



**Ministerio de Cultura y Educación**  
**Universidad Nacional de San Luis**  
**Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias**  
**Departamento: Ingeniería de Procesos**  
**Area: Procesos Físicos**

**(Programa del año 2015)**

**I - Oferta Académica**

<b>Materia</b>	<b>Carrera</b>	<b>Plan</b>	<b>Año</b>	<b>Período</b>
Fenómenos de Transporte	Ing. Química	Ord.C .D.02 4/12	2015	2° cuatrimestre
Fenómenos de Transporte	Ing. en Alimentos	Ord.C .D.02 3/12	2015	2° cuatrimestre

**II - Equipo Docente**

<b>Docente</b>	<b>Función</b>	<b>Cargo</b>	<b>Dedicación</b>
ROVERES, ELLEN MAGDALENA	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
AUBERT, MONICA SILVIA	Responsable de Práctico	JTP Exc	40 Hs
ALANIZ, GABRIELA ISABEL	Auxiliar de Práctico	A.1ra Exc	40 Hs
MICCOLO, MARIA EUGENIA	Auxiliar de Práctico	JTP Simp	10 Hs

**III - Características del Curso**

<b>Credito Horario Semanal</b>				
<b>Teórico/Práctico</b>	<b>Teóricas</b>	<b>Prácticas de Aula</b>	<b>Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.</b>	<b>Total</b>
Hs	5 Hs	4 Hs	1 Hs	10 Hs

<b>Tipificación</b>	<b>Periodo</b>
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2° Cuatrimestre

<b>Duración</b>			
<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Cantidad de Semanas</b>	<b>Cantidad de Horas</b>
10/08/2015	20/11/2015	15	150

**IV - Fundamentación**

El creciente aumento de la complejidad de la ingeniería moderna hace que sea absolutamente necesario comprender los fundamentos que gobiernan los fenómenos involucrados en los procesos con que los ingenieros se enfrentan todos los días. Para diseñar, analizar, operar y optimizar procesos químicos, fisicoquímicos y biológicos, los ingenieros químicos y en alimentos deben entender cómo fluyen los fluidos, cómo se transporta la energía, y cómo difunden las especies químicas a través de los materiales; además deben poder calcular el valor de estos flujos.

En este curso se introducen estos conceptos básicos, que son de fundamental importancia para cursos posteriores de Operaciones Unitarias, Ingeniería de las Reacciones Químicas, Fundamentos de Bioingeniería y Preservación de Alimentos, entre otros.

## V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El objetivo fundamental del curso es dotar al futuro profesional de herramientas básicas que utilizará en el análisis y diseño de los equipos utilizados en la industria donde se llevan a cabo operaciones basadas en la transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia.

En términos de competencias se espera que el alumno:

- comprenda que para diseñar adecuadamente los aparatos e instalaciones de las operaciones básicas de la Ingeniería Química y en Alimentos se requiere una información precisa de los caudales de transporte de cantidad de movimiento, energía y materia.
- sea capaz de simplificar las ecuaciones diferenciales de balance de cantidad de movimiento, materia y energía de acuerdo con el problema en particular y especificar las condiciones de contorno que permitirán su resolución.
- sea capaz de obtener y correlacionar datos de las propiedades de transporte.
- sea capaz de obtener los perfiles de velocidad, temperatura y composición para situaciones simples, a partir de las ecuaciones de los balances diferenciales, y obtener los valores promedio.
- sea capaz de calcular los flujos de cantidad de movimiento, energía y materia a través de una interfase.
- sea capaz de predecir los coeficientes de transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia.
- sea capaz de plantear y resolver balances macroscópicos de materia, energía y cantidad de movimiento.
- sea capaz de desarrollar expresiones adimensionales utilizadas en el cambio de escala.

## VI - Contenidos

### **UNIDAD INTRODUCTORIA:**

La naturaleza de los fenómenos de transporte. Mecanismos de los procesos de transporte. Fuerzas impulsoras para las propiedades transportadas.

### **UNIDAD 1: Transporte de cantidad de movimiento: Generalidades y Mecanismos**

- 1.1-Principios fundamentales. Hipótesis del continuo. Concepto de volumen de control.
- 1.2- Fluidos. Presión y esfuerzo de corte en un fluido. Conceptos de flujo laminar y turbulento. Líneas de corriente, traza y trayectoria.
- 1.3- Transporte molecular de cantidad de movimiento. Densidad de flujo de cantidad de movimiento. Ley de Newton de la viscosidad.
- 1.4- Viscosidad: Influencia de la presión y la temperatura sobre la viscosidad. Estimación y correlación de viscosidades. Métodos experimentales para viscosimetría.
- 1.5- Fluidos no newtonianos: modelos reológicos y estimación de parámetros.
- 1.6- Transporte convectivo de cantidad de movimiento

### **UNIDAD 2: Transporte de cantidad de movimiento. Flujo laminar**

- 2.1- Ecuaciones de variación para sistemas isotérmicos. La ecuación de continuidad. La ecuación de movimiento. Condiciones de contorno.
- 2.2- Ejemplos de uso de las ecuaciones para resolver sistemas de flujo. Cálculo de velocidades media y fuerzas sobre superficies. Soluciones exactas y aproximadas (flujo reptante, flujo invíscido, flujo en capa límite).
- 2.3- Capa límite: Concepto. Simplificación de las ecuaciones de variación para capa límite laminar. Ecuaciones de Prandtl. Espesor de la capa límite laminar. Separación de la capa límite.
- 2.4- El balance diferencial de energía mecánica.
- 2.5- Análisis dimensional y semejanza. Criterios de similitud: similitud geométrica y de comportamiento. Adimensionalización de las ecuaciones de variación.

### **UNIDAD 3: Transferencia de cantidad de movimiento. Flujo turbulento**

- 3.1- Concepto de flujo turbulento. Comparación de los flujos laminar y turbulento. Fluctuaciones en flujo turbulento. Valores ajustados en el tiempo.
- 3.2- Ecuaciones de variación en régimen turbulento. Esfuerzos de Reynolds. Perfil de velocidad cerca de una pared. Expresiones empíricas para la densidad de flujo de cantidad de movimiento turbulento.
- 3.3- Flujo en tuberías y conducciones cerradas. Gráfico de distribución universal de distribución de velocidades
- 3.4- Capa límite turbulenta sobre placa plana.

### **UNIDAD 4: Transporte de cantidad de movimiento en interfases**

- 4.1- Factores de fricción: definición
- 4.2- Factor de fricción para flujo en tubos. Factores que lo afectan. Radio hidráulico. Gráfico factor de fricción vs. número de Reynolds. Correlaciones.
- 4.3- Factor de fricción para flujo a través de cuerpos sumergidos. Efectos de forma y fricción. Influencia del número de Reynolds: Regímenes de Stokes, Intermedio y de Newton. Aspecto de la capa límite en cada régimen. Gráfico factor del fricción para cuerpos sumergidos vs. Re
- 4.4- Balances macroscópicos de materia, cantidad de movimiento y energía mecánica. Estimación de la pérdida viscosa. Pérdida de carga en tramos rectos de cañerías y en accesorios.

### **UNIDAD 5: Transporte de energía calórica. Generalidades. Mecanismos**

- 5.1- Mecanismos de transferencia de energía calórica.
- 5.2- Transporte molecular de energía. Conductividad térmica: dependencia con la presión y la temperatura, cálculo y predicción.
- 5.3- Convección. Generalidades. Convección natural y forzada
- 5.4- Radiación. Generalidades.
- 5.5- Balance diferencial de energía. Balance diferencial de energía interna. Condiciones de contorno. Formas especiales de la ecuación de energía.

### **UNIDAD 6: Transporte de energía calórica- Conducción**

- 6.1- Transferencia de energía por conducción. Ejemplos de aplicación en sólidos y en flujo laminar.
- 6.2- Conducción de calor con fuentes de diverso origen.
- 6.3- Conducción a través de paredes compuestas.
- 6.4- Conducción en régimen no estacionario. Sistemas concentrados. Conducción en sistemas finitos sin efectos extremos y medios semiinfinitos: Soluciones exactas y aproximadas.

### **UNIDAD 7: Transporte de energía calórica- Convección**

- 7.1- Transferencia de energía por convección. Ecuaciones de movimiento para convección forzada y libre.
- 7.2- Sistemática del planteo de las ecuaciones gobernantes en convección. Ejemplos de aplicación: Convección forzada en régimen laminar para flujo interno y externo, convección natural, transferencia de energía en capa límite laminar y turbulenta.
- 7.3- Similitud térmica. Adimensionalización de las ecuaciones gobernantes. Criterios de similitud.

### **UNIDAD 8: Transferencia de energía calórica en interfases**

- 8.1- Balance macroscópico-diferencial de energía
- 8.2- Coeficientes de transferencia calórica en conductos. Definiciones. Fuerza impulsora media logarítmica. Coeficiente global de transferencia calórica. Dependencia funcional del coeficiente de transferencia calórica en conductos. Correlación del coeficiente de transferencia individual en conductos
- 8.3- Coeficientes de transferencia calórica para convección forzada alrededor de objetos sumergidos
- 8.4- Coeficientes de transferencia calórica para convección natural

### **UNIDAD 9: Transporte de energía calórica-Radiación**

- 9.1- Transferencia de energía por radiación. Naturaleza de la radiación. Poder emisivo. Cuerpo negro. Ley de Stefan-Boltzman. Emisividad. Cuerpos grises
- 9.2- Intercambio de calor entre cuerpos. Factor de visión. Factor de intercambio

### **UNIDAD 10: Transferencia de materia. Difusión molecular**

- 10.1- Mecanismos de transferencia de materia.
- 10.2- Transferencia de materia por difusión molecular. Difusividad: dependencia con la presión y la temperatura, cálculo y predicción.
- 10.3- Transporte de masa y molar por convección.
- 10.4- La ecuación de continuidad para sistemas de más de un componente. Condiciones de contorno.
- 10.5- Ejemplos de aplicación: Difusión de un componente a través de una especie estanca. Difusión equimolar. Difusión con reacción química homogénea y heterogénea. Permeabilidad
- 10.6- Análisis dimensional aplicado a la transferencia de materia

#### **UNIDAD 11: Transferencia de materia. Convección**

- 11.1- Transferencia de masa en capa límite.
- 11.2- Transporte de materia por difusión turbulenta.
- 11.3- Coeficiente individual de transferencia de materia. Tipos de coeficientes. Modelos de interpretación.
- 11.4- Analogías entre las transferencias de cantidad de movimiento, energía y materia
- 11.5- Transferencia simultánea de materia y energía.

#### **UNIDAD 12: Transferencia de materia en interfases**

- 12.1- Generalidades. Revisión del equilibrio entre fases. Perfiles de concentración
- 12.2- Determinación de la composición de interfase
- 12.3- Coeficientes totales de transferencia de materia.- Tipos de coeficientes.- Concepto de resistencia controlante.

## **VII - Plan de Trabajos Prácticos**

### Trabajos prácticos de aula

Los trabajos prácticos de aula se desarrollarán con apoyo de herramientas informáticas y computacionales (software MathCad, planillas de cálculos, etc.) y un aula virtual.

Se asignarán además tareas obligatorias de:

- Resolución de situaciones problemáticas cuali y cuantitativas referidas a los contenidos del programa.
- Participación en foros de discusión.

### Trabajos prácticos de laboratorio

Se realizaran trabajos prácticos relacionados con los siguientes temas del programa:

Transferencia de cantidad de movimiento

- Reología: Fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Determinaciones de viscosidad utilizando distintos tipos de viscosímetros.
- Factor de fricción en flujo interno. Pérdida de carga en tuberías.

Transferencia de calor:

- Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor para convección natural y forzada en aire.

Transferencia de materia:

- Deshidratación osmótica

## **VIII - Regimen de Aprobación**

METODOLOGIA DE DICTADO DE LA ASIGNATURA

A- REGIMEN DE PROMOCION CON EXAMEN FINAL

Condiciones para alcanzar la Regularidad:

- Asistencia al 80% de las clases Teóricas y Prácticas de Resolución de Problemas.

La asistencia implica no solamente la presencia física durante la clase sino también el cumplimiento de las actividades que correspondan.

- Asistencia y aprobación del informe del 100% de los Trabajos Prácticos de Laboratorio y de tareas asignadas.

Para su aprobación es necesario que las tareas sean entregadas en los plazos y con la modalidad asignados.

- Aprobación de tres (3) Evaluaciones Parciales, en primera instancia o en sus respectivas instancias recuperatorias, correspondiendo la cantidad de recuperaciones a la mínima establecida por el régimen académico.

Las evaluaciones parciales abordarán cuestiones conceptuales teóricas y prácticas (resolución de problemas) e incluirán los temas desarrollados hasta una semana antes de la fecha indicada.

Primera Evaluación Parcial: Transferencia de cantidad de movimiento.

Fecha tentativa: 18 de septiembre

Segunda Evaluación Parcial: Transferencia de energía

Fecha tentativa: 20 o 23 de octubre

Tercera Evaluación Parcial: Transferencia de materia

Fecha tentativa: 13 de noviembre

Las primeras recuperaciones se tomarán, en lo posible, con una semana de diferencia respecto a las fechas fijadas para los parciales.

La segunda recuperación del primer parcial se efectuará antes del segundo parcial.

La segunda recuperación del resto de los parciales se tomarán al final del curso.

Condiciones para Aprobar la Asignatura:

El examen final constará de dos instancias:

- Resolución correcta de situaciones problemáticas de carácter integrador de contenidos de la asignatura.

Se hará en forma escrita y su aprobación será imprescindible para acceder al coloquio oral

- Aprobación de un coloquio oral sobre los contenidos teóricos del curso.

El alumno dispondrá de no más de 15 min para desarrollar sin errores conceptuales un tema de su elección perteneciente a una de las bolillas de examen, sorteada en su presencia. Superada esa instancia favorablemente será interrogado por el tribunal acerca de los contenidos del resto de las Unidades de la Bolilla. En caso de que el tribunal lo considere necesario, y a efectos de dar cumplimiento a lo establecido en el art. 30 del Régimen Académico (Ordenanza C.S. 13/03): " Esta modalidad deberá permitir evaluar de manera completa el dominio alcanzado por el alumno sobre la totalidad de los contenidos del curso y las competencias necesarias para su futuro desempeño profesional.", el alumnos podrá ser interrogado acerca de otros temas del programa analítico.

Programa de examen:

Bolilla 1 Unidades: 1-6-12

Bolilla 2 Unidades: 2-7-10

Bolilla 3 Unidades: 3-8-11

Bolilla 4 Unidades: 4-5-11

## B- RÉGIMEN DE ALUMNOS LIBRES

El examen final constará de diferentes instancias, que deberán ser superadas de acuerdo con el orden siguiente:

- Aprobación de un cuestionario escrito sobre conceptos teóricos centrales al curso (eliminadorio)

- Resolución correcta de situaciones problemáticas correspondientes a contenidos del programa. Se evaluarán conocimientos sobre las tres transferencias. Se hará en forma escrita y será de carácter eliminadorio.

- Superadas las dos primeras instancias el alumno deberá aprobar un examen de iguales características que el de los alumnos regulares.

- Habiendo aprobado todas las instancias anteriores el alumno que no haya realizado y aprobado los Trabajos Prácticos de Laboratorio deberá presentar al menos dos informes a partir de datos de experiencias brindadas por los docentes del curso.

En el caso de los alumnos que hayan cursado durante el último cuatrimestre en que se dictó el curso, que además hayan cumplimentado los requisitos de asistencia, hayan aprobaron todos los Trabajos Prácticos de Laboratorio y hayan quedado libre por parciales habiendo aprobado dos de ellos, deberán :

- Aprobar un examen teórico práctico sobre los temas del examen parcial no aprobado.

- Superada satisfactoriamente la instancia anterior, aprobar un examen de idénticas características al de los alumnos regulares.

## IX - Bibliografía Básica

[1] FENÓMENOS DE TRANSPORTE. Bird- Steward- Lightfoot. 2da. Edición. Limusa-Wiley, 2008

[2] CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK - John Perry- Ediciones 6,7 y 8

[3] MECANICA DE FLUIDOS- Fundamentos y Aplicaciones. Cengel Simbala. Ed. Mc.Graw Hill Interamericana, 2007

[4] TRANSFERENCIA DE CALOR- Un enfoque práctico- Cengel, Yunus. Ed. Mc.Graw Hill Interamericana, 2007

[5] TRANSPORT PROPERTIES OF FOODS- Saravacos, G. Zacharias, B. Ed. Boards, 2002.

## X - Bibliografía Complementaria

- [1] INTRODUCTION TO TRANSPORT PHENOMENA. William Thomson - Prentice Hall, 2000
- [2] FENÓMENOS DE TRANSPORTE. Bird- Steward- Lightfoot. 1era. Edición Editorial Reverté, 1975
- [3] PROCESOS DE TRANSPORTE Y PRINCIPIOS DE PROCESOS DE SEPARACION (4e) Geankoplis C. Compañía Editorial Continental, 2006
- [4] INGENIERÍA QUÍMICA - Tomo 2: FENÓMENOS DE TRANSPORTE. Costa Novella y Cols. Editorial Alhambra Universidad
- [5] TRANSFERENCIA DE MOMENTO, CALOR Y MASA. Welty, James R. 4ta. Ed., 2001
- [6] Publicaciones científicas

## XI - Resumen de Objetivos

El creciente aumento de la complejidad de la ingeniería moderna hace que sea absolutamente necesario comprender los fundamentos que gobiernan los fenómenos involucrados en las actividades con que los ingenieros se enfrentan todos los días. Para diseñar, analizar y operar procesos químicos, fisicoquímicos y biológicos, donde se llevan a cabo operaciones basadas en la transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia, los ingenieros químicos y de alimentos deben entender cómo fluyen los fluidos, cómo se transporta el calor, y cómo difunden las especies químicas a través de los materiales; además debe poder calcular el valor de estos flujos.

El objetivo fundamental de esta asignatura es dotar al futuro profesional de dichas herramientas básicas, que constituyen además el prerrequisito conceptual para cursos posteriores

## XII - Resumen del Programa

- .Mecanismos de transporte de cantidad de movimiento, energía y materia
- .Ecuaciones constitutivas de las densidades de flujos transportados.
- .Balances diferenciales y macroscópicos de materia, energía y cantidad de movimiento
- .Transferencia de cantidad de movimiento, energía y materia en interfases
- .Análisis dimensional y grupos adimensionales
- .Coeficientes individuales y totales de transporte
- .Analogías entre los mecanismos de transporte de cantidad de movimiento, materia y energía

## XIII - Imprevistos

## XIV - Otros