

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Ingeniería de Biorreactores
Carrera:	Ingeniería Bioquímica
Clave de la asignatura:	BQF-1012
(Créditos) SATCA*	3 – 2 - 5

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura contribuye al perfil del egresado propiciando el desarrollo de la capacidad para seleccionar, adaptar, diseñar, operar, controlar, simular, optimizar y escalar equipos y procesos en los que se aprovechen de manera sustentable los recursos bióticos. En otro sentido, también aporta al perfil profesional coadyuvando en el proceso formativo que le permitirá incorporarse en equipos multidisciplinarios para realizar investigación científica y tecnológica en el campo de la Ingeniería Bioquímica y difundir sus resultados.

Intención didáctica.

Esta asignatura constituye uno de los pilares en la formación del Ingeniero Bioquímico pues lo capacita para abordar la tarea de definir, por selección, adaptación o diseño, el 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. De la misma forma propicia el desarrollo de las habilidades necesarias para operar el propio biorreactor y los instrumentos y procesos auxiliares o complementarios del proceso principal. Además de contribuir al desarrollo de las competencias específicas que se detallan más adelante, esta asignatura contribuye de manera muy significativa al desarrollo de un agudo sentido crítico y pone al participante, con mucha frecuencia, en la situación de tomar decisiones con base en ese análisis crítico. Esto debido a que en el curso no se pondera un biorreactor en particular, sino que se da la oportunidad al estudiante de decidir, ante requerimientos específicos, de entre las diversas opciones que representan los diferentes tipos de biorreactores.

En el desarrollo de esta asignatura, se presenta, discute y analiza información relativa a las características tanto comunes como distintivas de los diferentes tipos de biorreactores que pueden encontrarse en los procesos biotecnológicos.

El contenido de la asignatura se aborda de manera, que se analiza y discute con todo detalle, en primer lugar, los diversos tipos de biorreactores, definiendo las diferentes alternativas que el ingeniero bioquímico tiene para elegir y los múltiples criterios que están implicados en esa elección, por ejemplo, el número de fases presentes en el reactor, 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 de células vivas, entonces la naturaleza del aceptor final de electrones y el régimen de operación. En todo este análisis y discusión, se tiene como marco de referencia la retrospectiva, el estado actual y principalmente, las perspectivas de la industria biotecnológica, destacando las áreas de oportunidad que la zona de influencia del IT en cuestión, pueda ofrecer a los egresados de la carrera de Ingeniería Bioquímica como áreas de desarrollo profesional y asu vez como opciones para cumplir con su responsabilidad social.

Posteriormente, se procede a analizar y discutir los fenómenos de transferencia implicados en la operación de un biorreactor. Para ello se inicia con el biorreactor por antonomasia, el

* Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos

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). Con este soporte, se procede a este mismo análisis pero ahora con los tipos más representativos de biorreactores.

El tema anterior del curso se complementa con la siguiente, a fin de dar forma al procedimiento de especificación y diseño de los biorreactores. Esta parte complementaria se conoce como escalamiento y se refiere al conjunto de acciones y procedimientos empleados para transferir la operación de un proceso desde la escala de laboratorio hasta el nivel de producción industrial, pasando por la planta piloto. Aquí se discuten, analizan y ponen en práctica los procedimientos que, basados tanto en el análisis cinético y por tanto formal del proceso, como la serie de relaciones empíricas, son utilizados para el propósito mencionado. 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.

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 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 y la celular y 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. Es también un excelente ejemplo de lo que podríamos llamar asignatura de síntesis, pues su cabal aprovechamiento y en si su desarrollo, requiere la aplicación y por tanto el tener las bases sólidas y suficientes de Bioquímica, Microbiología, Cinética Química y Biológica, Operaciones Unitarias, además de los conocimientos básicos en Matemáticas, Física, Química, Biológica, Termodinámica, Fisicoquímica, entre otras. En otro sentido, esta asignatura es un requerimiento indispensable para poder abordar y aprovechar en todo su potencial las asignaturas propiamente aplicativas o tecnológicas, como el caso de Tecnología de las Fermentaciones, Enzimática o Tisular o bien la Biotecnología Ambiental en sus diversas vertientes tales como el tratamiento de efluentes, de residuos orgánicos, de emisiones gaseosas o de biorremediación de suelos.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

Competencias específicas:	Competencias genéricas:
<ul style="list-style-type: none"> ● Comparar los diferentes biorreactores, destacando ventaja y desventajas ● Analizar el funcionamiento y operación fermentador en lotes y el lote alimentado y continuo. ● Determinar el volumen del reactor utilizando las ecuaciones de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Conocer a su entorno. ● Aprender a aprender. ● Aplicar conocimientos a la resolución de problemas. ● Desarrollar investigación y .generar nuevas ideas. ● Ser emprendedor identificando áreas de oportunidad en su entorno.

<ul style="list-style-type: none"> • Definir la configuración geométrica del biorreactor especificando las dimensiones de cada compnente estructural de este equipo. • Calcular el tiempo de residencia y explicar el efecto que éste tienen en la productividad en los diferentes tipos de biorreactores. • Simular la operación reactores biológicos empleando métodos numérico o simuladores comerciales. • Estimar los requerimientos de energía para diferentes tipos de biorreactores. • Determinar las condiciones de operación de diversos tipos de biorreactores para satisfacer las necesidades y requerimientos del proceso de producción. • Determinar el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno en diversos tipos de biorreactores • Llevar a cabo el cambio de escala en procesos y equipos utilizando el criterio de escalamiento más indicado según corresponda al tipo de reactor implicado en el proceso. • Calcular ciclos de esterilización del medio de cultivo con base en los modelos de transferencia de calor en reactores por lotes y continuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar y gestionar proyectos. • Adaptarse a nuevas situaciones. • Trabajar en equipo. • Buscar el logro. <p>Competencias instrumentales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis • Capacidad de organizar y planificar • Conocimientos básicos de la carrera • Comunicación oral y escrita • Habilidades básicas de manejo de la computadora incluyendo dibujo asitido por computadora. • Habilidad para buscar, discriminar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Tomar decisiones. <p>Competencias interpersonales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad crítica y autocrítica. • Trabajo en equipo. • Habilidades interpersonales. • Capacidad de comunicación. <p>Competencias sistémicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • . Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades de investigación. • Capacidad de aprender. • Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad). • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Búsqueda del logro.
---	--

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de	Participantes	Evento
------------------	---------------	--------

elaboración o revisión		
IT de Villahermosa Del 7 al 11 de septiembre de 2009	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: IT de Celaya IT de Culiacán IT de Durango IT de Mérida IT de Morelia IT de Tepic IT de Tijuana IT de Tuxtepec IT de Veracruz IT de Villahermosa ITS de Tehuacán	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para la formación y desarrollo de competencias profesionales de la carrera de Ingeniería Bioquímica
Instituto Tecnológico de Celaya 14 de septiembre 2009 a 5 de febrero 2010.	Representantes de la Academia de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico de Celaya	Análisis, enriquecimiento y elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la carrera de
IT de Celaya Del 8 al 12 de febrero de 2010	Representantes de los Institutos Tecnológicos participantes de: IT de Celaya IT de Culiacán IT de Durango IT de Mérida IT de Morelia IT de Tijuana IT de Tuxtepec IT de Veracruz IT de Villahermosa ITS de Tehuacán	Reunión Nacional de Consolidación de la carrea de Ingeniería Bioquímica

5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Adaptar, seleccionar, diseñar, escalar y operar biorreactores, incluyendo las operaciones y procesos complementarios o auxiliares de la operación del biorreactor.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Resolver sistemas de ecuaciones diferenciales.
- Explicar las ecuaciones de velocidad de diferentes órdenes de eacción.
- Analizar las cineticas de Michaelis-Menten y de Monod.
- Realizar balances de materia y energía.
- Calcular rendimiento, conversión y selectividad.
- Obtener parámetros cinéticos.
- Explicar el significado y la importancia de coeficientes de transferencia.
- Resolver ecuaciones sencillas de transferencia de masa, calor y momento.
- Reconocer los dispositivos para agitación y mezclado.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Introducción	1.1. Principales productos de fermentación en

		<p>el mercado mundial.</p> <p>1.2. Perspectivas de la Bioingeniería.</p> <p>1.3. Estequiometría y cinética de crecimiento microbiano y formación de productos.</p>
2	Biorreactores	<p>2.1. Función y características generales.</p> <p>2.2. Tipos de biorreactores.</p> <p>2.3. Modos de operación de los biorreactores. Por lote, semicontinuo, continuo y sus variantes.</p> <p>2.4. Diseño de biorreactores. Variables y parámetros de diseño.</p>
3	Procesos de transferencia	<p>3.1. Transferencia de cantidad de movimiento. Agitación. Velocidad y potencia de agitación</p> <p>3.2. Transferencia de masa. Aeración. Regimen de aeración. Rapidez de transferencia de oxígeno. Coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.</p> <p>3.3. Transferencia de calor. Balances de calor en el reactor en operación.</p>
4	Escalamiento	<p>4.1. Las funciones del laboratorio de Microbiología Industrial</p> <p>4.2. Las funciones de la planta piloto.</p> <p>4.3. Escalamiento de biorreactores. Criterios y procedimientos.</p>
5	Procedimientos y equipos auxiliares en la operación de biorreactores	<p>5.1. Limpieza y desinfección de elementos periféricos.</p> <p>5.2. Esterilización.</p> <p>5.3. Instrumentación y control del biorreactor</p>

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

El profesor:

Para poder abordar la asignatura y tomando en cuenta su naturaleza de asignatura de síntesis y de un alto grado de aplicación a la vida profesional, debe ser conocedor de la Biotecnología y si recordamos el contenido del primer tema, entonces ese conocimiento de partir desde el conocer su origen y desarrollo histórico de manera de poder construir, en conjunto con el grupo, el contexto necesario para darle significado social a la asignatura.

Debe con su intervención, propiciar las condiciones que lleven a los estudiantes a desarrollar la capacidad para trabajar en equipo y en su caso, coordinar los esfuerzos del conjunto; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía y el deseo permanente de actualización y superación; así como el trabajo cooperativo y la toma de decisiones.

Preferentemente deberá contar con experiencia en el diseño y manejo de biorreactores a fin de poderla compartir con el grupo y poder organizar las actividades de aprendizaje de manera que garanticen el logro de los objetivos planteados, siempre teniendo en mente los conocimientos previos de los estudiantes los estudiantes como punto de partida y como obstáculo para la construcción de nuevos conocimientos.

Como tareas permanentes del profesor se pueden mencionar:

- El propiciar en los estudiantes el reconocimiento de las formas en que logran apropiarse del conocimiento y se ponen en camino de desarrollar o complementar sus competencias. Esto es, ante la ejecución de una actividad, lograr identificar el proceso intelectual que se realizó: una identificación de patrones, un análisis, una síntesis, etc.
- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Ejemplo: Buscar información relativa al desarrollo histórico de la Biotecnología en el mundo y en México y establecer los momentos, hechos y personajes que han marcado hitos en ambos entornos. Otro ejemplo tiene que ver con ubicar áreas de oportunidad locales, estatales, nacionales e incluso internacionales a través de la interpretación de la información que ofrecen los mercados internos y externos de productos biotecnológicos, sus demandas insatisfechas, los recursos subutilizados o desperdiciados, etc., y elaborar propuestas de proyectos que pudieran responder a esas situaciones.
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Ejemplo: al socializar los resultados de las investigaciones y las experiencias prácticas solicitadas como trabajo extra clase.
- Complementando los puntos anteriores, se debe propiciar que en los estudiantes el observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional en los cuales el dominio de la teoría y la práctica en materia de biorreactores se manifiesta como un origen de problemas, por deficiencia o como ventaja, por suficiencia. Por ejemplo las fallas de diseño tan frecuentes en los reactores empleados en el tratamiento de aguas residuales.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios, principalmente, dada la naturaleza de la asignatura, recuperando conscientemente las competencias desarrolladas en las materias que sirven de base a esta asignatura y que ya han sido mencionadas con anterioridad en este documento.
- Propiciar el desarrollo de capacidades intelectuales relacionadas con la lectura, la escritura y la expresión oral. Ejemplos: trabajar las actividades prácticas a través de guías escritas, redactar reportes e informes de las actividades de experimentación, exponer al grupo las conclusiones obtenidas durante las observaciones, exponer proyectos de aplicación de biorreactores a problemas reales de la comunidad.
- Facilitar el contacto directo con materiales e instrumentos, al llevar a cabo actividades prácticas, para contribuir a la formación de las competencias para el trabajo experimental como: identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, trabajo en equipo.
- Propiciar el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, que encaminen hacia la investigación, esto principalmente a través del trabajo práctico, planeado, ejecutado, informado y evaluado con rigor científico.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente; así como con las prácticas de una agricultura sustentable.
- Cuando los temas lo requieran, utilizar medios audiovisuales para una mejor comprensión del estudiante.
- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de la asignatura (procesador de texto, hoja de cálculo, base de datos, graficador, Internet, etc.).

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

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:

- Informes escritos y orales presentados al pleno del grupo de las observaciones hechas durante las actividades, así como de las conclusiones obtenidas de dichas observaciones.
- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas plasmada en documentos escritos.
- Descripción de otras experiencias concretas que podrían realizarse adicionalmente.
- Exámenes escritos para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos.
- Proyectos elaborados a lo largo del semestre que permitan realizar la integración de los contenidos del curso en torno a la solución a un problema o una demanda insatisfecha de la comunidad

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: INTRODUCCIÓN

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
Reconocer las etapas históricas que han definido el desarrollo de la Biotecnología en México y el mundo. Identificar áreas de oportunidad constituidas por demandas de la sociedad que pudieran ser abordadas y resueltas mediante la aplicación de proceso con base biotecnológica. Visualizar las perspectivas del campo en el futuro inmediato y a largo plazo.	<ul style="list-style-type: none">• Instrumentación y realización de 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.• Elaboración y discusión en el grupo de 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.• Elaboración de tablas que resuman las principales industrias biotecnológicas tanto a nivel global como en México, señalando sus principales productos y su contribución a la economía mundial o nacional.• Realizar una investigación en las fuentes de información adecuadas para establecer el estado del mercado exterior mexicano para productos de la industria biotecnológica.• 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, etc., que constituyan áreas de oportunidad para el

Unidad 2: BIORREACTORES

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Reconocer la importancia que tiene el biorreactor en los procesos biotecnológicos.</p> <p>Reconocer e identificar las diferentes configuraciones de biorreactor que se pueden lograr al combinar los diferentes criterios de selección o diseño de que se dispone.</p> <p>Realizar 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>Determinar el volumen de operación requerido en un biorreactor, adecuando el procedimiento a la información disponible.</p> <p>Dimensionar o configurar geoméricamente los diversos tipos de biorreactores, reconociendo la importancia que esta característica tiene para el funcionamiento eficiente del biorreactor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • Realizar ejercicios de cálculo de los diversos procedimientos de diseño de reactores disponibles. • 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. • Según el equipo disponible, realizar prácticas que permitan caracterizar biorreactores en aspectos tales como su 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. • 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. • Realizar los balances de materia y energía más importantes, para diversas configuraciones de Biorreactores, como un medio de deducción de ecuaciones de diseño. • 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. • Revisar, resumir y discutir artículos donde se ejemplifiquen procesos de diseño de

	Biorreactores y su aplicación en procesos en desarrollo o en la industria.
--	--

Unidad 3: PROCESOS DE TRANSFERENCIA

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Especificar las variables de operación implicadas en el correcto desempeño de estos equipos, en sus diversas variantes.</p> <p>Determinar la velocidad de agitación y el regimen de aeración requeridos para lograr una determinada intensidad de agitación o un coeficiente de transferencia de oxígeno, según requerimientos del proceso.</p> <p>Calcular los requerimientos de potencia de un biorreactor agitado y aerado.</p> <p>Calcular el área de contacto necesaria para el funcionamiento de reactores de biopelícula.</p> <p>Determinar tiempos de residencia hidráulicos y celulares para diferentes configuraciones de biorreactor.</p> <p>Determinar el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para diversos tipos de biorreactores.</p> <p>Calcular y dimensionar, con base en balances de energía, el sistema de control de temperatura del biorreactor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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 la 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. • Realizar ejercicios de cálculo de sistemas de agitación y aeración y de control de temperatura para diferentes tipos de Biorreactores.

Unidad 4: ESCALAMIENTO

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Elegir el criterio de escalamiento más adecuado a los requerimientos del proceso.</p> <p>A partir de la información generada en el laboratorio y la planta piloto, realizar el escalamiento del biorreactor a escala de producción</p> <p>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar crítica y analíticamente ejemplos clásicos de escalamiento, identificando los criterios utilizados; las variables críticas del proceso; los elementos conceptuales y las herramientas matemáticas utilizados y 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. • A partir de datos de laboratorio, realizar el

escalamiento de biorreactores de diferente configuración.

Unidad 5: PROCEDIMIENTOS Y EQUIPOS AUXILIARES EN LA OPERACIÓN DE BIORREACTORES

Competencia específica a desarrollar	Actividades de Aprendizaje
<p>Identificar y caracterizar los procedimientos, equipos y accesorios que son indispensables para el funcionamiento del biorreactor. Calcular ciclos de esterilización por lote y continuos.</p> <p>Conocer 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>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar prácticas de laboratorio que le permitan al estudiante manipular, operar y controlar biorreactores a este nivel de operación, enfatizando la utilidad y aplicación de los diferentes componentes que integran el equipo, con especial énfasis en los elementos que integran el núcleo central del equipo, así como los que constituyen la sección de instrumentación y control. • Realizar visitas a industrias que utilicen biorreactores en su proceso para conocer y visualizar las características distintivas de estos equipos; sus componentes principales y accesorios o auxiliares; y su instrumentación y control. • Realizar ejercicios de cálculo de ciclos y equipos de esterilización para biorreactores.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Aiba, S., A.E. Humphrey y N.F. Millis. *Biochemical Engineering*. 2nd. Ed. Academic Press. New York. 1973.
2. Asenjo, J.A. y J.C. Merchuck. (Eds.). *Bioreactor Systems Design*. Marcel Dekker. New York. 1994.
3. Atkinson, B. *Reactores Bioquímicos*. Ed. Reverté. Barcelona. 1986.
4. Atkinson, B. y F. Mavituna. *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*. 2ª. Ed. Stockton Press. 1991.
5. Bailey, J.E. y D.F. Ollis. *Biochemical Engineering Fundamentals*. 2ª. Ed. McGraw-Hill. New York. 1986.
6. Belter, P.A., E.L. Cussler y W.S. Hu. *Bioseparations. Downstream Processing For Biotechnology*. John Wiley and Sons. New York. 1988.
7. Bu'Lock, J. y B. Kristiansen (Eds.). *Basic Biotechnology*. Academic Press. Londres. 1987.
8. Demain, A.L. y N.A. Solomon (Eds.). *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. American Society for Microbiology. Washington. 1986.
9. Doble, M., A.K. Kruthiventí y V.G. Gaikar. *Biotransformations and Bioprocesses*. Marcel Dekker. New York. 2004.
10. Doran, P.M. *Bioprocess Engineering Principles*. Elsevier. New York. 1995.
11. Galindo, E. (Ed.). *Fronteras En Biotecnología y Bioingeniería*. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. México, D.F. 1996.
12. Jackson, A.T. *Process Engineering in Biotechnology*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. 1991.
13. Kargi, F. y M.L. Shuler. *Bioprocess Engineering. Basic Concepts*. 2ª Ed. Prentice-Hall. 2001.

14. Lee, J.M. *Biochemical Engineering*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. 1992.
15. Lyderson, B., N. D'Elia y K.L. Nelson (Eds.) *Bioprocess Engineering: Systems, Equipment and Facilities*. John Wiley & Sons. New York. 1994.
16. Nielsen, J., J. Villadsen y G.L. Liden. *Bioreaction Engineering Principles*. 2ª Ed. Kluwer Academia Publishers. 2003.
17. Quintero Ramírez, R. *Ingeniería Bioquímica*. Alhambra Mexicana. México. 1981.
18. Rehm, H.J. y G. Reed (Eds.). *Biotechnology*. VCH. Verlagsgesellschaft. Weinheim. Volume 1 (1981) - 8 (1986).
19. Scriban, R. *Biotecnología*. Ed. El Manual Moderno. México. 1985.
20. Schügerl, K. *Bioreaction Engineering* Vol. I. John Wiley & Sons. Chichester. 1985.
21. Schügerl, K. *Bioreaction Engineering* Vol. II. John Wiley & Sons. Chichester. 1991.
22. Schügerl, K. y K.H. Bellgardt (Eds.). *Bioreaction Engineering*. Vol. III. Springer-Verlag. New York. 2000.
23. Schügerl, K. y D.A.J. Wase. *Bioprocess Monitoring*. John Wiley & Sons. New York. 1997.
24. Schügerl, K. y A.P. Zeng. *Tools and Applications of Biochemical Engineering Sciences*. Springer-Verlag, New York. 2001.
25. Smith, J.E., D.E. Berry y B. Kristiansen (Eds.). *Fungal Biotechnology*. Academic Press. New York. 1980.
26. Stanbury, P.F. y A. Whitaker. *Principles of Fermentation Technology*. Pergamon Press. Oxford. 1984.
27. Stanbury, P.F. y S. Hall. *Principles of Fermentation Technology* 2ª Ed. Elsevier. Oxford. 1999.
28. Vogel, H.C. y C.C. Todaro. *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*. Noyes Publications. 1996.
29. Wang, D.I.C., C.L. Cooney, A.L. Demain, P. Dunnill, A.E. Humphrey y M.D. Lilly. *Fermentation and Enzyme Technology*. John Wiley & Sons. New York. 1979.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Cinética de crecimiento y acumulación de metabolitos en cultivo en matraz agitado.
- Cinética de crecimiento y acumulación de metabolitos en cultivo en biorreactor de laboratorio.
- Determinación del tiempo de mezclado en biorreactor de tanque agitado con diferentes tipos de impulsores.
- Determinación del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para un reactor de tanque agitado y aerado por el método del sulfito.
- Determinación del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno para un reactor de tanque agitado y aerado por el método dinámico.
- Determinación del efecto de la potencia de agitación y el régimen de aeración sobre el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.
- Determinación de curvas de muerte térmica para microorganismos patrón.
- Determinación de curvas de penetración de calor para biorreactores de laboratorio.