

TALLER DE DISEÑO DE PROCESOS
IQ-58B y BT-65A(10 UD)
Primavera 2009

HORARIO: Cátedra: Lunes y Viernes 16:15: 17:45 hrs
Auxiliar: Viernes 8:30-10:00 hrs.

PROFESORES: María Elena Lienqueo e.mail: mlienque@ing.uchile.cl
Francisco Gracia e.mail: fgracia@ing.uchile.cl
Ricardo Badilla e-mail: rbadilla@biosigma.cl

AUXILIARES:

OBJETIVOS

Generales:

Aprender criterios de diseño conceptual de procesos productivos y de tratamiento de efluentes industriales en las áreas de química, metalurgia y biotecnología, de modo de concebir y crear nuevos diagramas de flujo, así como también mejorar los procesos existentes.

Específicos:

Definir y realizar en grupo un proyecto de diseño conceptual de un proceso industrial. Integrar los conocimientos aprendidos en la carrera. Aprender y utilizar métodos de integración de energía, diseño de sistemas de separación y elaboración de diagramas de flujos para la síntesis de productos y tratamiento de efluentes de la industria de procesos.

CONTENIDOS:

1- Introducción. (Número Clases 2)

Recursos químicos. Operaciones y procesos industriales. Conceptos y fundamentos. Perspectiva histórica. Interacción (Bio)Químico/Ingeniero.

2- Diseño del Diagrama de Flujos. (3)

Estrategia de síntesis. Información preliminar. Procesos discontinuo (*batch*), continuo o semi-continuo. Reciclo, purga, división de corrientes, estructura de entrada y salida del proceso, economía potencial. Representación de diagramas de flujos.

3- Elección del Reactor y Selección de Caminos de Reacción. (3)

Síntesis de laboratorio vs. planta industrial. Elección del reactor y caminos de reacción. Análisis de producción y consumo. Especiación y distribución de flujos de material.

4- Diseño del Sistema de Separación. (4)

Tecnologías de separación. Estructura de los sistemas de separación. Reducción de la carga de separación. Secuenciamiento de operaciones. Selección de fenómenos de separación. Redes de intercambio de materia.

5.-Diseño del Sistema de Integración de Energía. (2)

Requerimientos mínimos de calentamiento y enfriamiento. Número mínimo de intercambiadores. Diseño de redes de mínima energía. Integración energética dentro del proceso productivo. Metodología Pinch.

6- Programación de Procesos Discontinuos. (2)

Programación de productos y operaciones. Carta Gantt. Planificación de la producción. Modelos simples. Plantas multi-producto y multi-propósito.

7- Trabajo en Clases. (15)

Discusión de temas. Exposiciones de tareas y actividades de proyectos.

ACTIVIDADES

Las materias del curso se expondrán oralmente en clases de cátedra (1-2 sesiones/semana). Las clases tienen el carácter de taller, donde se discutirán abiertamente los temas del curso. Los alumnos trabajarán y realizarán exposiciones de sus tareas y actividades de proyecto en clases.

EVALUACION

El curso se evaluará mediante la realización de un proyecto de diseño conceptual de un proceso industrial (dividido en dos informes, nota grupal) y la realización de Ejercicios y Examen (notas individuales). La nota final corresponderá a la siguiente ponderación:

NC = Nota de Controles (Informe Parcial + Informe Final + Examen)/3 \geq 4.0

NE = Nota de Ejercicios \geq 4.0

NF = Nota Final (0.7 x NC + 0.3 x NE)

BIBLIOGRAFIA

- 1- Douglas J.M. "Conceptual Design of Chemical Processes". McGraw-Hill, New York, USA., 1988.
- 2- Mah R.S.H., "Chemical Process Structures and Information Flows". Butterworths. Boston, USA., 1990.
- 3- Rudd D.F., G.J. Powers and J.J. Sirola. "Process Synthesis". Prentice-Hall. Englewood Cliffs, USA., 1973.
- 4- Perry R.H. and D.W. Green (eds.). "Perry's Chemical Engineers' Handbook". Seven Edition, McGraw Hill, USA., 1998.
- 5- Sinnott R.K. "Chemical Engineering Design". Chemical Engineering, Vol. 6, Pergamon Press, Oxford, UK., 1993.
- 6- Smith R. "Chemical Process Design". McGraw-Hill, USA., 1995.
- 7- Seider W.D., J.D. Seader and D.R. Lewin "Process Design Principles - Synthesis, Analysis and Evaluation". John Wiley and Sons, USA., 1999.

RESUMEN

El diseño conceptual de procesos consiste en una actividad creativa para la generación de sistemas de producción industrial. Los sistemas industriales se representan a través de un diagrama de flujos, el que corresponde a un conjunto de operaciones unitarias interconectadas a través de un circuito de corrientes de materia y energía, de acuerdo a una estructura y organización definida. Un proceso industrial corresponde a la transformación ó modificación de las propiedades de una corriente en un producto comercial ó corriente efluente de interés.

La estrategia de diseño de procesos consiste en: a) obtener la información de las características del producto de interés, b) elegir y seleccionar los recursos, insumos, materias primas, materiales y suministros energéticos junto con las tecnologías de procesamiento, c) integrar toda esta información en un diagrama de flujos que especifique los equipos, interconexiones y corrientes de entrada y salida del proceso productivo. También se deben especificar las condiciones de operación y los valores de flujo y composición de las principales corrientes del proceso.

Un proyecto de diseño conceptual de procesos es una actividad preliminar de definición de un sistema productivo a partir del cual se cuenta con los antecedentes y fundamentos para realizar posteriormente evaluaciones técnicas, económicas y de impacto ambiental. Además un proyecto de diseño conceptual permite generar el diagrama de flujos de procesos que se utiliza posteriormente para realizar el diseño del sistema instrumentación y control, diseño de equipos, y diseño y operación de la planta industrial.

Los problemas de diseño para nuevos procesos son indefinidos y muy pocas ideas y nuevos diseños se logran implementar a escala comercial. Es por ello, que una estrategia adecuada para desarrollar un proyecto de diseño conceptual es comenzar con la creación de un diagrama de flujos simplificado y realizar cálculos simples para eliminar rápidamente varias alternativas de diseño que no son factibles de realizar. Posteriormente, una vez completado el diseño preliminar y determinada su pre-factibilidad técnica y económica se realiza un diseño más riguroso y cálculos más detallados para determinar la factibilidad de implementación del proceso. Niveles de diseño en Ingeniería: Perfil, Conceptual, Básica y Detalles.

El procedimiento de diseño se puede simplificar por descomposición del problema en una jerarquía de decisiones: 1- Especificación de un diagrama de flujos, 2- Elección del reactor y selección de los sistemas de reacción, 3- Diseño de los sistemas de separación y selección de las tecnologías de separación, 4- Integración energética y diseño de las redes de intercambiadores de calor, 5- Planificación y programación de la producción, 6- Integración de operaciones y optimización del proceso completo.

APRENDIZAJE Y CAPACIDADES LOGRADAS POR EL ALUMNO

1- Generalidades

- Conocer los fundamentos del diseño de procesos.
- Conocer el desarrollo histórico de algunos procesos.
- Identificar equipos y operaciones dentro de un diagrama de flujos.

2- Diseño del Diagrama de Flujos

- Explicar y comprender un diagrama de flujos e instrumentación de procesos (unidades, corrientes, instrumentos, equipos, operaciones, interconexiones, estructura, organización, enfoque sistémico).
- Analizar procesos industriales (información preliminar, operaciones, condiciones de operación, restricciones técnicas, económicas y ambientales, generación de información mediante el uso de cálculos termodinámicos y cinéticos, resolución de balances de masa y energía).
- Conocer y aplicar la metodología de diseño de procesos (aproximación jerárquica, estructura de entrada y salida, elección del reactor y selección de caminos de reacción, síntesis de flujos de material, tecnologías y secuenciamiento del proceso de separación, integración energética y síntesis del proceso completo).
- Representar los procesos a través de diagramas de entrada-salida, diagrama de bloques, diagrama de flujos e instrumentación de acuerdo a los estándares de ingeniería de procesos (nomenclatura de diagramas, representación de equipos y operaciones, numeración de equipos y corrientes, tabla resumen de balances de masa y energía).

3- Diseño del Reactor y Selección de Caminos de Reacción

- Conocer los diferentes tipos de reacciones.
- Seleccionar caminos de reacción en el caso de rutas alternativas de procesamiento.
- Conocer las aplicaciones de los diferentes tipos de reactores.
- Analizar el efecto de las condiciones de operación del reactor sobre su rendimiento. (efectos de temperatura, presión y concentración).
- Conocer las formas de distribuir las especies y realizar síntesis de flujos de material.

4- Diseño del Sistema de Separación

- Conocer las principales tecnologías para separar mezclas homogéneas y heterogéneas.
- Desarrollar estrategias de separación para mezclas y soluciones en sistemas trifásicos (sólido-líquido y gas), mediante la aplicación del conocimiento de operaciones y el uso de reglas heurísticas.
- Definir y resolver problemas de separación mediante el uso de tecnologías y secuencias de separación (por ejemplo, tratamiento de corrientes de descarte de procesos).

5- Diseño del Sistema de Integración de Energía

- Conocer y aplicar la metodología de integración energética dentro de un proceso (tecnología *pinch*).
- Calcular los requerimientos de calentamiento y enfriamiento dentro de un proceso.
- Diseñar una red de intercambiadores de calor (calcular las cargas de calor mínimas, encontrar la temperatura *pinch*, calcular el número mínimo de intercambiadores de acuerdo a la primera ley, calcular la red de mínima energía ó máximo número de intercambiadores utilizando la primera y segunda ley de la termodinámica).

6- Programación de Procesos Discontinuos

- Conocer la estrategia de diseño y la metodología de planificación de la producción en procesos discontinuos (*batch*).
- Resolver programas de producción simples y confeccionar cartas Gantt para procesos *batch*.

7- Estudio de Casos

- Aplicación de la metodología de diseño conceptual de procesos.
- Desarrollo de un proyecto de diseño conceptual de un proceso industrial, trabajando en grupo y realizando balances y cálculos en programa Excel.

TRABAJOS A REALIZAR

- Objetivos:**
- Diseñar un diagrama de flujos para un proceso industrial.
 - Aplicar los conocimientos y metodologías del diseño conceptual de procesos.

Un **Proyecto** es la realización de una actividad en forma programada de acuerdo a una cierta necesidad. El trabajo en proyectos es una de las principales actividades que todo profesional debe enfrentar en su mundo laboral.

Un proyecto consta de varias partes, como son:

- 1- Una propuesta de proyecto que un **cliente** debe especificar, aprobar y contratar.
- 2- Informes de actividades contratados de acuerdo a la propuesta aprobada.
- 3- Entrega de la obra final o estudio completo de acuerdo a la propuesta contratada.

Un proyecto de ingeniería conceptual de un proceso industrial consiste en realizar un conjunto de actividades para generar un diagrama de flujos del proceso, el cual sirve para realizar una evaluación preliminar de un posible nuevo negocio industrial ó lograr la mejora de un proceso existente.

Contenidos de un Proyecto de Diseño Conceptual de Procesos

- 1- Requerimiento (objetivo): Antecedentes técnicos, económicos, ambientales y sociales para diseñar un proceso, de X ton/año, en tratamiento de efluentes ó producción de compuestos comerciales.
- 2- Definición Conceptual de Proceso:
 - Operaciones unitarias principales.
 - Fortalezas y debilidades ambientales.
 - Recuperación de los subproductos.
 - Confinamiento de los desechos.
- 3- Fundamentos del Proceso:
 - Reacciones químicas principales.
 - Mecanismos de regeneración de reactivos.
 - Antecedentes termodinámicos.
- 4- Resultados Experimentales:
 - Criterios de diseño de las etapas principales.
 - Criterios de escalamiento de operaciones.
 - Consumos específicos de los principales insumos.
- 5- Planos del Proceso;
 - Diagramas de Bloques.
 - Diagrama de Flujos.
 - Diagrama de Instrumentación.
- 6- Memoria de Cálculo:
 - Métodos de Cálculo.
 - Tablas de Balance.
 - Propiedades físico-químicas de compuestos y materiales.

Aproximación Jerárquica al Diseño Conceptual de Procesos

El problema de diseño se puede resolver en partes estructuradas en forma jerárquica según se muestra en la siguiente tabla:

Jerarquía de decisiones

1-	Proceso continuo vs. discontinuo vs. semicontinuo.
2-	Estructura de entrada y salida del diagrama de flujos.
3-	Estructura de reactores, reciclo y purgas del diagrama de flujos.
4-	Estructura general del sistema de separación: (a) Sistema de separación de gases, (b) Sistema de separación de líquidos, (c) Sistema de separación de sólidos.
5-	Red de intercambiadores de calor (integración de energía).

La ventaja de esta aproximación al diseño es que permite calcular las operaciones (equipos) y estimar los costos a medida que se avanza a través de los niveles en la jerarquía. Entonces, si el beneficio (utilidad) económico es negativo, en algún nivel, se debe buscar un proceso alternativo ó un nuevo diseño del proceso ó terminar el proyecto, sin tener que resolver hasta el final el problema de diseño.

Otra ventaja del procedimiento es que se toman decisiones sobre la estructura del diagrama de flujos en varios niveles, sabiendo que si se cambian estas decisiones se generan procesos alternativos. Esto permite encontrar la mejor alternativa de diseño conceptual.

PROYECTO: "Diseño Conceptual de un Proceso Industrial"

Una vez aprobada la "Propuesta" se deberá comenzar a realizar un Proyecto de Diseño Conceptual del proceso asignado. El proyecto consiste en la realización de las siguientes actividades.

Actividad 1: Diseño de un Diagrama de Bloques

Realizar un análisis crítico de los distintos procesos alternativos descritos en la literatura y seleccionar un proceso justificando la elección. Presentar la información preliminar del proceso en estudio. Construir un diagrama de bloques destacando las operaciones y corrientes principales. Construir un diagrama de entrada-salida del proceso. Calcular la economía potencial.

Actividad 2: Diseño de un Diagrama de Flujos Preliminar

Discutir diagramas de flujo alternativos. Incorporar una tabla con las principales variables del proceso, que resuma los balances de materia y energía realizados mediante las actividades de análisis y síntesis del proceso. Seleccionar algunos equipos de proceso. Dibujar un diagrama de flujos preliminar. Especificar los problemas de separación.

Actividad 3: Diseño de un Sistema de Separación

Diseñar los procesos de separación para una o más corrientes del diagrama de flujos presentado en la Actividad 2. Analice distintas secuencias de separación, calcular la carga (costo) de separación y decidir que equipos se necesitan para lograr la separación propuesta. Analice la posibilidad de adicionar reciclos, incorpore las modificaciones realizadas en el diagrama de flujos y evalúe el nuevo proceso obtenido.

Actividad 4: Diseño de Integración de Energía del Proceso

Realizar un estudio de la integración de energía del proceso. Para ello seleccionar algunas corrientes del diagrama de flujos y realizar los diseños de la redes de intercambiadores de calor necesarios. El objetivo es que la energía sea bien aprovechada y se utilice un mínimo de servicios de enfriamiento y calentamiento. Se debe integrar el diseño realizado al diagrama de flujos de su proceso, explicitando los intercambiadores de calor, las corrientes y los servicios utilizados. Calcular el ahorro energético. Se recomienda utilizar una hoja de cálculo (planilla electrónica, Excel) para ordenar la información y presentar los resultados en forma gráfica.

Actividad 5: Diseño Completo del Diagrama de Flujos e Instrumentación

Realizar una síntesis de las cuatro actividades anteriores. Integrar la información y los diseños preliminares. Corregir y mejorar incorporando una visión global del proceso. Presentar un diagrama de flujos e instrumentación completo del proceso donde se muestren las corrientes, equipos, instrumentos, organización y una tabla-resumen de balances de masa y energía para las corrientes principales. Se deben generar los **planos y memorias de cálculo** del proceso en estudio utilizando los estándares de ingeniería.

El Proyecto final se deberá presentar en forma Oral y Escrita mediante la realización de un informe Parcial y un Informe Final.

El Informe Final deberá contener lo siguiente:

- Introducción (antecedentes)
- Objetivos (planteamiento del problema)
- Resultados (desarrollo de cada actividad de diseño)
- Planos y su descripción para los diagramas de:
 - Entrada-salida
 - Bloques
 - Flujos
 - Instrumentación
- Discusión y Conclusiones
- Bibliografía
- Memorias de Cálculo (Planilla Excel).

El reporte tiene que ser editado en MS-Word, corregido e impreso con calidad y tamaño de letra aceptable. Los gráficos y figuras deben ser impresos con buena calidad. Los planos deberán presentarse con impresión clara y ampliada (por ejemplo en plotter con hoja tamaño doble oficio).

Indicación: EL INFORME DEBE SER EJECUTIVO (máximo 15 páginas), PRECISO Y CLARO. NO SE EXTIENDA EN COSAS IRRELEVANTES, EN CASO CONTRARIO REFIÉRASE AL ANEXO. LOS MÁS RELEVANTE ES EL DIAGRAMA DE FLUJOS DE PROCESO, SU DESCRIPCIÓN Y SUS MEMORIAS DE CÁLCULO.

TEMAS DE PROYECTOS

Diseño Conceptual de un Proceso Industrial para producir, recuperar, beneficiar o tratar lo siguiente:

1. Producción de anticuerpos monoclonales para uso terapéutico
2. Producción de vacunas (influenza, artritis, cáncer, alcoholismo)
3. Producción de etanol segunda generación y de productos biorefinería
4. Producción de combustibles a partir de Macroalgas
5. Producción de Biogás
6. Producción de Plásticos degradables
7. Compuestos de Renio Finos (perrenatos)
8. Recuperación de Aluminio de soluciones metalúrgicas mediante extracción por solventes (800 m³/d, 12 g/L de Al).
9. Productos de Limpieza mediante planta multipropósito (lavalozas, limpiadores, detergentes líquidos, etc).
10. Producción de sulfhidrato de sodio (NaSH).
11. Proceso de remoción de sulfato de aguas, (100,000 m³/d, 2 g/L de sulfato, Norma aguas superficiales).

TRABAJOS (SEMANALES):

- 1- Elaboración de una Propuesta de Proyecto.
Formular una propuesta de proyecto de diseño conceptual de un proceso. La propuesta se presentará en forma oral y escrita. Este documento deberá tener a lo más 5 páginas (tamaño carta) y contener lo siguiente: Título, Introducción y Antecedentes Bibliográficos, Objetivos, Actividades a realizar, Costo del trabajo y su Justificación, Plan de Trabajo (tabla ó carta de planificación de actividades en forma semanal) y Bibliografía completa (memorias, patentes, informes, artículos, libros, etc.).
- 2- Diseño del Diagrama de Entrada-Salida.
Información preliminar del proceso en estudio (seleccionar uno). Presentar toda la información compilada del proceso en estudio referente a: condiciones de operación, reacciones, cinéticas, equilibrios, propiedades fisico-químicas de los materiales y compuestos participantes, calidad y precios de mercado para de insumos y productos. Presentación de tabla de corrientes con balance de materiales del diagrama de entrada-salida. Cálculo de la economía potencial. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.
- 3- Diseño del Diagrama de Bloques.
Comparación y selección entre procesos productivos alternativos. Diseño de un diagrama de bloques del sistema productivo seleccionado. Propiedades fisico-químicas de los materiales y compuestos participantes. Síntesis de flujos de material y balances de materia y de energía. Cálculo de la economía potencial. Presentación de tabla de corrientes con balances del diagrama de bloques. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.
- 4- Diseño de los sistemas de separación.
Elegir 2-3 corrientes intermedias principales de su proceso, determinar sus propiedades físico-químicas para explotar su separación, presentar la secuencia de separaciones y calcular las cargas de separación para 2-3 Alternativas tecnológicas de separación en cada corriente elegida. Comparar las alternativas estudiadas y seleccionar los procesos de separación más adecuados. Presentación de tabla de corrientes con balances del diagrama de flujos parcial. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.
- 5- Diseño de los sistemas de integración de energía.
Elegir 2-3 corrientes intermedias principales de su proceso que requieran cambio de temperatura. Determinar las propiedades termo-químicas de las corrientes seleccionadas en el rango de temperatura de su proceso (entalpías, calores de cambio de fase, capacidades caloríficas). Calcular los requerimientos mínimos de calentamiento y de enfriamiento. Definir los servicios auxiliares de calentamiento y de enfriamiento. Hacer un diagrama de cascada. Diseñar las redes de intercambiadores de mínima y de máxima energía. Comparar las alternativas estudiadas y seleccionar el sistema de integración de energía más apropiado para su proceso en estudio. Presentación de tabla de corrientes con balances del diagrama de flujos parcial. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.
- 6- Programación y planificación de la producción.
Tiempos de procesamiento y mantención. Confección de carta Gantt con programación y secuencia de operaciones del proceso productivo. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.
- 7- Diseño del Diagrama de Flujos Completo y del Diagrama de Instrumentación.
Elaboración de un diagrama de flujos completo e instrumentación de equipos principales. Integrar todos los diseños parciales realizados de modo de estructurar un proceso optimizado. Presentar un plano esquemático del proceso con su tabla de corrientes calculada en forma completa. Presentar una descripción completa del plano ilustrativo del diagrama de flujos de su proceso. Presentar las memorias de cálculo en planilla Excel.

INFORME TÉCNICO

Toda propuesta o realización de actividades de proyecto de ingeniería se reporta en un documento escrito denominado informe. Este informe debe presentarse en forma claramente legible, con información muy precisa y ordenada, utilizando tercera persona. No debe extenderse en temas irrelevantes. El informe tiene que ser editado con un procesador de texto, corregido e impreso con calidad y tamaño de letra aceptable. Los gráficos y figuras también deben ser impresos con buena calidad. El informe debe contener las siguientes partes principales:

- 1- Página de Encabezamiento: Esta incluye el título del trabajo, fecha, y nombre de los autores.
- 2- Resumen Ejecutivo Comprende una síntesis completa del trabajo presentado en el informe en 1 página de extensión.
- 3- Antecedentes (Introducción): Consiste en una explicación del trabajo a realizar y una presentación de los antecedentes técnicos y bibliográficos del tema, junto con la metodología a emplear.
- 4- Objetivos y alcances Corresponde a la definición de las metas y logros a alcanzar en el proyecto, especificando el marco del tema y las consideraciones o simplificaciones a realizar.
- 5- Actividades: Se deben presentar las actividades realizadas junto con los resultados del trabajo realizado, en forma resumida. Usar planos, tablas y/o gráficos, según corresponda, y utilizar el sistema internacional de unidades (SI). Indicar los principales criterios, supuestos y confiabilidad de los cálculos reportados.
- 6- Discusión y Comentarios: La discusión consiste en un análisis crítico del trabajo realizado y la comparación de resultados con antecedentes bibliográficos ó de otros proyectos similares. Como comentarios se pueden incluir recomendaciones y sugerencias para mejorar el trabajo realizado ó para formular nuevos proyectos.
- 7- Conclusiones: En esta sección se presenta en forma resumida las diversas deducciones que se originan del trabajo realizado, respaldadas por los resultados obtenidos de acuerdo a las actividades realizadas y en concordancia con los objetivos planteados.
- 8- Bibliografía: Las referencias a la bibliografía se anotan en el texto del informe con un número entre paréntesis, el que corresponde al orden indicado en la sección de bibliografía. La bibliografía debe incluir; autor, título completo, editorial, ó título de la revista, lugar de publicación, volumen, año y N^{os} de páginas.
- 9- Apéndices: Incluye ejemplos de cálculo y presentación de algunos antecedentes ó referencias en forma más detallada. Memoria de cálculo (balances, economía, etc.).