

Mecanismos de transferencia de calor y su aplicación a través de sistemas de transporte de fluidos

Ingeniería | Ingeniería industrial

Descripción del Curso

Este curso forma parte de la asignatura Ingeniería Industrial y contempla la Unidad 3: Análisis de rendimiento y diseño básico de intercambiadores. Dirigido a estudiantes de Ingeniería Industrial a partir de 17 años, busca desarrollar la capacidad de analizar y dimensionar intercambiadores de calor para aplicaciones industriales, mediante el cálculo de la tasa de transferencia de calor global, el gradiente de temperatura y la determinación del área necesaria, considerando pérdidas por fouling y limitaciones físicas. Se introducen fundamentos de transferencia de calor y de rendimiento, usando métodos como NTU- ϵ para comparar configuraciones de flujo (contraflujo, paralelo y crossflow) y aplicaciones prácticas como intercambiadores de carcasa y tubo (shell-and-tube). El aprendizaje se orienta a que los estudiantes estructuren un razonamiento de diseño, seleccionen la configuración adecuada, justifiquen elecciones basadas en rendimiento, costos y operación, y comuniquen resultados de forma técnica. Contenidos clave de la unidad: cálculo de Q correcto, ΔT_{lm} y área A a partir de condiciones de entrada/salida, conductividad y coeficiente global U ; aplicación del método NTU- ϵ para evaluar rendimiento en configuraciones de flujo; determinación de la eficacia de transferencia y análisis de la influencia de fouling y limitaciones físicas en el diseño; y un diseño básico de un intercambiador tipo shell-and-tube con comparación entre configuraciones para la toma de decisiones de ingeniería. El enfoque se apoya en ejercicios de caso real, simulaciones y prácticas de diseño, fomentando la interpretación de resultados, la seguridad y la sostenibilidad operativa. A lo largo de la unidad se enfatizan habilidades no técnicas como el pensamiento crítico, la comunicación técnica y el trabajo en equipo, con atención a la ética profesional y a la responsabilidad ante la seguridad y el medio ambiente. Al finalizar, se espera que el estudiante pueda justificar decisiones de diseño, anticipar pérdidas por fouling y proponer estrategias de mantenimiento para garantizar el desempeño sostenido del sistema de intercambio de calor.

Competencias

- Analizar problemas de transferencia de calor en intercambiadores, calculando Q , ΔT_{lm} y área A bajo diferentes condiciones de operación.
- Aplicar el método NTU- ϵ para evaluar y comparar el rendimiento de intercambiadores en configuraciones de flujo contraflujo, paralelo y crossflow.
- Determinar la eficacia de transferencia y evaluar impactos de fouling, pérdidas y limitaciones físicas en el diseño.
- Realizar un diseño básico de un intercambiador shell-and-tube, comparando configuraciones y justificando opciones de diseño y operación.
- Desarrollar informes técnicos y presentaciones que comuniquen resultados de forma clara, rigurosa y ética, promoviendo la toma de decisiones informadas.

- Utilizar herramientas computacionales (por ejemplo, hojas de cálculo, software de simulación) para apoyar cálculos de transferencia de calor y dimensionamiento.

Requerimientos

- Conocimientos previos requeridos: termodinámica, transferencia de calor y fundamentos de mecánica de fluidos; cálculo diferencial e integral básico.
- Habilidades computacionales: manejo de hojas de cálculo (Excel u equivalente) y, opcionalmente, software de simulación o MATLAB/EES para análisis numéricos.
- Recursos de aprendizaje: acceso a textos y manuales de diseño de intercambiadores, así como ejercicios de caso y datos de entrada/salida típicos.
- Materiales y laboratorio: participación en prácticas o simulaciones que permitan dimensionar y evaluar intercambiadores; cumplimiento de normas de seguridad.
- Evaluaciones: ejercicios prácticos, proyectos de diseño y presentaciones técnicas que integren teoría y aplicación.

Unidades del Curso

Unidad 1: Unidad 1: Mecanismos de transferencia de calor y su identificación en sistemas de transporte de fluidos

Objetivos de Aprendizaje

- Reconocer y clasificar conducción, convección y radiación en escenarios de transporte de fluidos (tuberías, ductos, tanques y intercambiadores).
- Diferenciar condiciones de flujo, geometría y superficies que hacen dominante cada mecanismo de transferencia de calor.
- Desarrollar criterios para seleccionar métodos de análisis y medición apropiados para cada mecanismo en un sistema real.

Contenidos Temáticos

1. Conducción: mecanismos en paredes y sólidos que rodean fluidos en movimiento (descripción breve de transferencia a través de materiales).
2. Convección: convección interna y externa, diferencias entre convección natural y forzada, coeficiente convectivo h y su dependencia de la geometría y el régimen de flujo.
3. Radiación: interacción radiativa entre superficies a diferentes temperaturas y su relevancia en sistemas de alta temperatura o aislamiento.
4. Interacciones entre mecanismos: cómo coexisten conducción, convección y radiación en un intercambiador y cómo identificarlos en el diseño.

Actividades

- **Actividad 1: Identificación de mecanismos en escenarios prácticos** - Tema: análisis de casos simples (tubería aislada, tubería sin aislamiento, conductos expuestos). Resumen: identificar qué mecanismo domina en cada caso y por qué. Aprendizajes: capacidad de clasificación y justificación teórica y práctica.
- **Actividad 2: Análisis de aislamiento y transferencia** - Tema: comparar una tubería con y sin aislamiento. Resumen: estimar efectos de la inversión en aislamiento sobre la conducción y la convección. Aprendizajes: impacto del aislamiento en la tasa de transferencia.
- **Actividad 3: Demostración de convección** - Tema: experimento conceptual de convección natural vs forzada (puede ser una placa caliente con corrientes de aire simuladas). Resumen: observar diferencias en la distribución de temperatura y discutir coeficientes convectivos. Aprendizajes: condiciones para cambiar de régimen y su influencia en h .
- **Actividad 4: Discusión de casos en intercambiadores** - Tema: análisis de un intercambiador de calor y la coexistencia de mecanismos. Resumen: identificar cuál mecanismo es dominante en cada paso del flujo y qué cambia al variar la geometría. Aprendizajes: visión integrada de mecanismos en equipos térmicos.

Evaluación

La evaluación de la unidad aborda la consecución de los objetivos de aprendizaje de la siguiente manera:

- Identificación correcta de los mecanismos en escenarios dados: 40%
- Justificación técnica de por qué un mecanismo es dominante en cada caso: 25%
- Participación y calidad de las actividades de clase (presentaciones y discusiones): 15%
- Informe corto de resumen de actividades (con ejemplos y conclusiones): 20%

Unidad 2: Modelos y herramientas para estimar la transferencia de calor en conductos e intercambiadores

Objetivos de Aprendizaje

- Expresar la transferencia de calor por conducción y convección con las ecuaciones adecuadas: $Q = -k A dT/dx$ y $Q = h A (T_s - T)$.
- Utilizar correlaciones de Nusselt para obtener coeficientes convectivos (h) en flujos internos y externos según el régimen de flujo (laminar/turbulento).
- Resolver problemas prácticos en conductos y en intercambiadores, incorporando propiedades de fluido y condiciones de contorno apropiadas.
- Reconocer las limitaciones de los modelos y la necesidad de datos experimentales o de bases de datos para seleccionar h y Nu adecuados.

Contenidos Temáticos

1. Ley de Fourier y conductividad en paredes y sólidos cercanos a fluidos en movimiento.
2. Convección interna y externa: definición de h , ensamblaje de Q y ΔT en diferentes configuraciones de flujo.
3. Números de Nusselt y correlaciones relevantes (Dittus-Boelter, Sieder-Tulston, Gnielinski) para conductos y superficies. Ajuste para flujo laminar y turbulento.
4. Modelos de intercambiadores: definición de $Q = U A \Delta T_{lm}$ y conceptos de área, U y ΔT líquido media.

Actividades

- **Actividad 1: Cálculo de h mediante Nu** - Tema: uso de correlaciones de Nu para un flujo interno en tubería. Resumen: calcular Nu , luego h , y finalmente Q para una condición dada. Aprendizajes: vinculación entre Nu , régimen de flujo y transferencia de calor.
- **Actividad 2: Problema de conducto sencillo** - Tema: conducto de vapor o agua a flujo conocido. Resumen: determinar Q y ΔT usando la Ley de Fourier y h obtenidos. Aprendizajes: aplicación integrada de conducción y convección.
- **Actividad 3: Intercambiador básico** - Tema: estimación de Q y ΔT en un intercambiador de calor compacto. Resumen: seleccionar h_i , h_o y ΔT_{lm} ; calcular Q . Aprendizajes: interacción entre leyes y su uso en diseño básico.
- **Actividad 4: Taller de simulación en Excel/Matlab** - Tema: modelar un tramo de conducto con entrada/salida de temperaturas y flujos. Resumen: automatizar cálculos de Nu , h , Q y ΔT . Aprendizajes: manejo de herramientas para diseño térmico.

Evaluación

La evaluación de la unidad se sustenta en los siguientes criterios:

- Aplicación correcta de la Ley de Fourier y de la ecuación de convección para cálculos de Q : 35%
- Selección y uso adecuado de correlaciones Nu para estimar h : 25%
- Resolución de problemas prácticos de conductos e intercambiadores: 20%
- Participación en actividades y entrega de informe corto de aprendizaje: 20%

Unidad 3: Unidad 3: Análisis de rendimiento y diseño básico de intercambiadores

Objetivos de Aprendizaje

- Calcular Q correcto, ΔT_{lm} y área A requerida dadas las condiciones de entrada/salida, conductividad y coeficiente global U .
- Aplicar el método NTU- ϵ para evaluar el rendimiento de intercambiadores en configuraciones de flujo contraflujo, paralelo y crossflow.
- Determinar la eficacia de transferencia y analizar la influencia de pérdidas por fouling y limitaciones físicas en el diseño.

- Realizar un diseño básico de un intercambiador tipo shell-and-tube y comparar resultados entre configuraciones para toma de decisiones.

Contenidos Temáticos

1. Ecuación global de transferencia: $Q = U A \Delta T_{lm}$ y definición de ΔT_{lm} para diferentes configuraciones.
2. Coeficiente global U y efectos del fouling, acabados de superficie y conductividades de los materiales.
3. Métodos NTU- ϵ : relación entre NTU, ϵ y efectividad para configuraciones contraflujo, paralelo y crossflow.
4. Ejemplos prácticos: intercambiador shell-and-tube y comparación de diseños de área y rendimiento.

Actividades

- **Actividad 1: Dimensionamiento de área para un intercambiador** - Tema: calcular Q , ΔT_{lm} y A requerida con un U conocido. Resumen: establecer requerimientos térmicos y dimensionar el área. Aprendizajes: capacidad de traducir requisitos energéticos a dimensiones físicas.
- **Actividad 2: ANÁLISIS NTU- ϵ** - Tema: aplicar NTU- ϵ para diferentes configuraciones y obtener ϵ óptimo. Resumen: evaluar rendimiento y seleccionar la configuración más adecuada. Aprendizajes: interpretación de indicadores de rendimiento y decisiones de diseño.
- **Actividad 3: Evaluación de eficacia y sensibilidad** - Tema: analizar el efecto de fouling y cambios en caudales. Resumen: cuantificar impactos en Q y ϵ . Aprendizajes: gestión de pérdidas y robustez del diseño.
- **Actividad 4: Diseño comparativo de intercambiadores** - Tema: proponer y comparar un intercambiador shell-and-tube frente a una alternativa. Resumen: evaluar ventajas y limitaciones para un caso práctico. Aprendizajes: criterios de selección de tecnología y dimensionamiento.

Evaluación

La evaluación se orienta a demostrar la capacidad para dimensionar y evaluar intercambiadores de calor mediante el marco teórico y la resolución de casos prácticos:

- Dimensionamiento y cálculo de Q , ΔT_{lm} y A : 30%
- Aplicación de NTU- ϵ y evaluación de configuraciones: 30%
- Análisis de eficacia, fouling y sensibilidad: 20%
- Presentación de un diseño comparativo y justificación de decisiones: 20%