



# Planificaciones

7647 - Fenómenos de Transporte

Docente responsable: FRANCESCONI JAVIER ANDRES

## OBJETIVOS

El rol tradicional del Ingeniero Químico relacionado específicamente a las industrias químicas y del petróleo, ha sido ampliamente superado hoy en día y, esta tendencia de ampliación de sus campos de acción, se acrecienta año tras año. Es así como los Ingenieros Químicos están actualmente involucrados en el desarrollo, implementación y puesta en marcha de procesos que están vinculados a industrias como la farmacéutica, la alimentaria y hasta la industria de fabricación de dispositivos electrónicos. Además, su rol es y será fundamental en el desarrollo de tecnologías de menor impacto ambiental ("green technology") y en el planteo de estrategias de remediación de contaminación. Sin dudas, los Ingenieros Químicos en el futuro tendrán un rol de liderazgo en el desarrollo y la implementación de tecnologías para la obtención de energía que sean sustentables y permitan la continuidad de la especie humana.

Es necesario entonces, que los Ingenieros Químicos conozcan no sólo las tecnologías actuales, sino también, tengan un conocimiento profundo de los fundamentos físicos y termodinámicos de los procesos de transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia. Sólo con el conocimiento profundo de los fundamentos de la disciplina, podrán dominar las nuevas tecnologías que se producen y seguirán produciéndose en los años venideros.

La materia Fenómenos de Transporte contiene los fundamentos físicos de las transferencias de cantidad de movimiento (mecánica de fluidos), calor y materia que constituyen la base teórica para el diseño de procesos y equipos presentes en toda planta química y que todo ingeniero químico debe dominar.

La esencia de esta asignatura es el establecimiento cuidadoso y compacto de los principios de conservación junto con las expresiones de flujo, con énfasis en las similitudes y diferencias entre los tres procesos de transporte considerados.

El lenguaje de los fenómenos de transporte es la matemática, y por lo tanto, el desarrollo de los contenidos de la asignatura se apoya en los conocimientos que los alumnos han adquirido en las materias del área de Matemática, relativos a ecuaciones diferenciales ordinarias, en derivadas parciales y análisis vectorial elemental. Si bien las técnicas numéricas tienen gran importancia en el estudio de estos fenómenos, son diferidas a cursos de especialización, no por desmerecer su obvia importancia, sino para concentrarse en la comprensión de los fundamentos.

El objetivo central de la asignatura Fenómenos de Transporte es que los alumnos puedan comprender los fenómenos de transferencia que ocurren en la Ingeniería Química, por separado y en conjunto.

Simultáneamente, esta comprensión física cualitativa debe ser trasladada a una forma cuantitativa. Es decir, los alumnos aprenderán a plantear los sistemas de ecuaciones que gobiernan esos fenómenos y bajo que hipótesis se podrá resolver. El planteo matemático será realizado primeramente en forma macroscópica, como ecuaciones integrales de balance aplicadas a volúmenes de control y que se conocen con el nombre de Balances Macroscópicos. Luego, se enseñará el planteo de las ecuaciones diferenciales de balance a nivel microscópico bajo el concepto de medio continuo, conocidas como Balances Microscópicos. Se analizarán las condiciones iniciales y de contorno que se presentan con frecuencia, y se planteará su resolución a casos sencillos donde se puede obtener la solución analíticamente. Adicionalmente, al estudiar la transferencia de materia, se incluyen brevemente los conceptos de reacción química y de velocidad de reacción, aplicándolos a algunos problemas sencillos, ya que el tema es de central interés en el diseño de reactores.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

-

## PROGRAMA SINTÉTICO

1. Nociones fundamentales: Concepto de medio continuo. Estados físicos de la materia. Fluidos y sólidos. Fuerzas de superficie y de volumen. Tensiones. Estática de fluidos. Fluidos en movimiento. Descripción del movimiento del fluido: Representación de Euler y de Lagrange. Sistemas y volúmenes de control. Caracterización de flujos. Flujos laminares, flujos turbulentos, flujos, compresibles e incompresibles. Estado estacionario y no estacionario.
2. Balances integrales: Teorema del transporte. Conservación de la masa. Balance de cantidad de movimiento: Segunda Ley de Newton. Conservación de la Energía Mecánica. La ecuación de Bernoulli. Conservación de la Energía: el Primer Principio de la Termodinámica. Balances macroscópicos de energía total y energía interna.
3. Balances diferenciales en Régimen Laminar: La ecuación de continuidad. El balance de masa diferencial por especie. El transporte molecular de cantidad de movimiento. Definición de Viscosidad. Ecuación constitutiva de los fluidos newtonianos. Fluidos no newtonianos. El tensor de esfuerzos de corte. Las relaciones de Stokes. Las ecuaciones de Navier- Stokes. La ecuación de la energía mecánica. El experimento de Reynolds. Teoría de la capa límite. Análisis dimensional de las ecuaciones de variación. Análisis Integral de von Karman.
4. Turbulencia: Turbulencia. Las ecuaciones de variación para flujo turbulento e incompresible. El esfuerzo de corte turbulento. Expresiones empíricas para el esfuerzo de corte turbulento. La viscosidad turbulenta. La Longitud de Mezclado.
5. Transporte de interfase en la Transferencia de Cantidad de Movimiento: La fuerza de interacción fluido-

partícula. El coeficiente de arrastre alrededor de un objeto sumergido. El factor de fricción en tubos. Pérdidas por fricción en cañerías y accesorios. El factor de fricción en lechos rellenos. Ley de Darcy, Blake-Kozeny y Karman-Kozeny. Ecuación de Ergun.

6. Nociones fundamentales de la transferencia de calor: Mecanismos de transferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación. Conducción del calor. Ley de Fourier. Conductividad térmica. Convección. Ecuación de Newton. Ley de Stefan-Boltzmann Cuerpo negro. Flujo de calor neto entre dos superficies. Mecanismos combinados.

7. Ecuaciones diferenciales de la transferencia de calor: Ecuaciones diferenciales de energía total y energía interna. La ecuación de la temperatura. Generación viscosa de energía. Flujo compresible unidimensional.

8. Conducción: Conducción en sólidos en estado estacionario. Superficies planas, cilíndricas y esféricas. Definición de coeficiente global de transferencia de calor entre fluidos. Las superficies extendidas como método para aumentar la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo entre dos fluidos. Conducción en sólidos en régimen variable. Solución analítica del problema de la placa plana con condición de contorno de temperatura o de flujo calórico superficial. Soluciones para geometría cilíndrica y esférica. Evolución de la temperatura central. Soluciones gráficas.

9. Transporte de Interfase en la Transferencia de calor: El coeficiente de transferencia de calor para convección alrededor de objetos sumergidos. El coeficiente de transferencia de calor para convección forzada en tubos. Analogías de Reynolds y de Chilton-Colburn. Convección natural. Correlaciones para régimen laminar y turbulento. Intercambiadores de calor. El coeficiente de transferencia de calor para lechos rellenos. Aplicaciones.

10. Transporte por radiación: Emisión y absorción de energía radiante. Leyes básicas. Cuerpos negros y cuerpos reales. Intercambio de energía entre cuerpos negros. Intercambio de energía entre cuerpos grises. Radiación atmosférica. Radiación solar y terrestre. Balance de energía para la Tierra y para la atmósfera.

11. Nociones fundamentales de la transferencia de materia: Difusión molecular en fluidos. Ley de Fick de la difusión. Estimación de los coeficientes de difusión. Influencia de la presión y la temperatura en los coeficientes de difusión.

12. Balances diferenciales para sistemas de dos componentes: La ecuación de continuidad para una mezcla binaria. Difusión en sólidos. Difusividad Knudsen. Difusividad efectiva.

13. Transporte de materia en la interfase: Convección. Difusión en régimen laminar: película descendente. Teoría de la capa límite. Coeficiente de transferencia de materia para una sola fase. Correlaciones para columna de pared mojada, placa plana, esferas y cilindros. Analogías entre transferencia de masa y transferencia de calor. Transferencia de masa entre dos soluciones. Concepto de equilibrio Teoría de la doble película. Expresión del flujo molar de interfase en función de la curva de equilibrio. Equipo continuo elemental de transferencia de masa (Ej. columna de absorción). Transporte acoplado de calor, agua y vapor de agua.

## PROGRAMA ANALÍTICO

### 1. Nociones fundamentales:

Concepto de medio continuo. Estados físicos de la materia. Fluidos y sólidos. Fuerzas de superficie y de volumen. Tensiones. Estática de fluidos. Variación de la presión en un fluido en reposo. Aplicaciones a manometría. Variaciones de presión en la atmósfera. Fuerzas sobre superficies sumergidas. Flotación. Fluidos en movimiento. Descripción del movimiento del fluido: Representación de Euler y de Lagrange. Sistemas y volúmenes de control. Caracterización de flujos. Flujos laminares, flujos turbulentos, flujos, compresibles e incompresibles. Estado estacionario y no estacionario.

### 2. Balances integrales:

Teorema del transporte. Conservación de la masa. Balance integral de materia total y por especies. Ejemplos. Balance de cantidad de movimiento: Segunda Ley de Newton. Cálculos de fuerzas y momentos resultantes de la interacción fluido-sólido. Conservación de la Energía Mecánica. La ecuación de Bernoulli. Balances de masa y energía mecánica aplicados a diagramas de flujo simples de plantas de proceso. Conservación de la Energía: el Primer Principio de la Termodinámica. Balances macroscópicos de energía total y energía interna.

### 3. Balances diferenciales en Régimen Laminar:

La ecuación de continuidad. El balance de masa diferencial por especie. El transporte molecular de cantidad de movimiento. Definición de Viscosidad. Ecuación constitutiva de los fluidos newtonianos. Fluidos no newtonianos. Influencia de la presión y la temperatura en la viscosidad de los fluidos. Cálculo de la viscosidad. El tensor de esfuerzos de corte. Las relaciones de Stokes. La ecuación de la cantidad de movimiento. Las ecuaciones de Navier- Stokes. Aplicaciones a la obtención de perfiles de velocidad y esfuerzos de corte en régimen laminar. Ecuación de Hagen-Poiseuille. Flujo Couette. Flujo reptante. La ecuación de la energía mecánica. El experimento de Reynolds. Teoría de la capa límite. Análisis dimensional de las ecuaciones de variación. Análisis Integral de von Karman.

### 4. Turbulencia:

Turbulencia. Las ecuaciones de variación para flujo turbulento e incompresible. El esfuerzo de corte turbulento. Expresiones empíricas para el esfuerzo de corte turbulento. La viscosidad turbulenta. La Longitud de Mezclado.

### 5. Transporte de interfase en la Transferencia de Cantidad de Movimiento:

La fuerza de interacción fluido-partícula. El coeficiente de arrastre alrededor de un objeto sumergido.

Sedimentación. Elutriación. El factor de fricción en tubos. Diagrama de Moody. Pérdidas por fricción en cañerías y accesorios. Cañerías de sección no circular, concepto de diámetro equivalente. Balance macroscópico de energía mecánica y su aplicación al diseño de cañerías. El factor de fricción en lechos rellenos. Ley de Darcy, Blake-Kozeny y Karman-Kozeny. Ecuación de Ergun. El factor de fricción en lechos rellenos.

6. Nociones fundamentales de la transferencia de calor:

Mecanismos de transferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación. Conducción del calor. Ley de Fourier. Conductividad térmica. Influencia de la temperatura y la presión en la conductividad térmica. Cálculo de conductividades térmicas. Convección. Ecuación de Newton. Coeficiente de transferencia de calor por convección. Radiación. Ley de Stefan-Boltzmann Cuerpo negro. Emitancia y Absorbancia. Flujo de calor neto entre dos superficies. Mecanismos combinados.

7. Ecuaciones diferenciales de la transferencia de calor:

Ecuaciones diferenciales de energía total y energía interna. La ecuación de la temperatura. Generación viscosa de energía. Flujo compresible unidimensional.

8. Conducción:

Conducción en sólidos en estado estacionario. Superficies planas, cilíndricas y esféricas. Definición de coeficiente global de transferencia de calor entre fluidos. El aislante como método para disminuir la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo entre dos fluidos. Análisis particular de las geometrías cilíndrica y esférica. El concepto de radio crítico. Las superficies extendidas como método para aumentar la cantidad de calor transferida por unidad de tiempo entre dos fluidos. Concepto de eficiencia de la aleta. Análisis de la eficiencia de la aleta cuando el proceso de transferencia está controlado ya sea por la convección o por la conducción. Conducción en sólidos en régimen variable. Solución analítica del problema de la placa plana con condición de contorno de temperatura o de flujo calórico superficial. Soluciones para geometría cilíndrica y esférica. Evolución de la temperatura central. Soluciones gráficas.

9. Transporte de Interfase en la Transferencia de calor:

El coeficiente de transferencia de calor para convección alrededor de objetos sumergidos. El coeficiente de transferencia de calor para convección forzada en tubos. Análisis del perfil de temperatura en fluidos en movimiento. Definición del coeficiente de transferencia de calor. El problema de Graetz. El coeficiente de transferencia de calor para bancos de tubos. Analogías de Reynolds y de Chilton-Colburn. Convección natural. Correlaciones para régimen laminar y turbulento. Intercambiadores de calor. El coeficiente de transferencia de calor para lechos rellenos. Aplicaciones.

10. Transporte por radiación:

Emisión y absorción de energía radiante. Leyes básicas. Cuerpos negros y cuerpos reales. Intercambio de energía entre cuerpos negros. Intercambio de energía entre cuerpos grises. Radiación atmosférica. Radiación solar y terrestre. Balance de energía para la Tierra y para la atmósfera.

11. Nociones fundamentales de la transferencia de materia:

Difusión molecular en fluidos. Ley de Fick de la difusión. Estimación de los coeficientes de difusión. Influencia de la presión y la temperatura en los coeficientes de difusión.

12. Balances diferenciales para sistemas de dos componentes:

La ecuación de continuidad para una mezcla binaria. Aplicaciones: difusión en estado estacionario en medio estanco, contradifusión equimolar, difusión con reacción química homogénea y heterogénea. Difusión molecular en estado transitorio. Difusión en sólidos. Difusividad Knudsen. Difusividad efectiva.

13. Transporte de materia en la interfase:

Convección. Difusión en régimen laminar: película descendente. Teoría de la capa límite. Coeficiente de transferencia de materia para una sola fase. Correlaciones para columna de pared mojada, placa plana, esferas y cilindros. Predicción de coeficientes de transferencia. Analogías entre transferencia de masa y transferencia de calor. Transferencia de masa entre dos soluciones. Concepto de equilibrio. Ley de Henry. Teoría de la doble película. Expresión del flujo molar de interfase en función de la curva de equilibrio. Equipo continuo elemental de transferencia de masa (Ej. columna de absorción). Transporte acoplado de calor, agua y vapor de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Fenómenos de Transporte, Bird Robert, Editorial Limusa Wiley 2ª. Ed.; ISBN: 9789681863654
- 2- Transport Phenomena, Bird R.B., Stewart W.E. and Lighthfoot E.N., John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2002, ISBN 0-471-41077-24
- 3- Fundamentos de Transferencia de Momento Calor y Masa, Welty J.R., Editorial Limusa Wiley 2ª.Ed.; ISBN:9789681858964
- 4- Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, Welty J.R., Wilson R.E., Wicks C.E. and Rorrer G.L., John Wiley & Sons Inc., 4th Edition, New York, USA, 2001, ISBN 978-0-471-38149-5.
- 5- Procesos de transporte y principios de separación, Geankoplis, CJ, 4ta. Edición, CECSA, 2006, ISBN9702408563.
- 6- Introduction to Heat and Mass Transfer, Incropera F.P. & De Witt D.P., John Wiley & Sons Inc, 6th Edition, New York, USA, Julio 2000, ISBN 978-0-471-45728-2.
- 7- Fluid Mechanics, White F., 5th Edition, Mc Graw-Hill, New York, USA, 2003, ISBN 0-07-210217-2

8- Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Mc Cabe W, Harriott P., Smith J., 6ta. Edición, Mc. Graw-Hill, 2003, ISBN 9701036484.

9- Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua, Slattery J.C., 2nd. Edition, Krieger Publishing Company, 1981, ISBN 089874-212-9

10- Perry's Chemical Engineers' Handbook, By: Green, Don W.; Perry, Robert H. © 2008 McGraw-Hill, ISBN: 978-0-07142-294-9

## RÉGIMEN DE CURSADA

### Metodología de enseñanza

La Metodología que se propone para abordar la enseñanza de la gran cantidad de conceptos involucrados en la asignatura es, sin duda, la de Formación de Conceptos. Así, para la comprensión física de los tres fenómenos de transferencia se trata de presentar situaciones o formular preguntas conflictivas que permitan a los alumnos pensar y expresar sus ideas sobre el tema, para que afloren las teorías previas y su relación con conocimientos adquiridos en Física, Termodinámica de los Procesos e Introducción a la Ingeniería Química. Sobre la base de este escalón previo se incorporan los conceptos nuevos, se los define y se describen sus atributos esenciales, siempre anclándolos a los conceptos previos. De esta manera el alumno podrá incorporar los en su red de conocimientos de manera sólida.

Además, de este proceso de incorporación de nuevos conceptos es necesario que el alumno desarrolle habilidades para poner toda su red de conocimientos a disposición de la resolución de problemas específicos que ocurren habitualmente en la vida profesional, ya que la Ingeniería como profesión es una actividad centrada en la práctica. La cotidianeidad del ingeniero está constituida por la resolución de situaciones problemáticas en las cuales predomina la incertidumbre que obstaculiza la mera aplicación de procedimientos rutinarios. La profesión de ingeniero requiere, por lo tanto, de una actividad teórica que, tomando la práctica como punto de partida, profundice en su esencia y retorne a ella logrando nuevos niveles de comprensión. De este modo la teorización se vincula con una problemática concreta a la que hay que dar solución.

Concebida la actividad profesional como se describió en el párrafo anterior, resulta imprescindible incorporar esta concepción en las instancias formativas del futuro ingeniero y por lo tanto incorporar la práctica como eje vertebrador de su formación. Los trabajos prácticos entendidos como prácticas de laboratorio y resolución de problemas, constituyen actividades que deben estar conectadas claramente con los contenidos disciplinares, de manera de resaltar la importancia de una sólida base teórica. Estas actividades permiten entramar los procedimientos y metodologías de la disciplina científica con los aspectos conceptuales y con las estrategias de actuación acordes con la situación planteada. A su vez, facilitan la puesta en juego y el cuestionamiento de los conceptos preexistentes, permitiendo que se realice un proceso de reestructuración y reconceptualización. En la asignatura Fenómenos de Transporte los trabajos prácticos estarán relacionados con la resolución de problemas. Las prácticas de laboratorio en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química que se desarrolla actualmente, se llevan a cabo en una asignatura específicamente dedicada a tal fin, denominada Laboratorio de Operaciones y Procesos. De esta manera se espera lograr que los prácticos de laboratorio tengan la importancia y relevancia que merecen, en la formación del Ingeniero Químico.

En la resolución de problemas es muy importante establecer siempre la referencia con la vida profesional que tendrán en el futuro, haciéndoles notar la necesidad de identificar claramente qué es lo que se les está solicitando solucionar, que información se les está brindando y que información adicional deberán requerir para poder llegar a responder lo solicitado. Además, los alumnos deberán desarrollar habilidades para poder expresar el problema planteado a través de ecuaciones matemáticas, y resolverlas, basándose en los conocimientos previos adquiridos en las materias del área de Matemática.

Sobre la base de lo puntualizado en los párrafos anteriores la actual estructura asigna el 50% del tiempo de clases a las clases teórico-prácticas expositivas, y el 50% restante a la discusión de problemas, por considerar de suma importancia la discusión para consolidar el anclaje y entrelazado de los conceptos. A lo largo del curso se desarrollarán tres tipos de actividades:

- Discusión
- Resolución de problemas
- Resolución de problemas especiales en grupos (trabajos prácticos)

En la Discusión, a partir de un problema propuesto por el docente, se analizan las condiciones generales y específicas del problema, se identifican procesos, se plantean hipótesis simplificadoras y modelos, y por último, se vuelca toda esa descripción en lenguaje matemático que permita arribar a una respuesta a la situación planteada.

En la Resolución de Problemas, los alumnos en grupo abordan las guías generales y/o especiales de la cátedra. El docente tiene un rol de incentivación de la discusión dentro del grupo de alumnos, y la ordena para que se llegue a una puesta en común final.

Los Problemas Especiales o Trabajos prácticos pretenden que los alumnos se enfrenten con una situación problemática más abierta y similar a las que se presentan en la vida profesional. Deberán ser capaces de identificar el problema real que se les plantea, elegir el modelo simplificador que lo representará y buscar la información adicional que necesite para poder llegar a la solución final. Además, deberán desarrollar

conocimientos sobre el uso de algunas herramientas como el uso de simuladores y programas de cálculo.

El horario de clases se encuentra dividido en dos secciones:

1. La primera, se desarrolla los días miércoles de 17 a 19 horas y el viernes en el mismo horario. Corresponde a una clase teórico-práctica tradicional, expositiva, pero siempre incentivando la discusión. Se pretende abordar los conceptos más importantes dentro de cada unidad para que los alumnos adquieran las herramientas para poder abordar la bibliografía recomendada y completar el programa analítico sin inconvenientes.
2. La segunda, se desarrolla mismos días con la posibilidad que los alumnos opten entre turno tarde o noche. Se dará en los horarios de 14 a 17 (primer comisión) y de 19 a 22 horas (segunda comisión), donde los alumnos resuelven en grupos de trabajo los problemas correspondientes a las guías de ejercitación. Esta tarea se encuentra supervisada por los ayudantes, quienes luego de la discusión de cada problema, realizarán un planteo global con las dificultades que han observado y las soluciones propuestas.

### Modalidad de Evaluación Parcial

La Evaluación Parcial está compuesta de 3 módulos que corresponden a los trabajos prácticos especiales realizados durante el cuatrimestre y los temas desarrollados en las series 1 a 7, junto con sus correspondientes temas teóricos. Los módulos del parcial están divididos de la siguiente forma:

- a. Módulo 1: corresponde a los temas teórico-prácticos directamente relacionados con los prácticos realizados hasta su fecha de evaluación.
  - b. Módulo 2: está ubicada en la semana 10 y corresponde a los temas desarrollados en las unidades 1 a 7 del programa analítico y las correspondientes actividades de problemas. En ella se le plantean al alumno situaciones a resolver, en las cuales tienen que volcar los conocimientos adquiridos para plantear la solución del problema, como así también llegar a una respuesta numérica correcta. La evaluación está pensada de manera tal de lograr que los alumnos pongan en juego todos los conocimientos adquiridos, no como compartimientos estancos, sino con vinculación entre ellos.
  - c. Módulo 3: corresponde a los temas teórico-prácticos directamente relacionados con los prácticos realizados después de la evaluación del primer módulo y hasta la fecha de evaluación del tercer módulo.
- Los tres módulos del parcial son teórico-prácticos y cada módulo se aprueba con un 60% correctamente resuelto. El parcial tiene dos instancias de recuperación.

La evaluación total del alumno surge de evaluar su desempeño en las tres instancias de evaluación del parcial, en los trabajos prácticos grupales y en la discusión de problemas. Así, se evalúa su participación en los grupos de discusión, en la resolución de los Trabajos Prácticos y en cómo demuestra lo aprendido en los tres módulos del parcial. De estas evaluaciones parciales más la nota que haya recibido en la evaluación escrita, surgirá una nota de evaluación global. Esta evaluación global se promediará con la nota que obtenga el alumno en la instancia de evaluación integradora.

La Evaluación Integradora, como su nombre lo indica, trata de evaluar el grado de integración que el alumno ha logrado de los contenidos de la asignatura. Se evalúan tanto destrezas de cálculo como el planteo de modelos simplificadorios para resolver problemas y el desarrollo de temas teóricos. Se considerará aprobada cuando el alumno haya desarrollado en forma correcta aproximadamente el 60% del total de los temas propuestos. La Evaluación Integradora se encuadra en la reglamentación de cursada vigente (Resolución CDN° 1975/99).

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Concepto de medio continuo. Estática de fluidos. Fluidos en movimiento. Caracterización de flujos. Flujos laminares, flujos turbulentos, flujos compresibles e incompresibles. Sistemas y volúmenes de control.  Balances de masa, Balance de cantidad de Movimiento	-----	Esta asignatura no tiene laboratorio	-----	-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<2> 16/03 al 21/03	Balace energía total, energía interna y energía mecánica.  Aplicaciones a diagramas de flujo simples de plantas de proceso	Serie de Problemas N° 1	-----		-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<3> 23/03 al 28/03	Definición de Viscosidad. Ecuación constitutiva de los fluidos newtonianos. Fluidos no newtonianos Las ecuaciones de Navier-Stokes.  La ecuación de la energía mecánica. La ecuación de Bernoulli. Aplicaciones a la obtención de perfiles de velocidad y esfuerzos de corte en régimen laminar.	Serie de Problemas N° 2	-----	-----	-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<4> 30/03 al 04/04	Turbulencia. Las	Serie de Problemas N° 3			-----	1), 3), 5), 7) y 10)

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	<p>ecuaciones de variación para flujo turbulento e incompresible . El esfuerzo de corte turbulento</p> <p>Teoría de la capa límite. Análisis dimensional de las ecuaciones de variación. La fuerza de interacción fluido-sólido en el flujo alrededor de objetos sumergidos. El factor de fricción alrededor de objetos sumergidos.</p>					
<5> 06/04 al 11/04	<p>El factor de fricción en tubos. Pérdidas por fricción en cañerías y accesorios. Cañerías de sección no circular, concepto de diámetro equivalente. El experimento de Reynolds.</p> <p>El factor de fricción en lechos rellenos. Ley de Darcy. Blake-Kozeny y Karman-Kozeny. Ecuación de Ergun. El factor de fricción en lechos rellenos.</p>	Serie de Problemas N° 3 y 4	-----	-----	-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<6> 13/04 al 18/04	<p>Mecanismos de transferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación. Conducción del calor. Ley de Fourier. Conductividad térmica. Cálculo de</p>	Serie de Problemas N° 4	-----	-----	TP N° 1	1), 3), 5), 6) 7) y 10)



Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	<p>conductividad es térmicas.</p> <p>Ecuaciones diferenciales de energía total y energía interna. La ecuación de la temperatura</p>					
<7> 20/04 al 25/04	<p>Conducción en sólidos en estado estacionario. Superficies planas y superficies cilíndricas. Definición de coeficiente global de transferencia de calor entre fluidos</p> <p>Las Superficies extendidas. Concepto de eficiencia de la aleta. Conducción en sólidos en régimen variable. Solución analítica del problema de la placa plana con condición de contorno de temperatura o de flujo calórico superficial. Soluciones para geometría cilíndrica y esférica. Evolución de la temperatura central. Soluciones gráficas. Análisis del perfil de temperatura en fluidos en movimiento.</p>	Serie de Problemas N° 5	-----	-----	-----	1), 3), 5), 6) 7) y 10)
<8> 27/04 al 02/05	Definición del coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente de transferencia de calor para convección	Serie de Problemas N° 6	-----	-----	-----	1), 3), 5), 6) 7) y 10)

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	<p>alrededor de objetos sumergidos.</p> <p>El coeficiente de transferencia de calor para convección forzada en tubos.</p> <p>Analogías de Reynolds y de Chilton-Colburn</p>					
<9> 04/05 al 09/05	<p>Convección natural.</p> <p>Correlaciones para régimen laminar y turbulento.</p> <p>Intercambiadores de calor.</p> <p>El coeficiente de transferencia de calor para lechos rellenos.</p> <p>Condensación y ebullición.</p> <p>Radiación. Ley de Stefan-Boltzmann.</p> <p>Cuerpo negro.</p> <p>Emitancia y Absorbancia.</p> <p>Flujo de calor neto entre dos superficies.</p> <p>Mecanismos combinados.</p>	Serie de Problemas N° 7	-----	EVALUACION PARCIAL (1° módulo)	-----	1), 3), 5), 6) 7) y 10))
<10> 11/05 al 16/05	REPASO	REPASO	-----	EVALUACION PARCIAL (2° módulo)	-----	
<11> 18/05 al 23/05	<p>Difusión molecular en fluidos. Ley de Fick de la difusión.</p> <p>Estimación de los coeficientes de difusión.</p> <p>Influencia de la presión y la temperatura en los coeficientes de difusión. La ecuación de continuidad para una mezcla binaria</p> <p>Difusión en estado estacionario</p>	Serie de Problemas N° 8		-----	-----	1), 3), 5), 6) 7) y 10)

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	en medio estanco, contradifusión equimolar.					
<12> 25/05 al 30/05	Difusión con reacción química homogénea y heterogénea. Difusión molecular en estado transitorio  Difusión en sólidos. Difusividad Knudsen. Difusividad efectiva	Serie de Problemas N° 9	-----	-----	-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<13> 01/06 al 06/06	Difusión en régimen laminar: película descendente. Teoría de la capa límite. Coeficiente de transferencia de materia para una sola fase  Correlaciones para columna de pared mojada, placa plana, esferas y cilindros. Predicción de coeficientes de transferencia	Serie de Problemas N° 10	-----	-----	TP N°2	1), 3), 5), 7) y 10)
<14> 08/06 al 13/06	Analogías entre transferencia de masa y transferencia de calor.  --1er. Recup--	Serie de Problemas N° 10 PRIMER RECUPERATORIO	-----	PRIMER RECUPERATORIO	-----	1), 3), 5), 7) y 10)
<15> 15/06 al 20/06	Transferencia de masa entre dos soluciones. Concepto de equilibrio. Ley de Henry. Teoría de la doble película. Expresión del flujo molar de interfase en función de la	Serie de Problemas N° 11		EVALUACION PARCIAL (2° módulo)	-----	1), 3), 5), 7) y 10)

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
	curva de equilibrio.  Equipo continuo elemental de transferencia de masa (Ej. columna de absorción)					
<16> 22/06 al 27/06	Serie 11	Serie de Problemas N° 11	-----		TP N° 3	1), 3), 5), 7) y 10)

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	10	13/05	17:00	
2º	14	10/06	17:00	
3º	16	24/06	17:00	
4º				
Observaciones sobre el Temario de la Evaluación Parcial				
La Evaluación parcial (2º módulo) involucra los temas del Programa Analítico incluidos en los puntos 1 a 7 inclusive y las correspondientes actividades de problemas y trabajos prácticos desarrollada.				