológicas</li><li>• Implementar talleres de solución de problemas tipo como flujo de un fluido por el interior de un tubo, flujo a través de un medio poroso, fluido en un tanque cilíndrico, entre otros.</li><li>• Explicar físicamente con apoyo en fluidos modelo las diferencias entre un fluido newtoniano y el no newtoniano.</li><li>• Realizar un seminario sobre modelos reológicos y su importancia en la Ingeniería Bioquímica.</li></ul>	1, 2, 5, 10, 13

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las ecuaciones generales de cambio para formular la descripción matemática de problemas de transferencia de momentum. Explicar el significado físico de los términos involucrados en las ecuaciones generales de cambio.</li> <li>• Calcular, a partir de un balance de momentum, la distribución de velocidad, la velocidad máxima, la velocidad promedio, el flujo volumétrico y la fuerza ejercida sobre las paredes del sólido que limita al fluido en movimiento, en estado estable, en sistemas de geometría rectangular y cilíndrica, para los siguientes casos y similares: Flujo laminar en una película descendente, flujo laminar en un tubo entre otros.</li> </ul>	
--	---	--

**UNIDAD 3.-** Transferencia Interfacial de Cantidad de movimiento.

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
<p>Comprenderá los principios de la turbulencia, sus modelos de análisis y aplicará el enfoque de factor de fricción en el balance de energía mecánica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar el concepto de capa límite de velocidad.</li> <li>• Explicar la convección forzada de momentum mediante el concepto de la capa límite laminar.</li> <li>• Explicar el concepto de factor de fricción y sus aplicaciones.</li> <li>• Explicar la relación entre el factor de fricción y la capa límite laminar y turbulenta así como las variables que las afectan en términos del número de Reynolds.</li> <li>• Calcular factores de fricción a partir de correlaciones en las siguientes situaciones en flujo laminar y turbulento: Flujo sobre una placa, flujo en tubos y ductos no circulares, flujo en lechos empacados, entre otros.</li> </ul>	<p>1,2,5,10</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener y describir el significado de los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de momentum (Reynolds, Weber, Froude, Euler) mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio.</li> </ul>	
--	---	--

**UNIDAD 4.-** Transferencia de calor.

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
Comprenderá los principios del balance microscópico de energía y los aplicará en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar la conducción de calor y la Ley de Fourier y describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos.</li> <li>• Calcular la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos aplicando correlaciones generalizadas.</li> <li>• Implementar un seminario para deducir el balance microscópico de energía contemplando la conducción y convección de calor y discutir su importancia.</li> <li>• Organizar talleres para calcular, a partir de un balance de energía, el flujo conductivo de calor, unidireccional, en estado estable y dinámico, a través de sistemas de una pared y de paredes compuestas de geometría rectangular, cilíndrica y esféricas, con y sin fuentes volumétricas de calor con condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann y Robin.</li> <li>• Explicar la convección natural, la convección forzada y la ley de enfriamiento de Newton y emplear correlaciones para la estimación de <math>h_c</math> locales y globales.</li> </ul>	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de calor mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio.</li> <li>• Describir el significado físico de los principales números adimensionales de la transferencia de calor (números de Grashof, Prandtl, Péclet, Fourier, Nusselt, Biot, Stanton y el factor <math>j_H</math>).</li> <li>• Explicar la radiación de calor y la Ley de Stefan-Boltzman y sus aplicaciones.</li> </ul>	
--	--	--

**UNIDAD 5.-** Transferencia de Masa en sistemas binarios.

<b>Objetivo Educativo</b>	<b>Actividades de Aprendizaje</b>	<b>Fuentes de Información</b>
Comprenderá los principios del balance microscópico de masa tanto difusional como convectivo y los aplicará para la estimación de perfiles de concentración en diversos problemas de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar la difusión molecular y la ley de Fick.</li> <li>• Explicar el concepto de difusividad en mezclas binarias (coeficiente de difusión binario) y describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la difusividad en gases, líquidos y sólidos.</li> <li>• Calcular la difusividad de gases y líquidos mediante correlaciones generalizadas.</li> <li>• Explicar el concepto de difusividad efectiva de una sustancia en un medio multifásico (medio poroso).</li> <li>• Explicar la convección natural de masa inducida por altas concentraciones de un soluto.</li> <li>• Deducir el balance microscópico de masa para un componente "A" y explicar el significado físico de los términos involucrados en las ecuaciones generales de cambio.</li> </ul>	1, 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calcular a partir de un balance de masa, el flujo difusivo de masa unidireccional, contra-equimolar y contra-no-equimolar, en estado estable y dinámico, a través de medios homogéneos y heterogéneos (difusividad efectiva); en geometrías rectangulares, cilíndricas o esféricas, con y sin reacción química, empleando condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann o Robins.</li><li>• Explicar la convección forzada de masa y el coeficiente de transferencia de masa.</li><li>• Estimar los coeficientes de transferencia de masa local y promedio a partir de correlaciones y analogías entre las transferencias de momentum, calor y masa (analogías de Reynolds y de Chilton-Colburn).</li><li>• Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de masa mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio.</li><li>• Describir el significado físico de los principales números adimensionales de la transferencia de masa (números de Reynolds, Grashof de masa, Schmidt, Péclet de masa, Fourier de masa, Sherwood, Nusselt de masa, Biot de masa, Damköhler, Lewis, Stanton de masa, módulo de Thiele, factor <math>jD</math>).</li><li>• Realizar un seminario, en donde se describan y propongan los modelos matemáticos de diversos fenómenos acoplados como es el caso del secado, dinámica de cámaras frigoríficas y hornos, almacenamiento de granos, biorreactores con microorganismos</li></ul>	
--	--	--

	o enzimas inmovilizadas, entre otros. Apoyarse con artículos científicos <i>ad hoc</i> .	
--	--	--

## 10. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. *Transport Phenomena*, 2nd edition. N.Y: John Wiley & Sons, Inc. 2002.
2. Brodkey Robert S., Hershey Harry C. *Transport Phenomena: A Unified Approach*. USA: Mc. Graw-Hill.. 1988.
3. Lobo, R. *Principios de Transferencia de Masa*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.. 1997.
4. Hines, A. L., Maddox, R.N. *Transferencia de Masa: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 1987.
5. Christie J. Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles. Fourth* USA: Prentice Hall PTR. 2003.
6. Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, John P. O'Connell. *The Properties of Gases and Liquids*. 5 edition. USA: Mc. Graw-Hill Professional.. 2000.
7. Adrian Bejan. Allan D. Graus. *Heat Transfer Handbook*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2003.
8. Holman Jack P. *Heat Transfer*, 8a. USA: Mc. Graw-Hill. 1997.
9. Frank P. Incropera, David P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Edition. John Wiley & Sons Inc. 2002.
10. J. Welty, C.E. Wicks, R. E. Wilson, G. L. Rorrer. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 4<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons. Inc. 2001.
11. Treybal Robert E., *Operaciones de Transferencia de Masa* 2a. ed. México Mc.Graw-Hill. 1988.
12. James F. Steffe. *Rheological Methods in Food Engineering*. Second Edition. Freeman Press. 1992.
13. Richard G. Rice, Duong D. Do. *Applied Mathematics and Modeling for Chemical Engineers*. John Wiley & Sons, Inc. 1995.

## 11. PRÁCTICAS

- Caracterización reológica de un líquido biológico.
- Experimento de Reynolds
- Flujo laminar en el interior de un tubo
- Dinámica de calentamiento en un cuerpo biológico (e.g. una papa) y estimación de conductividad térmica.
- Medición de la difusividad en un sistema sólido-líquido, gas-gas.
- Utilización de software (MathCad, Excel, Slicer Dicer, software CFD, programas locales, entre otros) para la solución computacional y visualización de resultados.
- Medición de esfuerzo cortante y velocidad de corte en líquidos biológicos y obtención de modelos reológicos.
- Determinación de coeficiente de transferencia de calor.