

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Fenómenos de Transporte I
Clave de la asignatura:	BQJ-1008
SATCA¹:	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Bioquímica

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, 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.

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.

La materia de fenómenos de transporte I pertenece al grupo de ciencias de la ingeniería,

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

fundamentada en ciencias básicas como son las Matemáticas, Física y Termodinámica, por lo que se imparte en el segundo tercio de la malla curricular, lo que la presenta como antecedente de otras asignaturas como: Fenómenos de transporte II y las operaciones Unitarias.

Esta asignatura está conformada por cuatro unidades de aprendizaje distribuidas de la siguiente manera: En el caso de la transferencia de cantidad de movimiento (momentum), que es el tema principal de estudio de esta asignatura, se efectúan balances microscópicos de velocidad de cantidad de movimiento (tanto viscoso como convectivo), tomando en cuenta las fuerzas superficiales (presión) y las fuerzas volumétricas (gravedad o fuerza centrífuga) lo que, en otras palabras, es una expresión diferencial de la segunda ley de Newton. Al resolver las ecuaciones diferenciales obtenidas, se obtienen perfiles de esfuerzo(s) y de velocidad(es) en el fluido. A partir de estas expresiones se puede obtener: Velocidad promedio, flujo volumétrico, fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes del ducto que lo contiene, número de Reynolds, flujo másico total, pérdidas de energía por transporte viscoso, entre otras, que son necesarias para el diseño de sistemas de transporte de fluidos. 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

El curso consta de cuatro unidades en las que se desarrolla los elementos necesarios para la aplicación de los balances microscópicos de cantidad de movimiento o momentum para el estudio de las operaciones unitarias relacionadas con transporte y almacenamiento de fluidos. Como pieza clave en el desarrollo de la Ingeniería Bioquímica, las matemáticas proveen un enlace riguroso, sistemático y cuantitativo entre los fenómenos a nivel microscópico y el diseño de procesos por lo que en la Unidad 1 inicia con una visión global de los fenómenos de transporte de momentum, calor y masa, continuando con los conceptos básicos que requieren la adecuada comprensión del transporte de cantidad de movimiento (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_escalara de la Ley de Newton, en donde se aprecia que la

densidad de flujo de cantidad de movimiento (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. Estos últimos son objeto de estudio de la Reología, por lo que existen diversos modelos que explican el comportamiento no newtoniano (Ley de la Potencia, Herschel-Bulkley, Casson, Ellis, y Bingham, entre otros), resaltando que la mayoría de los fluidos de origen biológico exhiben comportamiento no newtoniano.

En la caracterización reológica de fluidos se describen los diversos sistemas para medir viscosidad (viscosímetros) aplicables a fluidos newtonianos y los aparatos empleados para evaluar fluidos no newtonianos (reómetros) y el uso de los datos experimentales para obtener, mediante mínimos cuadrados, los valores de los parámetros del modelo reológico propuesto. En el caso de fluidos newtonianos existen en la literatura muchos métodos reportados para estimar viscosidad a partir de otras propiedades termodinámicas 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. Es recomendable que algunos otros métodos sean abordados por los estudiantes a manera de seminarios.

Con esta base de conocimientos, se podrá iniciar 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. 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 cantidad de movimiento, 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 tres se recomienda iniciar con imágenes 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 cantidad de movimiento 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.

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 en 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 y la construcción del diagrama de Moody.

En el tema cuatro, 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 y diámetro de la tubería, entre otros parámetros de diseño que tienen como base el estudio del transporte de cantidad de movimiento y las propiedades reológicas de los fluidos. El profesor debe promover 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, y 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.

En este punto, el estudiante ha descubierto y adquirido una serie de competencias que le servirán de base para la asignatura de Fenómenos de Transporte II (estudio de los balances microscópicos de calor y de masa para un componente A), Operaciones Unitarias y los cursos de Ingeniería posteriores, a la vez que el estudiante ha reforzado su capacidad analítica e integradora del conocimiento.

En el transcurso de las actividades programadas, es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda cabalmente que está construyendo su carrera y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía. Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos con su quehacer en el aula ya que el curso exige capacidad de abstracción y de pensamiento analítico para poder comprender los temas involucrados, particularmente los relacionados al esfuerzo (cortante y normal), la velocidad de deformación o de corte y las formas de transferencia de cantidad de movimiento (viscoso que se relaciona con los esfuerzos (τ_{ij} y convectivo que se relaciona con la cantidad de movimiento global del fluido ($\rho v_i v_j$) y el manejo matemático básico de estos conceptos ya que son tensores de segundo orden.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico de Villahermosa del 7 al 11 de septiembre de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tepic, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería Química e Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Instituto Tecnológico de Celaya del 8 al 12 de febrero de 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de Carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería Química e Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Instituto Tecnológico de Villahermosa, del 19 al 22 de marzo de 2013.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Acayucan, Calkiní, Celaya, Colima, Culiacán, Durango, Irapuato, La Paz, La Región Sierra, Los Ríos, Mazatlán, Mérida, Misantla, Morelia, Tijuana, Tuxtepec, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Villahermosa.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería en Industrias Alimentarias e Ingeniería Química, del SNIT.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> • Deduce y resuelve los balances microscópicos de cantidad de movimiento para efectuar el diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos • Caracteriza reológicamente diversos fluidos biológicos para el diseño de sistemas de transporte de fluidos. • Utiliza la ecuación de continuidad y la ecuación de movimiento, para la obtención de los modelos diferenciales asociados a diversos sistemas en donde interviene el flujo de fluidos. • Aplica el balance de energía mecánica para efectuar el diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos.

- Reconoce que el estudio de los fenómenos de transporte es fundamental para el diseño termodinámico de los bioprocesos.

5. Competencias previas

- Comprende y aplica los sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas para analizar sistemas.
- Realiza balances macroscópicos de materia para dar soporte al balance de cantidad de movimiento
- Emplea el concepto de derivada como la herramienta que estudia y analiza la variación de una variable con respecto a otra para la formulación de modelos matemáticos en el análisis del flujo de fluidos.
- Soluciona e interpreta ecuaciones diferenciales ordinarias para evaluar los modelos dinámicos que se presentan en su área de ingeniería.
- Aplica la primera y segunda ley de la Termodinámica para dar soporte a la ecuación de energía mecánica.
- Aplica los métodos numéricos para resolver problemas de ingeniería relacionados al transporte de cantidad de movimiento.
- Usa software o lenguajes de programación para el planteamiento y resolución de problemas.

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Fundamentos del transporte de cantidad de movimiento	1.1 Procesos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. Concepto de densidad de flujo. 1.2 Hipótesis de medio continuo. Concepto y propiedades de un fluido, presión estática e hidrostática. Cantidad de movimiento, esfuerzo y deformación. 1.3 Ley de Newton de la viscosidad. Deducción, definición y dimensiones. Concepto de viscosidad. 1.4 Experimento de Reynolds. Regímenes y tipos de flujo. Número de Reynolds. 1.5 Fluidos newtonianos y no newtonianos. Reología. 1.6 Modelos reológicos. Viscosidad aparente. 1.7 Caracterización reológica y estimación

		de parámetros de modelos reológicos. 1.8 Estimación de viscosidad en gases y líquidos.
2	Análisis en flujo laminar	2.1 Ecuación general del balance de cantidad de movimiento. Condiciones de frontera. 2.2 Obtención de perfiles de velocidad y de esfuerzo cortante en un fluido contenido entre placas planas paralelas. 2.3 Obtención de perfiles de velocidad en un fluido que se transporta por el interior de un tubo de sección circular. 2.4 Problemas diversos de transporte de un fluido, en régimen laminar, tanto con fluidos newtonianos como no newtonianos 2.5 Introducción al estado dinámico. 2.6 Deducción de las ecuaciones de variación: ecuación de continuidad y ecuación de movimiento 2.7. Aplicaciones de las ecuaciones de variación.
3	Análisis en flujo turbulento	3.1 Turbulencia: definición, características, propiedades promedio. 3.2 Modelos de turbulencia. Dinámica computacional de fluidos. 3.3 Metodología del diseño de sistemas de transporte de fluidos 3.4 La teoría de capa límite. Ecuación de Von- Karman para tubos lisos. 3.5 Definición de factor de fricción de Fanning. 3.6 Análisis dimensional. Teorema de Buckingham. 3.7 Factor de fricción para flujo en conducciones hidráulicamente lisas o rugosas. 3.8 Factor de fricción en otros sistemas geométricos.
4	La ecuación general de energía mecánica y sus aplicaciones	4.1 La ecuación general de energía mecánica en sistemas isotérmicos. Deducción y características. Ecuación de Bernoulli. 4.2 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

		<p>en la sección transversal de la tubería.</p> <p>4.3 Flujo en lechos empacados fijos. Medio poroso. Ley de Darcy, concepto de permeabilidad. Ecuación de Ergun.</p> <p>4.4 Fluidización. Conceptos, curva característica, caída de presión. Transporte neumático. Aplicaciones.</p>
--	--	---

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Fundamentos del transporte de cantidad de movimiento	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza los diferentes tipos de fenómenos de transferencia para visualizar sus similitudes • Deduce la ley de Newton de la viscosidad para entender la relación entre la velocidad de corte y el esfuerzo cortante en fluidos simples • Caracteriza reológicamente un fluido para conocer su comportamiento de flujo • Estima la viscosidad de gases y líquidos, usando correlaciones y otras propiedades, del fluido problema, para su uso posterior en el diseño de procesos. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza y sintetiza • Soluciona problemas • Aplica los conocimientos teóricos en la práctica 	<ul style="list-style-type: none"> • Deducir la ley de Newton de la Viscosidad y conceptualizar a la viscosidad como el parámetro de transporte de cantidad de movimiento • Caracterizar reológicamente un fluido • Estimar la viscosidad de gases y líquidos usando correlaciones y otras propiedades del fluido problema. • Explicar el principio de los mecanismos de transferencia y definir la analogía entre la transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. • Utilizar un prototipo (un cubo por ejemplo) para ilustrar los diversos esfuerzos que puede estar sujeto un elemento diferencial del fluido. • 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 (flujo en tuberías). • Realizar búsquedas en Internet de videos acerca del experimento de

Reynolds y el artículo original de Osborne Reynolds y los discutan en clase.

- Investigar los diferentes tipos de fluidos no newtonianos y sus modelos matemáticos (plástico de Bingham, pseudoplásticos, dilatante, tixotrópicos, reopéticos y viscoelásticos) y relacionarlos con diversos fluidos biológicos.
- Investigar y discutir tablas con valores publicados de parámetros reológicos de fluidos biológicos (alimentos entre otros).
- Elaborar diversas formulaciones publicadas para diversos fluidos no newtonianos y que sean presentadas in situ para su apreciación y discusión.
- Investigar las diversas correlaciones para determinar la viscosidad en líquidos, gases y mezclas y sus criterios de validez.
- Estimar la viscosidad de gases a baja y alta densidad, líquidos y mezclas y compararlas con los valores experimentales reportados. Construir en Excel o lenguaje de programación algoritmos seleccionados para la estimación de viscosidad en gases y líquidos.

Análisis en flujo laminar	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica el balance microscópico de cantidad de movimiento, junto con un modelo reológico del fluido, para obtener perfiles de velocidad en diversos sistemas en donde intervenga el movimiento de un fluido. • Deduce las expresiones matemáticas del perfil de velocidad, velocidad máxima, flujo volumétrico, flujo másico, velocidad promedio y fuerza que ejerce el fluido sobre las paredes que están en contacto con el fluido, para diversos sistemas geométricos clásicos de movimiento de fluidos. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza y sintetiza • Soluciona problemas • Aplica los conocimientos teóricos en la práctica 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar comparaciones de resultados en el flujo de un fluido por el interior de un tubo, cuando se emplean los modelos de la Ley de Newton, Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley. • 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. • Exponer en seminario la metodología de solución de problemas complejos como flujo de la ley de la Potencia en tubos concéntricos. • Obtener la ley de Hagen-Poiseuille modificada para otros sistemas geométricos y/o reologías del fluido y comparar con la ecuación original. • 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. • Usando las ecuaciones de Navier-Stokes, obtener las ecuaciones diferenciales de cantidad de movimiento para diversos casos 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.
Análisis en flujo turbulento	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establece las características de un flujo turbulento para distinguirlo del flujo laminar • Domina la metodología del diseño termodinámico de sistemas de transporte de fluidos para aplicarla en casos específicos • Calcula el factor de fricción (analítica o numéricamente, según corresponda) en el flujo de fluidos, para aplicarlo en la solución de problemas específicos <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza y sintetiza • Soluciona problemas • Aplica los conocimientos teóricos en la práctica 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear videos o animaciones para explicar las propiedades de flujo turbulento. • Usando diapositivas, 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. • Presentar y discutir el diagrama del factor de fricción en función del número de Reynolds para sistemas de fluidos, teniendo en cuenta el comportamiento reológico y el régimen. • Realizar experimentos demostrativos de flujo de fluidos en régimen turbulento o utilizar demos disponibles en Internet. • Presentar un seminario sobre análisis dimensional y los métodos disponibles (Método de Rayleigh y Teorema Pi) para hallar los principales grupos adimensionales que caracterizan al flujo de un fluido por el interior de un tubo. • Hacer una investigación sobre las diversas correlaciones que existen para estimar el factor de fricción de Fanning y la manera experimental de calcularlo.

La ecuación de energía mecánica	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseña termodinámicamente, un sistema de transporte de un fluido en una tubería simple o compuesta, para conocer los requerimientos de potencia. • Conoce las características del flujo de un fluido a través de un medio poroso, para entender sus aplicaciones ingenieriles <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza y sintetiza • Soluciona problemas • Aplica los conocimientos teóricos en la práctica 	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • 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. • Discutir cómo se puede extrapolar la información anterior para el diseño de sistemas de mezclado y/o almacenamiento de fluidos. • Hacer una reseña histórica de la obtención de la Ley de Darcy (propuesta por el ingeniero francés Henri Darcy en 1857). • Discutir el problema de flujo newtoniano a través de un medio poroso empleando la ley de Darcy con la corrección de Brinkman. • Utilizar un video o una animación para explicar los diversos estadios de la fluidización. • Discutir las aplicaciones de la

	fluidización como el secado de chicharos y biorreactores de lecho fluidizado, entre otros
--	---

8. Prácticas recomendadas

1. Comportamientos y modelos reológicos. Tema 1
2. Viscosimetría de tubo capilar. Tema 2
3. Viscosimetría de caída. Tema 2
4. Viscosimetría rotacional. Tema 2
5. Factor de fricción. Tema 3
6. Determinación de la potencia requerida en una instalación hidráulica. Tema 4

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé 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 metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

- Evaluación teórica escrita de cada uno de los temas
- Evaluación del aprendizaje basado en problemas asociados a cada uno de los temas mediante aprendizaje colaborativo (trabajo en equipo).
- Exposición de temas selectos.
- Reporte de prácticas (saber-hacer).
- Evaluación mediante el aprendizaje basado en proyectos (proyecto final en equipo que asocie los aprendizajes de cada uno de los temas, y aplicación de las ecuaciones y/o modelos deducidos a lo largo del curso).
- Evaluación formativa continua

11. Fuentes de información

1. Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2006). Transport Phenomena. John Wiley & Sons, Inc.
2. Brodkey R. S., Hershey H. C. (1988). Transport Phenomena: A Unified Approach. USA: Mc. Graw-Hill.
3. Geankoplis, C. J. (2006). Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación. CECSA.
4. Green, D., & Perry, R. (2007). Perry's Chemical Engineering Handbook. McGraw-Hill Professional.
5. McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). Unit Operations of Chemical Engineering. McGraw-Hill Higher Education.
6. Steffe, J.F. (1996). Rheological Methods in Food Process Engineering. Second Edition. Freeman Press.
7. Singh, P. (2008). Introduction to Food Engineering. Academic Press
8. Singh, P. (2006). Virtual Experiments in Food Processing. Second Edition. Research Teaching Home.
9. Welty, J., Wicks, C. E., Rorrer, G. L., & Wilson, R. E. (2010). Fundamentals of Momentum, Heat and Mass. Mc Graw Hill.
10. Página WEB: RPSingh.com