

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Fenómenos de Transporte II
Carrera:	Ingeniería Bioquímica
Clave de la asignatura:	BQJ-1009
(Créditos) SATCA ¹	4-2-6

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

Los fenómenos de transporte consisten en la caracterización a nivel microscópico o diferencial en el interior de los sistemas, con lo que se consigue así una concepción integral de la Ingeniería Bioquímica en la medida en que se relaciona el comportamiento macroscópico de las operaciones unitarias con el comportamiento a nivel microscópico y molecular de las sustancias o componentes de la operación unitaria, como se requiere en el estudio del secado de productos biológicos, esterilización de alimentos, destilación, absorción de gases, etc. Esta concepción también ha sido incorporada a los procesos con reacción química o biológica, en donde el fenómeno de transporte (por ser la mayoría de las veces un proceso *lento*) afecta sustancialmente a la eficiencia de los biorreactores, principalmente en los que son de naturaleza multifásica como la fermentación en estado sólido, la biofiltración, fermentación sumergida con inmovilización de microorganismos o enzimas, biorreactores de membrana, de burbujeo, de lecho fijo de flujo ascendente, entre muchos otros.

Los principales balances microscópicos en la Ingeniería Bioquímica son los de cantidad de movimiento o momentum, calor y masa que permiten caracterizar la variación de la fuerza motriz asociada (gradientes de velocidades, temperaturas o de concentraciones, respectivamente) con respecto a coordenadas espaciales y al tiempo en los problemas dinámicos. La rapidez del flux (valor de Ψ) está determinada por los parámetros de transporte asociados a cada tipo de transferencia: viscosidad o parámetros reológicos para el transporte de cantidad de movimiento; conductividad térmica, coeficiente de transferencia de calor por convección y emisividad para el transporte de calor; difusividad y coeficiente convectivo de transferencia masa para el transporte de masa para una sustancia o componente *A* en sistemas binarios o multicomponentes.

En el caso de las transferencias de calor y de masa que son los temas de estudio de esta asignatura, se continúa realizando balances microscópicos de calor y de masa aplicando la metodología planteada en la asignatura de Fenómenos de Transporte I. En el caso del calor, se analizan las tres formas de transporte (conducción, convección (natural o forzada) y radiación), tomando en cuenta las fuentes volumétricas de generación de calor; mientras que en el transporte de masa, se estudia el transporte molecular (difusión) y el transporte asociado al movimiento global de un fluido (convección) considerando en su caso la generación de masa por reacción química. En síntesis, la asignatura de Fenómenos de Transporte II:

¹ Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

- Permite 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.
- Proporciona las herramientas para tener una descripción fenomenológica basada en leyes y principios de la Ingeniería, para efectuar el diseño termodinámico de equipos para la industria así como la comprensión del efecto de los fenómenos de transporte de calor y masa en la operación eficiente de los equipos.

Intención didáctica.

La asignatura de Fenómenos de Transporte II analiza los dos procesos de transferencia restantes que son: El transporte de calor y el transporte de masa que, junto con el transporte de cantidad de movimiento o momentum (analizado en el curso de Fenómenos de Transporte I) constituyen la base fundamental para la caracterización termodinámica de las operaciones unitarias y de las reacciones químico-biológicas que constituyen el diseño de bioprocesos.

La unidad 1 describe las diversas formas de transporte de calor (conducción, convección y radiación) junto con sus leyes gobernantes, teniendo en cuenta que en su deducción interviene el concepto de medio continuo que ha sido tratado en el curso de Fenómenos de Transporte I. Posteriormente se deduce la ley de Fourier para explicar el transporte conductivo o molecular de calor, en donde aparece la conductividad térmica k . Este parámetro de transporte puede estimarse por una serie de métodos compilados en la referencia 12. Posteriormente, se vuelve a utilizar la metodología descrita en Fenómenos de Transporte I para la aplicación de balances microscópicos de energía en diversos sistemas clásicos como calentamiento de paredes rectangulares y cilíndricas, esferas sumergidas en un fluido, entre otros. El análisis del estado dinámico requiere la solución de una ecuación diferencial parcial parabólica 1-D que se puede realizar por Transformada de Laplace o Separación de Variables, mientras que la solución de la ecuación de Laplace 2-D se puede realizar por separación de variables o usando diferencias finitas. La obtención de la ecuación general del balance microscópico de calor permite obtener las ecuaciones generales para la transferencia de calor en los tres sistemas de coordenadas estudiados por lo que el estudiante podrá decidir el método más adecuado (balance en elemento diferencial o uso de tablas) para resolver un problema, teniendo en mente que lo más importante es definir el sistema geométrico a estudiar junto con sus condiciones de frontera e iniciales y las consideraciones a utilizar en su solución.

La unidad 2 trata las dos formas de transferencia de calor restantes: la convección originada por gradientes de densidad o fuerzas mecánicas externas y la radiación mediante ondas electromagnéticas. La deducción de la Ley de Enfriamiento de Newton y la necesidad de especificar un coeficiente de transferencia de calor por convección h_c es esencial para explicar el transporte interfacial de calor. El parámetro h_c es muy difícil de estimarlo por métodos rigurosos por lo que se recurre al análisis dimensional y a las correlaciones para su estimación. En el caso del transporte de calor por radiación se puede desarrollar un seminario para explicar la deducción de la ley de Stefan-Boltzmann para apreciar sus implicaciones. Los ejemplos para ilustrar la radiación pueden ser el diseño de captadores solares, pérdidas de calor por radiación en hornos, entre otros.

La unidad 3 analiza una de las principales aplicaciones del transporte de calor por convección, que son los intercambiadores de calor (transferencia de calor sin transferencia de masa), en donde se describen sus diferentes tipos, las ecuaciones básicas para el diseño

termodinámico de los mismos. Los tipos más importantes de intercambiadores de calor son los de tubos y coraza empleados en la industria en general y los intercambiadores de placas, empleados principalmente en las industrias de alimentos y procesamiento de materiales biológicos.

La unidad 4 explica las características y modelación del transporte de masa por trayectoria molecular o difusional de una sustancia o componente A en un sistema binario (que posteriormente se puede extrapolar a sistemas multicomponentes). La deducción de la ley de Fick con la aparición de la difusividad D_{AB} . La modelación rigurosa de este parámetro de transporte es muy compleja por lo que se recurre a métodos experimentales y al uso de correlaciones (Ver referencia 12). A partir del balance de masa para el componente A en un elemento diferencial se analizan diversos problemas clásicos (difusión en una placa rectangular, difusión y reacción en diversas geometrías, difusión en un gas estancado, contradifusión, etc.), para obtener perfiles de concentración, concentraciones promedio y flujos másicos transferidos. A partir del balance de masa en un elemento diferencial cartesiano sin restricciones, se obtiene la ecuación general del balance microscópico de masa que será útil para abordar problemas más complejos. El estado dinámico (utilización de la ecuación de difusión también conocida como segunda ley de Fick) se puede resolver por estrategias similares a las de la unidad 1. El fenómeno difusión-reacción es esencial para comprender el mecanismo de reacciones heterogéneas típicas de la Ingeniería Bioquímica (Biofiltración, producción de celulasas por *Rhizopus nigricans* con micelio aglomerado (pellets), tratamiento de aguas residuales con biopelículas, etc), por lo que se estudia el módulo de Thiele y el factor de efectividad.

Por último, en la unidad 5 se analiza la segunda forma de transferencia de masa que es la convectiva, por lo que se requiere comprender la deducción de una ley análoga a la ley de Enfriamiento de Newton, que se conoce como ecuación de transferencia convectiva de masa que requiere de especificar un parámetro de transporte conocido como coeficiente convectivo de transferencia de masa k_c , cuya estimación también requiere de mediciones de laboratorio junto con el análisis dimensional y el uso de correlaciones para diversos sistemas geométricos y regímenes de flujo. En este punto es importante que el estudiante reconozca que la caracterización de los bioprocesos muchas de las veces, requiere la inclusión de dos o tres fenómenos de transporte de manera acoplada, por lo que, para establecer un nivel inicial de sofisticación para su análisis matemático, es necesario definir el fenómeno de transporte más importante.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar, seleccionar, adaptar, operar, controlar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se aprovechen de manera sustentable los recursos bióticos. • Deducir y utilizar las ecuaciones de los balances microscópicos de energía y de masa para un componente A en diversas sistemas gobernados por estas transferencias. 	<p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Capacidad de organizar y planificar • Comunicación oral y escrita • Manejo de software como hoja electrónica y lenguajes de programación • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes
--	---

<ul style="list-style-type: none"> • Realizar investigación científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería Bioquímica y difundir sus resultados. • Reconocer que el estudio de los fenómenos de transporte es fundamental para el diseño termodinámico de los bioprocesos. 	<p>diversas (Gestión de la información)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solución de problemas • Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad crítica y autocrítica • Trabajo en equipo • Habilidades interpersonales • Trabajo con ética y sustentabilidad. <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica • Habilidades de investigación • Capacidad de aprender • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) • Habilidad para trabajar en forma autónoma • Búsqueda permanente del logro • Habilidad para el autoaprendizaje cuando sea necesario. • Preocupación por la calidad
---	--

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Villahermosa. 7 al 11 de Septiembre de 2009	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tepic, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz, Villahermosa	Reunión nacional de Diseño e innovación curricular de la carrera de Ingeniería Bioquímica
Instituto Tecnológico de Tepic. 14 de septiembre de 2009 al 5 de Febrero de 2010	Academias de Ingeniería Química y Bioquímica y de Ciencias Básicas	Análisis, enriquecimiento y elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la carrera de Ingeniería Bioquímica
Instituto Tecnológico de Celaya. 8 al 12 de febrero de 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz,	Reunión Nacional de Consolidación de la carrera de ingeniería Bioquímica

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
	Villahermosa.	

5.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO

- Comprender y aplicar balances microscópicos de calor y de masa en diversos sistemas.
- Determinar perfiles de temperatura en sistemas con transferencia de calor las temperaturas promedio y los flujos de calor transferidos.
- Determinar perfiles de concentración en sistemas con transferencia de masa, las concentraciones promedio, flujos másicos transferidos
- Cuantificar las cantidades de masa y calor en balances microscópicos y macroscópicos.
- Diseñar sistemas de intercambio de calor.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Aplicar la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica.
- Realizar Balances de Materia y Energía.
- Aplicar métodos numéricos para la solución de ecuaciones algebraicas y diferenciales.
- Aplicar el concepto de límite de funciones.
- Aplicar los sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas.
- Usar tablas y gráficas de datos termodinámicos.
- Aplicar balances microscópicos de cantidad de movimiento tanto por el principio fundamental del cálculo como con el uso de tablas de ecuaciones de continuidad y de balance de momentum.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Transferencia de calor por conducción	1.1. Generalidades del transporte de calor por conducción, convección y radiación. Aplicaciones 1.2. Ley de Fourier, medición y estimación de conductividad térmica en gases, líquidos y sólidos. 1.3. Balances microscópicos de calor en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas. Estado permanente y transitorio. 1.4. Dedución de la ecuación general del balance microscópico de energía. Uso de tablas de ecuaciones. Problemas de aplicación. 1.5. Transferencia de calor bidimensional. Ecuación de Laplace y de Poisson. Uso de diferencias finitas.
2	Transferencia de calor por convección y radiación	2.1. Transferencia de calor en la interfase. Ley de enfriamiento de Newton. 2.2. Convección forzada. Coeficientes de transferencia de calor, medición y

		<p>estimación. Flujo laminar y turbulento. Convección natural. Coeficientes de transferencia de calor, medición y estimación.</p> <p>2.3. Transferencia de calor con cambio de fase.</p> <p>2.4. Transferencia de calor por radiación. Espectro electromagnético, concepto de cuerpo negro y gris. Ley de Stefan-Boltzmann, emisividad.</p>
3	Intercambiadores de calor	<p>3.1. Balance microscópico de energía, conceptos de temperatura global y diferencia media logarítmica de temperaturas. Intercambiadores de tubos concéntricos.</p> <p>3.2. Intercambiadores de calor de tubos y coraza. Eficiencia.</p> <p>3.3. Intercambiadores de calor de placas.</p> <p>3.4. Calentamiento de líquidos en tanques agitados</p> <p>3.5. Diseño termodinámico de intercambiadores de calor</p> <p>3.6. Condensadores, calentadores, calderas.</p>
4	Transferencia de masa difusional	<p>4.1. Mecanismos de transferencia de Masa. Fuerzas impulsoras en sistemas binarios. Aplicaciones</p> <p>4.2. Ley de Fick, medición y estimación de difusividad en gases, líquidos y sólidos.</p> <p>4.3. Balance microscópico de masa. en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas. Estado permanente y transitorio.</p> <p>4.4. Deducción de la ecuación general de balance microscópico de masa para un componente A. Uso de tablas.</p> <p>4.5. Difusión y reacción. Módulo de Thiele, factor de efectividad en reacciones heterogéneas.</p>
5	Transferencia de masa por convección	<p>5.1. Transferencia de masa en la Interfase.</p> <p>5.2. Coeficiente de transferencia de masa, medición y estimación.</p> <p>5.3. Analogías para estimar k_c: Reynolds, Chilton-Colburn, factores J_H y J_D.</p> <p>5.4. Transporte de masa en medios porosos y multifásicos. Coeficiente volumétrico de transferencia de masa $k_{l,a}$</p> <p>5.5. Introducción a los procesos acoplados en la ingeniería Bioquímica</p>

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

El profesor o facilitador del curso de Fenómenos de Transporte II debe poseer un amplio conocimiento del estado del arte inherente a la transferencia de calor y de masa y sus aplicaciones y, de preferencia, realizar investigación asociada a los fenómenos de transporte en la ingeniería Bioquímica. Este soporte académico, junto con su experiencia docente servirán de manera sinérgica para favorecer la adquisición de las competencias específicas enunciadas en el programa de estudios, fomentar tanto el trabajo en equipo como el esfuerzo individual y practicar y fomentar con el ejemplo las diversas competencias genéricas que forman el perfil profesional del ingeniero. Algunas de las estrategias sugeridas para estos fines son:

- Organizar talleres de resolución de problemas relacionados con cada uno de los temas del programa, empleando computadora.
- Realzar las diversas aplicaciones que tiene el análisis del transporte de calor y de masa en el campo de la Ingeniería Bioquímica: Calentamiento y enfriamiento de fluidos, destilación, secado, extracción sólido-líquido, biorreactores de burbujeo, biofiltración, biocatálisis, entre otros ejemplos.
- Ubicar la asignatura dentro de un contexto integrador del conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes que forman el título de Ingeniero Bioquímico, utilizando mapas conceptuales.
- Fomentar durante todo el curso, la visión integradora de los conocimientos, habilidades y aptitudes para la solución de problemas de la práctica de la Ingeniería Bioquímica.
- Emplear recursos audiovisuales como computadora, proyector digital e Internet, usando presentaciones, videos, búsqueda de información, recursos en línea, prototipos, entre otros.
- Promover la lectura y discusión de artículos científicos apropiados, en donde se apliquen los fenómenos de transporte de calor y de masa
- Utilización de software apropiado (Excel, Mathematica, MathCad, CFD, Engineering Equation Solver, software local, software libre (Open Office), recursos en línea, entre otros) para el análisis y solución de problemas.
- Elaboración de trabajos de investigaciones documentales y exposición ejecutiva de los mismos
- Seminarios de temas puntuales impartidos por los estudiantes con una duración de 15-20 minutos, en donde se aprecie la calidad de la presentación, la expresión oral y corporal y la defensa del tema
- Búsqueda, exhibición y análisis de videos y animaciones existentes en Internet relacionadas con transferencia de calor y de masa. entre otros temas afines
- Propiciar en el estudiante la participación en eventos académicos (Concursos de creatividad, congresos, semanas académicas, entre otros) para fomentar el interés por la investigación y el desarrollo de proyectos.
- Relacionar constantemente los contenidos de esta asignatura con las otras asignaturas del plan de estudios a las que les proporciona soporte (Operaciones Unitarias, Ingeniería de Biorreactores, Ingeniería de Procesos) para desarrollar en el estudiante una visión integral e interdisciplinaria que fortalezca sus competencias. Ejemplos: Comprender los fenómenos de transporte acoplados en diversas operaciones unitarias (secado, calentamiento o enfriamiento de fluidos, esterilización de alimentos), caracterizar el proceso difusión-reacción en microorganismos inmovilizados, en la operación de un biofiltro, la fermentación en estado sólido, uso de biopelículas en tratamiento de aguas residuales, entre otros, teniendo en mente que, en muchos casos reales, los fenómenos de transporte ocurren de manera acoplada.
- Mediante talleres en donde se analicen casos de estudio de libros, artículos científicos o de Internet, en donde coexistan más de un fenómeno de transporte, inferir los diversos

niveles de sofisticación para su análisis, mencionando que fenómeno de transporte es el más importante para estudiar el sistema.

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación deber hacerse de manera cotidiana armonizando la evaluación de diversos aspectos enunciados a continuación con la reglamentación vigente.

- Trabajos de investigación en donde se evalúa la calidad del contenido, pertinencia y presentación del mismo, de preferencia en formato digital.
- Exámenes dentro y fuera del aula. Algunos de los exámenes pueden ser con consulta de material bibliográfico y uso de computadora, para apreciar la capacidad del estudiante para búsqueda e integración de información específica.
- Participación del estudiante durante el desarrollo del curso.
- Sesiones de preguntas y respuestas profesor-estudiante, estudiante-estudiante.
- Seminarios de temas selectos impartidos por los estudiantes
- Presentación y defensa de un proyecto propio de la asignatura.
- Talleres de resolución de problemas por equipos de trabajo.
- Planteamiento de problemas selectos cuya resolución (opcional) acreditará puntos extra a la evaluación en turno.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Transferencia de calor por conducción

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender los principios del balance microscópico de energía por conducción y aplicarlos en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería. • Aplicación de métodos analíticos o numéricos para la solución de las ecuaciones gobernantes del balance microscópico de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar mediante videos la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, • Explicar mediante videos o animaciones el experimento que condujo a la deducción de la Ley de Fourier y describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos. • Explicar el concepto de conductividad térmica efectiva aplicable a medios porosos. • Calcular la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos aplicando diversas correlaciones y efectuar comparaciones entre ellas. • Paricipar en seminarios para deducir el balance microscópico de energía contemplando la conducción y convección de calor y discutir su importancia y generalización a cualquier sistema de coordenadas ortogonales. • Participar en un seminario donse se

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
	<p>presente el concepto de aleta de enfriamiento, su modelación y aplicaciones. Discutir el concepto de eficiencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Participar en 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 o esférica, con y sin fuentes volumétricas de calor con condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann y Robin. • Utilizar software (Comsol Multiphysics, Excel, Surfer MatLab) para la construcción de isotermas en la solución del problema de transporte 2-D de calor por conducción y apreciar el efecto de diversas condiciones de frontera.

Unidad 2: Transferencia de calor por convección

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender los principios del balance microscópico de energía por convección y aplicarlos en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería. • Aplicar la técnica de análisis dimensional para deducir los principales grupos adimensionales relacionados con la transferencia convectiva de calor • Aplicar la ley de Stefan-Boltzmann para calcular el flux de calor transferido por radiación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar mediante videos o animaciones la convección natural, la convección forzada y la ley de enfriamiento de Newton • Emplear correlaciones para la estimación de h_c locales y globales para diversos sistemas geométricos, tanto en régimen laminar como turbulento. • Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de calor mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio. • Participar en seminarios para discutir la importancia de caracterizar la transferencia de calor en sistemas bifásicos como un sistema de biofiltración, almacenamiento refrigerado de frutas, esterilización de alimentos enlatados, entre otros. • 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 jH). • Estimar coeficientes de transferencia de calor en procesos de ebullición y condensación.

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar la radiación de calor y la Ley de Stefan-Boltzmann y sus aplicaciones. • En seminario, explicar la deducción de la ley de Stefan-Boltzmann • Discutir el principio de funcionamiento de un recipiente diseñado para conservar el calor y el frío (termo) y como puede mejorarse su diseño.

Unidad 3: Intercambiadores de calor

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los conceptos de transferencia de calor al diseño de intercambiadores de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar áreas de transferencia de calor y longitudes de tubos en sistemas simples de transferencia de calor. • Concluir a partir de videos o fotografías acerca del funcionamiento de los diversos tipos de intercambiadores de calor. • Describir el uso de los intercambiadores de calor y exponer el uso de los intercambiadores de calor en la industria • Usando videos o fotografías describir el funcionamiento de condensadores, reboilers y calderas y sus aplicaciones • A partir de casos de estudio, calcular áreas de transferencia, coeficientes globales de transferencia de calor, calor transferido y necesidades energéticas en el intercambiador de calor seleccionado. • En seminario, discutir cómo se aprovechan de manera eficiente la energía térmica (corrientes frías y calientes) en la industria. Introducción a las redes de intercambiadores de calor.

Unidad 4: Transferencia de Masa Difusional

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender los principios del balance microscópico de masa por difusión molecular y aplicarlos para la estimación de perfiles de concentración en diversos problemas de ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar la difusión molecular y la ley de Fick, usando videos o animaciones, Reflexionar sobre la conveniencia de explicar el transporte de masa con este modelo, en lugar de la simulación a nivel molecular. • Explicar el concepto de difusividad en

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
	<p>mezclas binarias (coeficiente de difusión binario) y describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la difusividad en gases, líquidos y sólidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcular la difusividad de gases y líquidos mediante correlaciones generalizadas y comparar su grado de predictibilidad y sus rangos de validez • Explicar el concepto de difusividad efectiva de una sustancia en un medio multifásico (medio poroso). • Explicar la convección natural de masa inducida por altas concentraciones de un soluto. • 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. • Calcular a partir de un balance de masa, el flujo difusivo de masa unidireccional, en estado estable y dinámico, a través de medios homogéneos o heterogéneos (difusividad efectiva); en geometrías rectangulares, cilíndricas o esféricas, con y sin reacción química, empleando condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann o Robin. • Diseñar gráficas o animaciones para explicar el transporte de masa difusivo en estado dinámico 1-D o en estado permanente en 2-D. Comparar soluciones analíticas con numéricas

Unidad 5: Transferencia de Masa por Convección

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> • Comprender los principios del balance microscópico de masa convectivo y aplicarlos para la estimación de perfiles de concentración en diversos problemas de ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimento y condiciones para la transferencia de masa en la interfase. Teoría de película y ecuación de transferencia de masa (analogía con la ley de enfriamiento de Newton) • Explicar la convección natural de masa inducida por altas concentraciones de un soluto. • Explicar la convección forzada de masa y el coeficiente de transferencia de masa.

	<ul style="list-style-type: none"> • 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). • Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de masa mediante el análisis dimensional de la ecuación de balance microscópico. • 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 jD). • En seminario, explicar las ventajas de caracterizar sistemas multifásicos usando un coeficiente volumétrico de masa (k_a). Aplicaciones en el diseño de biorreactores. • Realizar un seminario, en donde se describan y propongan los modelos matemáticos de diversas operaciones unitarias en donde ocurren fenómenos acoplados como es el caso del secado, dinámica de cámaras frigoríficas y hornos, almacenamiento de granos, biorreactores con microorganismos o enzimas inmovilizadas, entre otros. Apoyarse con artículos científicos <i>ad hoc</i>.
--	--

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Bejan, A. Allan D. Graus. *Heat Transfer Handbook*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2003.
2. Bird, R. B., Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. *Transport Phenomena*, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2002.
3. Brodkey Robert S., Hershey Harry C. *Transport Phenomena: A Unified Approach*. USA: Mc. Graw-Hill. 1988.
4. Geankoplis, C.J. *Transport Processes and Separation Process Principles. Fourth* USA: Prentice Hall PTR. 2003.
5. Hines, A. L., Maddox, R.N. *Transferencia de Masa: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 1987.
6. Holman Jack P. *Heat Transfer*, 8a. USA: Mc. Graw-Hill. 1997.
7. Incropera, F. P., DeWitt, D.P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Edition. John Wiley & Sons Inc. 2002.
8. Kreyszig, E. *Advanced Engineering Mathematics*. 9th edition. John Wiley and Sons Inc. International Edition. Singapore. 2006.

9. Lobo, R. *Principios de Transferencia de Masa*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.. 1997.
10. McCabe, W., Smith, J., Harriott, P. *Unit Operations of Chemical Engineering*. 7th edition. Mc Graw-Hill Book Co. 2004.
11. Ochoa-Tapia, A. *Métodos Matemáticos Aplicados a la Ingeniería Química*. Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. UAM-Iztapalapa. 2004.
12. Poling, B. Prausnitz, J. M., O'Connell, J.O. *The Properties of Gases and Liquids*. Fifth edition. USA: Mc. Graw-Hill Professional.. 2000.
13. Richard G. Rice, Duong D. Do. *Applied Mathematics and Modeling for Chemical Engineers*. John Wiley & Sons, Inc. 1995.
14. Spiegel, M.R. *Manual de Fórmulas y Tablas de Matemática Aplicada*. 3^a edición. McGraw-Hill Book. Co. México. 2005.
15. Treybal Robert E., *Operaciones de Transferencia de Masa* 2a. ed. México Mc.Graw-Hill. 1988.
16. Welty, J., C.E. Wicks, R. E. Wilson, G. L. Rorrer. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 4th edition. John Wiley & Sons. Inc. 2001.
17. Welty, J., Wicks, C.E., Wilson, R.E., Rorrer, G.L. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 5th edition. John Wiley & Sons. Inc. 2007.
18. Fuentes de Internet. Nota: se consideran como fuentes serias de información en Internet a los sitios web de universidades e instituciones de educación superior de prestigio, centros de investigación (no comercial), organismos gubernamentales tanto nacionales como internacionales y organismos sin fines de lucro.
19. Artículos de revistas científicas: *Industrial Chemical Engineering Research, Revista Mexicana de Ingeniería Química, Int. J. Heat & Mass Transfer, Process Biochemistry, Journal of Food Engineering*, entre otros.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Determinación experimental de conductividades térmicas de diversos materiales.
- Estimación de la difusividad de glucosa en un material vegetal, por medición de la concentración de glucosa en el líquido vs tiempo y la posterior comparación (usando método de mínimos cuadrados) con el modelo matemático.
- Determinación experimental de coeficientes de transferencia de calor por convección.
- Dinámica de calentamiento en un cuerpo biológico (por ejemplo 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, Tecplot, COMSOL mutiphysics, software CFD, programas locales, entre otros) para la solución computacional y visualización de resultados.
- Simulación del efecto difusión-reacción en un microorganismo inmovilizado en un soporte orgánico, usando Excel y cálculo del módulo de Thiele y factor de efectividad.