



## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Fenómenos de Transporte
<b>Clave de la asignatura:</b>	BTF-1412
<b>Créditos (SATCA):</b>	3-2-5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Biotecnología

## 2. Presentación

### Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Biotecnología la capacidad para analizar los fenómenos involucrados con los sistemas de transporte de cantidad de movimiento, calor y masa en estado estable bajo condiciones de flujo unidireccional, y le proporciona las bases para diseñar, seleccionar, operar, optimizar y controlar procesos de transferencia en plantas industriales y aporta las bases para la comprensión y aplicación en el diseño de los procesos que durante la formación profesional se estudiarán.

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 en Biotecnología 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, entre otros. 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.

La asignatura comprende el balance en los tres mecanismos de transferencia que son: Transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa a nivel microscópico, usando elementos diferenciales de los sistemas más comunes en coordenadas rectangulares, cilíndricas y esféricas. Por ejemplo: la película descendente, flujo a través de ductos y canales; flujo de calor en placas simples y compuestas, tubos y esferas; y flujo másico en película estancada o descendente y en la interface, entre otros.

### Intención didáctica

El temario se encuentra organizado en cinco temas, en el primer tema se inicia con una visión global de los fenómenos de transporte de momento, calor y masa, continuando con los conceptos básicos que requieren la adecuada comprensión del transporte de cantidad de momento (fluido, cantidad de movimiento, hipótesis del medio continuo, esfuerzo). La explicación del concepto de esfuerzo (cortante y normal) requiere de la habilidad del profesor para la comprensión de este concepto por su naturaleza tensorial (tres orientaciones para cada dirección espacial, lo que resulta en 9 componentes), para que el estudiante comprenda las restricciones físicas y geométricas de los casos de estudio que se van a tratar en clase para empezar a resolver problemas unidireccionales (1-D). Posteriormente se describe el experimento clásico del fluido entre dos placas paralelas para la obtención de la versión escalar de la Ley de Newton, en donde se aprecia que el Flux (esfuerzo cortante) es proporcional a un gradiente de

velocidades e inversamente proporcional a la distancia, regido por el parámetro de transporte que es la viscosidad del fluido.

Con la descripción del experimento de Reynolds se establece el concepto de régimen de un fluido (laminar, transición y turbulento) y que los modelos y casos de estudio se harán primero en régimen laminar. La manera cuantitativa de establecer el régimen de un fluido está dada por el número de Reynolds, por lo que se sugiere la elaboración de diversos ejercicios para su estimación, haciendo énfasis que el rango de laminar-turbulento depende del sistema geométrico analizado y de las propiedades reológicas del fluido.

La ley de Newton de la viscosidad conlleva a describir el comportamiento esfuerzo cortante vs velocidad de corte para definir a los fluidos newtonianos y los no newtonianos. En el caso de fluidos newtonianos existen en la literatura muchos métodos reportados para estimar viscosidad a partir de otras propiedades termodinámicas más fundamentales, por lo que se sugiere abordar inicialmente los métodos clásicos para estimar viscosidad en gases como los de Chapman-Enskog y la teoría de Eyring para el caso de la estimación de viscosidad en líquidos.

Con esta base de conocimientos, se podrá iniciar con el tema 2 con los balances de velocidad de cantidad de movimiento (aplicación microscópica de la segunda ley de Newton) en problemas con sistemas geométricos clásicos como el flujo entre dos placas paralelas y el flujo por el interior de un tubo, haciendo énfasis de que el transporte viscoso es el que prevalece en el sistema analizado, ya que el transporte convectivo de cantidad de movimiento solamente será importante en fluidos compresibles, movimiento multidireccional del fluido o cambios de área normal a la dirección del fluido.

Con el perfil de velocidad obtenido se podrá derivar una serie de propiedades útiles en el diseño de sistemas de transporte de fluidos como: Velocidad máxima, velocidad promedio, número de Reynolds, flujo volumétrico, fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes del ducto que lo contiene, entre otras. Posteriormente se puede abordar el análisis de flujo en estado transitorio o dinámico, tomando como casos de estudio el experimento que dio origen a la deducción de la ley de Newton de la viscosidad y al flujo por el interior de un tubo bajo un gradiente de presión cuya solución está dada en términos de funciones de Bessel.

Por último, con el balance de masa global en un elemento de volumen de fluido en coordenadas cartesianas, se obtiene la ecuación de continuidad, mientras que un balance de cantidad de movimiento sin considerar restricciones, originará las ecuaciones de balance microscópico de momento, que se reducen, para el caso de fluidos newtonianos de densidad y viscosidad constantes a las ecuaciones de Navier-Stokes, que serán útiles para la solución de problemas más complejos en los tres sistemas de coordenadas principales (cartesianas, cilíndricas y esféricas) y cualquier otro sistema de coordenadas ortogonales.

En este punto, el estudiante debe reconocer para un problema en específico, que es más conveniente, si aplicar el balance usando un elemento diferencial apropiado o la utilización de las ecuaciones de Navier-Stokes.

En el tema de turbulencia, se recomienda iniciar con videos de flujos turbulentos para explicar la importancia de su modelación y poder apreciar las características de un flujo turbulento (formación de remolinos y efectos de retromezclado). A partir de la consideración de velocidad promedio, es posible sustituir este concepto en las ecuaciones de Navier-Stokes para obtener las ecuaciones de momento para régimen turbulento, originándose un término extra que se conoce como *Esfuerzos de Reynolds*, el cual tiene una dependencia no solo de las propiedades del fluido sino también del flujo por lo que, a la fecha, no existe un modelo riguroso para definir los esfuerzos de Reynolds (y dar *cerradura (closure)* al problema), sino que existen una serie de modelos aproximados, entre los más sencillos que han sido utilizados en el diseño en Ingeniería (teoría de capa límite, factor de fricción) hasta los más complejos, que requieren solución numérica y que son objeto de estudio de la Dinámica Computacional de Fluidos. Debe tenerse en mente que ambas concepciones aplicadas en una situación específica deberían producir soluciones similares.

En este punto es necesario explicar el procedimiento para hacer cálculos de diseño en sistemas de transporte de fluidos tanto en la vertiente laminar como en la turbulenta, haciendo hincapié que el factor de fricción en este régimen debe determinarse experimentalmente (o resolver el problema por Dinámica Computacional de Fluidos). Lo anterior conlleva a la definición de factor de fricción y su dependencia (teórica) del número de Reynolds en régimen laminar o su dependencia (experimental) del número de Reynolds y de comportamiento hidráulico del ducto (pared lisa o rugosa) en el régimen turbulento. En este punto, la técnica del análisis dimensional podrá explicar la definición del factor de fricción, resaltando las diversas correlaciones para estimarlo tanto para fluidos newtonianos como no newtonianos.

En el tercer tema, por aplicación de un balance de fuerzas en un elemento de volumen de fluido que circula por el interior de un tubo y la posterior integración de la ecuación resultante, darán el balance de energía mecánica para transporte de fluidos isotérmicos, que se empleará en el diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos. Si no se considera el efecto de pérdidas por transporte viscoso, se obtiene la conocida ecuación de Bernoulli. En el balance de energía mecánica aparece el término de "*sumatoria de pérdidas de energía*" que contiene a los efectos del factor de fricción de Fanning, los ensanchamientos y contracciones bruscas de la tubería y las pérdidas de energía causadas por la presencia de diversos accesorios en la tubería. En este punto se podrá hacer diseño termodinámico al calcular potencia de la bomba requerida para impulsar el fluido, flujo volumétrico, velocidad promedio, diámetro de la tubería, entre otros parámetros de diseño que tienen como base el estudio del transporte de momento y las propiedades reológicas de los fluidos. El profesor debe estimular que el estudiante extrapole este conocimiento para aplicarse en otros sistemas geométricos como transporte de gases, agitación, mezclado y almacenamiento de fluidos, entre otros, para favorecer la adquisición de las competencias específicas asociadas.

Por otra parte, el estudio del flujo de fluidos a través de medios porosos ha adquirido una importancia creciente en función de las diversas aplicaciones en los bioprocesos como: biorreactores de lecho fijo y fluidizado, biorreactores de burbujeo, tratamientos de aguas residuales, secado y almacenamiento de granos u otros materiales biológicos, procesos de difusión y reacción en biopelículas, biofiltración, entre otros. La ecuación de cantidad de movimiento característica de estos medios bifásicos es la ley de Darcy o alguna de sus modificaciones (corrección de Brinkman, que incluye un término viscoso) o la ecuación de Forchheimer que también incluye un término inercial (convectivo). En este tema se revisan las aplicaciones importantes del medio poroso como el transporte de un fluido a través de un lecho fijo o fluidizado, analizando sus principales propiedades como porosidad, permeabilidad, caída de presión, flujo volumétrico, factores de fricción.

El tema 4 describe las diversas formas de transporte de calor (conducción, convección y radiación) junto con sus leyes gobernantes. 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.

En este tema además se analizan 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.

El tema 5 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  $DAB$ . La modelación rigurosa de este parámetro de transporte es muy compleja por lo que se recurre a métodos experimentales y al uso de correlaciones. 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, contra difusión, 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).

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de El Llano de Aguascalientes, del 9 al 12 de diciembre de 2013.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Altiplano de Tlaxcala, Celaya, Colima, El Llano Aguascalientes, Hermosillo, Mérida, Reynosa, Superior de Álamo Temapache, Toluca y Veracruz.	Reunión Nacional De Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología.
Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 13 de diciembre de 2013 al 3 de marzo de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de:  El Llano Aguascalientes y Altiplano de Tlaxcala	Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para la Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales de Ingeniería en Biotecnología.
Instituto Tecnológico de El Llano de Aguascalientes, del 4 al 7 de marzo de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Altiplano de Tlaxcala, Celaya, Colima, CRODE Celaya, El Llano Aguascalientes, Hermosillo, Mérida, Reynosa, Superior de Álamo Temapache, Toluca, Veracruz y CIBIOGEM.	Reunión Nacional de Consolidación del Programas en Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 4 al 7 de diciembre de 2018	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: El Llano Aguascalientes, Celaya y Purísima del Rincón.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de; Ingeniería Aeronáutica, Ingeniería en Minería, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Biotecnología del Tecnológico Nacional de México.
---	--	--

#### 4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia específica de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>Deduce y resuelve los balances microscópicos de cantidad de movimiento para efectuar el diseño en sistemas de transporte de fluidos.</li> <li>Utiliza las ecuaciones de variación de momento (Ecuación de continuidad, Ecuaciones de esfuerzos y ecuaciones de Navier-Stokes) en la obtención de los modelos diferenciales asociados a diversos sistemas en donde interviene el movimiento de fluidos.</li> <li>Aplica el balance de energía mecánica para efectuar el diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos.</li> <li>Determina el flujo de masa o volumétrica, el flujo de calor, densidad de flujo de masa, perfiles de velocidad, de temperatura y concentración en sistemas aplicando los conceptos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa y utilizando los balances correspondientes.</li> <li>Determina la viscosidad, conductividad y difusividad en sistemas con transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa utilizando las correlaciones y gráficas correspondientes.</li> </ul>

#### 5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> <li>Resuelva problemas de diferenciación e integración de funciones.</li> <li>Aplica las operaciones del álgebra vectorial.</li> <li>Comprende y aplica los sistemas de coordenadas cartesianas y cilíndricas.</li> <li>Aplica el concepto de límite de funciones.</li> <li>Resuelve ecuaciones diferenciales ordinarias tanto con valores iniciales como con valores en la frontera.</li> <li>Aplica los conceptos de la primera y segunda ley de la termodinámica.</li> <li>Realiza balances macroscópicos de materia y energía.</li> <li>Aplica los conceptos de concentración, fracción másica y molar.</li> </ul>
---

#### 6. Temario

No.	Nombre de temas	Subtemas
1	Balances microscópicos de cantidad de movimiento	<p>1. Mecanismos de transferencia de momento, calor, masa</p> <p>1.1 Balance microscópico en un volumen de control. Condiciones de frontera típicas.</p> <p>1.1.1 Empleo del principio fundamental del cálculo y procesos de transferencia de momento, calor y masa.</p> <p>1.1.2 Concepto de densidad de flujo o Flux.</p> <p>1.1.3 Hipótesis de medio continuo.</p> <p>1.2 Cantidad de movimiento</p> <p>1.2.1 Esfuerzo y deformación de un fluido.</p> <p>1.3 Ley de Newton de la viscosidad.</p>

		<p>1.3.1 Deducción, definición y dimensiones.</p> <p>1.3.2 Concepto de viscosidad</p> <p>1.4 Régimen de un fluido (Experimento de Reynolds).</p> <p>1.4.1 Régimen laminar, transición y turbulento.</p> <p>1.4.2 Número de Reynolds.</p> <p>1.5 Fluidos newtonianos y no newtonianos.</p> <p>1.6 Estimación de viscosidad en gases y líquidos</p>
2	Análisis en flujo laminar y turbulento	<p>2.1 Obtención de perfiles de velocidad y de esfuerzo cortante en un fluido contenido entre placas planas</p> <p>2.2 Obtención de perfiles de velocidad en un fluido que se transporta por el interior de un tubo.</p> <p>2.3 Introducción al estado dinámico.</p> <p>2.4 Deducción de las ecuaciones de variación: Ecuación de continuidad, ecuaciones de Navier-Stokes. Ley de Newton generalizada.</p> <p>2.6 Turbulencia: Definición, características, propiedades promedio. Modelos de turbulencia.</p> <p>2.7 La teoría de capa límite.</p>
3	Ecuación de energía mecánica y sus aplicaciones	<p>3.1 La Ecuación General de Energía Mecánica en sistemas isotérmicos. Deducción y características. Ecuación de Bernoulli.</p> <p>3.2 Cálculo de las pérdidas por fricción y trabajo necesario para transportar un fluido en tuberías. Pérdidas de energía por la presencia de accesorios y/o cambios bruscos en la sección transversal de la tubería.</p> <p>3.3 Flujo en lechos empacados fijos. Medio poroso. Ley de Darcy, concepto de permeabilidad.</p> <p>3.4 Fluidización. Conceptos, curva característica, caída de presión. Transporte neumático. Aplicaciones.</p>
4	Transferencia de calor por conducción, convección y radiación	<p>4.1 Generalidades del transporte de calor por conducción, convección y radiación.</p> <p>4.1.1 Calor y gradiente de temperatura</p> <p>4.1.2 Resistencia y conductividad térmica</p> <p>4.2 Ley de Fourier, medición y estimación de conductividad térmica en gases, líquidos y sólidos.</p> <p>4.3 Balances microscópicos de calor en coordenadas cartesianas y cilíndricas. Estado permanente y transitorio.</p> <p>4.4 Deducción de la ecuación general del balance microscópico de energía. Problemas de aplicación.</p> <p>4.5 Transferencia de calor bidimensional. Ecuación de Laplace y de Poisson.</p> <p>4.6 Ley de enfriamiento de Newton.</p> <p>4.7 Convección forzada. Coeficientes de transferencia de calor, medición y estimación. Flujo laminar y turbulento. Convección natural. Coeficientes de transferencia de calor, medición y estimación.</p> <p>4.8 Transferencia de calor por radiación. Espectro electromagnético, concepto de cuerpo negro y gris.</p>
5	Transferencia de masa	<p>5.1 Introducción a la transferencia de masa</p> <p>5.1.1 Densidad de flujo (masa, molar)</p> <p>5.1.2 Velocidad media de flujo (masa, molar)</p>



		<p>5.2. Mecanismos de transferencia de Masa. Fuerzas impulsoras en sistemas binarios. Aplicaciones</p> <p>5.3. Ley de Fick</p> <p>5.3.1 Medición y estimación de difusividad en gases, líquidos y sólidos.</p>
--	--	--

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

Tema 1. Balances Microscópicos de cantidad de movimiento	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Competencias específicas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende los diferentes tipos de fenómenos de transferencia y sus analogías.</li> <li>Deduce la ley de Newton de la Viscosidad y conceptualizar a la viscosidad como el parámetro de transporte de momento.</li> <li>Estima la viscosidad de gases y líquidos usando correlaciones y otras propiedades básicas del fluido problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicar el principio de los mecanismos de transferencia y definir la analogía entre la transferencia de momento, calor y masa.</li> <li>Ilustrar con una animación la fase dinámica de los patrones de velocidad en el problema que da origen a la ley de Newton.</li> <li>Utilizar un prototipo (un cubo, por ejemplo) para ilustrar los diversos esfuerzos que puede estar sujeto un elemento diferencial del fluido.</li> <li>Hacer una visita a una industria local para apreciar en el proceso observado la influencia de los fenómenos de transporte, particularmente el de cantidad de movimiento.</li> <li>Realizar búsquedas en Internet de videos acerca del experimento de Reynolds y el artículo original de Osborne Reynolds y los discutan en clase.</li> <li>Investigar las diversas correlaciones para determinar la viscosidad en líquidos, gases y mezclas y sus criterios de validez.</li> <li>Estimar la viscosidad de gases a baja y alta densidad, líquidos y mezclas y compararlas con los valores experimentales reportados.</li> <li>Construir en Excel o lenguaje de programación algoritmos seleccionados para la estimación de viscosidad en gases y líquidos.</li> </ul>
Tema 2. Análisis en flujo Laminar y Turbulento	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplica el balance microscópico de cantidad de movimiento para obtener perfiles de velocidad en diversas situaciones en donde intervenga el movimiento de un fluido.</li> <li>Calcula, usando como punto de partida, el perfil de velocidad, velocidad máxima, flujo volumétrico, flujo másico, velocidad promedio, fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes que están en contacto con el fluido, número de Reynolds, en diversos sistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construir en Excel un simulador sencillo del flujo de un fluido por el interior de un tubo, graficando su perfil de velocidad, apreciando el efecto de la variación del radio, de la caída de presión de la viscosidad, entre otros.</li> <li>Exponer en seminario la metodología de solución de problemas complejos como flujo de la ley de la Potencia en tubos concéntricos.</li> <li>Explicar mediante diapositivas la deducción del balance microscópico de cantidad de movimiento, su generalización en notación vectorial, la obtención de las ecuaciones de Navier-Stokes y su desarrollo en sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas,</li> <li>Usando las ecuaciones de Navier-Stokes, obtener las ecuaciones diferenciales de cantidad de movimiento para diversos casos</li> </ul>

<p>geométricos clásicos de movimiento de fluidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece las características de un flujo turbulento</li> <li>• Describe la metodología del diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos</li> <li>• • Calcula el factor de fricción (analítica o numéricamente, según corresponda) en el flujo de fluidos.</li> </ul>	<p>en 1-D y 2-D. Por ejemplo: obtener las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento para un fluido que circula por una tobera y analizar las consideraciones hechas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emplear videos o animaciones disponibles en Internet para explicar las propiedades flujo turbulento.</li> <li>• Usando diapositivas diseñadas convenientemente, explicar la obtención de las ecuaciones modificadas de Navier-Stokes para régimen turbulento, haciendo hincapié en el término de los esfuerzos de Reynolds y las diversas maneras para estimarlo para dar cerradura al problema.</li> <li>• Hacer una investigación sobre las diversas correlaciones que existen para estimar el factor de fricción de Fanning y la manera experimental de calcularlo.</li> </ul>
Tema 3. Ecuación de Energía Mecánica y sus aplicaciones	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseña termodinámicamente un sistema de transporte de un fluido en una tubería simple o compuesta.</li> <li>• Explica las características del flujo de un fluido a través de un medio poroso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir un simulador en Excel para estimar la potencia de la bomba requerida para impulsar un flujo volumétrico conocido de un fluido newtoniano, a través de una serie de tramos de tubería. Discutir cómo sería rediseñado el simulador para calcular el flujo volumétrico producido por una bomba de potencia conocida.</li> <li>• Hacer una presentación con diapositivas sobre la ingeniería de detalle de los sistemas de conducción de fluidos como: calibres normalizados de tubería, tipos de válvulas y otros accesorios como coples, bridas, niples, codos, entre otros; tipos de bombas, materiales de construcción de los tubos.</li> <li>• Discutir cómo se puede extrapolar la información anterior para el diseño de sistemas de mezclado y/o almacenamiento de fluidos.</li> <li>• Hacer una reseña histórica de la obtención de la Ley de Darcy (propuesta por el ingeniero francés Henri Darcy en 1857).</li> <li>• Discutir el problema de flujo newtoniano a través de un medio poroso empleando la ley de Darcy con la corrección de Brinkman.</li> <li>• Hacer un experimento demostrativo del efecto de la permeabilidad sobre el flujo. Probeta llena con diversos medios porosos por la cual se deja fluir agua con un colorante.</li> <li>• Utilizar un video o una animación para explicar los diversos estadios de la fluidización.</li> <li>• Discutir las aplicaciones de la fluidización como el secado de chicharos, biorreactores de lecho fluidizado.</li> <li>• Efectuar una investigación sobre las diversas maneras publicadas para estimar la permeabilidad de un medio poroso y como puede medirse experimentalmente.</li> </ul>



Tema 4. Transferencia de calor por conducción, convección y radiación	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende los principios del balance microscópico de energía por conducción y aplicarlos en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería.</li> <li>Aplica métodos analíticos o numéricos para la solución de las ecuaciones gobernantes del balance microscópico de calor.</li> <li>Comprende los principios del balance microscópico de energía por convección y aplicarlos en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería.</li> <li>Aplica la técnica de análisis dimensional para deducir los principales grupos adimensionales relacionados con la transferencia convectiva de calor</li> <li>Aplica la ley de Stefan-Boltzmann para calcular el flux de calor transferido por radiación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicar mediante videos la transferencia de calor por conducción, convección y radiación.</li> <li>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.</li> <li>Explicar el concepto de conductividad térmica efectiva aplicable a medios porosos.</li> <li>Calcular la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos aplicando diversas correlaciones y efectuar comparaciones entre ellas.</li> <li>Participar 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.</li> <li>Participar en un seminario donde se presente el concepto de aleta de enfriamiento, su modelación y aplicaciones.</li> <li>Discutir el concepto de eficiencia.</li> <li>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.</li> <li>Explicar mediante videos o animaciones la convección natural, la convección forzada y la ley de enfriamiento de Newton</li> <li>Emplear correlaciones para la estimación de <math>h_c</math> locales y globales para diversos sistemas geométricos, tanto en régimen laminar como turbulento.</li> <li>Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de calor mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio.</li> <li>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.</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>Estimar coeficientes de transferencia de calor en procesos de ebullición y condensación.</li> <li>Explicar la radiación de calor y la Ley de Stefan-Boltzmann y sus aplicaciones.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>En seminario, explicar la deducción de la ley de Stefan-Boltzmann</li> <li>• Discutir el principio de funcionamiento de un recipiente diseñado para conservar el calor y el frío (termo) y como puede mejorarse su diseño.</li> </ul>
<b>Tema 5. Transferencia de Masa</b>	
<b>Competencias</b>	<b>Actividades de aprendizaje</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprende los principios del balance microscópico de masa por difusión molecular y aplicarlos para la estimación de perfiles de concentración en diversos problemas de ingeniería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</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 y comparar su grado de predictibilidad y sus rangos de validez</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> <li>• 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.</li> </ul>

## 8. Prácticas

<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución analítica y numérica de la ecuación de transporte dinámico de un fluido newtoniano por el interior de un tubo. Comparación entre ambas soluciones y analizar el efecto de variación de diversos parámetros como la caída de presión, radio del tubo, viscosidad sobre los patrones de velocidad.</li> <li>Medición de viscosidad en fluidos newtonianos (jarabes a baja concentración) y evaluación de la dependencia de la temperatura y concentración y construcción de modelos matemáticos.</li> <li>Medición de esfuerzo cortante vs velocidad de corte en fluidos no newtonianos y cálculo de parámetros reológicos. Ley de la Potencia, Modelo de Herschel-Bulkley</li> <li>Determinación experimental de conductividades térmicas de diversos materiales.</li> <li>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.</li> <li>Determinación experimental de coeficientes de transferencia de calor por convección.</li> <li>Medición de la difusividad en un sistema sólido-líquido, gas-gas.</li> </ul>
---

- 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.

## 9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que plantee el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la meta cognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

## 10. Evaluación por competencias (específicas y genéricas de la asignatura)

- Problemario Saber referencia a los conocimientos y aplicación de conceptos fundamentales de los fenómenos de transporte. Evaluado mediante una rúbrica.
- Simulación Saber hacer solución numérica de ecuaciones de transporte y estimación de parámetros, Evaluado con un mapa funcional.
- Portafolio de evidencias.... Referencia al trabajo desarrollado durante cada tema que incluye reportes de revisiones bibliográficas, solución de ejemplos, entre otros. Evaluado con una rúbrica
- Evaluación mediante examen escrito.
- Informes de visitas a empresas y/o centros de investigación

## 11. Fuentes de información

- Bird, R. B., Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. 2002. Transport Phenomena, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Brodkey Robert S., Hershey Harry C. 1988. Transport Phenomena: A Unified Approach. USA: Mc. Graw-Hill.
- Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, John P. O'Connell. 2000. The Properties of Gases and Liquids. 5th edition. USA: Mc. Graw-Hill Professional.
- Christie J. Geankoplis. 2003. Transport Processes and Separation Process Principles. Fourth USA: Prentice Hall PTR.
- Hines, A. L., Maddox, R.N. *Transferencia de Masa: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 1987.
- Kreyszig, E. Advanced Engineering Mathematics. 9th edition. 2006. John Wiley and Sons Inc. International Edition. Singapore.
- Poling, B. Prausnitz, J. M., O'Connell, J.O. *The Properties of Gases and Liquids*. Fifth edition. USA: Mc. Graw-Hill Professional.. 2000.



- Treybal Robert E., Operaciones de Transferencia de Masa 2a. ed. México Mc.Graw- Hill. 1988.
- Welty, J., Wicks, C.E., Wilson, R.E., Rorrer, G.L. 2007 Fundamentals of Momento, Heat, and Mass Transfer. 5 edition. John Wiley & Sons. Inc.