



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
PLAN DE ESTUDIOS DE LA LICENCIATURA
EN INGENIERÍA QUÍMICA



PROGRAMA DE LA ASIGNATURA DE:				
TRANSFERENCIA DE MASA II				
IDENTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA				
MODALIDAD: Curso				
TIPO DE ASIGNATURA: Teórico – Práctica				
SEMESTRE EN QUE SE IMPARTE: Séptimo				
CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Obligatorio				
NÚMERO DE CRÉDITOS:		8		
HORAS A LA SEMANA: 6	Teóricas: 2	Prácticas: 4	Semanas de clase: 16	TOTAL DE HORAS: 96
SERIACIÓN: Si (X) No () Obligatoria (X) Indicativa ()				
SERIACIÓN ANTECEDENTE: Transferencia de Masa I Seriación por bloques. Haber aprobado por lo menos el 80% de las asignaturas de los 6 primeros semestres				
SERIACIÓN SUBSECUENTE: Ninguna				

OBJETIVO GENERAL
 Al finalizar el curso el alumno deberá ser capaz de:
 Realizar los balances de materia y energía que le permitan definir las condiciones de operación en los procesos de separación correspondientes a destilación, extracción líquida y secado de sólidos, dimensionar los equipos y accesorios correspondientes y efectuar mejoras en las condiciones de operación y calidad de los productos. Asimismo, la formación que adquiera el estudiante al cursar esta asignatura, debe ser suficientemente sólida para que pueda diseñar cualquier tipo de proceso de separación.

INDICE TEMÁTICO			
UNIDAD	TEMAS	Horas Teóricas	Horas prácticas
1	Introducción	2	4
2	Destilación Continua en una Etapa de Equilibrio	4	8
3	Destilación Diferencial	2	4
4	Destilación Binaria Multietapa; Método de Mc Cabe Thiele	4	8
5	Cálculo Gráfico de Procesos de Separación por Etapas Múltiples utilizando el Método de Ponchon Savarit	3	6

6	Diseño Termodinámico de Procesos de Extracción mediante Métodos Gráficos	4	8
7	Métodos Aproximados para Separaciones en Multietapas de Sistemas Multicomponentes	3	6
8	Secuencias de Separación	2	4
9	Métodos Rigurosos para Separaciones de Multicomponentes	3	6
10	Capacidad y Eficiencia de Etapas	3	6
11	Secado de Sólidos	2	4
	TOTAL DE HORAS TEÓRICAS	32	0
	TOTAL DE HORAS PRÁCTICAS	0	64
	TOTAL DE HORAS	96	

CONTENIDO TEMÁTICO

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Descripción general de las operaciones de separación
- 1.2. Definición de proceso de separación y factor de separación
- 1.3. Separaciones controladas por el equilibrio
- 1.4. Separaciones controladas por la rapidez de difusión
- 1.5. Ejemplos de cálculo de factor de separación
 - 1.5.1. Separaciones controladas por el equilibrio
 - 1.5.2. Separaciones controladas por la rapidez de difusión

2. DESTILACIÓN CONTINUA EN UNA ETAPA DE EQUILIBRIO

- 2.1. Fenomenología de los procesos de destilación en una etapa
- 2.2. Equilibrio líquido vapor
 - 2.2.1. Ley de Raoult
 - 2.2.2. Diagramas de equilibrio (x_y , T_{xy} , P_{xy} , H_{xy})
 - 2.2.3. Equilibrio con soluciones ideales
 - 2.2.4. Equilibrio con soluciones reales
- 2.3. Representación gráfica de una destilación de equilibrio
- 2.4. Balance de materia y energía en una destilación de equilibrio
- 2.5. Métodos de cálculo
- 2.6. Ejercicios con soluciones ideales
 - 2.6.1. Gráficamente en diagramas de equilibrio T_{xy} y P_{xy}
 - 2.6.2. Especificación presión y temperatura
 - 2.6.3. Especificación temperatura y recuperación
 - 2.6.4. Especificación temperatura y entalpia de alimentación
 - 2.6.5. Otras especificaciones
- 2.7. Ejercicios con soluciones reales
 - 2.7.1. Ecuaciones de estado

2.7.2. Modelos de soluciones líquidas

3. DESTILACIÓN DIFERENCIAL

- 3.1. Características de la destilación diferencial
- 3.2. Ecuación de Rayleigh
- 3.3. Destilación por lotes de multicomponentes
- 3.4. Ejercicios
 - 3.4.1. Destilación diferencial binaria
 - 3.4.1.1. K de equilibrio constante
 - 3.4.1.2. Volatilidad constante
 - 3.4.1.3. Datos experimentales de equilibrio
 - 3.4.1.4. Ecuaciones de estado
 - 3.4.1.5. Modelos de soluciones líquidas
 - 3.4.2. Destilación diferencial multicomponente

4. DESTILACIÓN BINARIA MULTIETAPA; MÉTODO DE MC CABE THIELE

- 4.1. Destilación multietapa
- 4.2. Grados de libertad
- 4.3. Equipo utilizado en destilación multietapa
- 4.4. Método de Mc Cabe Thiele
 - 4.4.1. Líneas de operación
 - 4.4.2. Línea de alimentación
 - 4.4.3. Reflujo mínimo y número mínimo de etapas
 - 4.4.4. Trazado de etapas ideales
 - 4.4.5. Ejemplos de diseño termodinámico
 - 4.4.6. Ejercicios de diferentes casos
 - 4.4.6.1. Condensador total o parcial
 - 4.4.6.2. Diferentes condiciones de alimentación
 - 4.4.6.3. Alimentaciones múltiples
 - 4.4.6.4. Uso de vapor directo
 - 4.4.6.5. Salidas laterales
 - 4.4.6.6. Productos de alta pureza
 - 4.4.6.7. Mezclas azeotrópicas

5. CÁLCULO GRÁFICO DE PROCESOS DE SEPARACIÓN POR ETAPAS MÚLTIPLES UTILIZANDO EL MÉTODO DE PONCHON SAVARIT

- 5.1. Balance de materia y energía
- 5.2. Representación gráfica del balance de materia y energía en el diagrama entalpía concentración
- 5.3. Método de Ponchon Savarit
 - 5.3.1. Punto de las diferencias
 - 5.3.2. Líneas de operación
 - 5.3.3. Líneas de equilibrio
 - 5.3.4. Trazado de etapas ideales
- 5.4. Columnas no adiabáticas
- 5.5. Ejercicios
 - 5.5.1. Columnas convencionales

- 5.5.2. Diferentes condiciones de alimentación
- 5.5.3. Pérdidas de calor
- 5.5.4. Condensadores o evaporadores intermedios
- 5.5.5. Alimentaciones múltiples y salidas laterales

6. DISEÑO TERMODINÁMICO DE PROCESOS DE EXTRACCIÓN MEDIANTE MÉTODOS GRÁFICOS

- 6.1. Diagramas triangulares de equilibrio líquido líquido
- 6.2. Extracción en una etapa de equilibrio
- 6.3. Extracción en cascadas de flujo cruzado
- 6.4. Extracción en flujo en contracorriente
 - 6.4.1. Balance de materia
 - 6.4.2. Flujo mínimo de solvente
 - 6.4.3. Trazado de etapas ideales
- 6.5. Extracción con reflujo
- 6.6. Ejercicios
 - 6.6.1. Diseño termodinámico de procesos de extracción
 - 6.6.2. Extracción en una etapa
 - 6.6.3. Extracción en cascadas de flujo cruzado
 - 6.6.4. Extracción en cascadas de flujo en contracorriente
 - 6.6.5. Extracción con reflujo

7. MÉTODOS APROXIMADOS PARA SEPARACIONES EN MULTITAPAS DE SISTEMAS MULTICOMPONENTES

- 7.1. Descripción del comportamiento de la destilación multicomponente
- 7.2. Simplificaciones
- 7.3. Selección de componentes clave
- 7.4. Número mínimo de etapas de equilibrio
- 7.5. Distribución de componentes a reflujo infinito
- 7.6. Reflujo mínimo
- 7.7. Relación de reflujo y etapas ideales
- 7.8. Localización de la etapa de alimentación
- 7.9. Distribución de componentes
- 7.10. Ejercicios de diseño termodinámico de columnas de destilación

8. SECUENCIAS DE SEPARACIÓN

- 8.1. El problema combinatorio y escisiones prohibidas
- 8.2. Métodos y técnicas de síntesis del proceso
- 8.3. Ejercicios de secuencia de separación en un proceso

9. MÉTODOS RIGUROSOS PARA SEPARACIONES DE MULTICOMPONENTES

- 9.1. Ecuaciones generales de balance de materia
- 9.2. Ecuaciones generales de equilibrio líquido vapor
- 9.3. Ecuaciones generales de balance de energía
- 9.4. Estrategia general de resolución matemática de las ecuaciones MESH
- 9.5. Método del punto de burbuja

- 9.6. Ejercicios
 - 9.6.1. Solución del balance de materia (matriz tridiagonal)
 - 9.6.2. Destilación de soluciones ideales usando el método del punto de burbuja
 - 9.6.3. Destilación de soluciones reales usando un simulador de proceso
 - 9.6.4. Análisis de resultados (flujos, temperaturas, composiciones) obtenidos del cálculo numérico de las ecuaciones MESH

10. CAPACIDAD Y EFICIENCIA

- 10.1. Columnas de platos
 - 10.1.1. Características y tipos de platos
 - 10.1.2. Hidráulica de platos
 - 10.1.3. Condiciones de operación
 - 10.1.4. Inundación
 - 10.1.5. Espaciamiento entre platos
 - 10.1.6. Diámetro y capacidad
 - 10.1.7. Factores que afectan la eficiencia
 - 10.1.8. Eficiencia de plato
 - 10.1.9. Eficiencia global
- 10.2. Columnas empacadas
 - 10.2.1. Características y tipos de empaques
 - 10.2.2. Caídas de presión en columnas empacadas
 - 10.2.3. Zona de carga e inundación
 - 10.2.4. Coeficientes de transferencia de masa
 - 10.2.5. Número y altura de unidades de transferencia
 - 10.2.6. Altura equivalente de plato teórico
- 10.3. Ejercicios
 - 10.3.1. Hidráulica de platos (perforados, válvulas o borboteadores)
 - 10.3.2. Estimación de eficiencia de plato
 - 10.3.3. Determinación del diámetro de una columna
 - 10.3.4. Determinación de altura de empaque usando coeficientes de transferencia de masa
 - 10.3.5. Determinación de altura de empaque usando altura equivalente de plato teórico

11. SECADO DE SÓLIDOS

- 11.1. Humedad de equilibrio
- 11.2. Humedad ligada y humedad libre
- 11.3. Curvas de velocidad de secado
- 11.4. Transporte simultáneo de masa y calor
- 11.5. Balance de materia y energía
- 11.6. Tipos de secadores
- 11.7. Coeficientes de transferencia de masa y calor
- 11.8. Mecanismos de secado en el interior de sólidos
- 11.9. Ejercicios
 - 11.9.1. Tiempos de secado del periodo de velocidad de secado constante a partir de curvas de secado

- 11.9.2. Estimación de tiempos de secado del periodo de velocidad de secado constante usando correlaciones empíricas de coeficientes de transferencia de masa y calor
- 11.9.3. Tiempos de secado del periodo de velocidad decreciente
- 11.9.4. Diseño de secadores continuos
- 11.9.5. Diseño de secadores continuos a alta temperatura

ACTIVIDADES PRÁCTICAS:

Durante las sesiones prácticas se realizará la resolución de problemas que se relacionen con las unidades temáticas descritas; estas actividades deberán reflejar el número de horas prácticas señaladas en este programa. Estas actividades deberán ser consideradas en la evaluación final de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

- Kayode, A. C., Ludwig's. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2 Distillation, packed towers, petroleum fractionation, gas processing and dehydration. Gulf Professional Publishing. 4th ed. USA. 2010.
- Benitez, J. Principles and Modern Applications of Mass Transfer Operations. Wiley Interscience. 2nd ed. USA. 2009.
- Petlyuk, F. B. Distillation Theory and its Application to Optimal Design of Separation Units. Cambridge Series in Chemical Engineering. Cambridge University Press. USA. 2011.
- Fouad M. K. Multistage separation processes. 3rd ed. CRC press. Florida. 2004.
- Phillip W. Separation Process Engineering, 3rd ed. Prentice Hall. 2012.
- Seader, J.L., Henley, Ernest, J., Roper, D. K. Separation process principles. 3^a ed. Wiley. 2010.
- Wankat, P. C. Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis. Prentice Hall. 3th ed. USA. 2011.
- Henley, E. J., Seader, J.D. Equilibrium stage separation operations in chemical engineering. John Wiley and Sons. New York. 1981.
- King, C. J. Separation processes. 2nd ed. McGraw Hill. 1980.
- Phillip W. Separation Process Engineering. 3rd ed. Prentice Hall. 2012.
- Seader, J. L., Henley, E. J., Roper, D. K. Separation process principles. 3^a ed. Wiley. 2010.
- Treybal, R. E. Mass transfer operations. 3rd ed. Mc Graw Hill. 1982.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Kister, H. Z. Distillation troubleshooting. Wiley. USA. 2006.

- Holland, C. D. Fundamentos de destilación de multicomponentes. Limusa Noriega editores. México. 2000.

CIBERGRAFÍA

- www.chemweb.com
- http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_15_QUI03.pdf

SUGERENCIAS DIDACTICAS RECOMENDADAS PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA

SUGERENCIAS DIDACTICAS	UTILIZACIÓN EN EL CURSO
Exposición oral	X
Exposición audiovisual	X
Actividades prácticas dentro de clase	X
Ejercicios fuera del aula	X
Seminarios	X
Lecturas obligatorias	X
Trabajo de investigación	X
Prácticas de Taller	
Taller de resolución de problemas asistida por el profesor	X
Otras	

MECANISMOS DE EVALUACIÓN.

ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EVALUAR EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	UTILIZACIÓN EN EL CURSO
Exámenes parciales	X
Examen final	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X
Exposición de seminarios por los alumnos.	X
Participación en clase	X
Taller de resolución de problemas asistida por el profesor	X
Asistencia	

PERFIL PROFESIOGRÁFICO REQUERIDO PARA IMPARTIR LA ASIGNATURA			
LICENCIATURA	POSGRADO	ÁREA INDISPENSABLE	ÁREA DESEABLE
Ingeniería Química			Ingeniería de Procesos
Con experiencia docente			