



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

**DEPARTAMENTO DE**  
**INGENIERÍA QUÍMICA Y COMBUSTIBLES**

**PROGRAMA DE LA ASIGNATURA**  
***OPERACIONES BÁSICAS DE PROCESOS***

**Curso** : 4<sup>o</sup>  
**Cuatrimestre** : 1<sup>o</sup>  
**Carácter** : Optativa

**Créditos totales**  
Teóricos : 2,9  
Prácticos : 3,1

**PLAN DE ESTUDIOS 1996**

Edición 2: 2002-09-23

## OPERACIONES BÁSICAS DE PROCESOS: PROGRAMA

### a) **OBJETIVOS Y CONTENIDOS**

#### **BLOQUE 1: Introducción a la ingeniería química**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- 1.1. *Conocer el concepto y el esquema general de un proceso químico y una planta química.*
- 1.2. *Conocer las diferentes unidades que pueden existir en un proceso.*
- 1.3. *Comprender el concepto de operación básica.*
- 1.4. *Conocer las fases de desarrollo de un proceso desde su concepción a su puesta en práctica.*
- 1.5. *Aplicar los principios básicos para el análisis de los procesos químicos, con particular atención a los balances de materia y energía.*

##### CONTENIDOS:

#### 1.1: EL PROCESO QUÍMICO

- La Ingeniería Química y la planta química.
- Etapas de proceso: Operaciones básicas, etapas de reacción.
- Procesos discontinuos y continuos.
- Equipo de proceso: Reactores, unidades de separación, otras unidades de proceso. Ingeniería básica de un proceso.
- Concepción y desarrollo de un proceso; escalado.
- Esquema general de la asignatura. Bibliografía básica.

#### 1.2: LEYES FUNDAMENTALES EN LA INGENIERÍA QUÍMICA

- Balance de materia.
- Balance de energía; datos y cálculo de entalpías. Resolución de balances de materia y energía.
- Leyes de equilibrio. Leyes cinéticas. Balance económico.

#### **BLOQUE 2: Operaciones de transferencia de calor**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- 2.1. *Conocer los diferentes tipos de intercambiadores de calor, incluidas las particularidades constructivas de condensadores y hervidores.*
- 2.2. *Conocer los conceptos de diferencia de temperaturas media logarítmica y su factor de corrección y de resistencia de ensuciamiento, y calcular el coeficiente global de transferencia de calor para los diferentes tipos de intercambiadores.*

- 2.3. *Aplicar las ecuaciones de transferencia de calor y de balance de energía en el diseño de intercambiadores.*
- 2.4. *Aplicar el concepto de efectividad para el cálculo de intercambiadores.*
- 2.5. *Aplicar los métodos de cálculo de las pérdidas de carga en intercambiadores.*
- 2.6. *Conocer la constitución y tipos de hornos tubulares de radiación, los métodos específicos de cálculo de la transferencia de calor radiante en hornos y su aplicación conjunta con los balances de energía para el diseño de aquéllos.*
- 2.7. *Conocer el funcionamiento de un evaporador, los diferentes tipos de evaporadores y los tipos de flujo en evaporadores de efecto múltiple.*
- 2.8. *Aplicar los diagramas entalpía-concentración y las curvas de punto de ebullición en función de la concentración (líneas de Dühring).*
- 2.9. *Aplicar los balances de materia y las ecuaciones de transferencia de calor para el cálculo de evaporadores simples y de efecto múltiple.*
- 2.10. *Aplicar al diseño el sistema de recompresión del vapor en evaporadores.*

## CONTENIDOS:

### 2.1: INTERCAMBIADORES DE CALOR

- Descripción: Tipos de intercambiadores, elementos constructivos.
- Diferencia de temperaturas.
- Cálculo: coeficientes de película, resistencias de ensuciamiento, pérdidas de carga.
- Efectividad.
- Condensadores: Descripción, diseño.
- Hervidores: Descripción, diseño.

### 2.2: HORNOS

- Tipos y características de los hornos tubulares.
- Transferencia de calor en hornos tubulares; cálculos de diseño.

### 2.3: EVAPORACIÓN

- Concepto. Equipo.
- Cálculo elemental de un evaporador. Aumento del punto de ebullición.
- Evaporadores de múltiple efecto: Tipos de alimentación y flujos; método de cálculo.
- Recompresión del vapor.

## **BLOQUE 3: Operaciones de transferencia de materia**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- 3.1. *Calcular puntos de burbuja y puntos de rocío en sistemas ideales y no ideales. Aplicar balances de materia y energía y relaciones de equilibrio líquido-vapor a la resolución de destilación flash.*
- 3.2. *Comprender el funcionamiento de una columna de fraccionamiento y conceptos asociados, calcular columnas de destilación binarias con flujo equimolar y aplicar el método de McCabe-Thiele para columnas sencillas y para columnas con varias alimentaciones y extracciones, determinando la*

- relación de reflujo mínima y el número de platos mínimo y aplicar en el cálculo de columnas el concepto de rendimiento de los platos.*
- 3.3. *Aplicar el método de cálculo de columnas con flujo no equimolar.*
  - 3.4. *Conocer de modo elemental los elementos constructivos de columnas de destilación: columnas, platos, tipos de condensadores y de rehervidores; velocidad máxima del vapor, temperaturas y presiones de operación.*
  - 3.5. *Conocer el fundamento de la extracción líquido-líquido y sus aplicaciones, los diferentes tipos de extractores y el concepto de selectividad de un disolvente.*
  - 3.6. *Calcular operaciones de extracción en una etapa y en etapas múltiples de equilibrio y determinar el caudal de disolvente mínimo en extracción a contracorriente.*
  - 3.7. *Conocer el fundamento de la absorción de gases y sus aplicaciones, así como las características del equipo típico para la absorción (columnas y tipos de relleno) y calcular el flujo máximo de gas y el diámetro necesario de una torre de relleno.*
  - 3.8. *Construir curvas de equilibrio en absorción a partir de datos de solubilidad de gases en líquidos y la curva de operación en absorción a partir de los balances de materia en la columna, calcular la altura de una columna de relleno en absorción a partir de las líneas de operación y de equilibrio y aplicar los conceptos de altura de una unidad de transferencia y número de unidades de transferencia.*
  - 3.9. *Calcular columnas de absorción por etapas de equilibrio.*
  - 3.10. *Conocer el principio y las aplicaciones de la desabsorción o stripping.*
  - 3.11. *Conocer el fundamento de la adsorción y sus aplicaciones, los diferentes tipos de equipo y la naturaleza y propiedades de los adsorbentes más comunes, así como las relaciones de equilibrio en adsorción.*
  - 3.12. *Conocer la operación de un ciclo de adsorción en un lecho fijo, el concepto de curva y tiempo de ruptura, los balances de materia, las ecuaciones de transferencia de materia en un lecho fijo y su aplicación concreta a la determinación del tiempo de ruptura de un lecho.*

## CONTENIDOS:

### 3.1: DESTILACIÓN

- Equilibrio líquido-vapor. Sistemas ideales. Sistemas no ideales. Volatilidad relativa. Cálculo de puntos de burbuja y rocío
- Destilación flash. Flash isoterma. Flash adiabático. Flash con transmisión de calor dada.
- Destilación binaria. Configuración de una columna. Alimentación: Condición térmica. Método de cálculo de una columna. Condiciones límite. Eficacia de los platos. Flujo no equimolar.
- Equipo. Columnas, platos, condensadores, rehervidores.
- Notas sobre diseño y rating de columnas.

### 3.2: EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO

- Concepto y aplicaciones.
- Equilibrio de fases líquidas. Diagramas triangulares. Fases en la extracción. Selectividad de un disolvente.
- Extracción en una etapa. Cálculo numérico. Cálculo gráfico.
- Etapas múltiples con flujo cruzado de disolvente.
- Etapas múltiples en contracorriente. Cálculo gráfico. Pseudocaudal. Caudal de disolvente mínimo.

### 3.3: ABSORCIÓN

- Fundamentos de la operación.
- Equipo. Columnas. Rellenos. Flujo de gas límite: Diámetro de la columna.
- Solubilidad de gases en líquidos. Línea de equilibrio.

- Balances de materia. Línea de operación.
- Cálculo de la altura de relleno. Transferencia de materia: doble película. Unidades de transferencia. Diferencia de concentración media logarítmica.
- Coeficientes de transferencia de materia en absorción.
- Absorción en columnas de platos.
- Stripping o desabsorción.

### 3.4: ADSORCIÓN

- Fundamentos de la operación. Adsorbentes. Equipo.
- Equilibrio. Tipos de isothermas.
- Operación de un lecho fijo. Concentración del fluido a lo largo del lecho. Onda de adsorción. Curva de ruptura.
- Cálculo de lechos fijos. Ecuaciones de balance y transferencia de materia. Aplicación a adsorción irreversible. Aplicación a isothermas lineales.

## **BLOQUE 4: Operaciones de transferencia de materia y calor**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS:*

- 4.1. *Conocer el mecanismo de humidificación de un gas y enfriamiento de un líquido por evaporación.*
- 4.2. *Conocer los conceptos empleados en la humidificación: humedad absoluta, gas saturado, humedad relativa, humedad porcentual, calor húmedo, volumen húmedo, punto de rocío, entalpía total, temperatura de saturación adiabática.*
- 4.3. *Aplicar el diagrama de humedad para el sistema aire-agua, relacionar la temperatura de termómetro húmedo con la temperatura de saturación adiabática y comprender el significado de la relación de Lewis para el sistema aire-agua.*
- 4.4. *Conocer el funcionamiento de humidificadores, deshumidificadores y torres de enfriamiento.*
- 4.5. *Conocer los mecanismos de transferencia de calor y materia entre gas y líquido para los casos de humidificación adiabática, deshumidificación y enfriamiento de líquidos.*
- 4.6. *Conocer los balances de materia y energía y las ecuaciones de transferencia de calor y materia en una unidad de contacto gas-líquido y aplicarlos al cálculo de la altura de contacto para los casos de humidificación adiabática y enfriamiento.*
- 4.7. *Conocer los fundamentos del secado de sólidos, las curvas de humedad de equilibrio de sólidos y los tipos de humedad en sólidos.*
- 4.8. *Conocer las curvas de velocidad de secado y los diversos mecanismos de transferencia de materia y calor a lo largo de ellas.*
- 4.9. *Conocer las ecuaciones de transferencia de materia y calor en los casos de secado por circulación superficial, por circulación transversal y de partículas suspendidas, calcular la velocidad de secado y determinar el tiempo de secado a partir de la curva de velocidad de secado.*
- 4.10. *Aplicar el balance energético global de un secadero para determinar el calor total requerido.*
- 4.11. *Aplicar el coeficiente global de transferencia de calor por unidad de volumen para determinar el volumen de secadero.*
- 4.12. *Conocer los diversos tipos de equipo para secado en función de la naturaleza y características de los materiales a tratar y la capacidad de evaporación requerida.*

## CONTENIDOS:

## 4.1: INTERACCIÓN AIRE-AGUA

- Conceptos básicos. Diagrama de humedad. Temperatura del termómetro húmedo.
- Equipo. Torres de enfriamiento. Humidificadores y deshumidificadores.
- Transferencia de calor y materia entre aire y agua. Temperatura y humedad en la interfase. Cálculo de la altura de contacto.
- Cálculo de un humidificador adiabático.
- Cálculo de una torre de enfriamiento.

## 4.2: SECADO DE SÓLIDOS

- Fundamentos. Equilibrio. Tipos de humedad. Velocidad de secado.
- Mecanismos de secado. Transferencia de calor y materia. Secado por circulación superficial. Secado por circulación transversal. Secado de partículas suspendidas.
- Tiempo de secado. Necesidades energéticas. Diseño básico.
- Equipo de secado. Secaderos de sólidos y pastas. Secaderos de disoluciones y suspensiones.

**b) BIBLIOGRAFÍA**

## BÁSICA:

- COULSON, J.M. y RICHARDSON, J.F., *Ingeniería Química*, Tomo I, Reverté, Barcelona, 1979. [Versión en español de la 3ª edición de *Chemical Engineering*– Vol.I, Pergamon Press, Oxford; existe una 6ª edición en inglés, de 1999].
- COULSON, J.M. y RICHARDSON, J.F., *Ingeniería Química*, Tomo II, Reverté, Barcelona, 1988. [Versión en español de la 3ª edición de *Chemical Engineering*–Vol.II, Pergamon Press, Oxford; existe una 4ª edición en inglés, de 1991].
- McCABE, W.L., SMITH, J.C. y HARRIOTT, P., *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*, 4ª edición, McGraw-Hill, Madrid, 1996. [Versión en español de *Unit Operations of Chemical Engineering*, 4ª edición, McGraw-Hill, N. York, 1985].
- SANCHIDRIÁN, J.A., *Transferencia de calor*, Fundación Gómez-Pardo, Madrid, 1999.
- TREYBAL, R.E., *Operaciones de transferencia de masa*, McGraw-Hill/Interamericana, Naucalpán de Juárez, México, 1986. [Versión en español de *Mass-Transfer Operations*, 3ª edición, McGraw-Hill, N. York, 1981].

## COMPLEMENTARIA:

- CALLEJA PARDO, G., GARCÍA HERRUZO, F., de LUCAS, A., PRATS RICO, D. y RODRÍGUEZ MAROTO, J.M., *Introducción a la Ingeniería Química*, Síntesis, Madrid, 1999.
- GEANKOPLIS, C.J., *Transport Processes and Unit Operations*, 3ª ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey, 1993.
- HIMMELBLAU, D.M., *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6ª edición, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. Jersey, 1996.
- HINES, A.L. y MADDOX, R.N., *Transferencia de masa. Fundamentos y aplicaciones*, Prentice-Hall Hispanoamericana, Naucalpán de Juárez, México, 1987. [Traducción al español de *Mass Transfer Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, 1984]

**c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS**

Se realizan cuatro prácticas de 2 horas cada una en grupos de 15 alumnos aproximadamente sobre simulación de procesos empleando el programa Aspen.

**d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

La evaluación se basa en la demostración de la capacidad de aplicar los conceptos y técnicas de la asignatura a la resolución de casos prácticos en un examen final. Este examen podrá incluir, ocasionalmente, alguna pregunta breve conceptual.

Es condición necesaria para aprobar la asignatura haber realizado con aprovechamiento, previamente al examen, las prácticas de simulación.