



Guía Docente:

DISEÑO INTEGRADO DE PROCESOS



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2023-2024



I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA:	Diseño Integrado de Procesos
CARÁCTER:	Obligatoria
MATERIA:	Diseño Integrado de Procesos
MÓDULO:	Ingeniería de Procesos y Producto
TITULACIÓN:	Máster en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE:	Primero (primer curso)
DEPARTAMENTO/S:	Ingeniería Química y de Materiales

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo A	
Teoría Seminario Tutoría	Profesor: Julián García González Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QB-545 e-mail: jgarcia@ucm.es

II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

Un proceso químico es un sistema compuesto por corrientes y operaciones unitarias interconectadas. Por ello, el diseño de un proceso requiere tanto de la selección del número y el tipo de las operaciones unitarias como de la correcta integración de las mismas con objeto de conseguir un sistema eficiente. Por tanto, el objetivo fundamental de la asignatura es el de presentar los fundamentos, herramientas y aplicaciones del diseño integrado de procesos con el fin de contribuir a un desarrollo sostenible.

■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar estrategias para lograr el diseño integrado de procesos químicos de forma que estos resulten eficaces y eficientes.
- Utilizar la tecnología pinch para el desarrollo de redes de cambiadores de calor que requieran de un consumo mínimo de servicios de refrigeración y calefacción y asimismo estén formadas por un número mínimo de cambiadores.
- Seleccionar los servicios de refrigeración y calefacción del proceso según criterios de eficiencia energética.
- Diseñar sistemas de abastecimiento de aguas de proceso que maximicen la reutilización del agua, reduzcan la generación de vertidos y minimicen los costes de tratamiento de efluentes.



III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Los propios del Grado en Ingeniería Química.

■ RECOMENDACIONES:

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Estrategias en el diseño integrado de procesos. Síntesis de sistemas de reacción y separación. Integración reacción-separación. Integración energética. Servicios energéticos. Reutilización del agua y minimización de vertidos en plantas de proceso.

■ PROGRAMA:

BLOQUE 1. INTRODUCCIÓN

1. **Estrategias en el diseño integrado de procesos.** Desarrollo sostenible. Diseño de procesos. Ingeniería de sistemas de proceso. Diseño integrado de procesos. Estrategias en el diseño integrado de procesos: Síntesis de sistemas reducibles e irreducibles.

BLOQUE 2. INTEGRACIÓN DE OPERACIONES DE REACCIÓN Y SEPARACIÓN

2. **Síntesis de sistemas de reacción.** Consideraciones iniciales. Ruta de síntesis: Rendimiento y potencial económico. Cinética y termodinámica: Condiciones de reacción. Control de la temperatura del reactor. Configuración del reactor. Redes de reactores.
3. **Síntesis de sistemas de separación.** Objetivos. Operaciones industriales de separación. Criterios de selección. Destilación: Condiciones de operación. Secuencias de destilación. Separación de mezclas azeotrópicas. Mapas de residuos.
4. **Integración reacción-separación.** Funciones de la recirculación y purga. Bombeo y compresión. Optimización: Conversión y purga. Destilación reactiva.

BLOQUE 3. INTEGRACIÓN ENERGÉTICA

5. **Análisis del intercambio de calor en plantas de proceso.** Integración energética e intercambio de calor. Etapas del análisis Pinch. Recuperación de calor entre dos corrientes: Diagramas T vs ΔH . Recuperación de calor entre múltiples corrientes: Curvas compuestas. Servicios energéticos mínimos. Concepto y significado del Pinch: División del problema. Problemas de umbral. Algoritmo de la tabla problema. Estimación de costes. Diferencia mínima de temperaturas. Extracción de datos.
6. **Servicios energéticos.** Servicios generales térmicos: Opciones. Curvas compuestas: Pinch de servicios. Curvas Grand compuestas. Selección y dimensionado. Cogeneración. Análisis energético industrial de complejos de producción (Total Site Analysis).
7. **Evolución y cambios en el proceso.** Objetivos. Principio más/menos. Integración energética de reactores y columnas de destilación.
8. **Diseño de redes de cambiadores de calor.** Representación de redes de cambiadores de calor: Diagramas de tramas. Reglas para el diseño de redes de



cambiadores de calor. Diseño de redes de cambiadores de calor para problemas de umbral. División de corrientes. Diseño de redes de cambiadores de calor para problemas con múltiples Pinches. Análisis del problema remanente: Diagramas de fuerza impulsora. Simplificación y optimización de redes de cambiadores de calor.

BLOQUE 4. REUTILIZACIÓN DEL AGUA Y MINIMIZACIÓN DE VERTIDOS

9. **Análisis de la demanda mínima de agua de un proceso.** Estrategias para la reutilización del agua industrial y la minimización de vertidos. Análisis Pinch del agua. Definición del problema. Demanda mínima de agua sin reutilización. Demanda mínima de agua para un proceso integrado con reutilización. Curva compuesta de concentraciones. Tabla de intervalos de concentraciones.
10. **Diseño de redes de reutilización y ahorro de agua industrial.** Representación de redes de agua: Diagramas de bloques y de tramas. Diseño de redes de agua: Metodología de los intervalos de concentraciones. Simplificación de redes de agua.
11. **Minimización de vertidos mediante regeneración, reciclado y reutilización.** Reutilización con regeneración total o parcial. Reciclado con regeneración. Diseños de redes de agua con cambios de caudal.
12. **Cambios en el proceso para la minimización de vertidos.** Mejoras en la fuerza impulsora. Cambios en la localización del Pinch. El principio más/menos. Gráficos de demandas y fuentes de agua.

V.- COMPETENCIAS

■ BÁSICAS Y GENERALES:

- CG-1. Capacidad para aplicar el método científico y los principios de la ingeniería y economía, para formular y resolver problemas complejos en procesos, equipos, instalaciones y servicios, en los que la materia experimente cambios en su composición, estado o contenido energético, característicos de la industria química y de otros sectores relacionados entre los que se encuentran el farmacéutico, biotecnológico, materiales, energético, alimentario o medioambiental.
- CG-2. Concebir, proyectar, calcular y diseñar procesos, equipos, instalaciones industriales y servicios, en el ámbito de la ingeniería química y sectores industriales relacionados, en términos de calidad, seguridad, economía, uso racional y eficiente de los recursos naturales y conservación del medio ambiente.
- CG-3. Dirigir y gestionar técnica y económicamente proyectos, instalaciones, plantas, empresas y centros tecnológicos en el ámbito de la ingeniería química y los sectores industriales relacionados.
- CG-4. Realizar la investigación apropiada, emprender el diseño y dirigir el desarrollo de soluciones de ingeniería, en entornos nuevos o poco conocidos, relacionando creatividad, originalidad, innovaciones y transferencia de tecnología.
- CG-6. Tener capacidad de análisis y síntesis para el progreso continuo de productos, procesos, sistemas y servicios utilizando criterios de seguridad, viabilidad económica, calidad y gestión medioambiental
- CG-7. Integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de emitir juicios y toma de decisiones, a partir de información incompleta o limitada, que incluyan reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas del ejercicio profesional.



- CG-8. Liderar y definir equipos multidisciplinares capaces de resolver cambios técnicos y necesidades directivas en contextos nacionales e internacionales.
- CG-10. Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nuevas y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor.
- CG-11. Poseer las habilidades del aprendizaje autónomo para mantener y mejorar las competencias propias de la ingeniería química que permitan el desarrollo continuo de la profesión.

■ ESPECÍFICAS:

- CE-1. Aplicar conocimientos de matemáticas, física, química, biología y otras ciencias naturales, obtenidos mediante estudio, experiencia y práctica, con razonamiento crítico para establecer soluciones viables económicamente a problemas teóricos.
- CE-2. Diseñar productos, procesos, sistemas y servicios de la industria química, así como la organización de otros ya desarrollados, tomando como base tecnológica las diversas áreas de la ingeniería química, comprensivas de procesos y fenómenos de transporte, operaciones de separación e ingeniería de las reacciones químicas, bioquímicas y electroquímicas.
- CE-3. Conceptualizar modelos de ingeniería, aplicar métodos innovadores en la resolución de problemas y aplicaciones informáticas adecuadas, para el diseño, simulación, optimización y control de procesos y sistemas.
- CE-4. Tener habilidad para solucionar problemas que son poco familiares, incompletamente definidos o que tengan especificaciones en competencia, considerando los posibles métodos de solución incluidos los más innovadores, seleccionando el más apropiado y poder corregir la puesta en práctica, evaluando las diferentes soluciones de diseño.
- CE-6. Diseñar, construir e implementar métodos, procesos e instalaciones para la gestión integral de suministros y residuos, sólidos, líquidos y gaseosos, en las industriales, con capacidad de evaluación de sus impactos y sus riesgos.
- CE-10. Adaptarse a los cambios estructurales de la sociedad motivados por factores o fenómenos de índole económico, energético o natural, para resolver los problemas derivados y aportar soluciones tecnológicas con un elevado compromiso de sostenibilidad.

■ TRANSVERSALES:

- CT-1. Desarrollar el trabajo de forma autónoma.
- CT-3. Desarrollar sensibilidad y responsabilidad sobre temas energéticos, medioambientales y éticos.
- CT-4. Demostrar razonamiento crítico y autocrítico en busca de la calidad y rigor científicos.



- CT-6. Aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos multidisciplinares, los conceptos, principios, teorías o modelos relacionados con la Ingeniería Química.
- CT-8. Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos multidisciplinares.
- CT-9. Comunicar conceptos científicos utilizando los medios audiovisuales más habituales, desarrollando las habilidades de comunicación oral.
- CT-10. Utilizar herramientas y programas informáticos para el tratamiento y difusión de los resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica.
- CT-11. Desarrollar la capacidad de organización y planificación.
- CT-12. Comprender y aplicar la ética en el ámbito profesional.

VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Se establece un total de 6 créditos ECTS teóricos y prácticos a impartir a lo largo del curso completo. De acuerdo con el criterio de 25 h trabajo alumno/crédito, la distribución horaria queda del siguiente modo:

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas	30	45	3,0
Seminarios/Problemas	15	22,5	1,5
Tutorías/Trabajos dirigidos	4	21	1,0
Exámenes	3	9,5	0,5
Total	52	98	6

VII.- METODOLOGÍA

La práctica docente seguirá una metodología mixta basada en el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje colaborativo y el autoaprendizaje. Esta metodología se desarrollará a través de clases teóricas, de seminarios y de tutorías programadas:

■ Las **clases de teoría** se impartirán al grupo completo. Consistirán en lecciones magistrales en las que se expondrá de forma ordenada el temario de la asignatura. Al comienzo de cada tema se expondrá claramente el contenido y objetivos principales de dicho tema. Al final del tema se hará un breve resumen de los contenidos más relevantes y se plantearán nuevos objetivos que permitirán interrelacionar contenidos ya estudiados. Para facilitar la labor de seguimiento por parte del alumno de las clases



presenciales se le proporcionará con antelación el material docente utilizado por el profesor. La exposición de cada uno de los temas se hará haciendo uso de la pizarra y de presentaciones de imágenes tipo Power Point.

■ Los **seminarios** se impartirán al grupo completo. Tendrán como finalidad la de profundizar en algunos aspectos concretos de la asignatura tratados con un carácter más general en las clases de teoría. Para ello, se trabajará en la resolución de casos prácticos relacionados con el desarrollo de la asignatura.

■ Las **tutorías** se programarán con grupos reducidos. Se propondrá la realización de un trabajo dirigido de diseño integrado de procesos. En las tutorías se resolverán las dudas planteadas por los alumnos durante la realización autónoma de las tareas necesarias para la elaboración del trabajo dirigido y se darán las recomendaciones oportunas. Se fomentará la formulación de cuestiones y la discusión abierta sobre el tema presentado.

Se utilizará el **Campus Virtual** para permitir una comunicación fluida entre el profesor y los alumnos y como instrumento para poner a disposición de los alumnos el material que se empleará tanto en las clases teóricas como en los seminarios.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

■ BÁSICA:

- Kemp, I. A. “*Pinch Analysis and Process Integration*”. Butterworth-Heinemann, 2007.
- Mann, J. G., Liu, Y. A. “*Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization*”. McGraw-Hill, 1999.
- Smith, R., “*Chemical Process Design and Integration*”. Ed. John Willey and Sons, 2005.

■ COMPLEMENTARIA:

- Dimiam, A.C. “*Integrated Design and Simulation of Chemical Processes*”. Elsevier, 2003.
- Douglas, J.M. “*Conceptual Design of Chemical Process*”. McGraw-Hill, 1988.
- Seider, W.D., Seader J. D., Lewin D. R. “*Product and Process Design Principles. Synthesis, Analysis, and Evaluation*”. John Willey and Sons, Inc., 2004.
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., Shaeiwitz, J. A., “*Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*”. Prentice Hall, 2003.

IX.- EVALUACIÓN

El rendimiento académico del alumno y la calificación final de la asignatura se computarán, de forma ponderada, atendiendo a los siguientes porcentajes, que se mantendrán en todas las convocatorias:



■ EXÁMENES ESCRITOS: 70%

Se realizará un examen final de toda la asignatura, que contribuirá en un 70% a la nota. El examen contemplará cuestiones teóricas y prácticas relativas a la docencia impartida en las clases de teoría y seminarios. Será necesario alcanzar una nota mínima de 5 para poder superar este examen y ponderar con el resto de las actividades.

Con los exámenes escritos se valorarán las competencias básicas y generales CG-1, CG-2, CG-3, CG-4 y CG-6, las competencias específicas CE-1, CE-2, CE-6 y CE-10, y las competencias transversales CT-1, CT-3, CT-4 y CT-6.

■ TRABAJO PERSONAL Y ACTIVIDADES DIRIGIDAS: 30%

La evaluación del trabajo de aprendizaje individual realizado por el alumno se realizará teniendo en cuenta dos factores:

- o Entrega de ejercicios prácticos (problemas) por el alumno al profesor previamente a la corrección de aquellos en los seminarios (10%).
- o Se evaluará la realización de un trabajo dirigido desarrollado en grupo cuya dirección y seguimiento se hará en las tutorías (20%).

Las competencias evaluadas en esta actividad serán las competencias básicas y generales CG-7, CG-8, CG-10 y CG-11, las competencias específicas CE-3 y CE-4, y las competencias transversales CT-8, CT-9, CT-10, CT-11 y CT-12.

■ ASISTENCIA Y PARTICIPACIÓN ACTIVA EN LAS CLASES:

Para poder acceder a la evaluación final será necesario que el alumno haya participado al menos en el 70% de las actividades presenciales. La participación activa del alumno en todas las actividades docentes se valorará positivamente en la calificación final; podrá penalizarse la falta de asistencia reiterada a las clases (hasta 10%).



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
<i>Bloque 1. Tema 1.</i>	Clases Teoría	1	1	1ª Semana	1ª Semana
<i>Bloque 2. Temas 2 a 4</i>	Clases Teoría	5	1	2ª Semana	4ª Semana
	Seminarios	4	1		
<i>Bloque 3. Temas 5 a 8</i>	Clases Teoría	14	1	4ª Semana	10ª Semana
	Seminarios	6	1		
<i>Bloque 4. Temas 9 a 12</i>	Clases Teoría	10	1	11ª Semana	15ª Semana
	Seminarios	5	1		
	Tutorías	4	2	Semanas 2ª, 5ª, 9ª y 13ª	



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Clases de teoría	CG-1, CG-2, CG-3, CG-4, CG-6, CE-1, CE-2, CE-6, CE-10, CT-1, CT-3, CT-4, CT-6	Exposición de conceptos teóricos.	Atención y participación activa en el desarrollo de la clase.	Examen escrito.	30	45	75	--
Seminarios/Problemas	CG-7, CE-3, CE-4, CT-8, CT-9, CT-11	Ampliación de los conceptos teóricos y resolución de casos prácticos.	Discusión y resolución de los casos prácticos. Entrega de colección de problemas resueltos.	Resolución de problemas. Examen escrito.	15	22,5	37,5	10%
Tutorías/Trabajos dirigidos	CG-8, CG-10, CG-11, CE-3, CE-4, CT-8, CT-9, CT-10, CT-11, CT-12.	Propuesta de trabajos dirigidos. Ayuda al alumno a elaborar el trabajo con explicaciones y recomendaciones.	Elaboración y presentación del trabajo dirigido.	Valoración del trabajo dirigido.	4	21	25	20%
Exámenes	CG-1, CG-2, CG-3, CG-4, CG-6, CE-1, CE-2, CE-6, CE-10, CT-1, CT-3, CT-4, CT-6, CG-7, CE-3, CE-4, CT-8, CT-9, CT-11	Proponer, vigilar y corregir el examen. Calificar al alumno.	Preparación y realización de los exámenes.	Calificación del examen.	3	9,5	12,5	70%

P: Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación