

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Fenómenos de Transporte II
Clave de la asignatura:	BQJ-1009
SATCA¹:	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Bioquímica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Los fenómenos de transporte consisten en la caracterización a nivel microscópico o diferencial en el interior de los sistemas, con lo que se consigue así una concepción integral de la Ingeniería Bioquímica en la medida en que se relaciona el comportamiento macroscópico de las operaciones unitarias con el comportamiento a nivel microscópico y molecular de las sustancias o componentes de la operación unitaria, como se requiere en el estudio del secado de productos biológicos, esterilización de alimentos, destilación, absorción de gases, etc. Esta concepción también ha sido incorporada a los procesos con reacción química o biológica, en donde el fenómeno de transporte (por ser la mayoría de las veces un proceso lento) afecta sustancialmente a la eficiencia de los biorreactores, principalmente en los que son de naturaleza multifásica como la fermentación en estado sólido, la biofiltración, fermentación sumergida con inmovilización de microorganismos o enzimas, biorreactores de membrana, de burbujeo, de lecho fijo de flujo ascendente, entre muchos otros.

Los principales balances microscópicos en la Ingeniería Bioquímica son los de cantidad de movimiento o momentum, calor y masa que permiten caracterizar la variación de la fuerza motriz asociada (gradientes de velocidades, temperaturas o de concentraciones, respectivamente) con respecto a coordenadas espaciales y al mismo tiempo en los problemas dinámicos. La rapidez del flux (valor de Ψ) está determinada por los parámetros de transporte asociados a cada tipo de transferencia: viscosidad o parámetros reológicos para el transporte de cantidad de movimiento; conductividad térmica, coeficiente de transferencia de calor por convección y emisividad para el transporte de calor por radiación.

En el caso de la transferencia de calor, se continúa realizando balances microscópicos de energía aplicando la metodología planteada en la asignatura de Fenómenos de Transporte I. En el caso del calor, se analizan las tres formas de transporte (conducción, convección natural o forzada y radiación), tomando en cuenta las fuentes volumétricas de generación de calor. Finalmente, se continúa con la aplicación de todos estos conceptos en el diseño y cálculo de equipos tanto de transferencia de calor como en procesos de concentración por evaporación y separación por cristalización. En síntesis, la asignatura de Fenómenos de Transporte II:

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

- Permite establecer los fundamentos para diseñar, seleccionar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se utilicen de manera sostenible los recursos naturales.
- Proporciona las herramientas para tener una descripción fenomenológica basada en leyes y principios de la Ingeniería, para efectuar el diseño termodinámico de equipos para la industria así como la comprensión del efecto de la transferencia de calor en la operación eficiente de los equipos.
- Aplica los conocimientos aprendidos en el diseño de intercambiadores de calor.
- Aplica los conceptos de transferencia de calor en la Evaporación. Operación caracterizada por la transferencia de calor, que estudia la evaporación de un disolvente volátil (como el agua), de un soluto no volátil como el azúcar o cualquier otro tipo de material en solución.
- Aplica además estos conceptos en la Cristalización. La cual se caracteriza por la disminución del solvente en una solución binaria compuesta por un solvente y un soluto no volátil, llevándolo hasta una concentración de sobresaturación y, con ello, lograr su precipitación en forma de cristales.

Intención didáctica

La asignatura de Fenómenos de Transporte II analiza el proceso de transferencia de calor que, junto con el transporte de cantidad de movimiento o momentum (analizado en el curso de Fenómenos de Transporte I) constituyen uno de los pilares fundamentales para la caracterización termodinámica de las operaciones unitarias y de las reacciones químico-biológicas que constituyen el diseño de bioprocesos.

El primer tema describe las diversas formas de transporte de calor (conducción, convección y radiación) junto con sus leyes gobernantes, teniendo en cuenta que en su deducción interviene el concepto de medio continuo que ha sido tratado en el curso de Fenómenos de Transporte I. Posteriormente, se deduce la ley de Fourier para explicar el transporte conductivo o molecular de calor, en donde aparece la conductividad térmica (k). Este parámetro de transporte puede estimarse por una serie de métodos compilados en la referencia 12.

El segundo tema se dedica al estudio de sistemas coordenados, como paredes compuestas rectangulares y cilíndricas, sistemas con generación de calor y superficies extendidas (aletas de enfriamiento).

El tercer tema se vuelve a utilizar la metodología descrita en Fenómenos de Transporte I para la aplicación de balances microscópicos de energía en sistemas en estado transitorio mediante la solución de una ecuación diferencial parcial con variación de la posición y del tiempo que se puede resolver por separación de variables o bien por medio del método de variable de similitud (o semejanza), por medio del cual se llega a obtener la función error. La obtención de la ecuación general del balance microscópico de calor permite obtener las ecuaciones generales para la transferencia de calor en los tres sistemas de coordenadas estudiados, por lo que el estudiante podrá decidir el método más adecuado (balance en elemento diferencial o uso de tablas) para resolver un problema, teniendo en mente que lo más importante es definir el sistema geométrico a estudiar junto con sus condiciones de frontera e iniciales y las consideraciones a utilizar en su solución.

El cuarto tema se dedica al estudio de la transferencia de calor por convección originada por gradientes de densidad o fuerzas mecánicas. También se analiza el cálculo, mediante correlaciones, del coeficiente de transferencia de calor en los fenómenos de ebullición y condensación. La deducción de la Ley de Enfriamiento de Newton y la necesidad de especificar un coeficiente de transferencia de calor por convección (h_c) es esencial para explicar el transporte interfacial de calor. El parámetro (h_c) es muy difícil de estimarlo por métodos rigurosos por lo que se recurre al análisis dimensional y a las correlaciones para su estimación.

El quinto tema analiza una de las principales aplicaciones del transporte de calor por convección, que son los intercambiadores de calor (transferencia de calor sin transferencia de masa), en donde se describen sus diferentes tipos, las ecuaciones básicas para el diseño termodinámico de los mismos. Los tipos más importantes de intercambiadores de calor son los de tubos y coraza empleados en la industria en general y los intercambiadores de placas, empleados principalmente en las industrias de alimentos y procesamiento de materiales biológicos.

El sexto tema se dedica a la aplicación de los conceptos de transferencia de calor en la concentración de soluciones y cristalización de solutos, mediante la evaporación de un solvente para obtener soluciones de concentración más elevada, o bien, de una solución sobresaturada para lograr la precipitación del soluto mediante la formación de cristales.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico de Villahermosa del 7 al 11 de septiembre de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tepic, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería Química e Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Instituto Tecnológico de Celaya del 8 al 12 de febrero de 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, Culiacán, Durango, Mérida, Morelia, Tehuacán, Tijuana, Tuxtepec, Veracruz y Villahermosa.	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de Carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería Química e Ingeniería en Industrias Alimentarias.
Instituto Tecnológico de Villahermosa, del 19 al 22 de marzo de 2013.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Acayucan, Calkiní, Celaya, Colima, Culiacán, Durango,	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería

	Irapuato, La Paz, La Región Sierra, Los Ríos, Mazatlán, Mérida, Misantla, Morelia, Tijuana, Tuxtepec, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Villahermosa.	Bioquímica, Ingeniería en Industrias Alimentarias e Ingeniería Química, del SNIT.
--	---	---

4. Competencias a desarrollar

Competencias específicas de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> • Diseña, selecciona, simula y escala equipos y procesos en los que se aprovechen de manera sustentable los recursos bióticos. • Deduce y utiliza las ecuaciones de los balances microscópicos de energía en diversos sistemas gobernados por esta transferencia. • Realiza investigación científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería Bioquímica para beneficio de la región y difundir sus resultados. • Reconoce que el estudio de los fenómenos de transporte es fundamental para el diseño de los procesos.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Aplica la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica para dar soporte a la ecuación de continuidad. • Realiza Balances de Materia y Energía que utiliza en la transferencia de calor. • Aplica métodos numéricos para la solución de ecuaciones algebraicas y diferenciales relacionadas con el transporte de calor. • Aplica los sistemas de coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas para analizar sistemas de transferencia de calor.. • Usa tablas y gráficas de datos termodinámicos en la resolución de problemas del transporte de calor.. • Aplica balances microscópicos de cantidad de movimiento debido a su relación con los balances microscópicos de calor.
--

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Fundamentos de Transferencia de Calor	1.1 Introducción a la Transferencia de Calor. Su relación con la Termodinámica. 1.2 Mecanismos de Transferencia de Calor. 1.3 Conducción. Ley de Fourier. 1.4 Convección. Ley de Newton de Enfriamiento. 1.5 Radiación. Ley de Stefan-Boltzmann.

2	Balances en Sistemas Coordinados.	2.1 Primera Ley de la Termodinámica. 2.2 Desarrollo de la Ecuación General de Energía. 2.3 Transferencia de calor en sólidos. 2.3.1 Paredes múltiples rectangulares y cilíndricas. Radio crítico. 2.3.2 Sistemas con generación de energía. 2.3.3 Superficies extendidas. Aletas de enfriamiento.
3	Sistemas en Estado Transitorio.	3.1 Sistemas concentrados ($Bi < 0.1$). 3.2 Sistemas no concentrados ($Bi > 0.1$). 3.2.1 Solución a sistemas rectangulares y cilíndricos muy grandes. 3.2.2. Solución a sistemas semiinfinitos.
4	Transferencia de calor por convección forzada, natural y con cambio de fase.	4.1 Transferencia de calor en la interfaz. Definición del coeficiente de transferencia de calor por convección. 4.2 Análisis de la capa límite hidrodinámica y térmica. 4.3 Convección forzada. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en flujo laminar y turbulento. Correlaciones. 4.4 Convección natural. Número de Grashoff. Correlaciones para diferentes geometrías. 4.5 Transferencia de calor con cambio de fase. Ebullición y condensación.
5	Intercambiadores de calor.	5.1. Balance microscópico de energía, conceptos de temperatura global y diferencia media logarítmica de temperaturas. Intercambiadores de tubos concéntricos. 5.2. Intercambiadores de calor de tubos y coraza. Eficiencia. 5.3. Intercambiadores de calor de placas. 5.4. Calentamiento de líquidos en tanques agitados 5.5. Diseño termodinámico de intercambiadores de calor

		5.6. Condensadores, calentadores, calderas.
6	Evaporación y Cristalización.	<p>6.1. Aplicación y clasificación</p> <p>6.2. Factores que afectan a la operación de evaporación</p> <p>6.3. Diseño térmico de un evaporador de simple efecto</p> <p>6.4. Diseño térmico de un sistema</p> <p>6.5. Fundamentos de la cristalización (Tipos de cristales, Diagramas de equilibrio Nucleación y crecimiento de cristales)</p> <p>6.6. Balance de materia y energía en cristalizadores por enfriamiento y por evaporación</p> <p>6.7. Rendimiento de la cristalización</p> <p>6.8. Criterios para la selección y diseño de cristalizadores.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Fundamentos de Transferencia de Calor.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprende los mecanismos fundamentales de transferencia de calor. • Conoce y aplica las leyes de Fourier para la conducción, de Newton de enfriamiento para la convección y de Stefan-Boltzmann para la radiación. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar mediante videos la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, • Explicar mediante videos o animaciones el experimento que condujo a la deducción de la Ley de Fourier y describir el efecto de la presión y la temperatura sobre la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos. • Explicar el concepto de conductividad térmica efectiva aplicable a medios porosos. • Calcular la conductividad térmica de gases, líquidos y sólidos aplicando diversas correlaciones y efectuar comparaciones entre ellas. • Participar en seminarios para

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) 	<p>deducir el balance microscópico de energía contemplando la conducción y convección de calor y discutir su importancia y generalización a cualquier sistema de coordenadas ortogonales.</p>
<p>Balances en Sistemas Coordenados.</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deduce la ecuación general de energía. • Aplica la ecuación de energía en sistemas sólidos con generación y sin generación de energía. • Aplica la ecuación de energía en un sistema de enfriamiento utilizando superficies extendidas. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> • Participar en un seminario donde se presente el concepto de aleta de enfriamiento, su modelación y aplicaciones. Discutir el concepto de eficiencia. • Participar en talleres para calcular, a partir de un balance de energía, el flujo conductivo de calor, unidireccional, en estado estable y dinámico, a través de sistemas de una pared y de paredes compuestas de geometría rectangular, cilíndrica o esférica, con y sin fuentes volumétricas de calor con condiciones de frontera de Dirichlet, Neumann y Robin. • Utilizar software (Comsol Multiphysics, Excel, Surfer MatLab) para la construcción de isotermas en la solución del problema de transporte 2-D de calor por conducción y apreciar el efecto de diversas condiciones de frontera.

Sistemas en Estado Transitorio.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica la ecuación general de energía por conducción para sistemas en estado transitorio. • Resuelve problemas de cocimiento para sólidos como alimentos y templado de objetos metálicos. <p>Genéricas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) ▪ 	<ul style="list-style-type: none"> • En una práctica, comparar el tiempo obtenido para el cocimiento de un alimento por medio de la solución de la ecuación por procedimientos matemáticos con lo obtenido en el laboratorio, por ejemplo el cocimiento de un jamón. • Participar en talleres de problemas típicos en los que ocurra la transferencia de calor en sistemas semiinfinitos. • Aplicar las gráficas de Heisler en la solución de problemas de cocimiento. • Utilizar software (Comsol Multiphysics, Excel, Surfer MatLab) para la construcción de isotermas en la solución del problema de transporte 2-D de calor por conducción y apreciar el efecto de diversas condiciones de frontera.
Transferencia de calor por convección forzada, natural y con cambio de fase.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprende los principios del balance microscópico de energía por convección y aplicarlos en la estimación de perfiles de temperatura en diversos problemas de ingeniería. • Aplica la técnica de análisis dimensional para deducir los 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar mediante videos o animaciones la convección natural, la convección forzada y la ley de enfriamiento de Newton • Emplear correlaciones para la estimación de h_c locales y globales para diversos sistemas geométricos, tanto en régimen laminar como turbulento.

<p>principales grupos adimensionales relacionados con la transferencia convectiva de calor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica la ley de Stefan-Boltzmann para calcular el flux de calor transferido por radiación. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener los números adimensionales característicos de los problemas de transferencia de calor mediante el análisis dimensional de las ecuaciones de cambio. • Participar en seminarios para discutir la importancia de caracterizar la transferencia de calor en sistemas bifásicos como un sistema de biofiltración, almacenamiento refrigerado de frutas, esterilización de alimentos enlatados, entre otros. • Describir el significado físico de los principales números adimensionales de la transferencia de calor (números de Grashof, Prandtl, Péclet, Fourier, Nusselt, Biot, Stanton y el factor j_H). • Estimar coeficientes de transferencia de calor en procesos de ebullición y condensación.
---	---

Intercambiadores de Calor.

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica los conceptos de transferencia de calor al diseño de intercambiadores de calor. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar áreas de transferencia de calor y longitudes de tubos en sistemas simples de transferencia de calor. • Concluir a partir de videos o fotografías acerca del funcionamiento de los diversos tipos de intercambiadores de calor. • Describir el uso de los intercambiadores de calor y exponer el uso de los intercambiadores de calor en la industria • Usando videos o fotografías

<p>circunstancias, inclusive adversas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) 	<p>describir el funcionamiento de condensadores, reboilers y calderas y sus aplicaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • A partir de casos de estudio, calcular áreas de transferencia, coeficientes globales de transferencia de calor, calor transferido y necesidades energéticas en el intercambiador de calor seleccionado. • En seminario, discutir cómo se aprovechan de manera eficiente la energía térmica (corrientes frías y calientes) en la industria. Introducción a las redes de intercambiadores de calor.
---	---

Evaporación y Cristalización.

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcular térmicamente un evaporador de simple y múltiple efecto. • Interpretar las diferentes condiciones de operación, seleccionará la forma de cristalizar y el tipo del cristizador. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja software como hoja electrónica y lenguajes de programación ▪ Busca y analiza información proveniente de fuentes diversas (Gestión de la información). ▪ Toma de decisiones en diversas circunstancias, inclusive adversas. ▪ Trabaja en equipo. ▪ Trabaja con ética, sustentabilidad y calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar los conceptos básicos de la evaporación • Conocer e identificar los diferentes tipos de evaporadores y el uso de cada uno de ellos. • Analizar los criterios técnicos para el diseño de los evaporadores • Resolver planteamientos dados por el profesor en grupos de trabajo, los cuales sean de múltiple solución para el cálculo de un evaporador de simple y múltiple efecto incluyendo precalentamiento, condensación y recompresión. • Utilizar simuladores comerciales para el diseño de evaporadores • Investigar procesos donde se incluya la operación de evaporación e interpretarlo. • Describir las características de los instrumentos de medición empleados en los equipos involucrados en esta operación con

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realiza investigación. ▪ Aplica los conocimientos en la práctica. ▪ Genera nuevas ideas (creatividad) 	<p>la finalidad de seleccionar el adecuado a condiciones específicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar los conceptos fundamentales de la cristalización • Investigar las características principales los equipos de cristalización empleados en la industria. • Resolver problemas para la selección y diseño de equipos • Investigar y analizar los criterios técnicos y económicos que incidan en la selección del cristalizador • Resumir y comentar en grupo los criterios fundamentales para el diseño y selección de cristalizadores.
---	---

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Determinación experimental de conductividades térmicas de diversos materiales. • Estimación de la difusividad de glucosa en un material vegetal, por medición de la concentración de glucosa en el líquido vs tiempo y la posterior comparación (usando método de mínimos cuadrados) con el modelo matemático. • Determinación experimental de coeficientes de transferencia de calor por convección. • Dinámica de calentamiento en un cuerpo biológico (por ejemplo una papa) y estimación de conductividad térmica. • Obtención de una solución concentrada de Sacarosa en un evaporador • Concentración de leche en un evaporador. • Determinación del efecto de la concentración sobre el punto de ebullición de una solución • Cristalización por evaporación • Cristalización por enfriamiento

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje.

- Trabajos de investigación en donde se evalúa la calidad del contenido, pertinencia y presentación del mismo, de preferencia en formato digital.
- Exámenes dentro y fuera del aula. Algunos de los exámenes pueden ser con consulta de material bibliográfico y uso de computadora, para apreciar la capacidad del estudiante para búsqueda e integración de información específica.
- Participación del estudiante durante el desarrollo del curso.
- Sesiones de preguntas y respuestas profesor-estudiante, estudiante-estudiante.
- Seminarios de temas selectos impartidos por los estudiantes
- Presentación y defensa de un proyecto propio de la asignatura.
- Talleres de resolución de problemas por equipos de trabajo.
- Planteamiento de problemas selectos cuya resolución (opcional) acreditará puntos extra a la evaluación en turno.

11. Fuentes de información

1. Bejan, A. Allan D. Graus. . *H*(2003). *eat Transfer Handbook*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
2. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley.
3. Bird, R. B., Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot. (2006) . *Transport Phenomena*, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
4. Brodkey Robert S., Hershey Harry C. (1988). *Transport Phenomena: A Unified Approach*. USA: Mc. Graw-Hill.
5. Cengel, Y., & Ghajar, A. (2010). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
6. Geankoplis, C.J. (2006). *Transport Processes and Separation Process Principles. Fourth* USA: Prentice Hall PTR.
7. Green, D., & Perry, R. (2007). *Perry's Chemical Engineering Handbook*. McGraw-Hill Professional.
8. Hines, A. L., Maddox, R.N. (1987) .*Transferencia de Masa: Fundamentos y Aplicaciones*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
9. Holman Jack P. (1997). *Heat Transfer*, 8a. USA: Mc. Graw-Hill.
10. Incropera, F. P., DeWitt, D.P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Edition. John Wiley & Sons Inc.
11. Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2010). *Principles of Heat Transfer*. CL Engineering.
12. Kreyszig, E. (2006). *Advanced Engineering Mathematics*. 9th edition. John Wiley and Sons Inc. International Edition. Singapore.
13. Lobo, R. (1997). *Principios de Transferencia de Masa*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
14. McCabe, W., Smith, J., Harriott, P. (2004). *Unit Operations of Chemical Engineering*. 7th edition. Mc Graw-Hill Book Co.
15. Ochoa-Tapia, A. (2004). *Métodos Matemáticos Aplicados a la Ingeniería Química*. Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. UAM-Iztapalapa.
16. Poling, B. Prausnitz, J, M., O'Connell, J.O. . *The*(2000) *Properties of Gases and Liquids*. Fifth edition. USA: Mc. Graw-Hill Professional.
17. Richard G. Rice, Duong D. Do. (1995). *Applied Mathematics and Modeling for Chemical Engineers*. John Wiley & Sons, Inc.
18. Spiegel, M.R. (2005). *Manual de Fórmulas y Tablas de Matemática Aplicada*. 3ª edición. McGraw-Hill Book. Co. México.
19. Treybal Robert E. (1998). *Operaciones de Transferencia de Masa* 2a. ed. México Mc.Graw-Hill.
20. Welty, J., Wicks, C.E., Wilson, R.E., Rorrer, G.L. (2007). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. 5th edition. John Wiley & Sons. Inc.
21. Fuentes de Internet. Nota: se consideran como fuentes serias de información en Internet a los sitios web de universidades e instituciones de educación superior de

prestigio, centros de investigación (no comercial), organismos gubernamentales tanto nacionales como internacionales y organismos sin fines de lucro.

22. Artículos de revistas científicas: *Industrial Chemical Engineering Research*, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, *Int. J. Heat & Mass Transfer*, *Process Biochemistry*, *Journal of Food Engineering*, entre otros.