



**PROGRAMA ANALÍTICO DE LA ASIGNATURA**  
**FENÓMENOS DE TRANSPORTE**  
**Modalidad Libre**

**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 precian los siguientes saberes profesionales:

- Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería en alimentos.
- Utilizar técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería en alimentos.
- 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.

### **Formas de evaluación y acreditación**

La modalidad de evaluación y aprobación se regirá según el Régimen de Estudios vigente.

En la mesa de examen libre se evaluarán los contenidos de la asignatura con un examen integrador en forma escrita y oral. Además, se debe presentar una monografía oral de un diseño de un intercambiador de calor con su respectiva defensa oral. La consigna para el diseño será suministrada al estudiante en forma previa. Para la evaluación de la defensa del intercambiador será requisito aprobar el examen general escrito y oral previo sobre los contenidos de la asignatura.