



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Programa de **TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA 1**

### **1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR**

Transferencia de Calor y Masa 1

### **2. CRÉDITOS**

14 créditos

### **3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR**

En esta unidad curricular se estudian operaciones en procesos de ingeniería que involucran procesos de transferencia de calor y masa.

Se espera que al completar esta unidad curricular el estudiante sea capaz de dimensionar y calcular condiciones de operación, mediante el estudio de un conjunto de sistemas reales, frecuentemente presentes en la industria de procesamiento desarrollando herramientas específicas para el cálculo de condiciones de proceso y dimensionamiento de equipos en sistemas que involucran transferencia de calor y/o masa.

En particular, al aprobar el curso, el estudiante debería ser capaz de:

- Identificar los mecanismos básicos de transferencia de calor y masa para resolver una variedad de problemas de procesos de transferencia de calor y masa.
- Desarrollar la comprensión de la complejidad de las situaciones físicas reales y las hipótesis y técnicas que permiten su simplificación a los efectos de calcular condiciones y/o dimensionar equipos.
- Utilizar herramientas que permitan abordar problemas de proceso y dimensionamiento de equipos que involucren transferencia de calor y/o masa.

### **4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

La unidad tiene asignadas 8 horas semanales de clase, distribuidas en 4 horas semanales de clases teóricas y 4 horas semanales de clases de resolución de ejercicios. Se incluye una actividad experimental de laboratorio obligatoria de dos horas en el semestre, representativa de la operación de uno de los equipos estudiados.

Se presentarán los principios básicos de transferencia de calor y masa, desarrollando herramientas para el dimensionamiento de equipos y condiciones de operación de los mismos, que incluirán métodos de cálculo aproximados y exactos. Se destacará la importancia económica de los distintos procesos.

En la medida de lo posible se realizará al menos una visita guiada a plantas industriales de manera que el estudiante se familiarice con los equipos reales involucrados en los procesos de transferencia de calor y masa.

Se pretende mantener una fuerte interacción docente – estudiante durante el desarrollo del curso, de manera de aprovechar al máximo las horas de dedicación a la enseñanza.

Con motivo de aumentar el grado de participación de los alumnos, se buscará utilizar aplicaciones informáticas para diagnosticar las capacidades de los estudiantes previo al dictado de un tema o luego de finalizado el mismo.

Se utilizará como medio de comunicación con los estudiantes las plataformas informáticas disponibles. Estas plataformas incluyen el material para el curso, así como un foro de consultas.

## 5. TEMARIO

### Tema 1.- Mecanismos de Transferencia de Calor

- El problema básico de la energía. Fuentes y usos energéticos en Uruguay.
- Introducción a los mecanismos de transferencia de calor predominantes en distintos procesos.
- Transferencia de calor por conducción. Cálculo de resistencias.
- Transferencia de calor por convección forzada y natural. Cálculo de coeficientes de transferencia para fluidos Newtonianos y no Newtonianos.

### Tema 2.- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica

- Leyes básicas de la radiación térmica
- Caracterización de cuerpo negro y gris
- Intensidad de radiación
- Propiedades de la radiación
- Medios participantes y no participantes.

### Tema 3.- Pérdidas de calor y aislaciones

- Mecanismos involucrados y cálculo de coeficientes de transferencia de calor al ambiente
- Aislaciones térmicas: tipos, descripción, propiedades, selección.
- Dimensionamiento y selección de aislaciones másicas y reflectivas.
- Cálculo de pérdidas (paredes de hornos, cañerías, tanques). Resistencias térmicas. Radio crítico, aislación económica
- Evaluación de pérdidas térmicas al ambiente desde recipientes.

#### Tema 4.- Intercambiadores de calor

- Descriptiva de diferentes tipos: principio de operación, características constructivas
- Intercambiadores de calor de camisa y tubos y tubos concéntricos ecuaciones predictivas de coeficientes peliculares; determinación de pérdidas de carga. Potencial térmico. Metodología de dimensionamiento: método U-MTD. método E-NTU.

#### Tema 5.- Intercambiadores de superficie extendida

- Tubos aletados: principio de funcionamiento, tipos de aletas, eficiencia de aleta.
- Enfriadores a aire usando aletado transversal: descriptiva; metodología de dimensionamiento: coeficientes peliculares, diferencia media de temperaturas, pérdidas de carga.

#### Tema 6.- Serpentes y camisas

- Descripción de recipientes para el calentamiento y enfriamiento de líquidos.
- Agitación: conceptos básicos y tipos de agitadores.
- Recipientes con serpentines y/o camisas: descriptiva, ecuaciones predictivas para coeficientes de transferencia de calor y pérdidas de carga.

#### Tema 7.- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen

- Estudio de sistemas con variaciones de temperatura y/o masa con el tiempo.
- Recipientes con serpentín y/o camisa: carga agitada y no agitada.
- Sistemas que incluyen tanques y recirculación a través de intercambiadores externos.
- Calentamiento y/o enfriamiento de sólidos. Cálculos de tiempos y temperaturas críticas.
- Pasteurización y esterilización

#### Tema 8.- Introducción a transferencia de masa



- Importancia técnica de las operaciones de TM en la industria de procesos. Importancia económica de las operaciones de separación. Métodos de separación y fundamentos de selección
- Regla de las fases y condiciones de equilibrio
- Introducción a los mecanismos de transferencia de masa predominantes en distintos procesos.
- Potencial de transferencia de masa en sistemas heterogéneos
- Coeficientes de transferencia de masa individuales y totales.
- Balance de materia
- Dimensionamiento de equipos - Procesos en etapas
- Dimensionamiento de equipos - Procesos de contacto continuo
- Unidad de transferencia.

#### Tema 9- Absorción gaseosa

- Equipos de Absorción: Fase dispersa- gas; Fase dispersa –líquido:
- Torres rellenas: Descriptiva: datos constructivos, tipos de relleno y propiedades, tipos de distribuidores, redistribuidores, soportes de relleno.
- Dimensionamiento de torres rellenas: absorción a baja concentración; absorción a alta concentración, absorción con reacción química instantánea
- Dimensionamiento fluidodinámico: flujo mínimo efectivo, pérdidas de carga, diámetro interior de torre, hold-up.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
Tema 1.- Mecanismos de Transferencia de Calor	(1)(2)(3) (4)(8)(9)	(11)(12)
Tema 2.- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica	(1)(2)(3) (4)(8)(9)	(11)(12)
Tema 3.- Pérdidas de calor y aislaciones	(1)(2)(3) (4)(8)(9)	(11)
Tema 4.- Intercambiadores de calor	(1)(2)(3) (4)(8)(9)	(10)(11)(12)(15)
Tema 5.- Intercambiadores de superficie extendida	(1)(2)(3) (4)(8)(9)	(10)(11)(15)
Tema 6.- Serpentes y camisas	(1)(2)(3) (4)(7)(8) (9)	(15)

Tema 7.- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen	(1)(2)(3) (4)(7)(8) (9)	(15)
Tema 8.- Introducción a transferencia de masa	(5)(6)	(12)(13)(14)
Tema 9- Absorción gaseosa	(5)(6)	(12)(13)(14)

### 6.1 Básica

1. Kern, Donald Q (1981). Procesos de Transferencia de Calor. México: C.E.C S.A.
2. Öziđik, Necati M (1975). Transferencia de Calor. Bogotá: McGraw Hill Latinoamericana S.A.
3. Green, Don W. y Perry, Robert H (2007). Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Ed. Estados Unidos: McGraw Hill Book Co.
4. Coulson, J.M. y Richardson J.F. (1981). Ingeniería Química. Barcelona: Reverté
5. Treybal, Robert E. (1980) Operaciones de Transferencia de Masa. México: McGraw Hill
6. Geankoplis, C.J. (1983) Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Estados Unidos: Ally and Bacon
7. McCabe, W.L., Smith, J.C. y Harriot, P. (1999) Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Madrid: McGraw Hill Book Co.
8. Cengel, Yunus S. (2007) Transferencia de Calor y Masa. México: McGraw Hill.
9. Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall

### 6.2 Complementaria

- 
10. Rohsenow, W. M. y Hartnett J. P. (1973) Handbook of Heat Transfer, McGraw Hill Book Co.
  11. Guyer, Eric C. (1989). Handbook of Applied Thermal Design, McGraw Hill Book Co.
  12. Foust, A.S., Wenzel, L., Clump, C., Maus L. y Andersen L. (1979). Principios de Operaciones Unitarias. México: Editorial Continental S.A.
  13. Dutta, Binay K.(2007). Principles of Mass Transfer and Separation Process. Sonapat: PHI Learning Private Limited
  14. Seader, J.D., Henley Ernest J., Roper D. Keith (2016). Separation Process Principles with Applications Using Process Simulator. Hoboken: John Wiley & Sons
  15. Kakac, S., Liu, H., Pramuanjaroenkij (2012) Heat Exchangers. Estados Unidos: CRC Press. Taylor y Francis Group

## 7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

**7.1 Conocimientos Previos Exigidos:** balances de masa y energía, fenómenos de transporte, termodinámica de sistemas abiertos, sistemas multifásicos y equilibrio entre las fases.

**7.2 Conocimientos Previos Recomendados:** química general, química inorgánica, química analítica

---

---

**ANEXO A****Para todas las Carreras****A1) INSTITUTO**

Instituto de Ingeniería Química

**A2) CRONOGRAMA TENTATIVO**

Consiste en un cronograma de avance semanal con detalle de las horas de clase asignadas a cada tema.

Semana 1	Presentación del curso. Tema 1- Mecanismos de Transferencia de calor (8 hs de clase). .
Semana 2	Tema 1- Mecanismos de Transferencia de calor (6 hs de clase). Tema 2- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica (2 hs de clase)
Semana 3	Tema 1- Mecanismos de Transferencia de calor (2.5 hs de clase). Tema 2- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica (3.5 hs de clase). Tema 3- Pérdida de calor y Aislaciones (2 hs de clase)
Semana 4	Tema 2- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica (4 hs de clase). Tema 3- Pérdida de calor y Aislaciones (2 hs de clase). Tema 4- Intercambiadores de calor (2 hs de clase)
Semana 5	Tema 2- Mecanismos de Transferencia de Calor por radiación térmica (2 hs de clase). Tema 3- Pérdida de calor y Aislaciones (2 hs de clase). Tema Intercambiadores de calor (4 hs de clase)
Semana 6	Tema 3- Pérdida de calor y Aislaciones (3 hs de clase). Tema 4- Intercambiadores de calor (5 hs de clase)
Semana 7	Tema 4- Intercambiadores de calor (8 hs de clase)
Semana 8	Parciales
Semana 9	Tema 5- Intercambiadores de superficie extendida (6 hs de clase). Tema 6- Serpentes y camisas (2 hs de clase).
Semana 10	Tema 5- Intercambiadores de superficie extendida (2 hs de clase). Tema 6- Serpentes y camisas (4 hs de clase). Tema 7- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen (2 hs de clase)
Semana 11	Tema 6- Serpentes y camisas (4 hs de clase). Tema 7- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen (2 hs de clase). Tema 8- Introducción a transferencia de masa (2 hs de clase)
Semana 12	Tema 7- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen (4 hs de clase). Tema 8- Introducción a transferencia de masa (2 hs de clase). Tema 9- Absorción gaseosa (2 hs de clase)
Semana 13	Tema 7- Operaciones de transferencia de calor, fuera de régimen (4 hs de clase). Tema 9- Absorción gaseosa (4 hs de clase)
Semana 14	Tema 8- Introducción a transferencia de masa (4 hs de clase). Tema 9- Absorción gaseosa (4 hs de clase)
Semana 15	Tema 9- Absorción gaseosa (8 hs de clase)



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

Se realizará una actividad experimental de asistencia obligatoria (sin nota), para evaluar los conocimientos de toda la asignatura

Se tomarán 2 pruebas parciales escritas de 50 puntos cada una, con ejercicios a desarrollo y preguntas.

Si el puntaje total (P) obtenido en las dos pruebas parciales es:

- $P < 25$ : el estudiante pierde el curso y debe recurrar.
- $25 \leq P < 39$ : el estudiante está habilitado a rendir el examen de la unidad curricular en los tres períodos habilitados (diciembre, febrero y julio) mientras la ganancia de curso sea válida. Esta franja de puntaje no lo habilita a cursar las unidades curriculares posteriores de "Transferencia de Calor y Masa 2".
- $40 \leq P < 59$ : el estudiante está habilitado a rendir el examen de la unidad curricular en los tres períodos habilitados (diciembre, febrero y julio) mientras la ganancia de curso sea válida. Esta franja de puntaje si lo habilita a cursar las unidades curriculares de "Transferencia de Calor y Masa 2".
- $P \geq 60$ : El estudiante exonera la unidad curricular.

La ganancia del curso tendrá una validez de 8 meses.

La aprobación de la actividad experimental mantiene su validez si el estudiante tuviera que recurrar la asignatura.

De las inasistencias:

1) En caso de inasistencia a un parcial, el estudiante que presente certificado médico expedido por la D.U.S. (División Universitaria de la Salud), podrá realizar la instancia de examen para aprobar la unidad curricular. Para acceder a esta instancia de examen en estas condiciones, el estudiante deberá poseer una calificación mínima de 12 puntos en el control restante. La inasistencia a los dos parciales del curso (justificada o no) implica la pérdida del mismo.

2) La inasistencia a las instancias de examen no puede ser recuperada. En caso de no haber aprobado alguna de las instancias de examen, o no haber asistido a las mismas, se reprueba la unidad curricular.

### A4) CALIDAD DE LIBRE

No se admite calidad libre.

### A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Cupos mínimos: No

Cupos máximos: No

#### Nota:

Si se definen cupos, en una nota aparte se deberá incluir:

- motivo por el cual la unidad curricular tiene cupos (tanto máximos como mínimos).
- el mecanismo de selección para cuando se dé la situación de que la cantidad de estudiantes inscriptos supere el cupo máximo.



E

**ANEXO B para la carrera de INGENIERÍA QUÍMICA****B1) ÁREA DE FORMACIÓN****Ingeniería de Procesos Físicos****B2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS**

Se mantienen las previas de la versión 2019 de la Unidad Curricular, que se indican a continuación:

	IQ
Curso	Examen de Físicoquímica 101
	Examen de Física 3 / Física 102
	Curso Química Orgánica 101
	Curso Termodinámica Aplicada
	Curso Fenómenos de Transporte
	Curso Química Analítica 1
	Curso Introducción a la Ing Química y de Procesos
	Curso Química Inorgánica (L y T)
Examen	Examen Fenómenos de Transporte
	Examen Termodinámica Aplicada
	Curso Transferencia de Calor y Masa 1

**ANEXO C para la carrera de INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**C1) ÁREA DE FORMACIÓN**

**Ingeniería de Procesos de Producción y Preservación de Alimentos**

**C2) UNIDADES CURRICULARES PREVIAS**

	IA
Curso	Examen de Físicoquímica 101
	Examen Física 102
	Curso Química Orgánica 101
	Curso Termodinámica Aplicada
	Curso Fenómenos de Transporte
	Curso Química Analítica 1/Curso Química Analítica para Alimentos
	Curso Introducción a la Ing Química y de Procesos
Examen	Examen Fenómenos de Transporte
	Examen Termodinámica Aplicada
	Curso Transferencia de Calor y Masa 1

## ANEXO B Carrera de Ingeniería de Producción

---

### B1 ÁREA DE FORMACIÓN

Grupo: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

Materia: INGENIERÍA QUÍMICA

### B2 UNIDADES CURRICULARES PREVIAS

Curso:

- INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA Y DE PROCESOS (curso)
- FENÓMENOS DE TRANSPORTE EN INGENIERÍA DE PROCESOS (curso)
- FÍSICA TÉRMICA (curso)
- FÍSICA 3 (examen)

Examen:

- TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA 1 (curso)
- 
-