

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Procesos de separación de mezclas multicomponentes.
Clave de la asignatura:	
SATCA¹:	5-0-5
Carrera:	Ingeniería Química.

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Químico la capacidad de proponer, seleccionar, diseñar, simular y optimizar equipos y procesos de separación de mezclas multicomponentes mediante el uso de modelos termodinámicos rigurosos y modernos procedimientos de cálculo. Se proporciona un panorama general de los fundamentos, procesos y equipos de separación que permitan diseñar y/o proponer alternativas de proceso y realizar la selección de la alternativa adecuada basado en criterios económicos y de desarrollo sustentable, utilizando métodos de cálculo aproximados y métodos rigurosos a través de los simuladores comerciales.

Esta asignatura requiere de conocimientos previos de métodos numéricos, equilibrio físico, balances de materia y energía, fenómenos de transporte, cursos previos de operaciones de separación, características de los equipos utilizados en las diferentes operaciones de separación y la influencia de las variables más importantes sobre su funcionamiento.

Esta materia es una asignatura terminal de Ingeniería Química donde se adquieren desempeños profesionales de: selección, diseño, optimización, simulación de equipos y procesos industriales.

Intención didáctica.

Se organiza el temario, en cuatro unidades, agrupando los contenidos conceptuales de la asignatura en la siguiente secuencia: **1.- Introducción a las operaciones de separación.** En donde se analiza la importancia de las operaciones de separación, clasificación de las operaciones de separación,

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

cálculo de factores de separación a partir de datos experimentales, criterios de selección del agente de separación, criterios para presentar alternativas de procesos de separación y cálculo de grados de libertad en los equipos de separación. **2- Procesos de equilibrio simple e intermitentes.** En donde se analiza el equilibrio físico y la termodinámica del equilibrio físico. Cálculo de puntos de cambio de fase, composiciones de equilibrio, relaciones de equilibrio físico para soluciones multicomponentes a través de ecuaciones de estado y/o modelos de solución.. Se realiza el cálculo de equipos de una etapa de equilibrio (destilación multicomponente simple, extracción simple y a corriente cruzada y de otros equipos y procesos de equilibrio simple) y equipos utilizados en procesos discontinuos o intermitentes de una etapa. En esta unidad se inicia la labor de simulación a través del desarrollo de programas de cómputo y el uso de simuladores de operaciones de separación tales como el comportamiento de unidades de destilación instantánea que impliquen tanto dos fases (L-V) así como tres fases (L-L-V) y otras operaciones de una etapa de equilibrio. Tomando como referencia ejemplos representativos, se analizan los resultados obtenidos y se evalúa la influencia que tienen las variables (presión, temperatura, vaporización, etc.), se analiza el efecto de las variables para realizar una separación en extractores y otros equipos de una etapa. **Unidad 3.-Cálculo de columnas binarias y multicomponentes por métodos aproximados** (Métodos gráficos y cortos). En esta unidad se analiza a través de métodos simplificados una hipotética separación en una columna de destilación convencional y en ella el alumno ha de identificar los componentes claves (ligero y pesado) para realizar un balance de materia aproximado en mezclas multicomponentes. Se analizan los parámetros que se han de utilizar para el cálculo en métodos gráficos y métodos cortos y la interpretación de los resultados obtenidos para una separación deseada; entre otros, el número de etapas necesarias para la separación (fijada la relación de reflujo), el número mínimo de etapas, la relación de reflujo mínima, la localización de la etapa de la alimentación y el flujo de calor eliminado en el condensador y suministrado en el calderín. Se analizan las condiciones límite de operación. El estudiante debe analizar el efecto que se tiene la variación de la relación del reflujo o el cambio de las recuperaciones o las composiciones de los componentes clave ligero y clave pesado en destilado o residuo. Se analizan casos de estudio a través de cálculos manuales y utilizando software adecuado. **Unidad 4.- Métodos rigurosos para el cálculo de procesos de separación multietapa.** Esta unidad se analizan los diferentes métodos de cálculo utilizados en la solución de columnas de mezclas multicomponentes (Cálculo de columnas de destilación, absorción, extracción y de procesos de separación industriales mediante simuladores comerciales) y la paquetería disponible para cálculo de columnas y procesos de separación. Se realizan cálculos de equipos y procesos

así como la simulación y optimización en procesos de separación industriales mediante simuladores comerciales. En el uso de los simuladores el estudiante debe aprender a completar las gradaciones de libertad a través de especificaciones, a ejecutar la aplicación y a modificar las especificaciones en la columna con la finalidad de obtener los resultados deseados, debe aprender a analizar los perfiles de las variables en la columna (composiciones, relaciones de equilibrio, flujos internos de vapor y líquido, temperaturas, presiones).

Se sugieren actividades integradoras mediante la resolución de casos de estudio por equipos de trabajo que desarrollen en el estudiante su capacidad de análisis mediante la manipulación de las variables de operación, en la búsqueda de equipos y procesos de separación con menores costos, especialmente desde un punto de vista energético y de desarrollo sustentable. Actividades que promuevan la comunicación oral y escrita de manera individual y grupal mediante la exposición de la solución propuesta a los casos de estudio asignados. En el transcurso de las actividades programadas es muy importante que el estudiante aprenda a valorarlas y entienda que está construyendo su futuro y en consecuencia actúe de una manera profesional; de igual manera, aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad, la responsabilidad y la autonomía.

Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de Orizaba. Agosto del 2014.	Representante de la academia de la carrera de Ingeniería Química: M.C. María del Rosario Pacheco Sánchez, Ing. Ingrid J. Machorro Méndez, M.A. Lucía Romero Treviño, Ing. Emanuel R. Montesinos Fernández. M.I.A. Adrián Reyes Benítez.	Se realizaron cambios con respecto a la materia de Procesos de separación del módulo de Procesos Industriales vigente en el 2014 en cuanto al nombre, se modifica a Procesos de separación de mezclas

		<p>multicomponentes dada la naturaleza y contenido de la materia.</p> <p>Se modifica también el número de unidades de cinco unidades a cuatro unidades. Básicamente las unidades 3 y 4 se conjuntaron en una unidad (unidad 3) denominada Cálculo de columnas por métodos aproximados. Métodos gráficos y métodos cortos, debido a que ambas unidades del programa anterior son métodos de cálculo aproximados.</p>
--	--	---

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<p>Competencias específicas:</p> <p>Capacidad de proponer, seleccionar, diseñar, simular y optimizar equipos y procesos de separación de mezclas multicomponentes basados en criterios económicos y de desarrollo sustentable, utilizando métodos de cálculo aproximados y métodos rigurosos a través de los simuladores comerciales.</p>
Competencias genéricas
<p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Capacidad de análisis y síntesis. • Capacidad para estructurar programas de cálculo en computadora. • Habilidades en el manejo de Simuladores comerciales. • Capacidad en la solución problemas y toma de decisiones

Competencias interpersonales

- Capacidad crítica y autocrítica
- Trabajo en equipo.
- Habilidades interpersonales

Competencias sistémicas

- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
- Habilidades de investigación
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- Habilidad para trabajar en forma autónoma
- Liderazgo
- Capacidad para adaptarse a nuevas situaciones
- Capacidad de aprender
- Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)
- Habilidad para trabajar en forma autónoma

5. Competencias previas

- Determinar las propiedades termodinámicas y de transporte sustancias puras y soluciones
- Determinar propiedades termodinámicas en el equilibrio de fases y representarlas en forma gráfica.
- Estructurar programas de cómputo en lenguajes de programación o en paquetes comerciales como Matlab, Excel.
- Habilidades en el manejo de Simuladores comerciales.
- Capacidad en la solución problemas y toma de decisiones .

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción a las operaciones de separación.	1.1. Procesos de separación y su importancia en la industria. 1.2. Procesos de separación de equilibrio. 1.3. Procesos de separación gobernados por la velocidad. 1.4. Proceso de separación a través

		<p>de membranas.</p> <p>1.5. Agente de separación y criterios para su selección. Factor de separación.</p> <p>1.6. Equipos de separación comunes en Ingeniería Química.</p> <p>1.7 Grados de libertad en equipos y procesos de separación.</p>
2	Procesos de equilibrio simple e intermitente.	<p>2.1 Modelos de termodinámicos de equilibrio físico.</p> <p>2.1.1 Cálculo de puntos de cambio de fase, composiciones y relaciones de equilibrio a partir de modelos termodinámicos.</p> <p>2.2 Cálculo de equipos de una etapa de equilibrio.</p> <p>2.2.1 Destilación instantánea multicomponente.</p> <p>2.2.2 Extracción simple y a corriente cruzada.</p> <p>2.2.3 Otros procesos de separación de una etapa de equilibrio.</p> <p>2.3 Procesos de equilibrio discontinuos o intermitentes.</p> <p>2.3.1 Destilación discontinua multicomponente.</p> <p>2.3.2 Otros procesos de separación discontinuos simples.</p>
3	Cálculo de columnas por métodos aproximados. Métodos gráficos y métodos cortos.	<p>3.1 Introducción a los procesos multietapa o columnas.</p> <p>3.2 Cálculo de columnas de: destilación, absorción, extracción en fase líquida, etc. por métodos gráficos.</p> <p>3.3 Cálculo de la presión de operación en una columna de destilación multicomponente. Definición de Componentes clave y no clave en sistemas multicomponentes.</p> <p>3.4 Balances de materia aproximados en columnas multicomponentes, a partir de los componentes clave.</p> <p>3.5 Métodos cortos para el cálculo de columnas de sistemas multicomponentes.</p>

		<p>3.5.1 Cálculo de reflujo mínimo y número mínimo de etapas mediante métodos cortos en sistemas multicomponentes.</p> <p>3.5.2 Cálculo de etapas reales en columnas multicomponentes por el método de Underwood-Fenske / Win-Guilliland y el método de Erbar Maddox.</p> <p>3.5.3 Localización óptima del plato de alimentación en una columna de destilación.</p>
4	Métodos rigurosos para el cálculo de procesos de separación multietapa.	<p>4.1 Introducción a los métodos rigurosos para el cálculo de columnas de separación de mezclas multicomponentes.</p> <p>4.1. Ecuaciones MESH. Ecuaciones para describir las columnas de destilación convencionales</p> <p>4.2 Métodos rigurosos de columnas de destilación</p> <p>4.3 Métodos rigurosos de columnas de absorción.</p> <p>4.4 Métodos rigurosos de columnas de extracción en fase líquida.</p> <p>4.5 Cálculo de columnas y de procesos de separación de mezclas multicomponentes por métodos rigurosos usando simuladores comerciales .</p> <p>4.5.1 Cálculo de columnas de destilación, absorción, extracción.</p> <p>4.5.2 Casos de estudio.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Nombre de tema	
Unidad 1: Introducción a las operaciones de separación.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>- Conceptualizar las diferentes operaciones de</p>	<p>1.1 Elaborar resúmenes, realizar presentaciones en equipo de las operaciones de separación más importantes en la industria</p>

<p>separación usadas en la industria de proceso y su clasificación.</p> <p>-Analizar la importancia de los equipos y procesos de separación en la industria de proceso.</p> <p>-Proponer a partir de propiedades físicas alternativas de separación de mezclas.</p> <p>-Calcular los grados de libertad en equipos o proceso de separación.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Competencias Instrumentales.-Capacidad de: análisis y síntesis, organizar y planificar. Comunicación oral y escrita en su propia lengua y en una segunda lengua. Habilidades en el manejo de la computadora. Solución de problemas. Toma de decisiones.</p> <p>Competencias Interpersonales. Capacidad : crítica y autocrítica. De trabajo en equipo. Compromiso ético.</p> <p>Competencias Sistémicas.- Capacidad de: aplicar los conocimientos en la práctica. Aprender a aprender. Adaptarse a nuevas situaciones. Generar nuevas ideas (creatividad). Diseñar y gestionar proyectos.</p>	<p>de proceso y su clasificación.</p> <p>1.2 Elaborar resúmenes y realizar presentaciones en equipo de los procesos de separación a través de membranas y discutirlo en sección grupal.</p> <p>1.3 Proponer y discutir alternativas y diagramas de proceso para la separación de mezclas a partir de las propiedades físicas, criterios de selección y heurísticas de separación de los componentes que constituyen la mezcla.</p> <p>1.4 Calcular los grados de libertad en equipos y procesos de separación y analizar las variables de diseño u operación para el equipo o proceso analizado</p>
<p>Nombre de tema</p> <p>Unidad 2: Procesos de equilibrio simple e intermitente.</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>- Determinar puntos de cambio de fase, relaciones de equilibrio, factores de separación y composiciones de equilibrio utilizando modelos termodinámicos.</p> <p>-Calcular equipos y/o procesos de separación de una etapa de equilibrio utilizando modelos termodinámicos.</p> <p>-Elaborar programas en MATLAB para el</p>	<p>2.1 Elaborar resúmenes de los modelos termodinámicos que actualmente se utilizan para estimar con precisión propiedades termodinámicas de mezclas multicomponentes.</p> <p>2.2 Calcular puntos de cambio de fase, composiciones, relaciones de equilibrio de sistemas binarios y multicomponentes mediante software disponible.</p> <p>2.3 Elaborar programas en MATLAB usando modelos termodinámicos para el cálculo de propiedades en la zona de cambio de fase.</p>

<p>cálculo de equipos de destilación instantánea por métodos rigurosos.</p> <p>-Calcular y/o analizar equipos y procesos de separación de una etapa de equilibrio mediante simuladores comerciales.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Competencias Instrumentales.-Capacidad de: análisis y síntesis, organizar y planificar. Comunicación oral y escrita en su propia lengua y en una segunda lengua. Habilidades en el manejo de la computadora. Solución de problemas. Toma de decisiones.</p> <p>Competencias Interpersonales. Capacidad : crítica y autocrítica. De trabajo en equipo. Compromiso ético.</p> <p>Competencias Sistémicas.- Capacidad de: aplicar los conocimientos en la práctica. Aprender. Adaptarse a nuevas situaciones. Generar nuevas ideas (creatividad). Diseñar y gestionar proyectos.</p>	<p>2.4 Calcular equipos de una etapa de equilibrio para sistemas multicomponentes mediante modelos termodinámicos.</p> <p>2.5 Elaborar programas de cómputo para el cálculo de procesos de una etapa de equilibrio de sistemas multicomponentes.</p>
<p>Nombre de tema</p> <p>Unidad 3: Cálculo de columnas por métodos aproximados. Métodos gráficos y métodos cortos.</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>-Seleccionar el tipo de columna que es adecuado para realizar una separación dada.</p> <p>- Analizar las variables y su efecto en el diseño u operación de una columna de separación.</p> <p>-Realizar el cálculo termodinámico de columnas utilizando métodos gráficos (Problema de diseño o problemas de operación).</p> <p>- Seleccionar de una mezcla multicomponente</p>	<p>3,1 Elaborar un resumen de los diferentes tipos de contactores y diferentes tipos de columnas utilizadas en la industria, indicando condiciones y recomendaciones de uso.</p> <p>3.2 Elaborar un resumen de las variables a manipular en el cálculo de columnas de separación y su efecto en el diseño u operación.</p> <p>3.3 Calcular por métodos gráficos columnas de destilación, absorción y/o desorción y extracción en fase líquida.</p> <p>3.4 Elaborar un resumen sobre los métodos cortos más utilizados indicando ventajas y desventajas en cada método.</p>

<p>los componentes clave y no clave.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Calcular la presión de operación de una columna de separación. - Calcular reflujo mínimo y número mínimo de etapas en una separación deseada. - Calcular columnas de separación por métodos cortos y requerimientos térmicos. <p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias Instrumentales.-Capacidad de: análisis y síntesis, organizar y planificar. Comunicación oral y escrita en su propia lengua y en una segunda lengua. Habilidades en el manejo de la computadora. Solución de problemas.Toma de decisiones.</p> <p>Competencias Interpersonales. Capacidad : crítica y autocrítica. Trabajo en equipo. Compromiso ético.</p> <p>Competencias Sistémicas.- Capacidad de: aplicar los conocimientos en la práctica. Aprender. Adaptarse a nuevas situaciones. Generar nuevas ideas (creatividad). Diseñar y gestionar proyectos.</p>	<p>3.5 Calcular el balance de materia aproximado en columnas de destilación mediante el concepto de componente clave.</p> <p>3.6 Calcular la presión de operación de una columna en una separación deseada.</p> <p>3.7 Calcular etapas reales y composiciones de los productos en columnas de separación usando métodos cortos.</p>
<p>Nombre de tema</p> <p>Unidad 4: Métodos rigurosos para el cálculo de procesos de separación multietapa.</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conocer los métodos rigurosos más utilizados en la solución de columnas. - Seleccionar modelos termodinámicos adecuados en el cálculo de equipos y procesos de separación multietapas. - Utilizando software adecuado calcular equipos, procesos, casos de estudio en la 	<p>4,1 Elaborar un resumen sobre los métodos rigurosos y realizar una presentación oral.</p> <p>4.2 Resolver problemas y casos de estudio de equipos y procesos de separación multietapa utilizando el software adecuado.</p>

<p>solución de problemas de separación.</p> <p>Competencias genéricas:</p> <p>Competencias Instrumentales.-Capacidad de: análisis y síntesis, organizar y planificar. Comunicación oral y escrita en su propia lengua y en una segunda lengua. Habilidades en el manejo de la computadora. Solución de problemas. Toma de decisiones.</p> <p>Competencias Interpersonales. Capacidad : crítica y autocrítica. Trabajo en equipo. Compromiso ético.</p> <p>Competencias Sistémicas.- Capacidad de: aplicar los conocimientos en la práctica. Aprender. Adaptarse a nuevas situaciones. Generar nuevas ideas (creatividad). Diseñar y gestionar proyectos.</p>	
--	--

8. Práctica(s)

<p>1.1Elaborar en equipo un resumen sobre los procesos de separación a través de membranas, indicando en él: Clasificación, principio de separación, equipos utilizados y tipos de membranas, ejemplos de aplicación en la industria para cada caso, ventajas y desventajas con respecto a los procesos tradicionales, aplicación actual y futuro de estos procesos. Discusión en sección grupal.</p> <p>2.1 Caso de estudio. Diseño de un programa de cómputo en MATLAB para el cálculo de un flash de una mezcla multicomponente mediante modelos de equilibrio rigurosos. Se indicarán la información de la corriente de materia a separar, las condiciones de operación del equipo y el modelo termodinámico a utilizar para cada caso.</p> <p>3.1. Caso de estudio. Presentar la solución a un problema de separación de una mezcla multicomponente por métodos cortos para la obtención de productos de alta pureza. Se indicará la información de la corriente a separar, las recuperaciones y pureza de los productos y relación de reflujo. Se evaluará el diagrama de flujo propuesto para la separación, modelos termodinámicos seleccionados, resultados, conclusiones y sustentación de las decisiones tomadas en la solución de su problema.</p>
--

9. Proyecto de asignatura

El estudiante a través de las competencias adquiridas en el curso de Procesos de Separación de Mezclas multicomponentes y en otras materias ya cursadas desarrollará un proyecto integrador que contemple las siguientes etapas:

- 1.- Se asignará un caso de estudio por equipo, que consista en el desarrollo de un proceso de separación de una mezcla multicomponente.
2. Planeación para la elaboración del proyecto. El equipo debe considerar las etapas de revisión del estado del arte de las operaciones y equipos de separación a utilizar , revisión de las competencias a aplicar. Establecer el cronograma para determinar la duración del proyecto (Debe estar dentro del lapso del semestre cursado).
- 3.. Determinación de recursos materiales, humanos y económicos: Paquetes y equipos de computación.
4. Ejecución y seguimiento del proyecto. De acuerdo a lo planeado y dentro del espacio determinado para realizar la investigación.
5. Análisis de los resultados y. Comparar los resultados obtenidos con los solicitados en el caso de estudio.
6. Conclusiones y recomendaciones.

10. Evaluación por competencias

Trabajo en clase y extra clase.
Evaluación de portafolio.
Pruebas o exámenes.
Evaluación de desempeño. Casos de estudio, presentaciones orales, resúmenes

11. Fuentes de información

- 1.- Finlayson, Bruce. Introduction to chemical engineering computing. John Wiley & Sons, Inc., Publication
- 2.-Geankopolis Christie J. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Ed. C.E.C.S.A.
- 3.-Henley – Seader. *Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio*. Repla S. A.
- 4.- Hirata, M., S. Ohe, and K. Nagahama, *Computer Aided Data Bookoj. V a p o r - L i q u i d Equilibria*, Elsevier. Amsterdam,
- 4.-Holland C.D. Fundamentos d destilación de mezclas multicomponentes. Ed. Limusa.
- 5.-Holland Charles D. *Fundamentos y Modelos de Procesos de Separación*. Ed. Prentice-Hall.
- 6.-Kister Henry Z. *Distillation Design*. Engineering Advisor Brown, Alhambra, California.
- 7.- Kister Henry Z. *Distillation Operation*. Mc Graw-Hill Inc.

- 8.-Luyben, William. *Distillation Design and Control using Aspen Simulation*. John Wiley & Sons, Inc. Publication.
- 9.-McCabe W. L., Smith J. C. Y Harriott P. *Operaciones Básicas de Ingeniería Química*. Ed. Reverte.
- 10.-Nilsson, N. J., *Problem-Solving. Methods in Artificial Intelligence*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- 11.-Null, H. R., *Phase Equilibrium in Process Design*. Interscience Publishers, Inc., New York.
- 12.-Perry – Chilton. *Manual del Ingeniero Químico*. McGraw – Hill, 8ta, edición.
- 13.-Prausnitz, J. M., *Molecular Thermodynamics of Fluid-Phase Equilibria*, Prentice-Hall, Inc., EnglewoodCliffs, New Jersey
- 14.-Prausnitz, J. M., and P. L. Chueh, *Computer Calculations for High-Pressure Vapor-Liquid Equilibria*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- 15.-Reid – Poling – Prausnitz. *The Properties of Gases and Liquids*. McGraw – Hill, 5ta edición.
- 16.-Valenzuela D. P. & Myers Alan L. *Adsorption Equilibrium Data Handbook*. Ed. Prentice-Hall.
- 17.-Walas Stanley M. *Chemical Process Equipment*. Ed. Butterworths.
- 18.-Walas Stanley M. *Phase Equilibria in Chemical Engineering*.