UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

EIQ Escuela de Ingeniería Química

Programa del Curso

IQ-0525 Operaciones de separación por métodos difusionales

Segundo Semestre 2019

1 Información General

HORAS SEMANALES: Teoría: 4, Práctica: 0, Laboratorio: 0
CRÉDITOS: 3
REQUISITOS: IQ-0416, IQ-0423, IQ-0424
COREQUISITO: IQ-0534

2 Descripción del curso

Este es un curso básico de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Química, ubicado en el noveno ciclo del plan de estudios. Se compone de cuatro horas lectivas para la teoría y se complementa con el curso de laboratorio. El laboratorio se rige por su propio programa del curso.

El curso está orientado al diseño de equipos y procesos relacionados con la transformación de la materia, los conceptos que se estudian otorgan al estudiante la capacidad de modelar y calcular procesos de separación de mezclas por métodos de transferencia de masa por difusión, como complemento a los métodos por etapas de equilibrio.

Con base en la premisa que los temas a tratar en el curso integran los conocimientos de varias materias del plan de estudios se considera que cada estudiante que ha matriculado en este curso, domina como mínimo, los conceptos de:

i. Balances de energía y de materia.
ii. Teorías de transferencia de momento, calor y masa.
iii. Cálculo de número de etapas de equilibrio en operaciones de separación.

3 Objetivo general

Evaluar procesos y equipos de separación, mediante el cálculo por métodos de difusión de masa, para su dimensionamiento, estimación de los requerimientos de servicios y composición de las corrientes producto.

4 Objetivos específicos

El curso pretende que al finalizar cada estudiante sea capaz de:

- Describir las operaciones de separación estudiadas en este curso, con base en las características de las fases y de los equipos, para la selección en problemas de diseño.

- Nombrar las partes internas de los equipos y las corrientes, en las operaciones estudiadas, para el dominio del lenguaje empleado en la industria.
- Diferenciar entre los métodos por etapas de equilibrio de los métodos de velocidad de transferencia de masa, en el cálculo de problemas de separación, para el desarrollo de una estrategia de solución.
- Calcular el diámetro de los equipos de contacto continuo, mediante el uso de correlaciones y principios fundamentales, para el dimensionamiento de los equipos.
- Aplicar los métodos de unidades de transferencia, a problemas prácticos, para el dimensionamiento de la altura de los equipos de contacto continuo.
- Calcular las relaciones limitantes, mediante métodos gráficos y analíticos en casos prácticos, para la determinación de los límites de operación de un proceso.
- Derivar los modelos matemáticos de unidades de transferencia, mediante la aplicación de leyes y principios fundamentales, para el análisis de problemas típicos.
- Plantear problemas de simulación, mediante el uso herramientas computacionales, para el análisis de casos bajo distintos escenarios.
- Resolver problemas de separación de mezclas, mediante aplicación de fundamentos de geometría analítica, balances de masa y de energía, y teorías de transferencia de materia, para el cálculo de flujos, composición y requerimientos de energía.

5 Información sobre acreditación

Se consideran los atributos y las unidades de acreditación establecidos en el currículo del Consejo Canadiense de Acreditación en Ingeniería (CEAB).

5.1 Contribución a los atributos del graduado

Atributo	Nivel
Conocimientos base de ingeniería	A
Uso de herramientas de ingeniería	A
Impacto de la ingeniería en la sociedad y el medioambiente	A

Código para el nivel de contenido:
N/A = no aplicable; I = introductorio; D = desarrollado; A = aplicado

5.2 Desglose unidades de acreditación

Categoría de contenido	Porcentaje UA	Número de UA
Ciencias en Ingeniería	75 %	47,1
Diseño en Ingeniería	25 %	15,7

6 Metodología

Los contenidos se desarrollarán de manera expositiva por los docentes mediante la presentación de los conceptos, teorías, leyes, modelos y demostraciones generales para los temas tratados de operaciones de transferencia de masa. En algunos de éstos, ese desarrollo podrá hacerlo el estudiantado contando con la guía de su docente, o a manera de estudio individual. Para reforzar los contenidos se realizarán algunos ejemplos de resolución de problemas prácticos en clase.

El trabajo independiente de cada estudiante en la lectura de los temas recomendados y la resolución de los problemas permitirá que pueda participar de manera activa en el desarrollo de los temas y lograr interiorizar los conceptos y construir en forma individual, pero coherente con los objetivos establecidos, los conocimientos sobre las operaciones de transferencia de masa por métodos difusionales.

El aula virtual del curso será el medio oficial para publicar el material del curso, fechas, asignaciones, enviar información y las calificaciones, por lo que registrarse en esta y mantener el perfil actualizado son requisitos indispensables.

6.1 Tareas

La aplicación de los conceptos, modelos y leyes a casos específicos se hará mediante prácticas asignadas (tareas), que consisten en la solución de problemas mediante el cálculo. En la fecha de entrega se procura hacer una revisión en clase para aclarar las dudas surgidas.

6.2 Pruebas

Se evalúan tanto los conceptos teóricos como la resolución de problemas prácticos y se presentan en dos modalidades:

i. Pruebas cortas: que evalúan conceptos de teoría, así como derivaciones y demostraciones, pero también pueden incluir la resolución de problemas prácticos cortos.
ii. Pruebas parciales: consisten principalmente en la resolución de problemas prácticos que involucran cálculos. Pueden ser en dos o más partes, eventualmente una de estas para aplicarse en día sábado y otra, por requerir computadora, para resolver en la casa.

6.2.1 Instrucciones a seguir durante las pruebas

Son de acatamiento general las siguientes indicaciones:

i. A menos que se indique lo contrario toda prueba se considerará de carácter individual, a libro cerrado, y queda prohibido el uso de cualquier aparato con capacidad de telecomunicación durante la misma.
ii. Debe leerse atentamente cada enunciado y aclarar cualquier duda de interpretación antes de contestar.
iii. Toda respuesta deberá estar escrita en tinta indeleble en unidades del SI, mantenga el orden y el aseo, evite el uso de corrector, en caso de equivocación solo tache y prosiga.
iv. Debe enumerar e identificar con nombre y número de carné todas las

hojas adicionales que entregue, identificar la respuesta de cada pregunta, además de entregar el enunciado de la prueba.

v. Para cada prueba se dispone de un límite de tiempo para su entrega, que será indicado oportunamente, quien no entregue su evaluación al finalizar dicho lapso obtendrá una nota de cero.

6.3 Proyecto

Se realizará un proyecto de diseño grupal del tipo final abierto, pudiendo realizarse en conjunto con el curso de laboratorio (IQ-0534) o de forma independiente. Las indicaciones para este proyecto estarán disponibles en el aula virtual. El objetivo consiste en profundizar los contenidos del curso, por lo que durante el desarrollo del mismo deberán presentar avances parciales.

7 Estrategias y criterios de evaluación

Para evaluar los aprendizajes, y otorgar una nota del curso, se sigue el siguiente modelo de calificación:

Rubro	**Peso**
Primera prueba parcial	20 %
Segundo y tercer parciales	30 %
Pruebas cortas	20 %
Tareas	10 %
Proyecto final	20 %
Total	100 %

Para obtener la calificación de cada rubro la nota de cada prueba o asignación se expresará con base a 100 % y posteriormente se calculará un promedio ponderado simple. Todo estudiante que no se presente a una de las pruebas y desee aplicar una reposición, deberá presentar la solicitud de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad de Costa Rica. La prueba de reposición se realizará en fecha y horario a convenir con su docente.

La evaluación del proyecto se hará con la siguiente rúbrica:

Rubro	**Valor**
Avances	60 %
Presentación final	40 %
Nota Proyecto	100 %

Con el fin de promover el trabajo colaborativo y una calificación justa del proyecto, en caso de diferencias en el esfuerzo aportado por cada integrante del grupo de trabajo, se realizará una coevaluación que podrá variar la nota individual hasta en ± 40 % usando la fórmula

$$NP = NP_{SC} * \left(1 + \frac{CE - 40}{100}\right)$$

donde NP es la nota final del proyecto (puede variar para cada integrante del grupo), NP_{SC} la nota sin coevaluación (evaluación aplicada por

los docentes), CE el puntaje de la coevaluación normalizada a 80 puntos.

La coevaluación consiste en que cada integrante evalúa al resto de miembros de su subgrupo de trabajo en varios rubros clave (p.e. compañerismo y trabajo en grupo, planificación del tema, aportes al desarrollo del trabajo, análisis de resultados, presentación), usando para ello una escala de enteros de 1 a 5, contando con un máximo de $3(n-1)$ puntos para repartir por criterio, siendo n el número de integrantes del grupo. Los puntajes por integrante, p_i, se suman y el resultado se normaliza con la fórmula

$$CE=\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i - r(n-1)}{4r(n-1)} * 80$$

donde r es el número de rubros empleados.

7.1 Normas para entrega de evaluaciones

Las asignaciones como tareas, avances y demás se pueden entregar ya sea en físico (papel) o en versión digital (en el aula virtual) y aplicarán las siguientes reglas:

i. La entrega física se realiza directamente al profesor o en la recepción de la secretaría, nunca al asistente ni en el casillero.
ii. Se penaliza con 10 % del puntaje por día de retraso. De entregarse en físico y en digital se toma en cuenta la fecha de la primera entrega.
iii. Solo son válidos los siguientes formatos de archivos digitales:
   - ODT | PDF para documentos de texto,
   - ODS para hojas de cálculo,
   - PNG | JPG | PDF para imágenes o documentos escaneados,
   - DXF | IGES | STEP | PDF | DIA | SVG | PNG para diagramas,
   - ZIP | 7Z para empaquetados y comprimidos,
   - Otros formatos de licencia libre tras previa consulta,
   - Formatos privativos de los programas para los cuales la institución cuenta con licencia vigente y sean indicados por su docente.

8 Contenidos temáticos

ID	Tema	Contenidos
	Repaso	Difusión y transferencia de masa Definiciones básicas Métodos gráficos de solución
1	Equipo de contacto continuo	Partes internas de las columnas rellenas Cálculo del diámetro de una columna rellena Cálculo de la altura de relleno por método HETP Teorías de transferencia de masa Estimación de las difusividades Coeficientes de transferencia de masa

ID	Tema	Contenidos
		Método de las unidades de transferencia de masa Dimensionamiento mediante simulador
2	Absorción y arrastre	Equilibrios Operación en varias etapas Operación no isotérmica Absorción con reacción química Operación en equipo de contacto continuo
3	Adsorción, cromatografía e intercambio iónico	Operaciones de sorción Sorbentes y equilibrios de sorción Isotermas Operación en estado no estacionario Operación en lecho móvil simulado Método LUB
4	Humidificación	Equilibrio líquido-vapor, vapor-gas. Psicrometría Torres de enfriamiento Operaciones adiabáticas Operaciones no-adiabáticas
5	Secado	Secado por lotes Secado continuo Secado por aspersión Métodos de cálculo
6	Separación por medio de membranas	Operaciones de membranas Permeación de gases Ósmosis inversa
7	Cristalización	Fundamentos de cristalización Nucleación, crecimiento de cristales Velocidad de cristalización Uniformidad del tamaño Equipo de cristalización Cristalizador MSMPR
8	Aereación	Dispersiones gas-líquido, métodos de dispersión Columnas de burbujeo Tanques agitados mecánicamente Coeficientes de transferencia de masa

9 Bibliografía recomendada

No se cuenta con un libro de texto que cubra todos los contenidos del curso por lo que se brinda esta bibliografía de referencia, pudiendo ampliarse durante el desarrollo del curso, se emplearán algunas secciones de estos libros o artículos como texto del curso que se indicarán según el tema que se esté discutiendo en ese momento.

Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications* (2nd ed.). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/0470020393

Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., & Harker, J. H. (1999). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering: Vol. 1. Fluid*

flow, heat transfer and mass transfer (6th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Dhaouadi, H., Poncin, S., Hornut, J. M., & Midoux, N. (2008). Gas–liquid mass transfer in bubble column reactor: Analytical solution and experimental confirmation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(4), 548–556. doi:10.1016/j.cep.2006.11.009

Dudley, J. (1995). Mass transfer in bubble columns: a comparison of correlations. *Water Research*, 29(4), 1129–1138. Recuperado desde http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135494002534

Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación: Incluye operaciones unitarias* (4a ed.) (Trad. M. T. Aguilar). México: Patria. (Trabajo original publicado en 2003)

Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.

Hughes, D., Taha, T., & Cui, Z. (2006). Mass Transfer: Membrane Processes. In S. Sablani, A. Datta, M. Shafiur Rehman, & A. Mujumdar (Eds.), *Handbook of food and bioprocess modeling thecniques* (Vol. 20065751, pp. 145-178). CRC Press. doi:10.1201/9781420015072

Khoury, F. M. (2005). Membrane Separation Operations. En *Multistage separation processes* (3rd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press INC.

McCabe, W. L., Smith, J. C., y Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7ª ed.) (Trad. A. C. Piombo). México: McGraw-Hill/Interamericana. (Trabajo original publicado en 2005)

Richardson, J. F., Harker, J. H. & Backhurst, J. R. (2002). *Coulson and Richardson's Chemical Engineering: Vol. 2. Particle Technology and Separation Processes* (5th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.

Schaftlein, R.W. & Russell, T.W.F. (1968). Two-phase reactor design. Tank type reactors. *Industrial and Engineering Chemistry, 60*, 12-27.

Seader, J. D., Henley, E. J., & Roper, D. K. (2011). *Separation process principles: chemical and biochemical operations* (3rd ed.). New Jersey: Wiley.

Treybal, R. E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa* (2ª ed.) (Trad. A. G. Rodríguez). México: McGraw-Hill/Interamericana. (Trabajo original publicado en 1980)

Wankat, P. C. (2008). *Ingeniería de procesos de separación* (2ª ed.) (Trad. V. González). México: Pearson Educación (Trabajo original publicado en 2007)

Referencia	**Capítulo o sección sugerido por tema**							
	1 ECC	**2 Abs**	**3 Ads**	**4 Hum**	**5 Sec**	**6 Mem**	**7 Cri**	**8 Aer**
Baker2004						X		
Coulson1999				13				
Dhaoudadi2008								X
Dudley1995								X
Geankoplis2006	6, 10	10	12	9, 10	9	13		
Green2008	14	14	16	12	12	20	18	19
Hughes2006						X		
Khoury2005						X		
McCabe2007	17 a 21	18	25	19	24	26	27	
Richardson2002	11, 12	12	17 a 19		16	8	15	
Schaftlein1968								X
Seader2011	12	6			18	14		
Treybal1988	2, 3, 6	8	11	7	12			
Wankat2008	10, 15	12	17			16		

Información de contacto

GRUPO:	**001**	**002**
HORARIO:	L, J: 0900 a 1050	K, J: 1600 a 1750
AULA:	206 IN	K: 102 IN / J: 507 IN
PROFESOR:	Ing. Esteban Richmond Salazar	Dr. René Mora Casal
CORREO:	esteban.richmond@ucr.ac.cr	rene.moracasal@ucr.ac.cr
CONSULTA:	K, J: 1300 a 1450	K: 1800 a 1850
ASISTENTE:		
AULA VIRTUAL:	https://mediacionvirtual.ucr.ac.cr/course/view.php?id=164	
MENSAJERÍA:	Telegram: t.me/ersiq	

Cronograma

Semana		**Materia por discutir**	**Observaciones**
1	12/ago a 17/ago	Introducción, Tema 1 ECC	J 15 Feriado
2	19/ago a 24/ago	Tema 1 ECC	
3	26/ago a 31/ago	Tema 1 ECC	
4	02/sep a 07/sep	Tema 2 Abs	
5	09/sep a 14/sep	Tema 2 Abs	
6	16/sep a 21/sep	Tema 3 Ads	
7	23/sep a 28/sep	Tema 3 Ads	
8	30/sep a 05/oct	Tema 4 Hum	S: Primera prueba parcial
9	07/oct a 12/oct	Tema 4 Hum	
10	14/oct a 19/oct	Tema 4 Hum	
11	21/oct a 26/oct	Tema 5 Sec	
12	28/oct a 02/nov	Tema 5 Sec	
13	04/nov a 09/nov	Tema 6 Mem	S: Segunda prueba parcial
14	11/nov a 16/nov	Tema 6 Mem	
15	18/nov a 23/nov	Tema 7 Cri	
16	25/nov a 30/nov	Tema 8 Aer	
17	02/dic a 07/dic		M: Expo IQ
18	09/dic a 14/dic		Tercera prueba parcial
19	16/dic a 21/dic		Ampliación

Ing. Esteban Richmond Salazar
Docente del curso, grupo 001

Dr. René Mora Casal
Docente del curso, grupo 002