

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Ingeniería de Procesos
Clave de la asignatura:	BQF-1013
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Bioquímica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
<p>Esta asignatura permite incorporar conocimientos sobre la simulación, el control y la optimización en los que se utilicen de manera sostenible los recursos naturales en la industria de las transformaciones Bioquímicas, lo que permite desarrollar habilidades para el diseño y selección de equipos.</p> <p>Es una materia de Ingeniería Aplicada que se ubica al principio del tercer tercio de la retícula, proporciona herramientas para realizar simulaciones y optimizaciones de equipos procesos lo que permite al estudiante una correcta toma de decisiones en las actividades propias de la ingeniería</p> <p>Por lo tanto la asignatura aporta al perfil del Ingeniero Bioquímico la capacidad de: Diseñar, seleccionar, adaptar, operar, controlar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se aprovechen de manera sustentable los recursos bióticos. Identificar y aplicar tecnologías emergentes relacionadas con el campo de acción del Ingeniero Bioquímico.</p> <p>Realizar investigación científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería Bioquímica y difundir sus resultados.</p> <p>En particular, los conocimientos de esta asignatura se aplican en el estudio de las asignaturas de Ingeniería de proyectos, Formulación y evaluación de proyectos. Además complementa especialidades como Alimentos, Ambiental y Biotecnología y en asignaturas como Ingeniería de los Alimentos e Ingeniería ambiental.</p>
Intención didáctica
<p>El curso de Ingeniería de procesos se ha integrado de manera que el estudiante maneje los conceptos indispensables para el modelado y la optimización procesos de transformación y desarrolle habilidades para su aplicación en la resolución de problemas propios de la industria, por lo que se han seleccionado contenidos clasificados en cuatro unidades temáticas en una secuencia lógica que le permita su mejor comprensión, enfocadas hacia los fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas de los mismos, promoviendo la participación activa del estudiante en actividades de investigación y en el uso de la</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

tecnología para que genere estrategias para dar solución a los problemas propios de la industria, también se promueve la elaboración de reportes técnicos, explicativos de los procesos de transformación en la industria.

En la primera unidad se abordan los conceptos básicos indispensables para la comprensión de los procesos, así como la importancia de la ingeniería de procesos dentro de la industria de la transformación, los aspectos relacionados con la simulación, instrumentación y optimización, se desarrolla la metodología para el análisis de diagramas de flujo de los procesos y se determinan los grados de libertad de los procesos, se hace un análisis de los diferentes métodos de análisis de procesos, heurístico, evolutivo, algorítmico y análisis de módulos básicos.

En la segunda unidad se abordan contenidos relacionados con modelos matemáticos, terminología, clasificación, modelos matemáticos basados en la naturaleza de las ecuaciones, modelos determinísticos y probabilísticos, modelos lineales y no lineales, de estado estacionario y no estacionario, modelos paramétricos globalizados y distribuidos a, modelos basados en los principios de fenómenos de transporte.

En la tercera unidad se hace una introducción a la simulación, se analizan los criterios de estabilidad y se hacen pruebas de determinación de la sensibilidad y se analizan los métodos de convergencia, se hacen ejercicios de simulación de operaciones de transferencia de materia y energía, de reactores químicos. Posteriormente se hace un estudio introductorio hacia los programas comerciales de simulación tales como: Aspen, Hysim, Superpro, Biopro, MathLab, Simnon, Hysys, entre otros. Por último se desarrollan ejercicios de aplicación de simuladores comerciales.

En la cuarta unidad se hace una introducción sobre la optimización de procesos se analizan las características de los problemas de optimización se hacen ajuste de datos empíricos a funciones, se establece la función objetivo, se elijen los métodos numéricos para la optimización de funciones no restringidas, el método de Newton, el Semi-Newton, método de la secante y el método de eliminación de regiones. Se analizan y aplican los métodos de optimización de funciones multivariable como métodos directos e indirectos, método de diferencias finitas.

Se sugiere una actividad integradora, que permita relacionar y aplicar los conceptos analizados durante el curso. Esto permite dar un cierre a la materia mostrándola como indispensable en el desempeño profesional, independientemente de la utilidad que representa en el tratamiento de temas en materias posteriores.

El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación y operación de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a controlar y registrar. Para que aprendan a planificar, que sean autónomos, capaces de generar su propio aprendizaje.

La lista de actividades de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra clase y comenzar el tratamiento en clase a

partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los fenómenos físicos en su alrededor y no sólo se hable de ellos en el aula. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean contruidos, artificiales, virtuales o naturales

En las actividades de aprendizaje sugeridas, generalmente se propone la formalización de los conceptos a partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga el primer contacto con el concepto en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización; la resolución de problemas se hará después de este proceso. Esta resolución de problemas no se especifica en la descripción de actividades, por ser más familiar en el desarrollo de cualquier curso. Pero se sugiere que se diseñen problemas con datos faltantes o sobrantes de manera que el alumno se ejercite en la identificación de datos relevantes y elaboración de suposiciones.

Durante el transcurso de las actividades programadas es trascendental que el estudiante aprenda a evaluar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su hacer 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, la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo y el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía.

Es necesario que el profesor no solo ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura sino que además realice un correcto seguimiento del desempeño del estudiante.

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.

<p>Instituto Tecnológico de Villahermosa, del 19 al 22 de marzo de 2013.</p>	<p>Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Acayucan, Calkiní, Celaya, Colima, Culiacán, Durango, Irapuato, La Paz, La Región Sierra, Los Ríos, Mazatlán, Mérida, Misantla, Morelia, Tijuana, Tuxtepec, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Villahermosa.</p>	<p>Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería en Industrias Alimentarias e Ingeniería Química, del SNIT.</p>
--	--	---

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
<p>Modela, simula y optimiza equipos y procesos, para que, interactuando de manera interdisciplinaria y multidisciplinaria, desarrolle, transfiera y adapte tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de los recursos bióticos.</p>

5. Competencias previas

<p>Resuelve sistemas de ecuaciones lineales y no lineales por métodos analíticos y numéricos para su aplicación en el modelado, simulación y optimización de procesos</p> <p>Aplica balances de materia y energía haciendo uso de la primera y segunda ley de la termodinámica para aplicarlos a la optimización y simulación de procesos</p> <p>Aplica conceptos, principios, métodos y criterios para diseñar, seleccionar, operar y adaptar equipos industriales en el manejo y la transformación de los recursos bióticos.</p> <p>Aplica los conceptos y criterios necesarios para adaptar, seleccionar, diseñar, escalar y operar reactores biológicos.</p> <p>Diseña, selecciona y opera procesos de recuperación y purificación de productos de origen biológico para su aplicación en el desarrollo de procesos.</p> <p>Conoce los principios básicos de las operaciones de transferencia de momento, masa y energía para aplicarlos al modelado, simulación y optimización de procesos Biotecnológicos.</p> <p>Conoce y utiliza el software de aplicación como el MATLAB, Autocad, la hoja de cálculo de Excell, para el cálculo de diseño de equipo aplicados a Ingeniería Bioquímica</p> <p>Realiza diagramas de flujo para especificar y proponer diagramas de procesos de Ingeniería Bioquímica.</p>

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1.-	Conceptos Básicos	1.1. Conceptos. 1.1.1. Ingeniería de procesos. 1.1.2. Síntesis de procesos. 1.1.3. Simulación, control y optimización de procesos. 1.2. Análisis de Diagrama de Flujo de Procesos (DFP) y determinación de grados de libertad. 1.3. Método heurístico. 1.4. Método evolutivo. 1.5. Método algorítmico. 1.6. Análisis de módulos básicos
2.-	Modelos Matemáticos	2.1. Terminología de modelos matemáticos 2.2. Clasificación de modelos matemáticos 2.2.1. Teóricos. 2.2.2. Semi-teóricos. 2.2.3. Empíricos. 2.3. Modelos matemáticos basados en la naturaleza de las ecuaciones. 2.3.1. Modelos determinísticos y probabilísticos. 2.3.2. Modelos lineales y no lineales. 2.3.3. Modelos de estado estacionario y no estacionario. 2.3.4. Modelos de parámetros globalizados y distribuidos 2.4. Modelos matemáticos basados en los principios de los fenómenos de transporte. 2.4.1. Descripción molecular. 2.4.2. Descripción microscópica. 2.4.3. Descripción de gradiente múltiple. 2.4.4. Descripción de gradiente máximo. 2.4.5. Descripción macroscópica.
3.-	Simulación	3.1. Introducción a la simulación. 3.2. Criterios de estabilidad. 3.3. Determinación de la sensibilidad. 3.4. Métodos de convergencia. 3.5. Simulación de operaciones de transferencia de materia. 3.6. Simulaciones de operaciones de transferencia de energía. 3.7. Simulación de reactores químicos.

4.-	Optimización	<p>4.1. Introducción a la optimización.</p> <p>4.1.1. Características de los problemas de optimización.</p> <p>4.1.2. Ajuste de datos empíricos a funciones.</p> <p>4.1.3. Función objetivo.</p> <p>4.2. Optimización de funciones no restringidas.</p> <p>4.2.1. Métodos numéricos para optimización de funciones.</p> <p>4.2.2. Método de Newton.</p> <p>4.2.3. Método de Semi-Newton (Quasi-Newton).</p> <p>4.2.4. Método de la Secante.</p> <p>4.2.5. Métodos de eliminación de regiones.</p> <p>4.3. Optimización de funciones multivariantes.</p> <p>4.3.1. Métodos Directos.</p> <p>4.3.2. Métodos Indirectos.</p> <p>4.3.3. Método de Diferencias Finitas.</p> <p>4.4. Aplicaciones de optimización.</p>
-----	--------------	--

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Conceptos Básicos	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Analiza procesos con metodologías que permitan el desarrollo, la transferencia y la adaptación de tecnologías para el aprovechamiento de los recursos bióticos</p> <p>Analizar equipos y procesos a través de criterios técnicos para identificar las variables que los definen y las rutas de solución</p> <p>Genéricas: Capacidad de análisis y síntesis, e inducción-deducción encaminadas hacia la aplicación de conocimientos, el análisis de resultados y la solución de problemas</p>	<p>Establece en un diagrama las condiciones de operación de una planta de la industria alimentaria, aplicando las competencias adquiridas durante su formación profesional</p> <p>Investiga y describe en mapas conceptuales ejemplos de modelos heurísticos, algorítmicos y evolutivos del área de ingeniería bioquímica.</p> <p>Identifica en un esquema las variables de diseño, las definidas y las calculadas de equipos y procesos, mediante el algoritmo de Lee-Rudd.</p> <p>Propone rutas para la solución de problemas de procesos mediante el análisis</p>

Capacidad para resolver problemas con apoyo de software	de diagrama de flujo
Capacidad de comunicación	Analiza y determina los grados de libertad de un sistema.
Modelos matemáticos	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Modela equipos y procesos de Ingeniería Bioquímica, aplicando balances de materia, de energía y de momento para la solución de problemas Biotecnológicos.</p> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de análisis y síntesis, e inducción-deducción encaminadas hacia la aplicación de conocimientos, el análisis de resultados y la solución de problemas</p> <p>Capacidad para resolver problemas con apoyo de software</p>	<p>Investiga y realiza un ensayo sobre la importancia de los modelos matemáticos en la Ingeniería Bioquímica.</p> <p>Elabora mapas conceptuales de los diferentes modelos matemáticos que existen.</p> <p>Propone y desarrolla en papel Bond, modelos matemáticos que describen el comportamiento de equipos de proceso aplicando balances macroscópicos y microscópicos de materia energía y momento, en sistemas cerrados, abiertos y/o aislados.</p> <p>Propone y desarrolla en diapositivas al menos un modelo matemático del proceso que sea requerido para el funcionamiento de una planta industrial que aplique procesos industriales.</p>
Simulación	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Simula el funcionamiento de equipos y de procesos de Ingeniería Bioquímica, mediante software libre y comercial para su correcta interpretación, manejo y escalamiento.</p>	<p>Investiga y explica mediante un diagrama las bases de métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias y sistemas de ecuaciones no lineales</p> <p>Resuelve ecuaciones diferenciales ordinarias desarrollando los métodos numéricos de Gauss y de Runge Kutta.</p> <p>Resuelve sistemas de ecuaciones no lineales desarrollando los métodos numéricos de Newton-Raphson, Wegstein y falsa posición, entre otros.</p> <p>Simula procesos simples empleando</p>

<p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de análisis y síntesis, e inducción-deducción encaminadas hacia la aplicación de conocimientos, el análisis de resultados y la solución de problemas</p> <p>Capacidad para resolver problemas con apoyo de software</p>	<p>software especializado como Simulink , Comsol o Chemcad</p> <p>Resuelve y analiza problemas de simulación de la operación de diversas etapas de procesos del área de Ingeniería Bioquímica utilizando software libre o comercial tal como Matlab, Maple, Octave, Maxima, etc implícitas en los modelos matemáticos propuestos.</p>
<p>Optimización</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>Optimiza parcial o totalmente procesos de Ingeniería Bioquímica usando software libre y comercial para encontrar las mejores condiciones de eficiencia y rentabilidad</p> <p>Genéricas:</p> <p>Capacidad de análisis y síntesis, e inducción-deducción encaminadas hacia la aplicación de conocimientos, el análisis de resultados y la solución de problemas</p> <p>Capacidad para resolver problemas con apoyo de software</p>	<p>Investiga y explica en un mapa conceptual las bases de métodos numéricos para optimizar funciones no restringidas y multivariadas</p> <p>Resuelve problemas de optimización empleando los métodos numéricos denominados: Newton, Quasi-Newton, Secante, eliminación de regiones y diferencias finitas</p> <p>Resuelve problemas de optimización de funciones no restringidas utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, entre otros.</p> <p>Resuelve problemas de optimización de funciones multivariadas utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, entre otros.</p>

8. Práctica(s)

<p>Desarrollar un modelo matemático de un proceso en estudio.</p> <p>Realizar la simulación de un proceso.</p> <p>Emplear simuladores comerciales como: MatLab, Visio, Simno,Hysim, Aspen, Hysys, Superpro, Storm, WinQSB, Lindo6, Project y BioPro en la solución de modelos matemáticos desarrollados en los talleres.</p>
--

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que plantee 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.

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

-El diseño de experimentos y sus reportes por escrito así como de las observaciones hechas durante las actividades, la discusión y conclusión de resultados concretos y bien fundamentados.

- La información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos, por ejemplo:

-diagrama las condiciones de operación de una planta de la industria alimentaria
mapas conceptuales ejemplos de modelos heurísticos, algorítmicos y evolutivos

-Desarrollo de modelos matemáticos que describen el comportamiento de equipos de proceso (esquema en papel Bond)

-Exposición y conclusiones escritas de las diapositivas al menos un modelo matemático del proceso que sea requerido para el funcionamiento de una planta industrial

-Ensayo y mapa conceptual sobre la importancia y clasificación de los modelos matemáticos en la Ingeniería Bioquímica.

-diagrama las bases de métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias y sistemas de ecuaciones no lineales

- Ejercicios de ecuaciones diferenciales ordinarias desarrollando los métodos numéricos de Gauss y de Runge Kutta.
 - Ejercicios de sistemas de ecuaciones no lineales desarrollando los métodos numéricos de Newton-Raphson, Wegstein y falsa posición.
 - Problemas de simulación de la operación de diversas etapas de procesos del área de Ingeniería Bioquímica utilizando software libre o comercial tal como Matlab, Maple, Octave, Maxima,
 - Exposición y conclusiones escritas de la simulación de procesos simples empleando software especializado como Simulink , Comsol o Chemcad.
 - mapa conceptual de las bases de métodos numéricos para optimizar funciones no restringidas y multivariantes.
 - Ejercicios y problemas resueltos de optimización empleando los métodos numéricos: Newton, Quasi-Newton, Secante, eliminación de regiones y diferencias finitas.
 - Exposición de los Problemas resueltos de optimización de funciones no restringidas utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, previamente revisados
 - Exposición de problemas de optimización de funciones multivariantes utilizando software libre o comercial como Matlab, Maple, Octave, Maxima, previamente revisados
 - Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Las evidencias de aprendizaje anteriores serán evaluadas mediante la rúbrica o la lista de cotejo respectiva.
- La Evaluación formativa de las actitudes será mediante: observación del docente sobre el cumplimiento de las actividades, así como la habilidad de interrelacionarse en equipos de trabajo y su desempeño autónomo.

11. Fuentes de información

1. Beveridge, S.G. (1997). *Optimization: Theory and practice*. New York: . Mc Graw Hill.
2. Biegler L.T., Grossmann I.E. & Westerberg, A.W. (1997). *Systematic Methods of Chemical Process Design*. in the Physical and Chemical Engineering Series. U.S.A.: Prentice Hall International Series
3. Cerro, R. L., Arri, L. E., Chiovetta, M. G., Pérez, G. (1978). *Curso Latinoamericano de Diseño de Proceso por Computadora*. Tomos I y II, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química,. Argentina: Universidad Nacional del Litoral
4. Douglas, J. M. (1988). *Conceptual Design of Chemical Processes*.. New York: McGraw Hill .

5. Edgar, T.F., Himmelblau, D.M & Lasdon, L.S.(2001). *Optimization of Chemical Processes* 2nd Edition. Editions Chemical Engineering Series. New York: McGraw-Hill International.
6. Fishwick, P. A.(1995). *Simulation Model Design and Execution*. Series in Industrial and Systems Engineering. U.S.A.: Prentice Hall International.
7. Franks, R.,G.E. (2002). *Modeling and Simulation in Chemical Engineering*. New York: Wiley Interscience.
8. Himmelblau, D. M. y Bischoff, K.B. (1992). *Análisis y Simulación de Procesos*. España: Reverté S. A.
9. Jiménez G. A. (2003). *Diseño de Procesos en ingeniería Química*. España:Reverté S. A.
10. Liu, Y. A., Mcgee, H. A. Jr. and Epperly, W. R.(1987) *Recent Developments in Chemical Process and Plant Design*. New York: John Wiley and Sons
11. Luyben, W. L.(1990). *Process Modeling: Simulation and Control for Chemical Engineering*.New York: Mc Graw-Hill.
12. Nagdir, V.M. y Liu, Y.A. (1983). *Studies in Chemical Process Design and Synthesis: Part V: A simple Heuristic Method for Systematic Synthesis of Initial Sequences for Multicomponent Separations* *AIChE Journal* Vol.29, No. 6. Pp 923-934
13. Scenna, N. (1999) *Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos*. Libro electrónico obtenido el 9 de febrero del 2010 en: <http://www.modeloingenieria.edu.ar/libros/modeinge/modinge.htm>.
14. Perry, R. (2008). *Perry's chemical engineer's handbook*. 8th Ed. Nueva York, EEUU: Mc Graw Hill.
15. Peters, M. S., Timmerhaus, K. D.(2002) *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 5th ed.New York: McGraw Hill.
16. Reklaitis, G. V., Ravindran, A. Ragsdell, K. M. (2006) *Engineering Optimization. Methods and Applications*. 2d. Ed.. New York. USA: John Wiley & Sons.
17. Rudd, D. F. y Watson, C. C. (1986). *Estrategias en Ingeniería de Procesos*. Alhambra. España: Ed. Alhambra.
18. Seider, W. D., Seader J. D. and Lewin,D.R., Widagdo R. (2009) *Product & Process Design Principles*, 3th. Ed. USA: John Wiley & Sons Inc.
19. Turton, R., (2009) *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. USA : Prentice Hall International.
20. Ulrich, G.D. *Procesos de Ingeniería Química*.(1986).. México: Nueva Editorial Interamericana. S.A. de C.V.
21. Vilbrand, F.C., Dryden, Ch. E. *Chemical Engineering Plant Design*. 4thEdition. International Student Edition. Mc Graw Hill Int. Book Co. U.S.A. 1999.
22. Duran, M. A. & Grossmann, I. E. (1986) *Simultaneous Optimization and Heat Integration of Chemical Processes*. *AIChE Journal*, Vol. 32 pp 123.