



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

**DEPARTAMENTO DE**  
**INGENIERÍA QUÍMICA Y COMBUSTIBLES**

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA  
***FENÓMENOS DE TRANSPORTE***

**Curso** : 3º  
**Cuatrimestre** : 2º  
**Carácter** : Troncal

**Créditos totales**  
Teóricos : 2,3  
Prácticos : 2,2

**PLAN DE ESTUDIOS 1996**

Edición 1: 1999.09.20

## FENÓMENOS DE TRANSPORTE: PROGRAMA

### **a) OBJETIVOS Y CONTENIDOS**

#### **BLOQUE 1: Introducción a los fenómenos de transporte**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 1.1 Comprender la necesidad de establecer leyes de transporte para el estudio de los procesos y el dimensionamiento de los equipos.*
- 1.2 Conocer las leyes fundamentales del transporte difusivo de masa, cantidad de movimiento y calor, y observar las analogías existentes entre ellas.*
- 1.3 Aplicar los principios de conservación al planteamiento de las ecuaciones de conservación.*

##### *CONTENIDOS*

###### *1.1: INTRODUCCIÓN A LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE*

- Propiedades de la materia y su transferencia. Relación con las operaciones básicas de la Ingeniería Química.
- Leyes fundamentales de transporte: Ley de Newton, Ley de Fourier y Ley de Fick.
- Ecuación del transporte. Planteamiento general de las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía.

#### **BLOQUE 2: Transferencia de calor**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 2.1 Comprender los diferentes mecanismos de transmisión del calor.*
- 2.2 Resolver la ecuación de la conducción del calor. Conocer y aplicar las técnicas de cálculo existentes para obtener distribuciones de temperatura y flujos de calor en configuraciones 1D y 2D en régimen estacionario y transitorio, con diversas condiciones de contorno.*
- 2.3 Calcular el flujo de calor en superficies adicionales.*
- 2.4 Utilizar el concepto de coeficiente global de transferencia de calor.*
- 2.5 Identificar los diferentes regímenes y configuraciones de transferencia de calor en convección forzada y natural en una fase, en condensación y en ebullición y calcular el coeficiente de transferencia de calor en todos ellos. Aplicar a problemas técnicos de transferencia de calor entre fluidos.*
- 2.6 Conocer las propiedades radiantes de las superficies. Conocer y calcular el factor de forma. Calcular el flujo de calor intercambiado por radiación entre superficies cualesquiera. Conocer y calcular las propiedades radiantes de los gases.*

## CONTENIDOS

### 2.1: MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

- Derivada temporal del primer principio de la Termodinámica.
- Conducción. Ley de Fourier. Conductividad térmica.
- Convección. Ley de enfriamiento de Newton. Coeficiente de transmisión del calor.
- Radiación. Ley de Stefan-Boltzmann. Emisividad.

### 2.2: CONDUCCIÓN

- Ecuación fundamental. Condiciones de contorno.
- Conducción unidimensional estacionaria.
- Coeficiente global de transferencia de calor.
- Superficies adicionales.
- Conducción transitoria y multidimensional: Conducción 2-D estacionaria, conducción 1-D transitoria, conducción multidimensional, gráficos de flujo, factores de forma.

### 2.3: CONVECCIÓN FORZADA

- Ecuaciones de conservación para la convección forzada en película laminar.
- Coeficiente de película en superficies planas: régimen laminar, analogía de Reynolds, régimen turbulento.
- Coeficiente de película en tubos: régimen laminar, desarrollo hidráulico y térmico, régimen turbulento.
- Flujo en secciones no circulares.
- Flujo externo a tubos; flujo a través de haces de tubos; flujo exterior a conductos de sección no circular.
- Convección en tanques y reactores agitados.

### 2.4: PROCESOS CONTROLADOS POR LA GRAVEDAD: CONVECCIÓN NATURAL Y CONDENSACIÓN

- Ecuaciones de conservación con la gravedad explícita.
- Convección natural: Coeficiente de película para superficies verticales, cilindros, superficies inclinadas, esferas, recintos y otras configuraciones. Convección mixta natural y forzada.
- Condensación en película: Superficie vertical. Condensación sobre otras superficies: cilindros, esferas, superficies horizontales, serpentines, etc. Condensación en el interior de tubos. Condensación en presencia de gases incondensables.
- Condensación en gotas.

### 2.5: EBULLICIÓN

- Curva característica de la ebullición y regímenes de ebullición.
- Ebullición nucleada.
- Flujo de calor máximo.
- Ebullición en película.
- Influencia del sistema en la ebullición.

### 2.6: CONDENSACIÓN Y EBULLICIÓN POR CONVECCIÓN FORZADA

- Tipos de flujo bifásico líquido-gas. Mapas de flujo.
- Condensación por convección forzada en el interior de tubos.
- Ebullición por convección forzada en el interior de tubos.
- Condensación por convección forzada en flujo externo.
- Ebullición por convección forzada en flujo externo.

### 2.7: RADIACIÓN

- Radiación térmica: poder emisivo, cuerpos negros.
- Propiedades relacionadas con la radiación: emisividad, funciones de radiación, intensidad de radiación.
- Propiedades de las superficies irradiadas: absorptividad, reflectividad, transmisividad. Ley de Kirchhoff.
- El factor de forma.
- Intercambio de calor radiante: Radiación entre superficies negras. Radiación entre superficies grises. Pantallas de radiación. Factor de radiación. Factor refractario.
- Radiación en gases: Propiedades radiantes de los gases. Intercambio de calor entre un gas y un recinto negro.
- Radiación solar: La energía del Sol. Sistemas de energía solar.

### **BLOQUE 3: Transferencia de materia**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 3.1 *Conocer y aplicar las técnicas de cálculo de flujos difusivos de un componente en varias configuraciones y con diversas condiciones de contorno.*
- 3.2 *Comprender el concepto de coeficiente de transferencia de materia y su cálculo en varias configuraciones y regímenes laminar y turbulento.*
- 3.3 *Conocer los modelos de transferencia de materia en interfases y calcular la velocidad de transferencia a partir de las concentraciones en la interfase y utilizando fuerzas impulsoras globales.*

#### *CONTENIDOS*

##### *3.1: DIFUSIÓN DE MATERIA*

- Concentraciones y flujos en mezclas.
- Difusividad en gases, líquidos y membranas.
- Ecuación de conservación de la masa. Ecuación de conservación de un componente.
- Difusión unidimensional estacionaria: Difusión de un solo componente. Aplicación a reacción química heterogénea y homogénea.
- Difusión en más de una dimensión: Difusión en una columna de pared húmeda. Difusión transitoria en láminas, cilindros y esferas. Difusión con convección en la superficie.

##### *3.2: COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MATERIA*

- Definición. Aplicación a contradifusión equimolar y a la difusión de un componente a través de otro que no se difunde.
- Transferencia de materia por convección: Cálculo de coeficientes de transferencia de materia en regímenes laminar y turbulento, en superficies planas y en tubos.

##### *3.3: TRANSFERENCIA DE MATERIA ENTRE FASES*

- Introducción. Relaciones de equilibrio. Perfiles de concentración.
- Modelos para la transferencia de materia en interfases fluido fluido: Teorías de película, de penetración, de renovación superficial y de penetración de película.
- Coeficientes de transferencia de masa globales. Aplicación a contratransferencia equimolar y a la transferencia de un componente a través de una película estática.

#### **b) BIBLIOGRAFÍA**

**BÁSICA:**

- CHAPMAN, A.J., 1990. Transmisión del calor. 4ª ed., Bellisco, Madrid.
- COSTA NOVELLA, E. et al., 1988. Ingeniería Química. Tomo 5: Transferencia de materia. 1ª parte, Alhambra, Madrid.
- HINES, A.L. y MADDOX, R.N., 1987. Transferencia de masa. Prentice-Hall Hispanoamericana, México.
- SANCHIDRIÁN, J.A., 1997. Transmisión del calor. E.T.S.I. Minas, Madrid.

**COMPLEMENTARIA:**

- BIRD, R.B., STEWART, W.E., LIGHTFOOT, E.N., 1982. Fenómenos de transporte. Reverté, Barcelona.
- COSTA NOVELLA, E. et al., 1984. Ingeniería Química. Tomo 2: Fenómenos de transporte, Alhambra, Madrid.
- HOLMAN, J.P., 1992. Heat Transfer. 7ª ed., McGraw-Hill, Londres.
- THOMAS, L.C., 1993. Heat Transfer. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey.
- TREYBAL, R.E., 1988. Operaciones de transferencia de masa. 2ª ed., McGraw-Hill, México.

**c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS**

No hay.

**d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

La evaluación se basa en la capacidad de aplicar los conceptos y técnicas estudiados a la resolución de casos prácticos.

El examen consiste en la realización de varios problemas de aplicación, similares a los llevados a cabo durante el curso. Ocasionalmente, se podrá plantear alguna pregunta breve conceptual.