



PROGRAMA ANALÍTICO DE LA ASIGNATURA
FENÓMENOS DE TRANSPORTE
Modalidad Regular

Departamento de Ciencia y Tecnología

Carrera Ingeniería en Alimentos

Núcleo Superior Obligatorio II

Prerrequisitos obligatorios: Termodinámica / Cálculo Avanzado

Carga horaria total: 108 horas

Docentes: Juan Francisco Delgado - Julieta Cabrera

Año lectivo: 2023 y 2024

Objetivos

Los objetivos para quienes cursen la asignatura son:

- Comprender 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.
- Realizar balances de masa, cantidad de movimiento y energía y aplicarlos en la toma de decisiones profesionales.
- Aplicar las herramientas de análisis del transporte de cantidad de movimiento y del flujo de fluidos al estudio de sistemas de bombeo.
- Emplear las ecuaciones de transporte de calor al estudio y diseño de intercambiadores.
- Utilizar las ecuaciones de transferencia de materia para el estudio de casos con aplicaciones industriales.
- Realizar balances de transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia en la interpretación de fenómenos de importancia industrial y el diseño de equipos.

Saberes profesionales

En la asignatura se propician los siguientes saberes profesionales:

- Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería en alimentos.
- Utilizar técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería en alimentos.
- Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
- Comunicarse de manera efectiva.
- Aprender de manera continua y autónoma.

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.

Programa analítico

Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento y flujo de fluidos

Unidad 1: Unidades, propiedades físicas, fluidos. 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: Cantidad de movimiento, esfuerzos, reología. 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: Flujo de fluidos en sistemas de tuberías. 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: Balances de masa, de energía mecánica, sistemas de impulsión y selección de equipos. 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: Conceptos generales de mecanismos de transferencia de calor y aplicaciones de la primera ley de Fourier. 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: Ley de Newton-Richman, correlaciones y aplicaciones. Transferencia de calor por convección: Ley de Newton-Richman 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: Equipos de intercambio térmico. 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 térmica. 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-Boltzmann. 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: Transferencia de calor en estado no estacionario. Segunda ley de Fourier. Transferencia de calor en estado no estacionario. Soluciones numéricas: Método de Schmidt. Soluciones analíticas. Métodos gráficos: Gráficas de Gournay-Lourie. Conducción en sólidos en régimen variable. Sólidos semi-infinitos. Placa plana y esfera.

Bloque 3: Transporte de materia

Unidad 10: Transferencia de masa por difusión. 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 por convección. 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.

Bibliografía

Bibliografía obligatoria

- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (1998). *Fenómenos de transporte: un estudio sistemático de los fundamentos del transporte de materia, energía y cantidad de movimiento*. México DF. Reverté.
- Cao, E. (2011). *Transferencia de calor en ingeniería de procesos*. 4a. ed., Buenos Aires. Nueva librería.
- Geankoplis, C. J. (2008). *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación*, 4ta. Edición. Editorial Patria.
- Kern, D. (1974). *Procesos de transferencia de calor*, 1a. ed., 8a. reimp. México, DF, Compañía Editorial Continental.
- Mott, R. (2006), *Mecánica de fluidos*, 6a. ed. México, Pearson Educación.

Bibliografía de consulta

- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (1991) *Operaciones básicas de ingeniería química*. 4a. ed. Madrid, McGraw-Hill.
- Muller, H. G. (1977). *Introducción a la reología de los alimentos*. Zaragoza, Acribia.
- Perry, R., Green, D., & Maloney. J. (2002). *Manual del ingeniero químico*, 7ma. ed. México, McGraw-Hill.
- Treybal, R. E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*, 2da. ed. México D.F., McGraw-Hill.
- Welty, J., Wicks, C., & Wilson, R. E. (2001). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*, 2da. ed. México, DF, Limusa.

Organización de las clases

La asignatura es teórico-práctica, con una carga de 44 horas de actividades prácticas, distribuidas de resolución de problemas, ejercicios y análisis de casos.

Clase expositiva: Las clases expositivas 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 el equipo docente combina 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 y se realizan debates acerca de la aplicación de los conceptos en cuestiones industriales o domésticas.

Clase de resolución de problemas, ejercicios y análisis de casos: 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. Los estudiantes cuentan

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, el equipo docente estimula a que los/las estudiantes realicen su propia búsqueda de problemas en el material bibliográfico disponible para la asignatura. En las clases prácticas el equipo docente atiende consultas individuales o grupales vinculadas con las actividades propuestas.

Visitas educativas: En horario de la materia se realizará una visita a la planta piloto de la Universidad (Super Sopa), realizando la descripción general del proceso y de los equipos directamente involucrados en el transporte de fluidos, en el intercambio de calor y de materia. Adicionalmente, como actividad extracurricular, se realiza una visita a la Central Térmica Costanera, fuera del horario de cursada, ya que solo están permitidas las visitas durante la mañana. La visita es pautada con la empresa ENEL. El recorrido es guiado por el equipo docente de la asignatura y del personal de la empresa que incluye un jefe de operaciones, un egresado de la carrera ingeniería en alimentos y un responsable de seguridad en el trabajo.

Los recursos didácticos empleados en la asignatura son: pizarra o pizarrón, material digital multimedia, textos, aula virtual e instalaciones de la planta piloto “Super Sopa”.

Formas de evaluación y acreditación

La modalidad de evaluación y aprobación se regirá según el Régimen de Estudios vigente. Las instancias evaluativas calificadas constan de dos parciales (presenciales y cada uno con su instancia de recuperación), un examen domiciliario grupal (escrito y exposición oral), ejercicios de resolución obligatoria durante la cursada y examen integrador (escrito) en caso de no alcanzar las condiciones de promoción.

Cronograma tentativo

Clase	Tema	Tipo de actividad
-------	------	-------------------

1	Presentación de la Materia. Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Propiedades físicas de la materia	Clase expositiva
2	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Esfuerzos - Cantidad de Movimiento - Reología	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
3	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Flujo de Fluidos – Balance de materia, balance de energía mecánica	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
4	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Flujo de Fluidos – Resolución de Problemas	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
5	Visita a la planta de producción de alimentos concentrados: Aplicaciones del Balance de materia y reología de alimentos	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
6	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Elementos del sistema de bombeo – Pérdidas por fricción	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
7	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de Problemas	Resolución de problemas y análisis de casos.
8	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Bombas – Sistemas en serie y paralelo	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
9	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de Problemas	Resolución de problemas y análisis de casos.
10	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. ANPA - Criterios de Selección de bombas – Resolución de Problemas	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
11	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de problemas integradores de bloque 1	Resolución de problemas y análisis de casos.
12	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Fricción alrededor de objetos sumergidos (Arrastre y flujo externo). Ejercicios	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
13	Bloque 1: Transporte de cantidad de movimiento. Resolución de problemas integradores de bloque 1	Resolución de problemas y análisis de casos.
14	Examen parcial de temas del bloque 1	Evaluación escrita
15	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor.	Clase expositiva

	Introducción a los mecanismos de transferencia de energía en forma de calor	
16	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.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
17	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	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos.
18	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	Clase expositiva
19	Recuperatorio del examen parcial de temas del bloque 1	Examen escrito
20	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Diseño de intercambiadores de calor tubo en tubo, tubo y coraza. Resolución de problemas.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
21	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Resolución de problemas, uso de correlaciones para el cálculo de coeficientes convectivos.	Resolución de problemas y análisis de casos
22	Bloque 2: Transporte de energía en forma de calor. Intercambiadores de calor (cont.) Radiación. Ejercicios	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
23	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.	Clase expositiva
24	Bloque 3: Transporte de materia. Casos de transferencia de materia según ley de Fick.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
25	Bloque 3: Transporte de materia. Introducción a la transferencia convectiva de materia. Modelo de la doble resistencia de Lewis-Whitman Aplicaciones: Envases.	Clase expositiva
26	Bloque 3: Transporte de materia. Uso de correlaciones para el cálculo de coeficientes convectivos, resolución de problemas.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos

27	Bloque 3: Transporte de materia. Transporte en dos fases. Aplicaciones: Absorbedores, Membranas filtrantes. Ejercicios.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
28	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Introducción a la transferencia de energía en forma de calor y materia en estado no estacionario.	Clase expositiva
29	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.	Resolución de problemas y análisis de casos
30	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Consultas.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
31	Bloque 3: Transporte de materia. Resolución de Problemas. Consultas.	Clase expositiva / Resolución de problemas y análisis de casos
32	Examen parcial de temas de los bloques 2 y 3. Entrega del examen domiciliario: Diseño de un intercambiador de calor	Examen escrito / Entrega de examen domiciliario
33	Diseño de intercambiador. Consultas.	Presentación oral
34	Recuperatorio del examen parcial de temas de los bloques 2 y 3.	Examen escrito
35	Recuperatorio: Diseño de un intercambiador de calor. Revisión de contenidos	Entrega de examen domiciliario / Clase de consultas
36	Integrador	Examen escrito