

PROGRAMA DE FENÓMENOS DE TRANSPORTE

Carrera: Ingeniería en Alimentos

Asignatura: Fenómenos de Transporte

Núcleo al que pertenece: Superior Obligatorio II

Docentes: Ing. Enrique Verdecia - Dr. Juan Francisco Delgado

Prerrequisitos obligatorios: Termodinámica y Cálculo Avanzado.

Objetivos

Se espera que quienes cursen la asignatura:

- Comprendan y dominen los principios básicos de los mecanismos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia que controlan la velocidad de los procesos y operaciones unitarias.
- Apliquen correctamente las herramientas de análisis del transporte de cantidad de movimiento y del flujo de fluidos al estudio de problemas de importancia en ingeniería.
- Utilicen los balances y las ecuaciones de las leyes de transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia en la interpretación de fenómenos de importancia industrial y el diseño de equipos.

Contenidos mínimos

Análisis dimensional. Mecánica de fluidos: Fluidos newtonianos y no newtonianos. Flujo viscoso, laminar y turbulento. Flujo de fluidos compresibles. Transferencia de calor, Mecanismos: conducción, convección y radiación. Convección natural y forzada. Radiación, leyes de Planck y de Stefan-Boltzmann. Transferencia de materia: coeficiente de difusión. Difusión en estado estacionario y no estacionario. Convección. Transferencia entre fases. Estimación de propiedades de transporte.

Carga horaria: 6 horas semanales

Programa analítico

Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento

Unidad 1

Definición de fluido. Diferencias entre cuerpo elástico y fluido. Hipótesis del continuo. Propiedades de los fluidos: presión, temperatura, densidad, peso específico, viscosidad dinámica y cinemática, calor específico, energía interna, entalpía, compresibilidad, presión de vapor, tensión superficial. Estimación de propiedades físicas por el modelo de Choi – Okos. Condiciones estacionarias.

Unidad 2

Tipos de fuerzas que actúan sobre un fluido. Hidrostática. Campo de esfuerzos. Esfuerzo normal y esfuerzo cortante. Tensor de esfuerzos. Ecuación de cantidad de movimiento: segunda ley de Newton. Balance de cantidad de movimiento. Viscosidad y esfuerzo de corte. Ley de Newton de la viscosidad. Viscosidad: influencia de la presión y temperatura. Fluidos no newtonianos. Ley de Ostwald o de la potencia, plásticos de Bingham, Modelo de Herschel – Bulkley. Tixotropía. Reopexia.

Fluidos en movimiento. Tipos de flujo. Teoría de la capa límite. Turbulencia. Ecuaciones de cambio diferenciales. Ecuación de continuidad. Aplicaciones.

Unidad 3

Números adimensionales y sus interpretaciones. Experiencia de Osborne Reynolds. Número de Reynolds para fluidos newtonianos y generalización en fluidos no newtonianos. Rugosidad. Normalización de tuberías. Radio y diámetro hidráulico. Ecuación de Hagen-Poiseuille. Balance de cantidad de movimiento, obtención del factor de fricción de Fanning en tuberías. Ecuación de Colebrook. Soluciones aproximadas a la ecuación de Colebrook: Moody, Chen, Eck. Diagrama de Moody.

Factor de fricción alrededor de objetos sumergidos y fuerza de arrastre. El factor de fricción en lechos rellenos. Ley de Darcy. Ecuación de Blake-Kozeny y Karman-Kozeny.

Unidad 4

Conservación de masa. Ejemplos. Conservación de la energía: el primer principio de la termodinámica. Balance macroscópico de energía mecánica.

Ejemplos y aplicaciones. Ecuaciones integrales. Aplicaciones al diseño de sistemas de bombeo.

Clasificación de las máquinas hidráulicas de acuerdo a su principio de funcionamiento. Selección del tipo de bomba. Funcionamiento de las bombas centrífugas. Curvas características. Punto de operación. Potencia hidráulica y eléctrica. Cavitación, condiciones de la línea para la instalación de bombas. Instalación en serie y en paralelo. Succión positiva y negativa. Altura neta positiva de aspiración (ANPA – NPSH) del sistema. Accesorios: diferentes tipos de válvulas. Leyes de afinidad.

Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor

Unidad 5

Mecanismos de transmisión de calor: Conducción, Convección y Radiación. Conductividad térmica. Transferencia de calor por conducción. Primera Ley de Fourier. Aplicaciones: pared compuesta, plana cilíndrica y esférica. Radio crítico de aislamiento. Materiales conductores y aislantes térmicos.

Ecuaciones diferenciales. Aplicaciones.

Unidad 6

Transferencia de calor por convección: Ley de Newton del enfriamiento. El coeficiente de transferencia de calor. Transferencia de calor en régimen laminar y turbulento. Coeficientes peliculares, influencia de la capa límite. Estimación del coeficiente de transferencia de calor para convección natural y forzada. Correlaciones de Sieder-Tate. Factor J de Colburn. Analogías de Reynolds y de Chilton-Colburn. El coeficiente de transferencia de calor para convección forzada alrededor de objetos sumergidos.

El coeficiente de transferencia de calor para lechos rellenos. Condensación y ebullición.

Unidad 7

Diseño y evaluación de Intercambiadores de calor desde el punto de vista térmico. Flujo en co-corriente, flujo en contra-corriente. Diferencia media logarítmica de temperaturas. Tipos de intercambiadores, intercambiadores de doble tubo, de tubo y casco y de placas. Corrección de la media logarítmica de temperaturas en equipos de flujo mixto multipaso. Resistencias de

ensuciamiento. Coeficiente global de transferencia de calor (U). Banco de tubos, paso y claridad.

Materiales de construcción de intercambiadores, deflectores, disposición de los flujos en intercambiadores de placas.

Evaporadores, acción de un efecto, parámetros de evaluación característicos. Evaporadores de efectos múltiples.

Unidad 8

Radiación. Radiación térmica. Absorción y emisión de superficies sólidas. Ley de distribución de Planck. Poder emisivo monocromático. Ley de desplazamiento de Wien. Ley de Stefan-Boltzman. Radiación entre cuerpos negros. Radiación entre cuerpos no negros. El coeficiente de transferencia de calor radiante. Influencia de la posición relativa de los cuerpos y sus geometrías. El factor de Hottel.

Unidad 9

Segunda ley de Fourier. Transferencia de calor en estado no estacionario. Soluciones numéricas: Método de Schmidt. Soluciones analíticas. Métodos gráficos: Gráficas de Gourney-Lourie. Conducción en sólidos en régimen variable. Sólidos semi-infinitos. Placa plana y esfera.

Bloque 3: Transporte de materia

Unidad 10

Definiciones. Difusión molecular en fluidos. Fuerzas impulsoras de la transferencia de materia. Ley de Fick de la difusión. Expresiones de la concentración. Analogía entre la difusividad térmica y difusividad de materia. Permeabilidad. Estimación de los coeficientes de difusión. Casos de difusión en estado estacionario. Difusión molecular en estado transitorio. Difusión de tipo Knudsen.

Unidad 11

Transferencia de masa convectiva. Difusión en régimen laminar y turbulento. Coeficiente de transferencia de materia para una sola fase. Modelo de la doble resistencia. Correlaciones para columna de pared mojada, placa plana, esferas y cilindros. Predicción de coeficientes de transferencia. Analogías de Chilton – Colburn para coeficientes de transferencia de materia.

Aplicaciones: absorbedores, envases alimentarios.

Trabajos prácticos experimentales: Desarrollo del balance de materia en una planta de producción y reología de alimentos.

Bibliografía

Bibliografía Obligatoria

- Fenómenos de transporte: Un estudio sistemático de los fundamentos del transporte de materia, energía y cantidad de movimiento / R. Byron Bird.; Warren E. Stewart.; Edwin N. Lightfoot. México, DF.: Reverté, 1998.
- Transferencia de calor en ingeniería de procesos / Eduardo Cao. 4a. ed. Buenos Aires: Nueva Librería, 2011.
- Procesos de transporte y principios de procesos de separación (incluye operaciones unitarias) / Christie John Geankoplis. 4a. ed., 2a. reimpr. México: Grupo Editorial Patria, 2008, 2007.
- Procesos de transferencia de calor / Donald Q. Kern. 1a. ed., 8a. reimp México, DF.: Compañía Editorial Continental, 1974.
- Mecánica de fluidos Robert L. Mott ; traducción, Javier Enríquez Brito ; revisión técnica, Javier León Cárdenas. - 6a. ed. - México: Pearson Educación, 2006.

Bibliografía de consulta

- Operaciones básicas de ingeniería química / Warren L McCabe, Julian C Smith, Peter Harriott; revisión técnica de la traducción, Elita Guardiola Formento... [et al.]. 4a. ed. Madrid: McGraw-Hill, 1991.
- Introducción a la reología de los alimentos / H. G Muller. Zaragoza: Acribia, 1977.
- Manual del ingeniero químico / Robert H Perry; Don W Green; James O Maloney. 3a. ed. México: McGraw-Hill, 1992.
- Operaciones de transferencia de masa / Robert E Treybal; traducción Amelia García Rodríguez; revisión técnica Francisco José Lozano. 2a. ed. México D.F.: McGraw-Hill, 1988

- Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa / James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson. 2a. ed., 2a. reimpr México, DF.: Limusa, 2001.
- Introducción a la mecánica de fluidos / Robert W Fox; Alan T MacDonald. 2a. ed. México D.F: McGraw-Hill, 1995.

Organización de las clases

En las clases teóricas se realizará una exposición de los temas de la asignatura y en las clases prácticas se propondrán problemas de aplicación para el abordaje individual y la discusión grupal, fomentando el espíritu reflexivo y crítico. El estudiantado deberá profundizar los temas con la bibliografía obligatoria y recomendada para la óptima consolidación de los conceptos.

Las clases de la asignatura se dividirán en:

Clases teóricas: Las clases teóricas consisten en la introducción de un problema habitual en ingeniería o tecnología y la promoción de la necesidad de conocer las leyes de transferencia y otras herramientas teóricas para la resolución del problema propuesto. En estas clases los docentes combinan la exposición de los temas, la discusión con el estudiantado y la integración constante de conocimientos obtenidos en asignaturas previas con los contenidos de Fenómenos de transporte. Se utilizan métodos tradicionales como para el desarrollo de balances y ecuaciones como tiza y el pizarrón y presentaciones de diapositivas, así como videos de equipos e instalaciones fabriles. Además, se introducen ejemplos de interés general o en relación con la Ingeniería en Alimentos.

Clases prácticas de resolución de problemas: En las clases prácticas se propone la resolución de problemas abiertos que se pueden realizar a través de diferentes caminos de resolución. Luego de un tiempo previamente estipulado, se realiza una puesta en común del problema y su resolución. El estudiantado cuenta con guías de actividades que incluyen preguntas y problemas para cada una de las unidades de la asignatura y que son de resolución domiciliaria, no obstante, los docentes estimulan a que los alumnos realicen su propia búsqueda de problemas en el material bibliográfico disponible para la asignatura. En las clases prácticas los docentes atienden consultas individuales o grupales vinculadas con las actividades propuestas.

Clases de trabajos prácticos de laboratorio: El estudiantado cuenta con una guía de trabajos prácticos (TP). La misma incluye (a) recomendaciones para el trabajo en laboratorio y uso del material básico, (b) el registro de la actividad en un cuaderno de laboratorio y para la presentación de la actividad en un informe de las actividades realizadas y (c) una explicación sobre cada trabajo de laboratorio. Los trabajos prácticos son pautados y poseen una fecha fijada en el cronograma. En grupos de 2 personas deben entregar un informe de los resultados del trabajo práctico, elaborando conclusiones a partir de los mismos. En el lugar de realización del práctico cuentan con la guía de los docentes del curso.

Actividad extracurricular: Visita a la Central Térmica Costanera. Pautada con la empresa ENEL, se realiza una visita a la Central de generación térmica más importante del país. La visita se realiza por la mañana y cuenta con la guía de los docentes de la asignatura y del personal de ENEL que incluye un jefe de operaciones, un egresado de la carrera ingeniería en alimentos y un responsable de seguridad en el trabajo.

Modalidad de evaluación

La modalidad de evaluación y aprobación será según el Régimen de estudios vigente (Res. CS 201/18).

Modalidad regular

El requisito para la aprobación de la cursada implica aprobar dos exámenes parciales escritos con una nota mínima en cada uno de 4 puntos sobre 10. Habrá una instancia de recuperatorio de cada uno de los parciales. El diseño de un intercambiador de calor es evaluado como un examen parcial domiciliario a entregar en la fecha propuesta por el cronograma y luego deberá ser defendido en una exposición oral. Al final del curso se prevé un examen integrador, para quienes hubieran aprobado instancias parciales en el examen recuperatorio o hubieran obtenido una nota inferior a 6 puntos en la primera instancia de examen parcial.

Quienes obtuviesen un promedio de 7 o más en las notas parciales en la primera instancia de examen promocionarán la materia y no deberán rendir el examen integrador.

Quienes asistan y no aprueben la instancia de recuperación desaprobarán la materia (calificación de 1 a 3 puntos).

Quienes no aprueben la primera instancia del examen integrador o estuvieren ausentes disponen de dos fechas adicionales posteriores a la finalización del cuatrimestre, determinada por la Universidad para mesas de pendientes de aprobación.

Para no perder la calidad de regular, los alumnos deberán cumplir con una asistencia obligatoria de al menos el 75% del curso.

Modalidad libre

En la modalidad libre, se evaluarán todos los contenidos de la asignatura con un examen escrito y un examen oral.

CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana	Tema/unidad	Actividad*			Evaluación
		Teórico	Práctico		
			Res Prob	Lab.	
1 (3 horas)	Presentación de la Materia. Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Propiedades físicas de la materia	X			
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Esfuerzos - Cantidad de Movimiento - Reología	X			
2 (3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Flujo de Fluidos – Balance de materia, balance de energía mecánica	X	X		
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Flujo de Fluidos – Resolución de Problemas		X		
3 (3 horas)	Trabajos prácticos: Balance de materia y reología de alimentos		X		
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Elementos del sistema de bombeo – Pérdidas por fricción	X			
4 (3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de Problemas		X		
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Bombas – Sistemas en serie y paralelo	X			
5 (3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de Problemas		X		
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. ANPA - Criterios de Selección de bombas – Resolución de Problemas	X	X		
6 (3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de problemas integradores de bloque 1		X		
(3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Fricción alrededor de objetos sumergidos (Arrastre y flujo externo). Ejercicios	X	X		

7 (3 horas)	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de problemas integradores de bloque 1	X	
(3 horas)	Examen parcial de temas del bloque 1		X
8 (3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Introducción a los mecanismos de transferencia de energía en forma de calor	X	
(3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Transferencia de calor por conducción (Primera ley de Fourier). Diferentes geometrías. Materiales conductores y aislantes, radio crítico de aislamiento.	X	
9 (3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Transferencia de calor por conducción (Primera ley de Fourier). Transferencia de calor por convección (Ley de Newton). Resolución de Problemas	X	X
(3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Números adimensionales. Correlaciones. Intercambiadores de calor, tipos, diferencia media logarítmica de temperaturas. Coeficiente global de transferencia	X	
10 (3 horas)	Recuperatorio de examen parcial de temas del bloque 1		X
(3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Diseño de intercambiadores de calor tubo en tubo, tubo y coraza. Resolución de problemas.	X	X
11 (3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Resolución de problemas, uso de correlaciones para el cálculo de coeficientes convectivos.		X
(3 horas)	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Intercambiadores de calor (cont.) Radiación. Ejercicios	X	X
12 (3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Formas de expresar la concentración. Casos de la primera ley de Fick. Transporte a través de membranas. Casos no ideales.	X	X
(3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Casos de transferencia de materia según ley de Fick.		X
13 (3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Introducción a la transferencia convectiva de materia. Modelo de la doble resistencia de Lewis-Whitman Aplicaciones: Envases.	X	
(3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia.		X

	Uso de correlaciones para el cálculo de coeficientes convectivos, resolución de problemas.		
14 (3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Transporte en dos fases. Aplicaciones: Absorbedores, Membranas filtrantes. Ejercicios.	X	X
(3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Introducción a la transferencia de energía en forma de calor y materia en estado no estacionario.	X	X
15 (3 horas)	Bloque 2 y 3: Transporte de energía en forma de calor y materia. Transferencia en estado no estacionario. Segunda ley de Fourier. Soluciones analíticas, gráficas y numéricas.	X	
(3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Consultas.		X
16 (3 horas)	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Consultas.		X
(3 horas)	Examen parcial de temas de los bloques 2 y 3. Entrega del examen domiciliario: Diseño de un intercambiador de calor		X
17 (3 horas)	Exposición oral del diseño de intercambiador. Consultas.		X
(3 horas)	Recuperatorio del examen parcial de temas de los bloques 2 y 3.		X
18 (3 horas)	Recuperatorio: Diseño de un intercambiador de calor. Consultas.		X
(3 horas)	Examen Integrador		X