

PROGRAMA DE CURSO

DINÁMICA Y CONTROL DE PROCESOS

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales				
Nombre del curso	Dinámica y control de procesos	Código	IQ5113	Créditos	6
Nombre del curso en inglés	<i>Process Dynamics and Control</i>				
Horas semanales	Docencia	3,0	Auxiliares	1,5	Trabajo personal
					5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo	
Requisitos	IQ4112: Métodos matemáticos para procesos, IQ4315: Operaciones de transferencia de masa y separación				

B. Propósito del curso:

Al término del curso, el estudiantado demuestra que modela, analiza y controla procesos dinámicos. Además, extienden e integran los conocimientos adquiridos en los cursos previos, enfocado a la elaboración de un modelo dinámico de proceso. Este curso entrega las herramientas fundamentales para analizar las características dinámicas de este modelo, que en conjunto con los objetivos de producción y de control, permiten diseñar un sistema de control. El sistema de control puede ser diseñado, utilizando técnicas clásicas o más recientes.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE2: Modelar y simular procesos industriales, aplicando herramientas de las ciencias, a fin de analizar la prefactibilidad técnica de los procesos.

CE6: Optimizar y adaptar la operación de procesos industriales frente a nuevos escenarios productivos, considerando modificación de materias primas, normativas, y aspectos de sustentabilidad de procesos.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE2	RA1: Plantea y utiliza modelos matemáticos, así como herramientas computacionales para representar procesos dinámicos, analizando sus características dinámicas en lazo abierto y en lazo cerrado.
CE2, CE6	RA2 Selecciona y evalúa esquemas de control para un proceso en base al objetivo de control y las restricciones operacionales que presenta, utilizando técnicas clásicas o recientes.
	RA3 Diseña un sistema de control <i>feedback</i> , seleccionando la variable manipulable y el tipo de controlador clásico en base al objetivo de control y restricciones operacionales para el proceso.
	RA4 Diseña controladores de tipo <i>feedback</i> utilizando metodologías basadas en el modelo de proceso.
	RA5 Diseña un sistema de control <i>feedforward</i> o <i>feedback-feedforward</i> para procesos con perturbaciones de gran impacto.
	RA6: Recomienda una estrategia de control en función de un modelo dinámico, considerando la selección de parámetros fundamentales y la estabilidad del proceso en estudio.

Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA7: Argumenta sobre las soluciones dadas a problemas de sistemas control, respaldando dichos argumentos con evidencia, uso de diagramas de entrada y salida, gráficos de trayectoria de variables de estado del proceso, entre otros, con el cual respaldar sus decisiones profesionales.
CG3	RA8: Evalúa, mediante una reflexión crítica, ética y de carácter profesional, los distintos efectos del diseño para los sistemas de control en el proceso en sí, en el entorno del proceso, la seguridad de los operarios, considerando las características del escenario productivo, ambiental y social, apuntando a que dichos diseños sean pertinentes y de calidad.
CG4	RA9: Trabaja con sus compañeros y compañeras en la resolución de problemas en un tiempo acotado, considerando una participación activa y efectiva de cada integrante del equipo en la ejecución de la tarea, y respetando las ideas del otro al consensuar una propuesta común.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2	Introducción a la dinámica y control de procesos	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Relevancia del control de procesos en la ingeniería de procesos. 1.2. Diseño de procesos en estado estacionario. 1.3. Diseño de procesos en régimen transiente. 1.4. Esquemas de control de tipo feedback y feedforward. 1.5. Variables de proceso y su clasificación. 1.6. Diseño de sistemas de control.		El/la estudiante: 1. Determina la relevancia del control de procesos para las disciplinas de ingeniería Química e Ingeniería en Biotecnología. 2. Analiza ejemplos de diseños de procesos simples que se le presentan, identificando esquemas de control de tipo feedback y feedforward. 3. Clasifica variables de proceso en entradas (perturbaciones y manipulables) y salidas.	

Bibliografía de la unidad	[Ogunnaike, capítulo 1] [Stephanopoulos, capítulos 1 y 2]
---------------------------	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1	Modelación de procesos	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Modelación matemática de procesos químicos y biotecnológicos en estado estacionario y no estacionario.</p> <p>2.2. Grados de libertad y su relación con el control de procesos.</p> <p>2.3. Estudio de modelos de proceso: Estanques en serie, intercambiador de calor, estanques calefaccionados con y sin reacción química.</p> <p>2.4. Definición de función de transferencia y variables desviación. Propiedades de la función de transferencia. Polos y ceros de la función de transferencia.</p> <p>2.5. Modelo de entrada y salida. Sistema en lazo abierto.</p> <p>2.6. Sistemas de primer orden. Sistemas de segundo orden.</p> <p>2.7. Sistemas de alto orden: sistemas interactuantes y no interactuantes, sistemas con retardos y sistemas con respuesta inversa. Sistemas con múltiples polos y ceros en el semiplano derecho e izquierdo.</p> <p>2.8. Modelos en el espacio de estados, rango de aplicación y relación con la función de transferencia.</p> <p>2.9. Linealización de modelos no-lineales: aplicaciones.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Plantea y utiliza modelos matemáticos de procesos en régimen transiente y estacionario. 2. Calcula los grados de libertad de un proceso, identificando su relación con los lazos de control instalables. 3. Utiliza la transformada de Laplace para obtener las funciones de transferencia asociadas a un proceso y analiza sus principales características. 4. Construye diagramas de entrada y salida en base a las variables de proceso y sus funciones de transferencia. 5. Identifica las principales características de un sistema de primer orden en base a sus parámetros canónicos. 6. Analiza sistemas de segundo orden de tipo interactuante y no interactuante. 7. Analiza sistemas de orden superior: con respuesta inversa, con retardo y de orden-(p,q) con múltiples polos y ceros 8. Linealiza modelos de proceso no lineales de una o más variables. 	

Bibliografía de la unidad

[Ogunnaike, capítulos 3 - 8, 10]

[Stephanopoulos, capítulos 4, 5, 6, 8 - 12]

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA3, RA6	Control clásico	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Control feedback, problema servo y de regulación, diagrama de entrada y salida del lazo cerrado.</p> <p>3.2. Tipos de controladores clásicos: P, PI, PID.</p> <p>3.3. Dinámica de los sistemas en lazo cerrado. Efecto del controlador.</p> <p>3.4. Estabilidad: definiciones de Liapunov, BIBO estabilidad. Estabilidad de puntos de operación y de procesos.</p> <p>3.5. Análisis de estabilidad de sistemas lineales: ecuación característica, valores propios, criterio de ubicación de polos y criterio de estabilidad de la matriz de Routh.</p> <p>3.6. Diseño de controladores feedback utilizando criterios de desempeño o criterios empíricos como la curva de reacción.</p> <p>3.7. Análisis de estabilidad de sistemas no lineales.</p> <p>3.8. Análisis de respuesta de frecuencia. Diagramas de Bode y Nyquist.</p> <p>3.9. Control de procesos con grandes retardos. Predictor de Smith. Sistemas con respuesta inversa. Compensador de respuesta inversa. Lazo abierto inestable.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica el problema servo y el problema de regulación en un esquema de control feedback. 2. Analiza la respuesta dinámica del lazo cerrado para controladores clásicos como controlador proporcional (P), proporcional integral (PI) y proporcional, integral y derivativo (PID). 3. Utiliza criterios de localización de polos y el criterio de Routh, para caracterizar la estabilidad de un sistema en lazo abierto o lazo cerrado 4. Sintoniza sistemas de control utilizando criterios de desempeño y empíricos como la curva de reacción. 5. Caracteriza la respuesta de frecuencia de un sistema lineal calculando la razón de amplitud y desfase y utilizando los diagramas de Bode y Nyquist 6. Caracteriza la estabilidad de un sistema en lazo cerrado utilizando el criterio de estabilidad de Bode o de Nyquist. 7. Diseña predictores de Smith para sistemas con grandes retardos. 8. Diseña compensadores de respuesta inversa para procesos con respuesta inversa. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[Ogunnaike, capítulos 11, 14 - 17] [Stephanopoulos, capítulos 15 - 19]</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA4, RA5, RA6	Control basado en modelos	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Control basado en modelos. 4.2. Síntesis directa de controladores. Elección de trayectorias. 4.3. Síntesis directa para sistemas con dinámica compleja: grandes retardos, respuesta inversa, lazo abierto inestable. 4.4. Control por modelo interno (IMC). Función de transferencia del lazo cerrado IMC. Implementación de controladores IMC. 4.5. Control por modelo genérico (GMC). GMC para sistemas de alto orden. 4.6. Métodos basados en optimización. 4.7. Esquema de control feed forward, diseño en estado estacionario y estado no estacionario, aproximaciones de las funciones de transferencia. Ejemplos relevantes en la Ingeniería de Procesos. 4.8. Esquema de control feedforward-feedback, diseño de controlador y consideraciones de implementación. 4.9. Control Inferencial. Control difuso.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Determina las diferencias entre el diseño de sistemas de control centrado en el controlador y el diseño enfocado en las trayectorias. Aplica la técnica de síntesis directa para diseñar controladores <i>feedback</i> para sistemas convencionales o con retardos o respuesta inversa. Diseña sistemas de control, utilizando la metodología de control por modelo interno (IMC). Utiliza el control por modelo genérico para diseñar sistemas de control para procesos no lineales Compara los métodos basados en optimización con otros métodos basados en modelos, determinando sus diferencias. Compara el esquema de control feedforward con el esquema feedback reconociendo los escenarios de aplicación para cada esquema. Diseña un sistema de control feedforward utilizando técnicas dinámicas o de estado estacionario. Diseña sistemas de control que integran las ventajas de los esquemas feedback y feedforward. 	
Bibliografía de la unidad		[Ogunnaike, capítulos 16, 19] [Stephanopoulos, capítulos 21, 22]	

E. Estrategias de enseñanza – aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- **Clases expositivas con participación activa del estudiante:** se plantean y analizan los principales contenidos de la sesión y se trabaja con problemas.
- **Resolución de problemas:** en sesiones de trabajo de la cátedra y clase auxiliar, se les plantean ejercicios que los y las estudiantes analizan, en cuanto a la solución que se le presentan o que deben resolver.
- **Aula invertida (*flipped classroom*):** los y las estudiantes deben preparar con antelación su clase, mediante la revisión de diverso material en video o lecturas, para luego, resolver, problemas diversos problemas que se le presentan.
- **Videos tutoriales:** Los estudiantes tendrán acceso a videos tutoriales de las herramientas computacionales

En el desarrollo de estas estrategias de aprendizaje los estudiantes irán avanzando en alcanzar los resultados de aprendizaje asociadas a las competencias genéricas declaradas en este documento.

F. Estrategias de evaluación:

Al inicio del semestre se informará sobre la propuesta de evaluación, considerando cantidad, ponderaciones y fechas correspondientes.

Para esta propuesta se consideran las siguientes instancias de evaluación:

- Controles parciales (3).
- Resolución semanal de problemas en grupo o de forma individual (actividades en sesión auxiliar).
- Coevaluaciones de trabajo en equipo (asociado a actividades).
- Examen global (1).

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] Process Dynamics and Control, Seborg D., Thomas E., Mellichamp D., Wiley, 2ed., 2004.
- [2] Process Dynamics, Modeling, and Control, by Babatunde A. Ogunnaike, B.A., Ray, W.H., 1ed., Oxford University Press, USA, 1994.
- [3] Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice, Stephanopoulos, G., Prentice/Hall International, 1ed., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.

Bibliografía complementaria:

- [4] Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers, Luyben, W.L., 2ed., McGraw-Hill, Kogakusha, Tokio, 1996.
- [5] Process Systems Analysis and Control, Coughanowr, D.R., McGraw-Hill, 2ed., New York, 1991.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Otoño, 2023
Elaborado por:	J. Cristian Salgado, Felipe Díaz Alvarado, Guillermo Valenzuela
Validado por:	CTD de Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales
Revisado por:	Validador par: Álvaro Olivera CTD de Ingeniería Química, Biotecnología y Materiales