



## Programa de FENÓMENOS DE TRANSPORTE EN INGENIERÍA DE PROCESOS

### 1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Fenómenos de Transporte en Ingeniería de Procesos

### 2. CRÉDITOS

12 créditos

### 3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

#### Objetivo general

Adquirir los conceptos básicos de los mecanismos de transporte de cantidad de movimiento, calor y materia que controlan la velocidad de los procesos en sistemas en flujo y las distintas operaciones unitarias, a través de un estudio fenomenológico y analítico de los mecanismos físicos involucrados.

#### Objetivos específicos

- 1) Saber identificar los mecanismos de transporte de materia, energía y cantidad de movimiento que tienen lugar en un proceso y plantear las ecuaciones que los gobiernan.
- 2) Saber transformar el problema físico en una formulación matemática y comprender bajo qué hipótesis la idealización es válida y como influyen cada una de éstas en el resultado si no se cumplieran. Saber elegir el mejor método de resolución. Saber establecer las condiciones iniciales y/o contorno del problema.
- 3) Comprender las diferencias entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y las características de la transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia en ambos regímenes.
- 4) Saber plantear problemas de transporte de cantidad de movimiento, transferencia de calor o de materia en una, dos o tres dimensiones, en flujo laminar y turbulento, en estado estacionario y no estacionario, en volúmenes de control diferenciales o integrales. Resolver dichos problemas en las situaciones de flujo más habituales, generalmente unidireccionales y en estado estacionario.



- 5) Adquirir habilidades transversales como la conceptualización matemática de un problema. Ser capaces de exponer un problema y su solución oralmente frente a pares y docentes. Ser capaces de contestar las preguntas que puedan surgir sobre una situación problemática dada.

#### 4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

El curso tiene asignadas 5 horas de clase semanales, distribuidas en 2 horas de clases teóricas y 3 horas de práctico de resolución de ejercicios y dos instancias de clases prácticas de laboratorio en el semestre.

Las clases teóricas serán en modalidad invertida. Los estudiantes tendrán disponible un video con los contenidos que se darán en cada clase, que deberán ver previo a la misma. En la clase presencial se repasarán algunos conceptos y se darán algunos ejemplos para afianzar el tema abordado.

Las clases de resolución de ejercicios serán expositivas, pudiendo presentar los estudiantes ejercicios seleccionados. La exposición será en grupo.

Las actividades de laboratorio, también se realizarán en grupos de estudiantes, que se conformarán al inicio de la asignatura. Cada grupo deberá concurrir al laboratorio en el horario asignado y luego realizar un informe.

Hs de clase directa: 5 hs/sem.

Hs de estudio y resolución de problemas: 7 hs/sem

#### 5. TEMARIO

##### **Tema 1: Introducción a los Fenómenos de Transporte**

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. Leyes de conservación.

##### **Tema 2: Transporte de cantidad de movimiento**

Definición de esfuerzos. Esfuerzos cortantes y tangenciales. Tensor de esfuerzos. Viscosidad y mecanismo molecular de transporte. Fluidos newtonianos: ley de Newton. Desviaciones respecto a la ley de Newton: fluidos no newtonianos. Estimación de la viscosidad. Medida de la viscosidad en líquidos y gases.

##### **Tema 3: Distribución de velocidades y de esfuerzos en flujo laminar**

3.1- Distribución de velocidades 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 másico y de la fuerza sobre las superficies límite del sistema. Definición de factor de fricción.

3.2- Forma general de las ecuaciones diferenciales de continuidad y cantidad de movimiento en diferentes sistemas coordenados. Casos particulares: fluidos newtonianos incompresibles (Ecuaciones de Navier-Stokes). Ejemplos de aplicación de las ecuaciones de variación para distintos fluidos en distintas situaciones de flujo.

#### **Tema 4: Capa límite hidrodinámica en flujo laminar**

Concepto de capa límite hidráulica– Teoría de Prandtl. Ecuaciones diferenciales de la capa límite. Perfil de velocidades, espesor de la capa límite, perfiles de esfuerzos y fuerza sobre la interfase del sistema. Experimento de Reynolds.

#### **Tema 5: Distribución de velocidades y de esfuerzos en flujo turbulento.**

Concepto de transporte turbulento de cantidad de movimiento. Parámetros de tiempo ajustado. Ecuaciones de variación en flujo turbulento. Esfuerzos de Reynolds. Definición de viscosidad de remolino y teoría de la longitud de mezcla. Distribución de velocidades y esfuerzos en flujo turbulento. Expresiones experimentales para el perfil de velocidades en el flujo turbulento: ley de la n-ésima potencia. Relaciones experimentales entre velocidad máxima y media en flujo turbulento. Concepto de capa límite turbulenta. Espesor de la capa límite turbulenta. Cálculo de fuerzas y esfuerzos en la capa límite turbulenta.

#### **Tema 6: Balances macroscópicos en sistemas isotérmicos.**

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

#### **Tema 7: Mecanismos de Transporte de Energía**

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.

#### **Tema 8: Ecuaciones de variación en sistemas no isotérmicos**

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. Cálculo de perfiles de temperatura y de flujos de calor. Para la transferencia de calor en sólidos, conceptos de sistemas en serie y paralelo, resistencia equivalente a la transferencia de calor. Coeficiente global de Transferencia de calor. Transferencia de calor en sistemas en flujo en régimen laminar: caso particular de la transferencia de calor en un tubo en régimen laminar. Concepto de coeficiente de



transferencia de calor: Ley del enfriamiento de Newton. Número de Nusselt: definición y significado físico.

### **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 temperaturas y espesor de la capa límite hidráulica y térmica en función de los números de Reynolds y de Prandtl. Flujo de calor en la interfase. Ley de Newton del enfriamiento. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor a partir de las soluciones de la capa límite.

### **Tema 10: Transferencia de calor en flujo turbulento.**

Concepto de transporte turbulento de energía térmica. Extensión de la definición de parámetros de tiempo ajustado. Ecuación de variación de la energía térmica para flujo turbulento. Definición del flujo de calor turbulento. Conductividad térmica de remolino y teoría de la longitud de mezcla de Prandtl. Analogías entre transporte de cantidad de movimiento y transporte de energía térmica en flujo turbulento: Analogías de Reynolds y de Colburn. Concepto de capa límite térmica turbulenta.

### **Tema 11: Balances macroscópicos en sistemas no isotérmicos.**

Balances macroscópicos de energía total y de energía térmica en un sistema macroscópico. Flujo de calor en los límites del sistema. Cálculos de temperaturas medias de salida, flujos de calor y áreas de transferencia en sistemas macroscópicos en flujo.

### **Tema 12: Mecanismos de Transporte de materia.**

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. Concepto de flujo difusivo y flujo global.

### **Tema 13: Ecuaciones de variación de concentraciones en sistemas binarios.**

Forma general de la ecuación diferencial de continuidad para cada especie. Condiciones de contorno usuales en este tipo de sistema. Utilización de la Ley de Fick. Concepto de coeficiente de transferencia de materia. Cálculo del flujo de materia y de perfiles de concentración en diversos sistemas quietos y en flujo laminar. Transferencia de materia en sistemas en flujo en régimen laminar: caso particular de la transferencia de materia en un tubo en régimen laminar. Concepto de coeficiente de transferencia de materia. Ley de Newton de la transferencia de masa. Número de Sherwood: definición y significado físico.

### **Tema 14: Capa límite de concentración en flujo laminar.**

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 concentraciones en la capa límite laminar. Espesor de la capa límite de concentraciones en función de los números de Reynolds y de Schmidt. Flujo de materia en la interfase del sistema; Concepto de coeficiente de transferencia de materia. Cálculo del coeficiente de transferencia de materia a partir de las soluciones de la capa límite.

**Tema 15: Transferencia de materia en flujo turbulento.**

Concepto de transporte turbulento de especies. Extensión de la definición de parámetros de tiempo ajustado. Ecuación de continuidad de especies en el flujo turbulento. Definición del flujo de materia turbulento. Difusividad de remolino y teoría de la longitud de mezcla de Prandtl. Analogías entre transporte de cantidad de movimiento, transporte de energía térmica y transporte de materia: Analogías de Reynolds y de Colburn. Flujo de materia en la interfase. Coeficiente de transferencia de materia. Concepto de capa límite turbulenta de concentración de especies

**Tema 16: Balances macroscópicos de especies en sistemas isotérmicos.**

Balances macroscópicos global de materia y balances macroscópicos de cada especie en sistemas macroscópicos. Flujo de materia de cada especie en los límites del sistema. Cálculos de concentraciones medias de salida, flujos de materia y áreas de transferencia en sistemas macroscópicos en flujo.

**6. BIBLIOGRAFÍA**

Tema	Básica	Complementaria
1	(1) ó (2)	(4)
2	(1) ó (2)	
3	(1) ó (2)	(4)
4	(3)	(4)
5	(1), (2) ó (3)	(4)
6	(1) ó (2)	
7	(1) ó (2)	(5) y (6)
8	(1) ó (2)	
9	(3)	(5) y (6)
10	(1), (2) ó (3)	(5) y (6)
11	(1) ó (2)	(5) y (6)
12	(1) ó (2)	
13	(1) ó (2)	
14	(3)	
15	(1), (2) ó (3)	
16	(1) ó (2)	



## 6.1 Básica

- 1) Bird R., Stewart W., Lightfoot E.; Fenómenos de Transporte; Ed. Reverté, 1ª edición, 5ª reimpresión. España. 1992.
- 2) Bird R., Stewart W., Lightfoot E.; Fenómenos de Transporte; Ed. Limusa Wiley, 2ª edición. México. 2007.
- 3) Apuntes del curso; Gerla P., Clavijo L., Zecchi B.; Teoría de la capa límite: Transferencia de momento, calor y materia en la capa límite laminar y turbulenta.

## 6.2 Complementaria

- 4) Welty J.R. "Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa", 2a Edición, Limusa Wiley, México. 2002.
- 5) Geankoplis, C.J., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 4ª Edición, Cecsá. México. 2000.
- 6) Necati Özisik, M., "Transferencia de Calor". 1ra Edición. McGraw Hill Latinoamericana S.A. Ed., Colombia, 1975.

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

### 7.1 Conocimientos Previos Exigidos:

**Física:** Cinemática y dinámica de partículas. Conservación de la cantidad de movimiento. Trabajo y Energía. Torque. Definiciones de campo, flujo y densidades de flujos. Estática de fluidos. Presión, densidad. Leyes de la hidrostática.

**Matemática:** Cálculo diferencial e integral. Integrales sobre superficies y volúmenes. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Operadores Gradiente, divergencia y Laplaciano. Operaciones con vectores, tensores y geometría del espacio. Sistemas coordenados en diferentes geometrías.

**Termodinámica:** Calor, Trabajo, Energía Interna, Entalpía, Entropía. Leyes de la Termodinámica en sistemas cerrados. Ley de los gases ideales.

**Química general:** Reacciones químicas. Expresiones de la concentración. Cálculos estequiométricos. Termoquímica. Calor de reacción. Cinética química.



## 7.2 Conocimientos Previos Recomendados:

Para las carreras de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, se recomienda haber cursado o estar cursando simultáneamente:

**Cinética Química:** Medidas de la rapidez de reacción. Reacciones elementales de orden cero, uno y dos. Reacciones complejas. Reacciones opuestas, sucesivas y paralelas o competitivas. Mecanismos de reacción. Variación de la rapidez de reacción con la temperatura. Ecuación de Arrhenius. Teoría de las colisiones. Teoría del estado de transición o del complejo activado. Cinética química: catálisis (homogénea, enzimática y heterogénea). Conceptos generales sobre catálisis. Catálisis homogénea y heterogénea.



**ANEXO A**  
**Para todas las Carreras**

**A1) INSTITUTO**

Instituto de Ingeniería Química

**A2) CRONOGRAMA TENTATIVO**

Semana	Hs directas	Clase N°	Contenido
1	1	1T	Presentación del curso
	3	2T	Teórico Tema 1
2	1.5	3T	Teórico Temas 2 y 3.1
	3	1P	Guía de práctico N° 1
3	1.5	4T	Teórico Tema 3.2
	3	2P	Guía de práctico N° 1 y 2
4	1.5	5T	Teórico Tema 4
	3	3P	Guía de práctico N° 2
5	1.5	6T	Teórico Tema 5
	3	4P	Guía de práctico N° 2 y 3
6	1.5	7T	Teórico Tema 6
	3	5P	Guía de práctico N° 3
7	1.5	8T	Teórico Temas 7 y 8
	3	6P	Guía de práctico N° 4
8	1.5	9T	Teórico Tema 8
	1.5	10T	Teórico Tema 9
9	3	7P	Guía de práctico N° 5
	1.5	11T	Teórico Tema 10 y 11
10	3	8P	Guía de práctico N° 5 y 6



11	1.5	12T	Teórico Temas 12 y 13
	3	9P	Guía de práctico N° 6
12	1.5	13T	Teórico Tema 13
	3	10P	Guía de práctico N° 7
13	1.5	14T	Teórico Temas 14, 15 y 16
	3	11P	Guía N° 7
14	1,5	12P	Guía N° 8
	1.5	13P	Guía N° 8
	3	14P	Repaso

### A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

La evaluación del curso será realizada mediante la participación de los estudiantes en clase (la que será evaluada a través de cuestionarios una vez por semana con situaciones sencillas para resolver en base a lo estudiado), la asistencia obligatoria a dos clases prácticas de laboratorio y dos pruebas parciales de contenido teórico y práctico.

La primera prueba tendrá lugar al promediar el curso, y será 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 la suma de los puntajes obtenidos en todas las instancias de evaluación, surgirán tres posibilidades:

- 1) Aprobación (exoneración) de la asignatura.
- 2) El estudiante deberá realizar una prueba de examen (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 la evaluación de su participación en clase, en el laboratorio y de las pruebas parciales podrá alcanzar un total de 100 puntos, distribuidos de la siguiente manera: un máximo de 10 puntos en las actividades de participación en clase, un máximo de 10 puntos en las actividades de laboratorio, un máximo de 40 puntos en el primer parcial y un máximo de 40 puntos en el segundo. Los parciales no tienen puntaje mínimo exigible.

La aprobación de la asignatura se logra acumulando entre todas las instancias de evaluación como mínimo 60 puntos. Si el resultado acumulado es menor a 25 puntos, se reprueba la asignatura y debe recurrar. Si se acumulan entre 25 y 59 puntos, el estudiante debe rendir examen, teniendo para ello tres instancias consecutivas, previas a la próxima edición del curso.



### **Sobre los exámenes:**

Las instancias de exámenes podrán ser escritas u orales, dependiendo del período.

En las instancias escritas, si el resultado del examen es como mínimo de 60 puntos sobre 100, el estudiante aprueba la asignatura, y si el resultado es menor de 60 puntos sobre 100, el estudiante reprueba el examen.

En las instancias orales se deberá demostrar manejar con solvencia la temática propuesta por el tribunal.

### **Sobre las inasistencias:**

1) En caso de inasistencia a una prueba, el estudiante que presente certificado médico podrá realizar las pruebas de examen del curso, perdiendo la posibilidad de exoneración. Para acceder a estas instancias de examen en estas condiciones, el estudiante deberá poseer una calificación mínima de 12,5 puntos en la prueba a la que asistió.

2) En caso de que la inasistencia a un parcial no sea justificada, se computará una calificación de "cero" en el mismo. Para poder rendir el examen, se exigirá un mínimo de 25 puntos en el parcial restante.

3) La inasistencia a ambos parciales (justificada o no) implica la pérdida del curso.

## **A4) CALIDAD DE LIBRE**

Los estudiantes no pueden acceder a la calidad de libre.

## **A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

Cupos mínimos: no tiene

Cupos máximos: no tiene

APROBADO POR RES. DE CONSEJO DE FAC. DE ING.  
Fecha 18/03/2025 EXP: 060170-000100-22