



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

(Programa del año 2013)  
 (Programa en trámite de aprobación)  
 (Presentado el 04/07/2013 15:44:51)

### I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
Fenómenos de Transporte	Ing. en Alimentos	Ord.C .D.02 3/12	2013	2° cuatrimestre
Fenómenos de Transporte	Ing. Química	6/97- 2/03	2013	2° cuatrimestre

### II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ROVERES, ELLEN MAGDALENA	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
AUBERT, MONICA SILVIA	Responsable de Práctico	JTP Exc	40 Hs
MICCOLO, MARIA EUGENIA	Responsable de Práctico	JTP Simp	10 Hs
SOTERAS, EDGAR MARIO	Auxiliar de Práctico	A.1ra Exc	40 Hs
CANGIANO, MARIA CORINA	Auxiliar de Laboratorio	A.2da Simp	10 Hs

### III - Características del Curso

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

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
08/08/2013	15/11/2013	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. 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 y trayectoria.
- 1.3- Transporte molecular de cantidad de movimiento.- Densidad de flujo de cantidad de movimiento. Ley de Newton.- Viscosidad: Influencia de la presión y la temperatura sobre la viscosidad.- Estimación y correlación de viscosidades.- Fluidos newtonianos y no-newtonianos.
- 1.5- 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 Límites.
- 2.2- Ejemplos de aplicación de las distintas ecuaciones. Soluciones exactas y aproximadas.
- 2.3- Capa límite: Concepto. Simplificación de las ecuaciones de variación para capa límite laminar.- Ecuaciones de Prandtl.- Espesor de la capa límite. Separación.
- 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.- Experiencia de Reynolds.- Comparación de los flujos laminar y turbulento.- Fluctuaciones de velocidad en flujo turbulento.- Turbulencia isotrópica y anisotrópica.
- 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 turbulento en tuberías y conducciones cerradas.- Ecuación universal de distribución de velocidades

3.4 Capa límite turbulenta sobre placa plana.

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

4.1- Factores de fricción: definición

4.2- Factor de fricción en tubos.- Factores que lo afectan.- Radio hidráulico.- Gráfico factor de fricción vs. número de Reynolds Correlaciones.

4.3- Factor de fricción en 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 Cd 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

5.2- Transporte molecular de energía.- Conductividad térmica: dependencia con la presión y la temperatura, cálculo y predicción.-

5.3- Transporte convectivo de energía- Transporte de energía por radiación

5.4- Balance diferencial de energía.- Balance diferencial de energía interna. Condiciones límites. 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 interfaces**

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 emisor.- Cuerpo negro.- Ley de Stefan-Boltzman.- Emisividad

9.2- Intercambio de calor entre cuerpos.- Factor de visión.- Factor de intercambio

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

10.1- Mecanismos de la 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 materia y molar por convección.

10.4- La ecuación de continuidad para sistemas de más de un componente Condiciones límites.

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

11.1- Transporte de materia por difusión turbulenta

11.2- Coeficiente individual de transferencia de materia.- Tipos de coeficientes.- Modelos de interpretación

11.3- Analogías entre las transferencias de cantidad de movimiento, energía y materia

11.4- Transferencia simultánea de materia y energía.

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

12.1- Generalidades.- 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

- Resolución de situaciones problemáticas cuali y cuantitativas referidas a los contenidos del programa.

Trabajos prácticos de laboratorio

Transferencia de cantidad de movimiento:

- Reología: Fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Determinaciones de viscosidad utilizando distintos tipos de viscosímetros.

- Comprobación experimental de la ecuación de Bernoulli. Factor de fricción en flujo interno.

Transferencia de calor:

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

Transferencia de materia:

- Deshidratación osmótica

## **VIII - Regimen de Aprobación**

A- RÉGIMEN DE ALUMNOS REGULARES

Condiciones para alcanzar la Regularidad :

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

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

- Aprobación de tres Evaluaciones Parciales, en primera instancia o en sus respectivas instancias recuperatorias.

Primera Evaluación Parcial: Transferencia de cantidad de movimiento.

Segunda Evaluación Parcial: Transferencia de energía

Tercera Evaluación Parcial: Transferencia de materia

El examen parcial, que abarcará cuestiones teóricas y prácticas, incluirá temas desarrollados hasta una semana antes de la fecha fijada para la evaluación.

Las Recuperaciones se tomarán en lo posible con una semana de diferencia respecto a las fechas fijadas para los parciales, correspondiendo una recuperación por parcial.

Sólo uno de los parciales podrá recuperarse dos veces.

El alumno contemplado en el art 24 inc d de la Ordenanza 13/03 podrá utilizar el recuperatorio adicional para cualquiera de los parciales.

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 20 min. para desarrollar sin errores conceptuales un tema a 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 (eliminador)

- Resolución correcta de situaciones problemáticas de carácter integrador correspondientes a contenidos del programa. Se hará en forma escrita y será de carácter eliminador. Esta será diferente de la evaluación para alumnos regulares

- Superadas las dos primeras instancias el alumno deberá aprobar un coloquio oral de contenidos teóricos, en similares condiciones a la 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.

## 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.

[6] FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA- Incropera, 2007.

## 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**

<b>ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA</b>	
	<b>Profesor Responsable</b>
Firma:	
Aclaración:	
Fecha:	