



## 1. Datos Generales de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura:</b>	Operaciones Unitarias II
<b>Clave de la asignatura:</b>	BTD-1429
<b>SATCAI:</b>	2-3-5
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Biotecnología

## 2. Presentación

<b>Caracterización de la asignatura</b>
<p>Esta asignatura contribuye a que el Ingeniero en Biotecnología, adquiera conocimientos en la separación de componentes de mezclas, importantes para los procesos industriales, por medio de operaciones de transferencia de masa y de calor, su contenido único e irrepetible de temas como: adsorción e intercambio iónico, que se emplean para purificar y secado de gases, en reacciones catalizadas por superficies sólidas, etc., asimismo, cristalización que consiste en la concentración de una disolución que aumenta la concentración de partículas dispersas, se utiliza en problemas industriales que comprenden equilibrio entre fases, de igual forma se estudia la extracción líquido-líquido y sólido-líquido que consisten en separación de constituyentes por contacto de fases líquidas o sólidas al emplear otro disolvente adecuado, con empleo en la industria farmacéutica y de otros tipos.</p> <p>El programa incluye también evaporación, secado y humidificación; en el primer proceso una solución se concentra cuando se consume el solvente, el segundo permite separar un líquido de un sólido y en el tercero los procesos de humidificación se usan para enfriar o recuperar el agua o ponerla en contacto con aire casi seco, otro tema es la destilación; método que se basa en la ebullición de la mezcla líquida que se desea separar y se procede enseguida en otra etapa a la condensación del vapor, por último se estudia la absorción de gases, que consiste en la separación de uno o varios componentes de una mezcla gaseosa por disolución de un líquido.</p> <p>La aportación al perfil del Ingeniero en Biotecnología es saber optimizar procesos biotecnológicos para generar ventajas competitivas en los sectores industriales y de servicios, utilizar las operaciones unitarias del programa, en el escalamiento de los procesos biotecnológicos. La competencia específica de la asignatura proporciona las bases para el cálculo, selección, operación y optimización de equipos en procesos industriales, por lo que necesita de las materias de termodinámica, físico-química, balances de materia y energía, fenómenos de transporte, también se utilizará para integrar conocimientos con las asignaturas de operaciones unitarias I, diseño de biorreactores y para comprender la ingeniería de bioprocesos e ingeniería metabólica.</p>
<b>Intención didáctica</b>
<p>Para abordar los contenidos se sugiere al inicio, explicar cada tema por parte del maestro y una investigación bibliográfica original a cada alumno de cada subtema, para inducir al autoaprendizaje, después, una vez comprendidos los conceptos teóricos, continuar con los aspectos de estructura y uso de equipos, para que se identifique y comparen sus componentes, para distinguir diferencias entre los distintos temas que comprende el programa, es conveniente que el docente mencione los usos en la industria y después por medio de visitas a las mismas, los alumnos las conozcan, en cada tema se requiere solucionar problemas para que se aprendan las ecuaciones, leyes, manejo y control de variables, datos relevantes, en esta actividad se inducirá</p>

trabajar en equipo, a utilizar las tecnologías de información y comunicación, enciclopedias y manuales, libros, revistas y artículos científicos, sobre cada operación unitaria, se le exigirá como requisito realizar las prácticas, de manera que desarrolle la comunicación verbal y escrita, con exposiciones, reportes, informes, guías de estudio de teoría y problemas. Es necesario que el estudiante cumpla con asistencia y puntualidad en todas las actividades planeadas por el profesor, que confronte sus conocimientos y sea crítico y autocrítico, así como aceptar los comentarios de sus compañeros sobre los trabajos a evaluarse.

El maestro puede dejar un trabajo integral en donde se utilicen varias operaciones unitarias, en equipos de trabajo para observar la capacidad de aprender y de generar nuevas ideas, también evaluar las habilidades interpersonales, como la capacidad para buscar información de diversas fuentes. Se requiere del docente que conozca la industria de su entorno, conduzca a los alumnos en las visitas a empresas en donde se utilicen operaciones unitarias y tenga amplio saber de cada tema, sea capaz de plantear la búsqueda de nueva información en revistas donde aparecen artículos científicos e induzca la generación de nuevo aprendizaje, por lo que se sugiere un docente con experiencia y conocimiento de áreas involucradas en esta carrera, como son Bioquímica, Biología Molecular, Ingeniería química, Biotecnología, entre otras. Algunas de las actividades sugeridas deben realizarse como actividad extra clase, una vez que en el aula los alumnos ya adquirieron los contenidos conceptuales, resolvieron problemas de cada unidad de aprendizaje, por lo que encargado de la materia debe buscar experiencias de la utilidad que tienen para la industria y la ingeniería en biotecnología las operaciones unitarias. El docente que imparta esta asignatura debe ser un líder académico en operaciones unitarias, su rol será motivar a los alumnos al aprendizaje mediante su exposición de cada tema, auxiliario en caso de dudas en la solución de problemas e inducir a las prácticas y visitas para completar su enseñanza, así mismo mostrar su alto nivel académico en cada unidad que se estudie e investigue y tenga la capacidad de planear su programa sobre todo por lo extenso del mismo y el tiempo con el que cuenta.

### 3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de El Llano de Aguascalientes, del 9 al 12 de diciembre de 2013.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Altiplano de Tlaxcala, Celaya, Colima, El Llano de Aguascalientes, Hermosillo, Mérida, Reynosa, Superior de Álamo Temapache, Toluca y Veracruz.	Reunión Nacional De Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología.
Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 13 de diciembre de 2013 al 3 de marzo de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: El Llano de Aguascalientes, Altiplano de Tlaxcala y Álamo Temapache	Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para la Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales de Ingeniería en Biotecnología.
Instituto Tecnológico de El Llano de Aguascalientes, del 4 al 7 de marzo de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Altiplano de Tlaxcala, Celaya, Colima, CRODE	Reunión Nacional de Consolidación del Programas en Competencias Profesionales de

	Celaya, El Llano Aguascalientes, Hermosillo, Mérida, Reynosa, Superior de Álamo Temapache, Toluca, Veracruz y CIBIOGEM.	la Carrera de Ingeniería en Biotecnología.
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 4 al 7 de diciembre de 2018	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: El Llano Aguascalientes, Celaya y Purísima del Rincón.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de; Ingeniería Aeronáutica, Ingeniería en Minería, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Biotecnología del Tecnológico Nacional de México.

#### 4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplica y desarrolla los conceptos y leyes que rigen cada operación unitaria para el cálculo, selección, operación y optimización de equipos en el diseño de plantas biotecnológicas para producir productos de alto valor agregado.</li> </ul>

#### 5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> <li>Realiza balances de materia y energía para diseño y selección de equipo de transferencia de masa.</li> <li>Conoce los coeficientes globales de transferencia de calor y masa para optimizar equipos. (fenómenos de transporte)</li> <li>Tiene dominio en métodos numéricos y ecuaciones diferenciales como herramientas en el diseño y selección de equipos.</li> </ul>
--

#### 6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Adsorción e intercambio iónico	1. Generalidades. 2. Tipos y selección del adsorbente. 1.3 Cálculo de la columna de adsorción en lecho estático y lecho fluidizado. 1.3.1 Ecuaciones básicas. 1.3.2 Volumen del adsorbente. 1.3.3 Regeneración del adsorbente. 1.4 Selección del equipo.
2	Cristalización	2.1 Definición, importancia y aplicación. 2.2 Fundamentos de la cristalización. 2.2.1 Utilización de las curvas de equilibrio para la cristalización. 2.2.2 Nucleación y crecimiento de cristales. 2.2.3 Balance de materia y energía en cristalizadores por enfriamiento y por evaporación. 2.2.4 Rendimiento en la operación de cristalización. 2.3 Equipos utilizado para la cristalización. 2.4 Criterios para selección de equipo.

3	Extracción sólido-líquido y líquido-líquido	<p>3.1 Importancia y aplicación.</p> <p>3.2 Tipos de extracción y extractores.</p> <p>3.3 Cálculo para la determinación del número de etapas.</p> <p>3.4 Selección de equipos.</p>
4	Evaporación, secado y humidificación	<p>4.1 Factores que afectan la operación de evaporación.</p> <p>4.2 Cálculo térmico de un evaporador de simple efecto.</p> <p>4.3.1 Balance de materia y energía.</p> <p>4.3.2 Consideraciones para el diseño.</p> <p>4.3.3 Solución de problemas.</p> <p>4.4 Cálculo térmico de un sistema de evaporación de múltiples efectos.</p> <p>4.4.2 Solución de problemas al incluir el precalentamiento, condensación y recompresión.</p> <p>4.5. Conceptos básicos de secado.</p> <p>4.5.1 Definición e Importancia del secado</p> <p>4.5.2. Equilibrio entre el aire y el sólido.</p> <p>4.5.3 Humedad libre y combinada.</p> <p>4.5.4 Curvas de equilibrio.</p> <p>4.6 Tipos de secadores.</p> <p>4.6.1 Selección del secador.</p> <p>4.6.2 Cálculo de secadores.</p> <p>4.6.3 Por lotes y continuos.</p> <p>4.7 Fundamentos de la humidificación</p> <p>4.7.1 Uso y aplicación de la carta psicrométrica</p> <p>4.7 Teoría y cálculo de los procesos de humidificación, deshumidificación y enfriamiento de agua.</p> <p>4.7.1 Humidificación.</p> <p>4.7.1.1 Cálculo de una cámara de enfriamiento adiabático.</p> <p>4.7.2 Deshumidificación.</p> <p>4.7.2.1 Contacto directo e indirecto.</p> <p>4.7.3 Enfriamiento de agua.</p> <p>4.7.3.1 Tipos de torres de enfriamiento.</p> <p>4.7.3.2 Determinación de la altura de torres de enfriamiento.</p> <p>4.7.3.3. Selección de torres de enfriamiento.</p>
5	Destilación	<p>5.1 Importancia y tipos de destilación.</p> <p>5.2 Destilación de mezclas binarias.</p> <p>5.2.1 Método de McCabe Thiele</p> <p>5.2.1.1 Determinación del número de platos ideales y localización del plato de alimentación.</p> <p>5.2.1.2 Número de platos reales y altura de la columna.</p> <p>5.2.1.3 Diámetro de la columna.</p> <p>5.2.2 Método de Fenske.</p> <p>5.2.2.1 Ecuaciones para determinar el número de platos ideales.</p> <p>5.2.2.2 Correlaciones de Gilliland para determinar el reflujo mínimo.</p> <p>5.3.1 Método de Buford Smith.</p> <p>5.3.1.1 Secuencia de cálculo para</p>

		<p>determinar el número de platos y el valor de reflujo.</p> <p>5.3.2 Cálculo del número real de platos</p> <p>5.3.3 Altura de la columna.</p> <p>5.3.4 Diámetro de la columna.</p>
6	Absorción	<p>6.1 Importancia y aplicación de la absorción y desorción.</p> <p>6.2 Tipos de torre de absorción y de Empaque.</p> <p>6.3 Cálculo de torres de absorción y desorción.</p> <p>6.3.1 Columnas empacadas.</p> <p>6.3.1 Mezclas binarias.</p> <p>6.3.1.2 Mezclas multicomponentes.</p> <p>6.3.2 Columnas de platos.</p>

## 7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Adsorción e intercambio iónico	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conoce y selecciona equipo de adsorción y sus componentes para determinar condiciones de operación.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad para busque, seleccione y analice información proveniente de fuentes diversas.</li> <li>Induce actividades análisis y síntesis de temas estudiados al emplear la deducción e inducción para solucionar problemas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los diferentes tipos de adsorbentes y sus características.</li> <li>Resolver problemas de columnas de adsorción en lecho estático y en lecho fluidizado.</li> <li>Seleccionar columnas de adsorción.</li> <li>Utilizar técnicas de computación y software como apoyo en solución de problemas.</li> <li>Visitar empresas en donde se utilice la adsorción e intercambio iónico.</li> </ul>
2: Cristalización	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conoce fundamentos de cristalización para seleccionar equipo que incremente la concentración de partículas dispersas.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad para trabajo en equipo.</li> <li>Capacidad para organizar y planificar actividades que auxilien para comprender conceptos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudiar los conceptos fundamentales de la cristalización.</li> <li>Conocer los diferentes tipos de cristalizadores.</li> <li>Resolver problemas para la selección de equipos.</li> <li>Analizar los criterios técnicos y económicos que incidan en la selección del cristizador.</li> </ul>
3. Extracción sólido-líquido y líquido-líquido	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Selecciona equipo de acuerdo al sistema a separar, así como las condiciones de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar los diferentes equipos que integran un sistema de extracción.</li> <li>Utilizar los diferentes sistemas gráficos para aplicarlos en la operación de extracción.</li> </ul>

<p>operación para obtener componentes valiosos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Habilidades para manejo de tecnologías de información y tomar decisiones.</li> <li>Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica.</li> <li>Comunicación oral y escrita y realizar exposiciones de temas investigados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcular el equipo requerido para la extracción en una sola etapa.</li> <li>Calcular el equipo requerido para la extracción en etapas múltiples.</li> <li>Seleccionar los tipos de extractores utilizados.</li> <li>Investigar y analizar procesos donde se incluya las operaciones de extracción.</li> </ul>
---	--

#### 4: Evaporación, secado y humidificación

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcula un evaporador de simple y múltiple efecto para determinar su eficiencia.</li> <li>Conoce los conceptos básicos del secado para poder seleccionar el adecuado.</li> <li>Comprende los fundamentos de humidificación para diseñar y seleccionar equipo.</li> </ul> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Propicia el uso de las tecnologías de información en temas de la asignatura.</li> <li>Realiza prácticas que desarrollen habilidades de experimentación e investigación por medio de la observación, identificación y control de variables, toma de datos, plantear hipótesis y solucionar problemas.</li> <li>Capacidad de aprender y generar conocimiento.</li> <li>Habilidades interpersonales para relacionarse socialmente</li> <li>Habilidades para buscar y analizar información que provenga de fuentes diversas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudiar los conceptos básicos de la evaporación.</li> <li>Conocer e identificar los diferentes tipos de evaporadores y el uso de cada uno de ellos Resolver problemas para el cálculo de un evaporador de simple y múltiple efecto</li> <li>incluyendo precalentamiento, condensación y recompresión.</li> <li>Utilizar simuladores comerciales para el diseño de evaporadores.</li> <li>Resolver problemas de la unidad en grupos de trabajo.</li> <li>Investigar procesos donde se incluya la operación de evaporación e interpretarlos.</li> <li>Explicar los fundamentos del secado y los tipos de secadores.</li> <li>Construir curvas de secado a partir de datos experimentales.</li> <li>Resolver problemas para el cálculo de secadores por lotes y continuos en grupos de trabajo.</li> <li>Utilizar simuladores comerciales para el diseño secadores.</li> <li>Analizar y proporcionar alternativas de solución a planteamientos dados.</li> <li>Explicar los fundamentos de la humidificación.</li> <li>Resolver problemas prácticos para determinar las propiedades de una mezcla</li> <li>aire-agua</li> <li>Resolver problemas para calcular la altura de torres.</li> <li>Utilizar simuladores comerciales para el cálculo de torres de enfriamiento.</li> <li>Analizar y proporcionar alternativas de solución a planteamientos dados.</li> </ul>

#### 5. Destilación

Competencias	Actividades de aprendizaje
--------------	----------------------------

<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diseña y selecciona columnas de destilación en sistemas binarios al utilizar métodos gráficos para obtener varios componentes de interés industrial.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Habilidades para buscar y analizar información que provenga de fuentes diversas.</li> <li>Desarrollar actividades que induzcan a la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que aprendan a través del curso.</li> <li>Habilidades para manejo de tecnologías de información y tomar decisiones.</li> <li>Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocer e identificar los diferentes tipos de destilación.</li> <li>Conocer los equipos de destilación, tipos de empaque y características comunes de ellos.</li> <li>Estudiar los parámetros de diseño y los factores que afectan al diseño de columnas de destilación.</li> <li>Resolver problemas para el diseño de columnas de destilación por rectificación por mezclas binarias por métodos gráficos.</li> <li>Investigar y analizar procesos donde se incluya la operación de destilación.</li> <li>Proponer al menos un programa de computación para determinar altura y diámetro de columna.</li> <li>Utilizar simuladores comerciales para diseño de columnas de destilación.</li> <li>Visitar empresas biotecnológicas.</li> </ul>
--	--

#### 6. Absorción

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p><b>Específica(s):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcula y selecciona columnas de absorción empacadas y de platos para el diseño de equipo.</li> </ul> <p><b>Genéricas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Habilidades para manejo de tecnologías de información y tomar decisiones.</li> <li>Capacidad de aplicar conocimientos en la práctica.</li> <li>Comunicación oral y escrita en español e inglés.</li> <li>Fomentar actividades grupales que generen la comunicación, el intercambio de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración entre estudiantes y el docente y el medio industrial y social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conocer los equipos de absorción, tipos de empaque y características comunes de ellos.</li> <li>Establecer la secuencia de cálculo para columnas empacadas y de platos.</li> <li>Resolver planteamientos dados por el profesor en grupos de trabajo.</li> <li>Investigar procesos donde se incluya la operación de absorción y analizarlos.</li> <li>Utilizar simuladores comerciales para diseño de columnas de absorción.</li> <li>Proponer al menos un programa de computación para determinar altura y diámetro de columna.</li> </ul>

#### 8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación de diversos adsorbentes en la adsorción de contaminantes.</li> <li>Obtención de cristales a partir del jugo de la caña de azúcar.</li> <li>Formación de cristales de ácido cítrico a partir de jugo de limón.</li> <li>Extracción de aceite de guayaba a partir de semillas.</li> <li>Destilación de solventes en columnas empacadas y desempacadas.</li> <li>Absorción de cationes y aniones con resinas naturales y sintéticas.</li> <li>Generar gráfica de curva de secado en alimentos.</li> <li>Elaboración de leche en polvo a partir de leche entera.</li> </ul>
---



## 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 meta cognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

## 10. Evaluación por competencias

- Demostrar las investigaciones bibliográficas que realizaron el o los estudiantes y exposición de cada tema.
- Respuesta a guías de estudio teóricas y de problemas suministrada por el docente.
- Participación en clase y en talleres de solución de problemas.
- Asistencia obligatoria y reporte de prácticas realizadas durante el desarrollo del curso.
- Asistencia obligatoria y reporte de las visitas realizadas a industrias para observar equipo de operaciones unitarias.
- Exámenes de diagnóstico, formativos y final de cada tema.
- Participación en discusión de artículos técnicos revisados.

## 11. Fuentes de información

- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H. (1987) *Ingeniería*
- *Química II. Operaciones Básicas*. Reverté, Barcelona, España.
- Foust, A. S. y Wensel, L. A. (2005). *Principios de Operaciones Unitarias*. Sexta edición, CECSA, México.
- Geankoplis, Ch. J. (2007). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Cuarta edición. CECSA. México.
- Godfrey, J. C.; Slater, M.J. (1994). *Liquid-liquid extraction equipment*. John Wiley and Sons. New York. USA.





- Holland, Ch. (1981). *Fundamentos y modelos de separación*. Prentice Hall.
- International, México.
- King, C. J. (1988). *Separations Processes*. Mc Graw – Hill. México.
- Mc Cabe, J. C. Smith, J. C. y Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Ed. Mc Graw-Hill, séptima edición, México.
- Ocon, J. y Tojo, G. (1986). *Problemas de Ingeniería Química Tomo I y II*. Editorial Aguilar. España.
- Perry, Robert. (2007). *Chemical Engineers ´ Handbook*. Mc Graw - Hill. Octava edición, USA.
- Seader, J. D. y Henley, E. H. (1998). *Separation Process Principles*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Stichlmair, J. G. Fair, J. R. (1998). *Distillation: Principles and Practices*. Wiley-VCH, New York, USA.
- Treybal, R. E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. McGraw-Hill. México.
- Valenzuela, D. P. y Myres, A. L. (1989). *Adsorption equilibrium Data Handbook*. Prentice Hall. USA.
- Wankat, P. (2006). *Separation Process Engineering*. 2nd Edition. Prentice Hall, USA
- Yang, R. T. (1987). *Gas Separation by Adsorption Process*. Butterworths. USA