

# 1. Nombre de la asignatura: FENÓMENOS DE TRANSPORTE EN INGENIERIA DE PROCESOS

(semestral; plan 2000 de Ingeniería Química)

2. Créditos: 12

3. Objetivo de la asignatura

El objetivo de la asignatura es que el estudiante adquiera los conceptos básicos de los mecanismos de transporte de cantidad de movimiento, calor y materia que controlan la velocidad de los procesos y operaciones unitarias. Es una asignatura básica donde se encara un estudio fenomenológico y analítico de los mecanismos físicos que determinan los flujos de cantidad de movimiento, calor y materia.

4. Metodología de enseñanza

El curso tiene asignadas 6 horas de clase semanales distribuidas en la relación: 60% de clases teóricas, y 40% de clases de resolución de ejercicios y laboratorio

5. Temario

## Tema 1: Introducción

Concepto de velocidad de transferencia y área requerida. Definición de flujo, potencial y resistencia para los tres fenómenos de transporte. Propiedades del fluido y del flujo. Campos, Sistema y Volumen de control.

## Tema 2: Transporte de cantidad de movimiento

Viscosidad y mecanismo molecular de transporte; Fluidos newtonianos; ley de Newton. Esfuerzo cortante y condición de no deslizamiento. Desviaciones respecto a la ley de Newton; fluidos no newtonianos. Estimación de viscosidad Medida de la viscosidad en líquidos y gases.

## Tema 3: Ecuaciones de variación de cantidad de movimiento

3.1- Distribución de velocidad en flujo laminar y estado estacionario: análisis en un volumen de control. Balance diferencial de cantidad de movimiento en un elemento diferencial de flujo rectilíneo estacionario en un volumen de control. Obtención del perfil de velocidades, del flujo volumétrico y de la fuerza sobre las superficies límite del sistema

3.2- Forma general de las ecuaciones diferenciales de continuidad y cantidad de movimiento en diferentes sistemas coordenados. Caso particular de fluidos newtonianos incompresibles. Balance diferencial de energía mecánica.

## Tema 4: Balances macroscópicos en sistemas isotérmicos.

Balances cantidad de movimiento y energía mecánica en un sistema. Energía perdida por fricción. Relación entre las pérdidas de energía por fricción y la fuerza del fluido sobre los límites del sistema.

## Tema 5: Capa límite hidrúlica en flujo laminar (viscoso)

Concepto de capa límite hidrúlica- Teoría de Prandtl. Ecuaciones diferenciales de la capa límite. Perfil de velocidad espesor de la capa límite, fuerza sobre la interfase del sistema. Experimento de Reynolds y de Hele-Shaw

## Tema 6: Flujo turbulento: Distribución de velocidades y esfuerzos en flujo turbulento.

Concepto de transporte turbulento de cantidad de movimiento Concepto de capa límite turbulenta: Viscosidad de remolino; longitud de mezcla. Distribución universal de velocidades en flujo turbulento en tubos y sobre placas. Relaciones experimentales entre velocidad máxima y media en flujo turbulento. Experimento de Reynolds.

## Tema 7: Transporte de energía

7.1- Breve introducción a los distintos mecanismos de transporte de energía (conducción, convección y radiación) Transporte de energía por conducción; Ley de Fourier. Definición de la conductividad térmica; Estimación de la conductividad térmica. Medida de la conductividad térmica en sólidos.

7.2- Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación en sistemas no isotérmicos. Balance diferencial de energía en un volumen de control. Balance diferencial de energía mecánica y de energía térmica. Formas de la ecuación de la energía térmica en función de la temperatura. Ley de Newton del enfriamiento. Concepto de coeficiente de transferencia de calor. Cálculo del perfiles de temperatura y flujos de calor.

## Tema 8: Balances macroscópicos en sistemas no isotérmicos.

Balances macroscópicos de energía y de energía térmica en un sistema. Flujo de calor en los límites del sistema

#### Tema 9: Capa límite térmica en flujo laminar

Concepto de capa límite térmica; Teoría de Prandtl. Ecuaciones diferenciales de la capa límite térmica. Perfil de velocidad y temperaturas y espesor de la capa límite hidráulica y térmica en función del N° de Reynolds y Prandtl. Flujo de calor en la interfase. Ley de Newton del enfriamiento y concepto de coeficiente de transferencia de calor. Obtención a partir de las soluciones de la capa límite.

#### Tema 10: Transferencia de calor y distribución de temperatura en flujo turbulento.

Concepto de transporte turbulento de energía térmica. Concepto de capa límite térmica turbulenta. Ecuación de variación de la energía térmica para flujo turbulento; Conductividad térmica de remolino; longitud de mezcla de Prandtl. Analogías entre transporte de cantidad de movimiento y transporte de energía térmica en flujo turbulento: Analogías de Reynolds, de Prandtl y de Colburn.

#### Tema 11: Transporte de materia

11.1- Difusividad y mecanismo molecular de transporte de especies, Definición de concentración de una especie y densidad de flujo de materia. Definiciones de velocidades de flujo de materia. Transporte de materia por difusión: Ley de Fick. Definición de la difusividad de una especie en un sistema binario; Estimación de la difusividad para mezclas de gases y líquidos.

11.2- Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación de concentraciones en sistemas binarios. Ecuación diferencial de continuidad para cada especie. Condiciones de contorno usuales en este tipo de sistema. Flujo molecular de cada especie: Ley de Fick.; Formas de la ecuación de continuidad de cada especie. Concepto de coeficiente de transferencia de materia.

#### Tema 12: Balances macroscópicos de especies en sistemas isotérmicos.

Balances macroscópicos global de materia y balances macroscópicos de cada especie en un sistema. Flujo de materia y de especies en los límites del sistema

#### Tema 13: Capa límite de concentración en flujo laminar (viscoso).

Concepto de capa límite de concentraciones; Teoría de Prandtl. Ecuaciones diferenciales de la capa límite de concentración. Relación entre estas ecuaciones y sus condiciones de contorno con las correspondientes a la capa límite térmica. Análisis de las similitudes entre las ecuaciones de capa límite térmica y de materia y sus condiciones de contorno. Perfil de velocidad y de concentraciones y del espesor de la capa límite hidráulica y de concentraciones en función del N° de Reynolds y Schmidt. Flujo de materia en la interfase del sistema; Concepto de coeficiente de transferencia de materia. Obtención a partir de las soluciones de la capa límite.

#### Tema 14: Transferencia de materia y distribución de concentraciones en flujo turbulento.

Concepto de transporte turbulento de especies. Concepto de capa límite turbulenta de concentración de especies; Difusividad de remolino; longitud de mezcla de Prandtl. Analogías entre transporte de cantidad de movimiento, transporte de energía térmica y transporte de materia: Analogías de Reynolds, de Prandtl y de Chilton y Colburn. Flujo de materia en la interfase. Coeficiente de transferencia de materia.

## 6. Bibliografía

### Bibliografía básica

- Bird, R., Stewart, W. And Lightfoot, E., Fenómenos de Transporte. Ed. Reverté, Mexico, 5ª reimpresión 1998. (ISBN 968-6708-17-0);
- Necati Özilçik, M., Transferencia de Calor. Ed. McGraw Hill Latinoamericana S.A, 1975. (ISBN 0-07-091944-5);

### Bibliografía adicional

- Welty, J., Wicks, C. And Wilson, R., Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. Ed. Limusa, Noriega Editores, Mexico, 1996. (ISBN 968-18-1306-5);
- Fox R.W., Mc Donald A.T., "Introducción a la mecánica de fluidos", Mc Graw Hill, 4a ed.; 1997. (ISBN:0-471-54852-9)
- Foust, A., Wenzel, L., Clump, C., Maus, L. and Bryce, L., Principios de operaciones Unitarias. CECSA, Mexico, 1979;
- Whitaker, S., Fundamentals of heat transfer; Krieger Publishing Company Inc., 1983. (ISBN 0-89874-543-8)

7. Conocimientos previos exigidos: Termodinámica de sistemas cerrados.

Conocimientos recomendados: Se recomienda haber cursado o estar cursando simultáneamente Termodinámica química

ANEXOS:

ASIGNATURA: Fenómenos de transporte en ingeniería de procesos

MATERIA: Ingeniería de los Procesos Físicos

a) Procedimiento de evaluación de la asignatura:

La evaluación del curso (práctico y teórico) será realizada mediante dos pruebas que se realizarán, la primera al promediar el curso, relativa a los temas tratados hasta dicho momento y la segunda una vez finalizado el curso, con énfasis en los temas tratados luego de la primera prueba. De los resultados obtenidos por el estudiante en estas pruebas surgirán tres posibilidades.

- 1) Aprobación de la asignatura;
- 2) El estudiante deberá realizar una prueba de recuperación total (sobre la totalidad del programa).
- 3) Insuficiencia en el curso, por lo cual se reprueba el mismo

La suma de los puntajes obtenidos por el estudiante en las pruebas parciales podrá alcanzar un total de 100 puntos: un máximo de 50 puntos en el primer parcial y un máximo de 50 puntos en el segundo. Los parciales no tienen puntaje mínimo exigible. La aprobación de la asignatura se logra acumulando como mínimo 60 puntos. Si el resultado acumulado es menor a 25 puntos, se reprueba la asignatura. Si se acumulan entre 25 y 59 puntos, el estudiante debe rendir una prueba de recuperación total: si el resultado de esta prueba es como mínimo 60 puntos sobre 100, el estudiante aprueba la asignatura, y si el resultado es menor de 60 puntos sobre 100, el estudiante reprueba la asignatura. El puntaje del control de recuperación no es acumulable con el puntaje obtenido en los parciales anteriores.

De las inasistencias:

- 1) En caso de inasistencia a un control, el estudiante que presente certificado médico expedido por la D.U.S. (División Universitaria de la Salud) podrá realizar la prueba de recuperación global del curso para aprobar la asignatura. Para acceder a esta instancia de recuperación en estas condiciones, el estudiante deberá poseer una calificación mínima de 12 puntos en el control restante.
- 2) La inasistencia a la instancia de recuperación implica la pérdida del curso, no existiendo otra instancia de evaluación.

b) Cronograma

Semana	Tema Nº	Contenido
1	1	Introducción a los fenómenos de transporte
	2	Transporte de cantidad de movimiento.
2	2	Transporte de cantidad de movimiento
	3	Distribución de velocidad en flujo laminar. Análisis en un volumen de control.
3	3	Distribución de velocidad en flujo laminar. Análisis en un volumen de control.
		Clase práctica Nº 1
4	4	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación en sistemas isotérmicos
	4	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación en sistemas isotérmicos
5		Clase práctica Nº 2
	4	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación en sistemas isotérmicos
6	5	Balances macroscópicos en sistemas isotérmicos
		Clase práctica Nº 3
7	6	Capa límite hidráulica en flujo laminar
	6	Capa límite hidráulica en flujo laminar
8		Clase práctica Nº 4
	7	Flujo turbulento: Distribución de velocidades y esfuerzos en flujo turbulento
	7	Flujo turbulento: Distribución de velocidades y esfuerzos en flujo turbulento

		Clase práctica N° 5
7		Feriado
	8	Transporte de energía térmica. Conductividad térmica y mecanismo molecular de transporte
		Clase práctica N° 6
8	9	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación en sistemas no isotérmicos.
	10	Balances macroscópicos en sistemas no isotérmicos
		Clase práctica N° 7
9	10	Balances macroscópicos en sistemas no isotérmicos
	11	Capa límite térmica en flujo laminar
		Clase práctica N° 8
10		
		<b>Primer Parcial de Curso</b>
11	12	Transferencia de calor y distribución de temperatura en flujo turbulento
	12	Transferencia de calor y distribución de temperatura en flujo turbulento
		Clase práctica N° 9
12	13	Transporte de materia. Difusividad y mecanismo molecular de transporte de especies
	14	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación de concentración.
		Clase práctica N° 10
13	14	Forma general de las ecuaciones diferenciales de variación de concentración.
	15	Balances macroscópicos de especies en sistemas isotérmicos
		Clase práctica N° 11.
14	16	Capa límite de concentración en flujo laminar.
	16	Capa límite de concentración en flujo laminar.
		Clase práctica N° 12
15		Feriado
	17	Transferencia de materia y distribución de concentraciones en flujo turbulento
		Clase práctica N° 13
16		Clase práctica N° 14
		Clase práctica N° 15
		Clase práctica N° 16
17		

### Segundo parcial

Aprobado por Resol. de Consejo de Facultad de Ingeniería en su  
Sesión de fecha 24.6.92. Exp.:060170-000212-02