

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Ingeniería de Biorreactores
Clave de la asignatura:	BQF 1012
SATCA¹:	3-2-5
Carrera:	Ingeniería Bioquímica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura
Esta asignatura constituye uno de los pilares en la formación del Ingeniero Bioquímico, lo capacita para la selección, adaptación o diseño y control del núcleo o corazón de un buen número de procesos biotecnológicos especialmente en las áreas de la tecnología microbiana, celular o tisular y enzimática, como lo es el biorreactor.
Intención didáctica
<p>Se aborda en primer lugar, los diversos tipos de biorreactores, alternativas y criterios que el ingeniero bioquímico tiene para elegir tipo de proceso, se analiza y discute los fenómenos de transferencia implicados en la operación de un biorreactor, número de fases presentes en el mismo, el tipo de catalizador empleado, la manera en que ese catalizador se encuentra dentro del reactor, el régimen hidrodinámico del fluido dentro del reactor, si es agitado, entonces el tipo de agitación aplicado, si es un reactor que emplee algún tipo o parte de células vivas, entonces la naturaleza del aceptor de final de electrones y el régimen de operación. Posteriormente, se procede a analizar y discutir los fenómenos de transferencia implicados en la operación de un biorreactor. Para ello se inicia con el reactor de tanque agitado y aerado, del cual se analizan y discuten los procesos de agitación (transferencia de cantidad de movimiento), de aeración (transferencia de masa) y de control de temperatura (transferencia de calor).</p> <p>Se enfatiza, en particular la importancia de la selección y utilización adecuada de los llamados criterios de escalamiento, todos ellos aplicables en casos y condiciones específicas y con objetivos también particulares. Se analizan, por supuesto los criterios típicos, tales como el kLa, la potencia volumétrica, el NRe, la velocidad en la punta del impulsor y el esfuerzo cortante, entre otros.</p> <p>En la parte final del curso, se aborda uno de los aspectos operativos más importantes para garantizar el éxito del proceso biotecnológico en su conjunto, se trata de la esterilización de líneas de conducción, accesorios, equipos y medio de producción. En esta parte es indispensable que el estudiante sepa conceptualizar lo que significa el término esterilización y pueda comprender el alcance de su transformación en el de “esterilización comercial” como una respuesta práctica a la imposibilidad de lograr, en el entorno</p>

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

industrial y de manera costeable, una esterilización real. Por último se revisa todo lo concerniente a la instrumentación y el control de los biorreactores, enfatizando su importancia en el logro de un auténtico trabajo de ingeniería, una de cuyas piedras angulares es sin duda el control del proceso.

Es evidente que al ser la tecnología microbiana, la enzimática la celular y la tisular, partes importantes de la Biotecnología contemporánea y al ser el biorreactor el núcleo o “corazón” de los procesos de esta disciplina, entonces esta asignatura es de capital importancia en la conformación del perfil del egresado de esta carrera.

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, Irapuato, La Paz, La Región Sierra, Los Ríos, Mazatlán, Mérida, Misantla, Morelia, Tijuana, Tuxtepec, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Villahermosa.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de las carreras de Ingeniería Ambiental, Ingeniería Bioquímica, Ingeniería en Industrias Alimentarias e Ingeniería Química, del SNIT.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Diseña, selecciona, adapta y opera los biorreactores industriales y equipos auxiliares utilizados en los procesos de producción celular o tisular y enzimática, aplicando los conceptos, principios, métodos y criterios técnicos científicos del área.

5. Competencias previas

<p>Balance de materia y energía:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elabora diagramas de flujo para representar procesos de transformación • Realiza balances de materia y energía • Calcula rendimiento, conversión y selectividad <p>Fenómenos de transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracteriza las propiedades reológicas de los fluidos para conocer las condiciones de flujo dentro de los reactores. • Conoce los conceptos de flujo turbulento, laminar y de fluidización para interpretar correctamente los fenómenos de transferencia de nutrientes. <p>Ecuaciones Diferenciales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolver sistemas de ecuaciones diferenciales <p>Cinética química y Biológica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza las cinéticas de Michaelis-Menten y de Monod. • Explica las ecuaciones de velocidad de diferentes órdenes de reacción • Reconoce los dispositivos para agitación y mezclado <p>Operaciones Unitarias I y II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza la transferencia de masa calor y momento <p>Microbiología</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reconoce las características celulares y microbianas

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción	1.1. Principales productos de fermentación en el mercado mundial. 1.2. Perspectivas de la Bioingeniería. 1.3. Estequiometría y cinética de crecimiento microbiano y formación de productos

2	Biorreactores	2.1. Función y características generales. 2.2. Tipos de biorreactores. 2.3. Modos de operación de los biorreactores. Por lote, semicontinuo, continuo y sus variantes. 2.4. Diseño de biorreactores. Variables y parámetros de diseño.
3	Procesos de transferencia	3.1. Transferencia de cantidad de movimiento. Agitación. Velocidad y potencia de agitación. 3.2. Transferencia de masa. Aeración. Régimen de aeración. Rapidez de transferencia de oxígeno. Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno. 3.3. Transferencia de calor. Balances de calor en el reactor en operación.
4	Escalamiento	4.1. Las funciones del laboratorio de Microbiología Industrial. 4.2. Las funciones de la planta piloto. 4.3. Escalamiento de biorreactores. Criterios y procedimientos.
5	Procedimientos y equipos auxiliares en la operación de biorreactores	5.1. Limpieza y desinfección de elementos periféricos. 5.2. Esterilización. 5.3. Instrumentación y control del biorreactor.

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Introducción	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica:</p> <p>Reconoce las etapas históricas que han definido el desarrollo de la Biotecnología en México y el mundo.</p> <p>Identifica áreas de oportunidad constituidas por demandas de la sociedad que pudieran ser abordadas y resueltas mediante la aplicación de proceso con base biotecnológica.</p> <p>Visualizar las perspectivas del campo en el futuro inmediato y a largo plazo</p>	<p>Instrumentar y realizar un panel de discusión que permita al grupo diseñar una definición o concepto de trabajo de Ingeniería Bioquímica y Biotecnología, destacando las semejanzas entre estos conceptos y las diferencias, si las hubiera.</p> <p>Elaborar y discutir en el grupo un esquema histórico del desarrollo de la Ingeniería Bioquímica o Biotecnología, destacando fechas, personajes y hechos distintivos de cada época o etapa de este proceso.</p> <p>Elaborar tablas que resuman las principales</p>

	<p>industrias biotecnológicas tanto a nivel global como en México, señalando sus principales productos y su contribución a la economía mundial o nacional.</p> <p>Realizar una investigación en las fuentes de información adecuadas para establecer el estado del mercado exterior mexicano para productos de la industria biotecnológica.</p> <p>Identificar, utilizando todos los medios necesarios, procesos o productos biotecnológicos que a nivel local, nacional o regional signifiquen demandas o mercados insatisfechos, mercados potenciales, sustitución de importaciones, posibilidades de exportación, recursos naturales no o subutilizados, entre otros, que constituyan áreas de oportunidad para el desarrollo profesional.</p>
--	---

Biorreactores

Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica:</p> <p>Reconoce e identifica las diferentes configuraciones de biorreactor que se pueden lograr al combinar los diferentes criterios de selección o diseño de que se dispone.</p> <p>Realiza los balances de materia y energía en el biorreactor planteando y resolviendo las ecuaciones resultantes e identificando en ellas su aplicación potencial para el diseño, control y simulación del biorreactor y su operación.</p> <p>Determina el volumen de operación requerido en un biorreactor, adecuando el procedimiento a la información disponible.</p> <p>*Dimensiona o configura geométricamente los diversos tipos de biorreactores, reconociendo la importancia que esta característica tiene para el funcionamiento</p>	<p>*Elaborar, trabajando en equipos, monografías relativas a las características generales de los diferentes tipos de biorreactores existentes, sus ventajas y desventajas, sus principales aplicaciones, las variables críticas de operación y las ecuaciones y procedimientos de diseño más utilizados.</p> <p>*Realizar ejercicios de cálculo de los diversos procedimientos de diseño de reactores disponibles.</p> <p>*Leer, resumir y discutir, mediante el trabajo en equipos, artículos técnico-científicos donde se presenten ejemplos reales de la aplicación práctica de los diferentes tipos de biorreactores; y las tendencias actuales en el desarrollo de nuevos tipos o en la mejora de los ya disponibles.</p> <p>*Según el equipo disponible, realizar prácticas que permitan caracterice un biorreactores en aspectos tales como su</p>

<p>eficiente del biorreactor</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Resolución de problemas • Capacidad para experimentar de una manera sistemática la búsqueda de soluciones adecuadas a la problemática que se le presente. 	<p>configuración geométrica, su desempeño hidrodinámico, su capacidad de transferencia de oxígeno y su aplicación a diferentes tipos de aplicaciones, por ejemplo, en el manejo de fluidos newtonianos o no newtonianos.</p> <p>A partir del conocimiento del modo de operación de las configuraciones más empleadas de biorreactores, integrar una base de datos con las ecuaciones de diseño descritas por diversos autores para este propósito.</p> <p>Realizar los balances de materia y energía más importantes, para diversas configuraciones de Biorreactores, como un medio de deducción de ecuaciones de diseño.</p> <p>*Realizar ejercicios de cálculo de reactores, en diversas configuraciones, utilizando tanto modelos matemáticos formales como correlaciones empíricas disponibles y ponderar, comparativamente, sus ventajas y desventajas.</p> <p>* Revisar, resumir y discutir artículos donde se ejemplifiquen procesos de diseño de Biorreactores y su aplicación en procesos en desarrollo o en la industria</p>
<p>Procesos de Transferencias</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>Reconoce las variables de operación implicadas en el correcto desempeño de estos equipos, en sus diversas variantes.</p> <p>Determina la velocidad de agitación y el régimen de aeración requeridos para lograr una determinada intensidad de agitación o un coeficiente de transferencia de oxígeno, según requerimientos del proceso.</p> <p>Calcula los requerimientos de potencia de un biorreactor agitado y aerado.</p> <p>Deduca el área de contacto necesaria para el funcionamiento de reactores de biopelícula.</p> <p>Determina tiempos de residencia hidráulicos y celulares para diferentes</p>	<p>*Discutir amplia y profundamente las diferentes tendencias en el diseño de Biorreactores; así como las variantes que se han ensayado y los nuevos desarrollos en este campo, tendientes a mejorar su desempeño en la transferencia de masa, particularmente oxígeno, transferencia de calor y en el desempeño hidrodinámico del biorreactor. Esto a partir de revisión y discusión, en conjunto, de artículos clásicos de diseño de Biorreactores, sus aplicaciones y acerca de las nuevas tendencias y avances en el campo de mejora de estos equipos.</p> <p>*Realizar ejercicios de cálculo de sistemas de agitación y aeración y de control de temperatura para diferentes tipos de</p>

<p>configuraciones de biorreactor. Fija el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para diversos tipos de biorreactores. Calcula y dimensiona, con base en balances de energía, el sistema de control de temperatura del biorreactor.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Resolución de problemas • Capacidad para experimentar de una manera sistemática la búsqueda de soluciones adecuadas a la problemática que se le presente. 	<p>Biorreactores.</p> <ul style="list-style-type: none"> • .
<p>Escalamiento</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s):</p> <p>Escala procesos biotecnológicos a partir de la definición de los niveles de las constantes de escalamiento, resultantes del tratamiento de los datos del laboratorio</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Resolución de problemas • Capacidad para experimentar de una manera sistemática la búsqueda de soluciones adecuadas a la problemática que se le presente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar criticar y analizar ejemplos clásicos de escalamiento, identificando los criterios utilizados; las variables críticas del proceso; los elementos conceptuales y las herramientas matemáticas utilizadas así como los resultados obtenidos. • Realizar una revisión de diversas fuentes que permita identificar y analizar las tendencias actuales en este proceso y verificar la vigencia de los conceptos e ideas clásicas del escalamiento y los nuevos elementos que se integran en sus nuevas versiones. • Realizar el escalamiento del reactor a partir de datos de laboratorio

Procedimientos y Equipos auxiliares en la operación de bioreactores.	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Identifica y caracteriza los procedimientos, equipos y accesorios que son indispensables para el funcionamiento del biorreactor. (mezcladores, agitadores, esterilizadores) Calcula ciclos de esterilización por lote y continuos. Conoce la naturaleza, el principio de funcionamiento y la aplicación específica de los accesorios e instrumentos más comunes utilizados como soporte de la operación y control de los biorreactores</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Resolución de problemas • Capacidad para experimentar de una manera sistemática la búsqueda de soluciones adecuadas a la problemática que se le presente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un esquema de las características y clasificación de mezcladores y agitadores utilizados para líquidos, pastas y sólidos. • Investigar procesos biotecnológicos donde se incluyan separaciones de prensado • Resolver problemas para determinar la potencia requerida del sistema de agitación. • Resolver al menos un caso de estudio planteado por el profesor para aplicar los conocimientos y procedimientos relacionados con el tema.

8. Práctica(s)

<ol style="list-style-type: none"> 1.- Cinética de crecimiento y acumulación de metabolitos en cultivo en matraz agitado. 2.- Cinética de crecimiento y acumulación de metabolitos en cultivo en biorreactor de laboratorio. 3.- Determinación del tiempo de mezclado en biorreactor de tanque agitado con diferentes tipos de impulsores. 4.- Determinación del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para un reactor de tanque agitado y aerado por el método del sulfito. 5.- Determinación del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para un reactor de tanque agitado y aerado por el método dinámico. 6.-Determinación del efecto de la potencia de agitación y el régimen de aeración sobre el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno. 7.-Determinación de curvas de muerte térmica para microorganismos patrón. 8.-Determinación de curvas de penetración de calor para biorreactores de laboratorio

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

Participación en la mesa de discusión y acuerdo del grupo en la definición o concepto de trabajo de Ingeniería Bioquímica y Biotecnología

Evidencias de las actividades de aprendizaje como cuadros tablas comparativas

Resolución de problemas, definiciones.

Reporte de prácticas y visitas industriales.

Evaluaciones escritas

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

11. Fuentes de información

1. Aiba, S., A.E. Humphrey y N.F. Millis (1973) *Biochemical Engineering*. 2nd. New York. Ed. Academic Press.
2. Asenjo, J.A. y J.C. Merchuck. (1994) *Bioreactor Systems Design*, New Cork, Marcel Dekker (Eds.).
3. Atkinson, B. (1986) *Reactores Bioquímicos*. Barcelona. Ed. Reverté.

4. Atkinson, B. y F. Mavituna. (199), *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*. 2ª. Ed. Stockton Press..
5. Bailey, J.E. y D.F. Ollis. (1986) *Biochemical Engineering Fundamentals*. 2ª. New York., Ed McGraw-Hill.
6. Belter, P.A., E.L. Cussler y W.S. Hu. (1988). *Bioseparations. Downstream Processing For Biotechnology*. New York. John Wiley and Sons.
7. Bu'Lock, J. y B. Kristiansen (1987), *Basic Biotechnology*. Londres, Academic Press...
8. Demain, A.L. y N.A. Solomon (Eds.). (1986) *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. Washington. American Society for Microbiology..
9. Doble, M., A.K. Kruthiventi y V.G. Gaikar. (2004) *Biotransformations and Bioprocesses*. New York.. Marcel Dekker.
10. Doran, P.M. (1995) *Bioprocess Engineering Principles*. New York. Elsevier..
11. Galindo, E. (Ed.). (1996). *Fronteras En Biotecnología y Bioingeniería*. México, D.F. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería.
- Ghasem Najafpour (2007) *Biochemical Engineering and Biotechnnology* 1a edition Oxford Elsevier.
12. Jackson, A.T. (1991) *Process Engineering in Biotechnology*. Englewood Cliffs. Prentice Hall..
13. Kargi, F. y M.L. Shuler. (2001) *Bioprocess Engineering. Basic Concepts*. 2ª Ed. Prentice-Hall..
14. Lee, J.M. (1992) *Biochemical Engineering*.. Englewood Cliffs. Prentice-Hall.
15. Lyderson, B., N. D'Elia y K.L. Nelson (Eds.) (1994) *Bioprocess Engineering: Systems, Equipment and Facilities*. New York. John Wiley & Sons.
16. Moreno Grau S., J. Bayo Lernal (1996) *Diseño de Biorreactores y Enzimología*, España Universidad de Murcia ed
17. Nielsen, J., J. Villadsen y G.L. Liden. (2003) *Bioreaction Engineering Principles*. 2ª Ed. Kluwer Academia Publishers..
18. Quintero Ramírez, R. (1981) *Ingeniería Bioquímica*. México. Alhambra Mexicana..
19. Rehm, H.J. y G. Reed (Eds). (1981) *Biotechnology*. VCH. Verlagsgessellschaft. Weinheim. Volume 1 (1986) volumen 8
20. Scriban, R. *Biotecnología*. (1985) México, Ed. El Manual Moderno...
21. Schügerl, K. (1985) *Bioreaction Engineering* Vol. I. Chichester. John Wiley & Sons..
22. Schügerl, K. (1991) *Bioreaction Engineering* Vol. II. Chichester.. John Wiley & Sons.
23. Schügerl, K. y K.H. Bellgardt (Eds.). (2000) *Bioreaction Engineering*. Vol. III. New York. Springer-Verlag.
24. Schügerl, K. y D.A.J. Wase. (1997) *Bioprocess Monitoring*. New York. John Wiley & Sons..
25. Schügerl, K. y A.P. Zeng. (2001) *Tools and Applications of Biochemical Engineering*, New York, *Sciences*. Springer-Verlag..
26. Smith, J.E., D.E. Berry y B. Kristiansen (Eds). (1980). *Fungal Biotechnology*. New York. Academic Press.
27. Stanbury, P.F. y A. Whitaker. (1984) *Principles of Fermentation Technology*. Oxford.. Pergamon Press.
28. Stanbury, P.F. y S. Hall. (1999) *Principles of Fermentation Technology* 2ª Oxford. Ed. Elsevier..

29. Vogel, H.C. y C.C. Todaro. (1996) .*Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*. Noyes Publications.
30. Wang, D.I.C., C.L. Cooney, A. L. Demain, P. Dunnill, A.E. Humphrey y M.D. Lilly. (1979) *Fermentation and Enzyme Technology*. New York. John Wiley & Sons..