



Ingeniería de Control
Profesional

Guía para el profesor
LSMR1804

Contenido

Métodología del curso.....	¡Error! Marcador no definido.
Temario.....	5
Recursos especiales.....	7
Evaluación.....	8
Notas de enseñanza por tema.....	9
Evidencia.....	16



Metodología del curso

Estimado colega:

El presente documento te servirá como apoyo para la impartición del curso. Encontrarás en forma breve, una revisión general o resumen del contenido, observaciones y apoyos adicionales para impartir de mejor forma los contenidos del curso.

El objetivo de esta materia es proveer a los aprendedores de las herramientas necesarias para desarrollar las competencias en el **modelado, análisis y control de sistemas dinámicos continuos**, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de 15 temas, este es el primer curso del área de control, subsecuentes al actual, continúan el análisis de sistemas discretos y una materia de laboratorio para poner en práctica la identificación, modelado y estructuras de control para sistemas físicos reales.

En el **primer módulo**, de forma progresiva se presentan las definiciones y características que guardan los sistemas de control línea realimentado, se revisan las bases matemáticas que se usarán a lo largo del semestre para el análisis de sistemas de control, las cuales están fuertemente fundamentados en transformada y antitransformada de Laplace así como sus teoremas de análisis; además se revisan las reducciones de sistemas mediante álgebra de bloques y Regla de Mason, se hace énfasis en como la función de transferencia de lazo cerrado nos permite encontrar la salida de un sistema ante cualquier tipo de entrada; se presentan los modelos matemáticos de sistemas eléctricos, mecánicos, térmicos, etc., que son los que comúnmente se intentan controlar en forma automática, finalmente el módulo termina con la revisión de técnicas de linealización para aquellos sistemas que operan dentro de un rango en el cual puede aproximarse un comportamiento lineal de manera adecuada.

En el **segundo módulo**, se comienza con la revisión de las características de las respuestas transitoria y de estado estable tanto para sistemas de primer como de segundo orden, se profundiza en el significado de constantes de tiempo, ganancias, factores de amortiguamiento, frecuencias naturales no amortiguadas; en el caso de sistemas de segundo orden se diferencian las respuestas sin, sub, sobre y críticamente amortiguadas; después, se revisan métodos de identificación de sistemas, para conocer las funciones de transferencia a través de la interpretación de la gráfica de respuesta; luego, se profundiza en el análisis e importancia de la estabilidad absoluta y relativa de los sistemas, al final del módulo se presentan las acciones básicas de control: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D), los efectos de cada una de ellas y sus combinaciones sobre las respuestas de los sistemas.

En el **tercer módulo**, se revisan técnicas avanzadas de control, como lo es el lugar geométrico de las raíces (LGR) para conocer las trayectorias de los polos y ceros cuando la ganancia de un sistema aumenta y por ende como incide esto en el comportamiento de la salida del sistema; se abordan también métodos de respuesta en frecuencia como Diagramas de Bode y Nyquist con el objetivo de un análisis complementario de la operación del sistema de control automático, finalmente se abordan, de forma teórica y con fines meramente ilustrativos, técnicas avanzadas de control moderno; se cierra el módulo con el estudio de la norma estandarizada industrial ISA para el diagramado, dibujo e identificación de instrumentos en un sistemas de control.

Observaciones previas al curso.

El manejo de los tiempos fuera de clase es clave para organizar de manera eficiente la revisión de actividades, preparación de material adicional y consultas externas que pudieran surgir por parte de los aprendedores. Debes contemplar que:

- El curso cuenta con 15 temas, por lo que el avance debe ser un tema por cada semana, anticipa a días de ausentes, puentes y suspensiones para mantenerte dentro del cronograma de avance.
- Dependiendo de tu campus, regularmente se programan dos sesiones de 1.5 horas por semana, de manera menos frecuente pudieran ser tres sesiones de 1 hora por semana, o inclusive una sola sesión semanal de tres horas.
- En el sistema banner, en la opción de libro electrónico de calificaciones podrás revisar las fechas límites de entrega de cada una de las actividades del curso, revisalas al inicio de este, para que puedas programarte de manera eficiente a lo largo del semestre.
- El curso cuenta con 2 exámenes parciales, 1 examen final, un proyecto, 3 evidencias y 6 actividades:
 - Tema 1 y 2 (Actividad 1).
 - Tema 3, 4 y 5 (Actividad 2).
 - Evidencia 1 (Temas 1 al 5).

- Proyecto final (fase 1).
- Primer examen parcial (Temas 1 al 5).
- Tema 6 y 7 (Actividad 3).
- Temas 8, 9 y 10 (Actividad 4).
- Evidencia 2 (Temas 6 al 10).
- Proyecto final (fase 2).
- Segundo examen parcial (Temas 6 al 10).
- Temas 11 y 12 (Actividad 5).
- Temas 13, 14 y 15 (Actividad 6).
- Evidencia 3 (Temas 11 al 15).
- Proyecto final (fase 3).
- Examen final (Temas 1 al 15).

Respuestas a los ejercicios en general.

Con anticipación, antes de encargarlos a los aprendedores, resuelve los ejercicios de las actividades y crea tu propia base de datos de las respuestas de los ejercicios, recuerda que puedes cambiar constantes, valores y detalles en los ejercicios para evitar que todos los semestres sean exactamente los mismos, se sugiere revisar con rúbrica práctica de ejercicios (número de reactivos correctos/número de reactivos totales).

El alumno en clase

En el modelo constructivista se contempla que el aprendedor se responsabilice de su propio conocimiento, aprendan por ellos mismos, sean curiosos e investiguen para plantear preguntas en clase, sean organizados con sus entregas de tareas, creen grupos de estudio, realicen las tareas de manera individual y en forma original siguiendo en todo momento las directrices de integridad académica. Fuera de estos supuestos, el profesor debe:

1. Detectar áreas de oportunidades e insuficiencias en el manejo de:
 - a. Operaciones de reducción algebraicas.
 - b. Resolución de ecuaciones diferenciales mediante transformada de Laplace.
 - c. Operación de la antitransformada de Laplace.
 - d. Técnicas de fracciones parciales.
2. Ofrecer ejercicios y alternativas, para que de manera personal cada aprendedor sea responsable y refuerce su conocimiento en los puntos listados con anterioridad.
3. Cuando las actividades contemplen ejercicios, pedir procedimientos detallados paso a paso, que sean limpios, ordenados y legibles, revisar de forma minuciosa y retroalimentar en forma positiva los errores encontrados, ser justos a la hora de calificar, se recomienda calificar con número de reactivos correctos/número de reactivos totales.

Competencia del curso.

Desarrolla estrategias de control automático para su implementación en procesos industriales de producción.

Temario

Tema 1.	Conceptos básicos de ingeniería de control.
1.1	Importancia de la automatización en el ambiente industrial actual y sus implicaciones.
1.2	Diagrama de bloques funcional de un lazo cerrado de control.
1.3	Definición de sistemas de control lineal, no lineal, lógico y discreto.
Tema 2.	Transformada de Laplace.
2.1	Transformada de funciones forzantes, plano complejo "s" y representación de polos y ceros.
2.2	Transformada inversa de Laplace.
2.3	Función de transferencia, métodos de obtención, polos dominantes y estabilidad.
Tema 3.	Modelación matemática de sistemas dinámicos.
3.1	Modelación basada en ecuaciones diferenciales y función de transferencia.
3.2	Modelación basada en diagrama de bloques y su simplificación.
3.3	Modelación basada en diagrama de bloques y regla de Mason.
Tema 4.	Modelación matemática de sistemas físicos.
4.1	Funciones de transferencia de procesos simples.
4.2	Modelación basada en diagrama de bloques y su simplificación.
4.3	Modelación basada en diagrama de bloques y regla de Mason.
Tema 5.	Conceptos básicos y métodos de linealización.
5.1	Modelos no lineales de sensores.
5.2	Actuadores y sistemas electromecánicos.
5.3	Ventajas y desventajas de linealizar.
Tema 6.	Respuesta transitoria de un sistema de control.
6.1	Respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de primer orden.
6.2	Respuesta transitoria de sistemas de segundo orden.
6.3	Respuesta transitoria para sistemas de orden superior.
Tema 7.	Modelación mediante método gráfico.
7.1	Identificación de los parámetros de primer orden con tiempo muerto.
7.2	Modelos de segundo orden: caso sobreamortiguado y críticamente amortiguado.
Tema 8.	Estabilidad del sistema de control.
8.1	Ecuación característica de un sistema.
8.2	Estabilidad absoluta y relativa: definición de error en estado estable.
8.3	Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz.
Tema 9.	Acciones de control básicas.

9.1	Principios de operación de controladores ON/OFF, P, PI, PD y PID.
9.2	Función de transferencia de controladores contruidos con componentes neumáticos, hidráulicos y electrónicos.
9.3	Comportamiento en estado estable de la respuesta de los sistemas de control lineal en lazo cerrado.
Tema 10.	Controladores PID.
10.1	Funcionamiento y estructuras de controladores PID.
10.2	Métodos de sintonía: Ziegler-Nichols I y criterios integrales.
10.3	Métodos de sintonía: Ganancia última.
Tema 11.	El método de lugar de las raíces.
11.1	Definición de la gráfica del lugar de las raíces.
11.2	Reglas y pasos de construcción de gráficas del lugar de las raíces.
11.3	Método del lugar de raíces para analizar y diseñar sistemas de control sencillos.
Tema 12.	Métodos de respuesta a la frecuencia: gráficas logarítmicas y diagramas de Bode.
12.1	Respuesta a la frecuencia y principales gráficas utilizadas para representarla (gráficas logarítmicas o diagramas de Bode de diferentes funciones de transferencia).
12.2	Función de transferencia de un sistema a partir de sus diagramas de Bode de magnitud y fase.
12.3	Margen de fase y margen de ganancia de un sistema a partir de sus diagramas de Bode.
Tema 13.	Métodos de respuesta a la frecuencia: gráficas polares y estabilidad.
13.1	Gráficas polares de diferentes funciones de transferencia.
13.2	Estabilidad relativa de los sistemas de control de lazo cerrado utilizando los criterios de margen de fase y margen de ganancia.
13.3	Estabilidad absoluta y relativa de sistemas de control de lazo cerrado utilizando el criterio de estabilidad de Nyquist.
Tema 14.	Estrategias avanzadas de control.
14.1	Diferencias entre un servo controlador y un regulador.
14.2	Estrategias de control antealimentado, control de relación y control en cascada.
14.3	Introducción al control óptimo, control adaptable y control inteligente.
Tema 15.	Simbología ISA.
15.1	Simbología ISA para la representación de diagramas de control e instrumentación de proceso.
15.2	Ejemplos de procesos simples de tipo eléctrico, mecánico, electromecánico, electrohidráulico, térmico, o de fluidos.

Recursos especiales

Requisitos especiales	Especificación	Temas en los que se usará
Software	<p>Alternativa 1: Uso del software gratuito GNU Octave. Versión online: https://octave-online.net/ Versión descargable: https://www.gnu.org/software/octave/download</p> <p>Alternativa 2: Uso del software gratuito Scilab: https://www.scilab.org/ Componente Xcos de control para Scilab: https://www.scilab.org/software/xcos/control-systems</p> <p>“El uso y descarga del software deberá apegarse a los términos y condiciones del sitio oficial del fabricante y su uso será responsabilidad de quien lo descargue. Tecmilenio no tiene licencia ni posee los derechos sobre dicho software”.</p>	2 al 13.
Laboratorio	Módulo de control automático en el laboratorio de mecatrónica.	1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 15.

Evaluación

Unidades	Instrumento Evaluador	Puntos
3	Proyecto.	23
6	Actividades.	24
3	Evidencias.	18
1	Primer examen parcial.	10
1	Segundo examen parcial.	10
1	Evaluación final.	15
Total:		100

Actividad	Ponderación
Actividad 1	4
Actividad 2	4
Evidencia 1	6
Proyecto (fase 1)	7
Actividad 3	4
Actividad 4	4
Evidencia 2	6
Proyecto (fase 2)	8
Actividad 5	4
Actividad 6	4
Evidencia 3	6
Proyecto (fase 3)	8
Primer examen parcial	10
Segundo examen parcial	10
Evaluación final	15
Total	100

Notas de enseñanza por tema

Nota

Módulo 1

En este módulo el aprendiz obtendrá información introductoria sobre los sistemas de control, técnicas matemáticas de análisis, reducción de sistemas para encontrar la función de transferencia de lazo cerrado, modelado de sistemas dinámicos y linealización de sistemas.

Tema 1: Conceptos básicos de ingeniería de control

Puntos relevantes:

- Explicar brevemente la evolución de la ingeniería de control automático a lo largo del tiempo, hacer diferencias entre los procesos de manufactura discreta y los procesos industriales por lotes o tipo *batch*, enfocar de manera adecuada la aplicación de la ingeniería de control en cada tipo de industria.
- Identificar y diferenciar los sistemas de control de lazo abierto vs. los de lazo cerrado.
- Reconocer los componentes y variables involucradas en un sistema realimentado (punto de suma, controlador, actuador final, planta, sensor, variable controlada, variable manipulada, señal de retroalimentación).
- Asegurarse de comprender el principio de superposición, homogeneidad e invarianza en el tiempo que poseen exclusivamente los sistemas lineales.

Recomendaciones:

- Desarrollar ejercicios en clase, con ejemplos prácticos de sistemas de control, para que los aprendices identifiquen cada parte del sistema ¿quién es el sensor?, ¿quién es la planta?, ¿quién es el controlador?, etc., también hacer énfasis en ejercicios para identificar quién sería la variable manipulada y quién la variable controlada.
- Revisar las ligas de videos y lecturas en recursos adicionales.
- Revisar el siguiente video como una referencia importante sobre el tema:
 - Castaño, S. (2019, 21 de noviembre). Lazo abierto y lazo cerrado. *Control automático educación*. Recuperado de <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/lazo-abierto-y-lazo-cerrado/>
- Revisar el siguiente material, con información muy relevante sobre los tres primeros temas del curso:
 - Perez, M., Pérez, A., y Pérez, E. (2008). Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo. *Universidad Nacional de San Juan*. Recuperado de <https://www.academia.edu/download/62385450/unidad1y220200316-24640-x231dv.pdf>

Tema 2: Transformada de Laplace

Puntos relevantes:

- Operar de manera adecuada la transformada y antitransformada de Laplace en la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer y segundo orden.
- Ser eficientes en el uso de fracciones parciales.
- Convertir cualquier señal a su equivalente de Laplace.
- Encontrar el valor final e inicial de cualquier sistema descrito en términos de la variable "s".
- Explicar y hacer ejercicios con la función escalón Heaviside.
- Comprender y aplicar los teoremas de traslación compleja y traslación en el tiempo.

Recomendaciones:

- En clase, resolver ejercicios prácticos de ecuaciones diferenciales de primer y segundo orden, con y sin valores iniciales, mediante el uso de transformada y antitransformada de Laplace, procurar que en algunos de estos ejemplos aparezca la necesidad del uso de fracciones parciales.
- Usar ejercicios de los libros de la base de datos de McGraw-Hill, existe variedad de títulos enfocados a ecuaciones diferenciales.
- Practicar con la transformación de Laplace de diversos tipos de señales de entradas (escalones o señales de C.D., senoidales o señales de C.A., rampas, etc.).
- Hacer ejercicios breves para aplicar los teoremas del valor final e inicial, comprobar mediante simulación del software recomendado dentro del curso.

Tema 3: Modelación matemática de sistemas dinámicos**Puntos relevantes:**

- Se tiene que explicar qué es un sistema dinámico, ofrecer ejemplos reales de ellos en la industria, y su relación con las ecuaciones diferenciales.
- Comenzar a introducir los conceptos de respuesta transitoria y de estado estable, la cual se abordará de manera más detallada en el tema 6.
- Comprender formalmente cómo y para qué se obtiene la función de transferencia de lazo cerrado.
- Entender el concepto de la función de transferencia de lazo abierto $G(s)H(s)$, la cual se utilizará en los temas 11, 12 y 13.
- El aprendiz debe adquirir la competencia de resolución de diagramas de bloques, tanto por álgebra de bloques como por Regla de Mason.

Recomendaciones:

- Hacer énfasis en la importancia de la función de transferencia de lazo cerrado.
- Hacer ejercicios de reducción sencilla para encontrar la función de transferencia de lazo cerrado, bajo los siguientes supuestos:
 - Trayectoria directa fraccionaria, realimentación unitaria.
 - Trayectoria directa fraccionaria, realimentación no unitaria y no fraccionaria.
 - Trayectoria directa fraccionaria, realimentación fraccionaria.
- Usar ejercicios del libro de texto y/o libros de apoyo para la reducción de diagramas de bloques, procurar que cada ejercicio sea resuelto tanto por álgebra de bloques como por Regla de Mason, para que el aprendiz decida por sí mismo cuál método es el de su preferencia y/o relacione cuáles estructuras de control convienen ser reducidas por uno u otro método.

Tema 4: Modelación matemática de sistemas físicos**Puntos relevantes:**

- Con el estudio de este tema, el aprendiz debe adquirir las competencias básicas para plantear las ecuaciones de sistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos, de nivel y térmicos.
- Una vez planteadas las ecuaciones, el aprendiz debe ser capaz de transformar su sistema de ecuaciones al dominio de Laplace y encontrar la función de transferencia (relación de la salida entre la entrada).

Recomendaciones:

- En clase hacer ejercicios de muestra para encontrar la función de transferencia de sistemas simples como circuitos RL, RC y RLC, en sus combinaciones serie y paralelo.

- En clase hacer ejercicios de muestra para encontrar la función de transferencia de amplificadores operacionales, que contengan diferentes combinaciones de elementos pasivos en sus impedancias, esto coadyuvará a la práctica de habilidades de reducción de fracciones algebraicas.

Tema 5: Conceptos básicos y métodos de linealización

Puntos relevantes:

- El objetivo principal del tema es que el alumno reconozca que en realidad la naturaleza de todos los sistemas que nos rodean, incluidos los de propósito de control, son sistemas no lineales, pero que, por facilidad matemática, cuando es posible, se linealizan alrededor de un punto de operación contenido dentro de los rangos habituales de operación del sistema.
- Entender y operar el método de linealización mediante series de Taylor.

Recomendaciones:

- Hacer notar, mediante ejemplos reales relacionados con su carrera, algunos fenómenos no lineales como: histéresis, saturaciones, bandas muertas, topes elásticos.
- Usar el libro de texto y los de apoyo para tomar ejercicios y practicar la linealización por medio de series de Taylor.

Módulo 2

En este módulo el aprendiz comenzará a analizar las características y parámetros que definen y distinguen a los sistemas de primer y segundo orden, este último con sus distintos tipos de respuesta, además se ofrecen herramientas para la identificación de sistemas mediante el análisis gráfico de sus curvas de respuesta, se analiza de forma importante la definición de estabilidad, el alumno debe adquirir la competencia para calcular la estabilidad absoluta de un sistema, además deberá ser capaz de encontrar rangos de estabilidad para controladores proporcionales; hacia el final del módulo se introducen las diferentes acciones de control básicas y sus efectos de aplicación sobre las respuestas y comportamientos de los sistemas, cerrando el módulo con un estudio sobre el controlador PID y diferentes técnicas de sintonización.

Tema 6: Respuesta transitoria de un sistema de control

Puntos relevantes:

- En este tema debe quedar muy clara la estructura de los sistemas prototipo de primer y segundo orden.
- Encontrar las respuestas, en el dominio del tiempo, de los sistemas de primer orden sometidos a diferentes tipos de entrada.
- Profundizar sobre la estructura prototipo de los sistemas de segundo orden, relacionar la ubicación de polos con el factor de amortiguamiento, y los diferentes tipos de respuesta que pudieran provocar, conocer el concepto de frecuencia natural amortiguada y no amortiguada.
- Conocer y calcular tiempos de la respuesta transitoria de segundo orden (tiempo pico, de asentamiento, de retardo) y características de magnitud del sobreimpulso para sistemas subamortiguados.

Recomendaciones:

- Hacer ejercicios con la estructura prototipo de los sistemas de primer orden, encontrar la función de transferencia de lazo cerrado, encontrar valores de ganancia y constantes de tiempo.
- Hacer ejercicios donde se contrasten sistemas de primer orden, se compare rapidez, valores de ganancia y errores de estado estacionario.
- Hacer ejercicios con la estructura prototipo de los sistemas de segundo orden, diferenciar los comportamientos sub, sobre, críticamente y sin amortiguamiento.

- Hacer ejercicios para calcular características de la respuesta transitoria de sistemas de según orden (calcular tiempo pico, de establecimiento, de retardo, magnitud del sobre impulso).
- Aplicar teorema del valor final para revisar valores del estado estable, y errores de estado estacionario para sistemas de primer y segundo orden.
- Es recomendable simular en software (GNU Octave, SciLab o plataforma online Control System Academy) diferentes sistemas de primer y segundo orden para afianzar conocimientos sobre los parámetros particulares de cada uno de ellos y los diferentes tipos de respuestas que pueden presentar ante diferentes tipos de entrada.

Comentado [OJVO1]: ¿Será de segundo orden o según el orden?

Tema 7: Modelación mediante método gráfico

Puntos relevantes:

- En este tema se presentan herramientas y métodos gráficos para la identificación de sistemas de primer y segundo orden.
- El aprendiz debe distinguir si la respuesta mostrada en una gráfica corresponde a un sistema de primer o de segundo orden.
- El aprendiz deberá ser capaz de identificar la planta que presenta la reacción mostrada en la gráfica ante entradas escalón claramente definidas.
- Para sistemas de primer orden, se espera que el aprendiz sea capaz de calcular: ganancia, constante de tiempo, y tiempo muerto en caso de que este exista.
- Para sistemas de segundo orden, se espera que el aprendiz sea capaz de calcular: ganancia, frecuencia natural no amortiguada, factor de amortiguamiento y, en caso de existir, tiempo muerto.

Recomendaciones:

- En la explicación del tema han sido agregados un par de ejemplos de identificación, pero se recomienda que el profesor proporcione más ejemplos con el objetivo de que el aprendiz practique de forma más consistente.
- Colocar ejemplos en los cuales los aprendices deban tomar la mejor decisión para seleccionar si el modelo a identificar es primer o segundo orden.
- Una vez obtenidos los modelos, se recomienda simular en software (Octave, SciLab, o la plataforma online de Control System Academy) el modelo obtenido bajo las condiciones de entrada descritas en los ejercicios, y comparar si la respuesta de salida se asemeja a la previamente presentada en el ejercicio, esto con el objetivo de validar la relevancia del modelo obtenido mediante métodos gráficos.

Tema 8: Estabilidad de sistemas de control

Puntos relevantes:

- En este tema se debe hacer énfasis en la importancia de asegurar estabilidad en sistemas de control realimentados y las consecuencias de no hacerlo.
- También mencionar la particularidad de aquellos sistemas que se diseñan para trabajar en forma inestable (osciladores, vibradores, etc.).
- El aprendiz debe distinguir entre los conceptos de estabilidad absoluta y estabilidad relativa.
- El aprendiz debe conocer el concepto de ecuación característica y debe ser competente de obtenerla en caso de que el sistema requiera calcular la función de transferencia de lazo cerrado.
- Se deben generar las condiciones para que el aprendiz se vuelva eficiente en el uso del criterio de Routh-Hürwitz para el cálculo de estabilidad absoluta, principalmente para el cálculo de rangos de ganancias que aseguran estabilidad.

Recomendaciones:

- Mediante software (Octave, SciLab, o la plataforma online de Control System Academy) contrastar respuestas de sistemas estables y sistemas inestables.
- El profesor debe proporcionar ejercicios adicionales para el uso del criterio de Routh Hürwitz tanto para cálculos de estabilidad absoluta como para estabilidad relativa (encontrar rangos de ganancia que aseguran estabilidad) y contrastar los resultados con simulación de software.

Tema 9: Acciones de control básicas

Puntos relevantes:

- El aprendiz debe aprender sobre la acción de control ON-OFF, sus ventajas y desventajas.
- El aprendiz debe aprender a detalle las ecuaciones de las acciones básicas de control (P, I, D) y sus combinaciones.
- El aprendiz debe aprender a detalle los efectos producidos por las acciones básicas de control (P, I, D) y sus combinaciones sobre las respuestas de los sistemas de control.
- El aprendiz debe aprender a reconocer y distinguir los controladores electrónicos, neumáticos e hidráulicos que corresponde a las acciones básicas de control (P, I, D) y sus combinaciones.
- El aprendiz debe aprender a diferenciar los tipos de sistemas (tipo 0, 1, 2, 3, etc.).
- El aprendiz debe ser capaz de presentar un sistema de control en su forma estándar.
- El aprendiz debe aprender a calcular los errores de estado estacionario de acuerdo con el tipo de sistema y la entrada a la que es sometido.
- El aprendiz debe relacionar qué acciones de control pueden cambiar el tipo de sistema, para entonces modificar el error de estado estacionario.
- El aprendiz debe ser capaz de proponer estructuras simples de controladores para modificar: errores de estado estacionario, constantes de tiempo en sistemas de primer orden, ubicación de polos de lazo cerrado, comportamientos sub, sobre y críticamente amortiguados en sistemas de segundo orden.

Recomendaciones:

- Realizar ejercicios variados para calcular errores de estado estacionario, para sistemas de variados tipos (1, 2, 3, etc.) ante diferentes tipos de entradas (escalón, rampa, parabólica) con distintas magnitudes.
- Realizar ejercicios donde el aprendiz deba proponer estructuras de control básicas, para modificar constantes de tiempo en sistemas de primer orden, errores de estado estacionario, y tipos de comportamientos en sistemas de segundo orden. (Mover polos del lazo cerrado).
- Simular los ejercicios para verificar las respuestas de error de estado estacionario y los efectos de las acciones básicas de control sobre los sistemas; se puede utilizar GNU Octave, SciLab, o la plataforma online Control Systems Academy, todos listados en los recursos del curso.

Tema 10: Controladores PID

Puntos relevantes:

- El aprendiz debe identificar la estructura matemática de un controlador PID.
- Se debe hacer énfasis en la revisión del método de sintonización de Ziegler Nichols por curva de reacción.
- El aprendiz debe dominar la competencia de sintonización por Ziegler Nichols última ganancia, tanto en su forma práctica-empírica como el análisis matemático cuando se conoce la estructura de la planta.

Recomendaciones:

- Proporcionar ejemplos y ejercicios adicionales a los aprendices, para reforzar el procedimiento matemático de sintonización.

- Se recomienda hacer simulaciones para conocer el efecto de la acción de control PID sobre los sistemas, y los diferentes comportamientos al cambiar valores de K_p , T_i y T_d .
 - Para las simulaciones se sugiere utilizar los programas libres Octave y SciLab, o las plataformas online como Control Systems Academy, PID Tuner controller y Grau GmbH hardware & software solutions, todos ellos listados en los recursos del tema.
 - De ser posible, hacer prácticas de sintonización PID en el módulo de control automático presente en campus, o en su defecto en los módulos remotos con los que cuenta la Universidad.
 - Mostrar al aprendiz las diferentes estructuras matemáticas de PID existentes (ideal-ISA, serie, paralelo, interactivo, etc.).

Módulo 3.

El tercer y último módulo del curso tiene como objetivo desarrollar en los aprendedores las competencias para el trazado, interpretación y usos de las herramientas del lugar geométrico de las raíces, diagramas de Bode y diagramas de Nyquist, el conocimiento de estas herramientas son esenciales para el análisis y diseño de sistemas de control; el curso cierra con un tema teórico que presenta otras técnicas de control como lo son control robusto, óptimo e inteligente; el último tema del curso está enfocado a la revisión de la norma internacional ISA para el diagramado de instrumentos, tuberías y conexiones en los sistemas de control industrial.

Tema 11: El método del lugar de las raíces

Puntos relevantes:

- El aprendiz debe comprender el concepto de movimiento en la ubicación de los polos de lazo cerrado mediante el aumento de la ganancia del sistema.
- El aprendiz debe ser capaz de dibujar el lugar geométrico de las raíces de un sistema de control.
- El aprendiz debe interpretar el tipo de comportamiento que presentará el sistema, de acuerdo con la ubicación de los polos de lazo cerrado, todo ello mediante la observación del lugar geométrico de las raíces.

Recomendaciones:

- Comenzar dibujando a mano el lugar geométrico de las raíces para sistemas de control sencillos, sin ceros y con polos reales, después se puede aumentar el grado de dificultad con sistemas de control que poseen polos complejos conjugados, y también ceros.
- El aprendiz debe afianzar el concepto y utilidad de los ceros en el lugar geométrico de las raíces.
- Utilizar software como Octave y/o SciLab para corroborar los dibujos del lugar geométrico de las raíces que se obtuvieron previamente a mano.

Tema 12: Métodos de respuesta a la frecuencia: gráficas logarítmicas y diagramas de Bode

Puntos relevantes:

- El aprendiz debe adquirir la competencia, para explicar qué son y la utilidad de los métodos de respuesta en frecuencia.
- El aprendiz debe ser capaz de presentar un sistema de control en su forma estándar.
- El aprendiz debe aprender y saber **dibujar** los efectos individuales de magnitud y fase, en el diagrama de Bode, de la ganancia del sistema, polos y ceros en el origen, polos y ceros de primero y segundo orden.
- El aprendiz debe ser capaz, en el diagrama de Bode, de sumar gráficamente las contribuciones individuales de cada factor, hasta obtener las trazas asintóticas totales de la magnitud y fase.
- El aprendiz debe identificar la frecuencia de cruce ganancia y la frecuencia de cruce de fase, para de esta manera poder utilizar el diagrama de Bode para determinar los márgenes de fase y ganancia y concluir sobre la estabilidad del sistema de control.

Recomendaciones:

- Pedir a los aprendedores el uso de hojas semilogarítmicas para facilitar el trazado de los diagramas de Bode.
- Proporcionar ejercicios adicionales para el trazo manual asintótico de los diagramas de Bode para diversos sistemas de control.
- Al finalizar el trazado, los ejercicios deben estar enfocados también al cálculo de los márgenes de fase y ganancia, para así interpretar la estabilidad del sistema de control.
- Mediante las plataformas online y softwares gratuitos proporcionados en los recursos del tema, contrastar el trazado manual (asintótico) vs. el trazo real hecho por los sistemas computacionales.

Tema 13: Métodos de respuesta a la frecuencia: gráficas polares y estabilidad**Puntos relevantes:**

- El aprendedor debe aprender la metodología para dibujar el diagrama de Nyquist de los sistemas de control, además debe ser capaz para identificar en ese diagrama aspectos importantes como:
 - Estabilidad.
 - Factores de amortiguamiento para sistemas de segundo orden.
 - Tipo de sistemas (Tipo 0, 1, 2, 3, etc.).
- Ser hábil para identificar en la traza si el punto $-1 + j0$ es rodeado o no, en dado caso que sí, si el rodeo es en sentido o contrasentido de las manecillas del reloj, todo esto para efectos de la interpretación de la estabilidad del sistema de control.

Recomendaciones:

- Realizar ejemplos adicionales para el trazado del diagrama de Nyquist, verificarlos y contrastarlos contra los diagramas calculados por los softwares mencionados en la sección de recursos.

Tema 14: Estrategias avanzadas de control**Puntos relevantes:**

- Hacer notar al aprendedor que el control clásico estudiado en el presente curso sigue vigente y con amplio uso en la industria y en aplicaciones tecnológicas, pero que además a lo largo del tiempo han surgido muy diversas estrategias de control que buscan objetivos muy particulares, que con la aplicación de control clásico no sería posible alcanzar, hacer notar que muchas de estas estrategias alternativas están plenamente basadas en control clásico.

Recomendaciones:

- Que el aprendedor investigue adicionalmente a las estrategias mostradas en el tema, otras alternativas de control automático.

Tema 15: Simbología ISA**Puntos relevantes:**

- El aprendedor debe conocer el uso de la norma ISA S5.1.
- Se deben adquirir competencias suficientes para la identificación, dibujo y nomenclatura de los instrumentos más comúnmente usado, así como los tipos de conexión existentes entre ellos.
- El aprendedor debe ser capaz de identificar, mediante el diagrama P&ID, la operación de un sistema de control industrial.

Recomendaciones:

- Realizar ejercicios adicionales de identificación y dibujo de instrumentos y diagramas completos P&ID de procesos de control comunes: nivel, presión, caudal, destilación, intercambiadores de calor, etc.

Evidencia

Evidencia 1, opción 1

Objetivo

Desarrolla el diagrama de bloques y modelo matemático para el sistema de control automático de alguna variable de interés industrial.

Requerimientos

Computadora, internet, calculadora.

Instrucciones para el alumno

1. Un ingeniero de control desea implementar el circuito eléctrico de la figura 1, como parte de un controlador automático en un sistema de nivel; por lo cual necesita hacer un análisis de su respuesta ante condiciones de operación particulares.

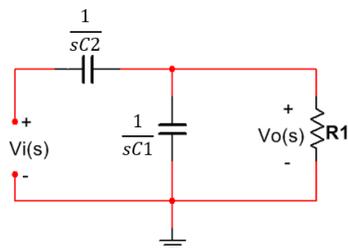


Figura 1. Circuito eléctrico.

2. Plantea las ecuaciones para desarrollar el modelo matemático y encontrar la función de transferencia $V_o(s)/V_i(s)$.
3. Diseñe el modelo matemático del circuito mediante diagrama a bloques.
4. Desarrolla alguna técnica de reducción, álgebra de bloques o Regla de Mason, para el modelo del punto anterior, que permita encontrar la función de transferencia $V_o(s)/V_i(s)$.
5. Compara tus resultados del punto 2 y el punto 3.
6. Suponga una entrada de voltaje DC de 5 volts de amplitud, es decir $v_i(t) = 5$, $R1 = 1K\Omega$, $C1 = 1\mu F$, $C2 = 4\mu F$, sustitúyelos en tu función de transferencia y encuentra:
 - a. Ubicación de polos y ceros de lazo abierto (dibújelos en el plano complejo).
 - b. Ubicación de polos y ceros de lazo cerrado (dibújelos en el plano complejo).
 - c. Usando antitransformada de Laplace, encuentre la salida en el tiempo $v_o(t)$
7. Concluya sobre la importancia del modelado matemático para el análisis de sistemas de control.

Evidencia 1, opción 2

Objetivo

Desarrolla estrategias de control automático para su implementación en procesos industriales de producción.

Requerimientos

Computadora, internet, calculadora, software Octave en línea u Octave/SciLab instalado en la computadora.

Instrucciones para el alumno

1. Selecciona un proceso de producción (cemento, vidrio, acero, plástico, alimentos, etc.) o un proceso de manufactura (automotriz, electrodomésticos, electrónica, etc.) que sea de tu interés.
2. Realiza una investigación, para que obtengas la siguiente información:
 - Las principales etapas del proceso.
 - Identifica cuáles son las variables más importantes de cada etapa del proceso.
 - Identifica cuáles son las variables más importantes de cada etapa del proceso.
 - Reporta el resultado de tu investigación, haciendo las citas adecuadas a las referencias empleadas.
3. Selecciona un lazo de control de las etapas analizadas en el punto anterior e investiga sobre modelos matemáticos basados en ecuaciones diferenciales, aplicables al proceso o planta, sensor y actuador que se emplearía en ese lazo de control.
4. Elabora el modelo del sistema, empleando diagrama de bloques, aplicando transformada de Laplace a los modelos. Considera al bloque del controlador definido como $G_c(s) = K$.
5. Obtener la función de transferencia de lazo cerrado del sistema. Reporta el manuscrito de la aplicación del álgebra de bloques, o Reglas de Mason, y su comprobación, empleando Octave o SciLab. Comenta tus resultados.
6. Ubica los polos y ceros (considera $K=1$):
 - Del sistema en lazo abierto.
 - Del sistema en lazo cerrado.
 - Reporta la gráfica del plano "s" correspondiente a cada caso e indica la estabilidad del sistema. Comenta tus resultados.
7. Utilizando Octave o SciLab calcula la respuesta de salida del sistema en el tiempo, asume que la entrada es un escalón unitario.

Evidencia 2, opción 1.

Objetivo

Diseño de un controlador PID para el proceso industrial de la empresa seleccionada.

Instrucciones para el alumno

1. Un sistema de mezclado $G(s)$ es sometido a una entrada escalón unitario y responde como se muestra en la figura 1, encuentre su modelo matemático.

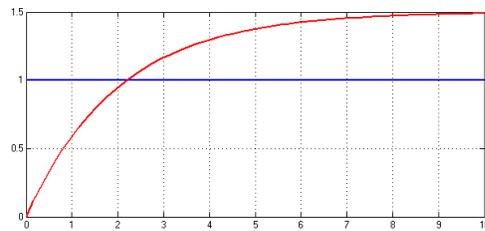


Figura1. Respuesta del sistema de mezclado $G(s)$ ante entrada escalón.

2. El modelo anterior $G(s)$ se conecta en un sistema de control en lazo cerrado, como se muestra en la figura 2.
 - a) Escribe la función de transferencia de lazo abierto del sistema.
 - b) Identifica el tipo de sistema y justifica tu respuesta.
 - c) Calcule el ess ante una entrada $r(t)=2$.
 - d) Adjunta gráfica de la respuesta $c(t)$ a partir de $t>0$ que corrobore el cálculo del punto anterior.
 - e) Calcule el ess ante una entrada $r(t)=4t$
 - f) Adjunta gráfica de la respuesta $c(t)$ a partir de $t>0$ que corrobore el cálculo del punto anterior.
 - g) Diseñe un controlador que elimine ess ante entradas escalón y haga que el sistema en lazo cerrado presente un sobreimpulso del 10%.
 - h) Adjunta gráfica de la respuesta $c(t)$ a partir de $t>0$ que corrobore el cálculo del punto anterior.

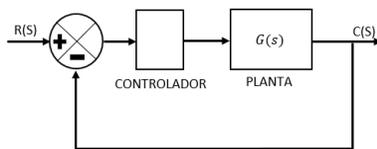


Figura 2. Respuesta del sistema de mezclado $G(s)$ ante entrada escalón.

3. Ahora se conectan tres sistemas mezcladores $G(s)$ en serie como se muestra en la figura 3, y se desea sintonizar un controlador PID.

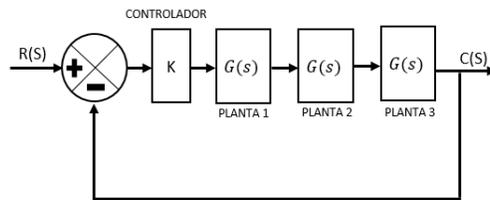


Figura 3. Respuesta del sistema de mezclado $G(s)$ ante entrada escalón.

- Calcula la función de transferencia de lazo cerrado.
- Aplica la sintonización analítica de Ziegler Nichols última ganancia y encuentra los valores de K_c , T_i y T_d .

Evidencia 2, opción 2.

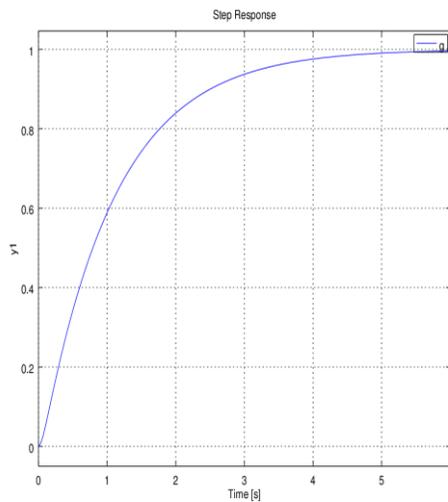
Objetivo

Obtener los parámetros para realizar la sintonización de un controlador PID mediante diversos métodos y analizar los resultados para decidir la mejor opción de acuerdo con la aplicación.

Instrucciones para el alumno

La robótica ha revolucionado la industria manufacturera, particularmente en la fabricación de automóviles. Un brazo articulado de seis ejes es un robot impulsado por un servomotor. Los seis ejes se controlan simultáneamente y son accionados por servomotores de CA compactos de última generación. El resultado es un sistema con aceleración y desaceleración rápidas.

Supongamos que se obtienen los datos del comportamiento de uno de estos motores y se representan mediante la siguiente figura:

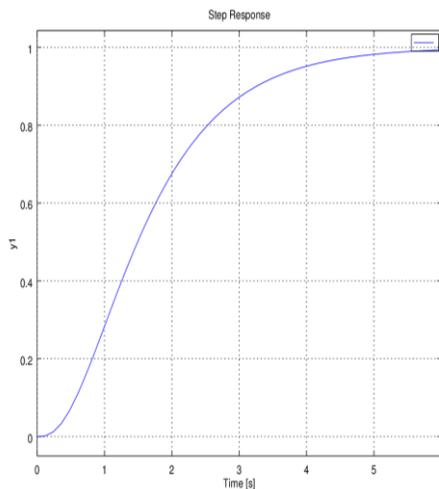
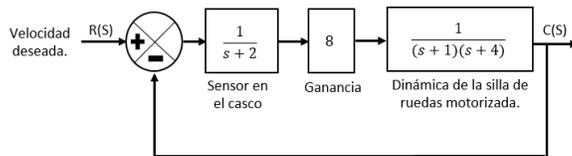


Esta pantalla se obtuvo directamente del software que está explicando en la computadora, para fines educativos.

- Obtener el modelo matemático que representa el comportamiento del motor.
- Obtener los parámetros para tres modelos de controladores: P, PI y PID, empleando el método de Ziegler-Nichols.
- Graficar las respuestas del sistema retroalimentado (considerar la retroalimentación unitaria) con cada uno de los controladores. Puedes emplear la función `step` de Octave.
- Analizar los resultados y seleccionar el controlador más adecuado de acuerdo con la aplicación.

Parte 2

Considera el diseño de una silla de ruedas motorizada que utiliza sensores de velocidad montados en el arnés, de modo que se puedan controlar las direcciones hacia adelante, izquierda, derecha o hacia atrás. Se considera un sensor en un casco para monitorear los movimientos de la cabeza. El diagrama de bloques para este sistema se muestra en la siguiente figura:



Esta pantalla se obtuvo directamente del software que está explicando en la computadora, para fines educativos.

La función de transferencia de lazo abierto y la curva de respuesta correspondiente se muestra en la siguiente figura:

$$\frac{8}{s^3 + 7s^2 + 14s + 8}$$

- Determinar los parámetros mediante el método de Ziegler-Nichols.
- Determinar los parámetros de sintonización del PID, utilizando los métodos integrales para cambios debido a la perturbación.
- Graficar los resultados obtenidos empleando cada uno de los parámetros del controlador PID. Puedes emplear la función step de Octave.
- Discute tus resultados y selecciona el criterio de sintonización más adecuado de acuerdo con la aplicación.

GUÍA PARA EL PROFESOR

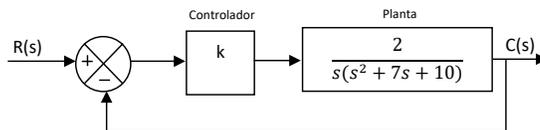
Evidencia 3, opción 1.

Objetivo

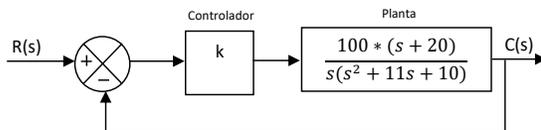
Analizar mediante el lugar geométrico de las raíces los efectos del aumento de ganancia en el comportamiento de los sistemas de control y conocer características de estabilidad mediante métodos de respuesta en frecuencia.

Instrucciones para el alumno

1. Dibuja el LGR para el siguiente sistema e identifique claramente.
 - a. Los lugares de las raíces.
 - b. Centro de la asíntota.
 - c. Ángulo de la asíntota.
 - d. Punto de ruptura.
 - e. Ganancia del punto de ruptura.
 - f. Ganancia de cruce con el eje imaginario.



2. Dibuje el diagrama de Bode (gráfica de magnitud y fase) para encontrar los márgenes de ganancia y fase, determine si es o no estable. En dado caso que no sea estable, con base en el Diagrama de Bode, proponga los valores que deben adoptarse en "k" para:
 - a. Que sea marginalmente estable
 - b. Que sea estable
 - c. Adjunte la gráfica de entrada vs salida, para una entrada escalón unitario $r(t)=1$, asumiendo que no hay controlador ($K=1$)
 - d. Adjunte la gráfica de entrada vs salida, para una entrada escalón unitario $r(t)=1$, con el valor de K encontrado en el inciso a)
 - e. Adjunte la gráfica de entrada vs salida, para una entrada escalón unitario $r(t)=1$, con el valor de K que usted elija siempre y cuando cumpla con lo encontrado en el inciso b)



3. A continuación, se muestra el diagrama de Bode de lazo abierto de dos sistemas de control, calcula sus márgenes de fase y de ganancia e indica si los sistemas son estables o no.

CASO 1:

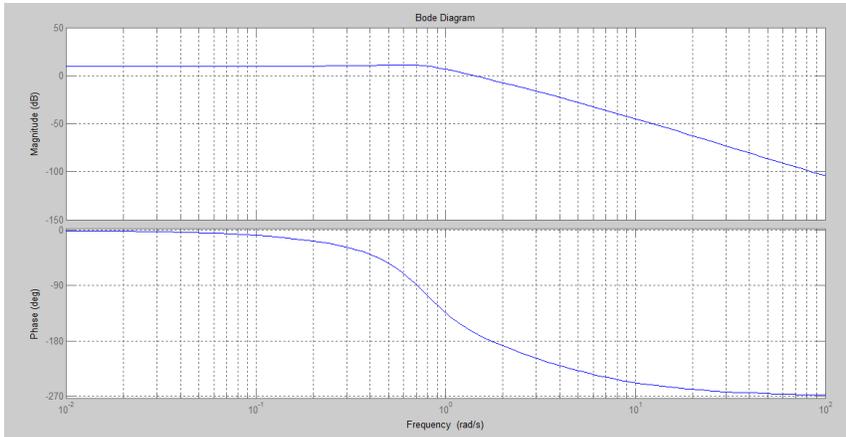


Imagen obtenida del software libre GNU Octave.

CASO 2:

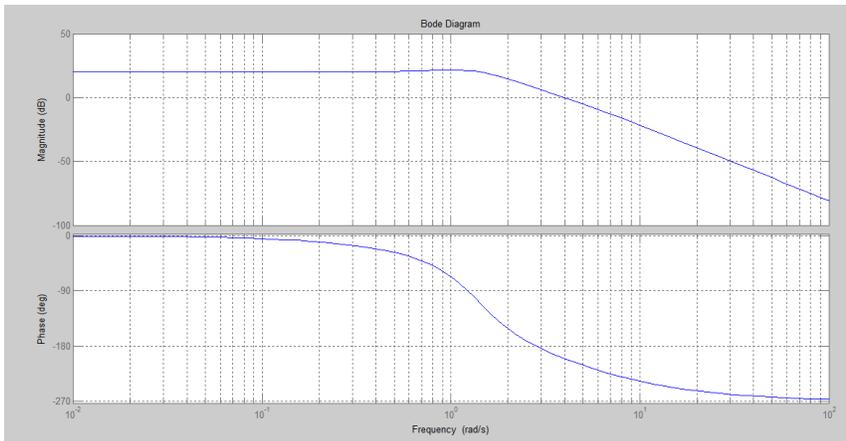


Imagen obtenida del software libre GNU Octave.

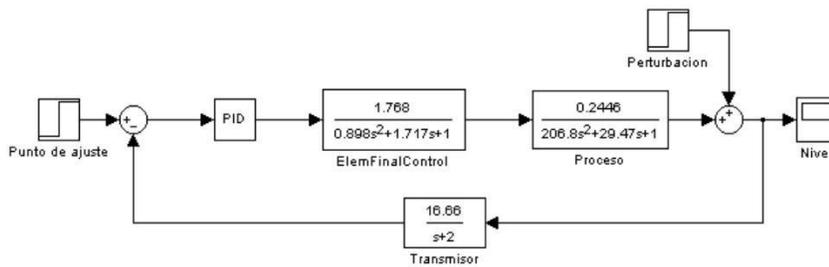
Evidencia 3, opción 2.

Objetivo

Obtener los parámetros para aplicar el análisis de lugar de las raíces, diagrama de Bode y diagrama de Nyquist a un proceso real, así como analizar y proponer alternativas de técnicas adicionales de control.

Instrucciones para el alumno

El laboratorio de control automático puede caracterizarse con el siguiente diagrama a bloques:



Con base en este diagrama realizar lo que se indica, apoyándose para su solución en el programa Octave (considerar que el controlador está definido por K):

1. Obtener el diagrama del lugar de las raíces y determinar el rango máximo de K.
2. Obtener el diagrama de Bode y determinar el margen de ganancia y margen de fase.
3. Obtener el diagrama de Nyquist y determinar el margen de ganancia y margen de fase.
4. Analizar el proceso y aplicar un control cascada que pueda mejorar su respuesta.
5. Sustenta tu propuesta con un razonamiento documentado sobre el proceso y la estructura del control cascada.
6. Dibujar la propuesta empleando simbología ISA.

Evidencia 1, opción 1.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Altamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Plantea las ecuaciones del sistema dinámico de forma adecuada y logra relacionar la salida respecto a la entrada.	20 puntos - 17 puntos	16 puntos – 14 puntos	13 puntos – 0 puntos	20
	1. Plantea correctamente, mediante Leyes de Kirchoff las ecuaciones que modelan el sistema. 2. Sustituye de forma adecuada las ecuaciones, tal que encuentra la relación de $V_o(s)/V_i(s)$.	1. Plantea con ligeros errores, mediante Leyes de Kirchoff las ecuaciones que modelan el sistema. 2. Sustituye de forma competente las ecuaciones planteadas y encuentra un modelo de $V_o(s)/V_i(s)$ que presenta ligeras fallas.	1. No logra identificar que Leyes rigen al sistema, por lo cual no plantea ecuaciones, o lo hace de manera inadecuada. 2. Presenta errores algebraicos en el análisis y no es capaz de encontrar la relación $V_o(s)/V_i(s)$.	
Propone un diagrama de bloques que representa el modelo matemático del sistema que relaciona la salida respecto a la entrada.	20 puntos - 17 puntos	16 puntos – 14 puntos	13 puntos – 0 puntos	20
	1. Establece un diagrama de bloques que cumple en su totalidad con las ecuaciones que modelan el sistema.	1. El diagrama de bloques presenta ligeros errores y no se ajusta a las ecuaciones que modelan el sistema.	1. No establece un diagrama de bloques, o cuenta con errores importantes que alejan a la representación de las ecuaciones que rigen el sistema.	
Reduce el diagrama de bloques mediante álgebra de bloques o Regla de Mason, y encuentra la relación $V_o(s)/V_i(s)$.	20 puntos - 17 puntos	16 puntos – 14 puntos	13 puntos – 0 puntos	20
	1. Aplica correctamente las reglas de reducción y encuentra la relación $V_o(s)/V_i(s)$ que debe coincidir con la encontrada en el primer punto.	1. Aplica reglas de reducción, comete ligeros errores puntuales, la representación encontrada discrepa del modelo que se obtuvo en el primer punto.	1. No aplica de forma adecuada reglas de reducción, ni por álgebra de bloques, ni por Regla de Mason, no es capaz de establecer la relación $V_o(s)/V_i(s)$.	
Encuentra la ubicación de polos y ceros del sistema.	20 puntos - 17 puntos	16 puntos – 14 puntos	13 puntos – 0 puntos	20
	1. Sustituye los valores de los elementos en la función de transferencia, dibuja el plano complejo y ubica de forma adecuada los polos y ceros del sistema.	1. Sustituye los valores de los elementos en la función de transferencia, dibuja el plano complejo y ubica de forma adecuada solo algunos de los polos y ceros del sistema.	1. Errores la sustituir los valores de los elementos en la función de transferencia, no distingue entre polos y ceros y no calcula de forma correcta sus ubicaciones.	
Calcula de forma correcta la antitransformada de Laplace para encontrar la respuesta temporal de la salida.	20 puntos - 17 puntos	16 puntos – 14 puntos	13 puntos – 0 puntos	20
	1. Utiliza de manera adecuada las técnicas de antitransformada de Laplace y encuentra la respuesta de la salida en función del tiempo.	1. Presenta errores en el uso de antitransformada de Laplace, y encuentra una función de salida que se asemeja, pero no es la correcta.	1. No utiliza de forma adecuada la técnica de antitransformada de Laplace, y no encuentra una representación correcta de la respuesta temporal del sistema.	
TOTAL				100%

Evidencia 1, opción 2.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Altamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Identifica los sistemas de control que existen en un proceso industrial.	25 puntos - 22 puntos 1. Identifica correctamente todas las partes de un sistema de control. 2. Ubica, en un diagrama de bloques, todas las partes del proceso.	21 puntos - 18 puntos 1. Identifica la mayoría de las partes de un sistema de control. 2. Ubica, en un diagrama de bloques, la mayoría de las partes identificadas del proceso.	17 puntos - 0 puntos 1. Identifica una minoría de las partes de un sistema de control. 2. No ubica, en un diagrama de bloques, las partes identificadas del proceso.	25
Determina el modelado óptimo para el proceso industrial de la empresa seleccionada.	25 puntos - 22 puntos 1. Obtiene todas las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento de todos los sistemas.	21 puntos - 18 puntos 1. Obtiene la mayoría de las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento de todos los sistemas.	17 puntos - 0 puntos 1. Obtiene la minoría de las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento de algunos sistemas.	25
Desarrolla un análisis adecuado para la reducción del diagrama de bloques del proceso industrial seleccionado.	25 puntos - 22 puntos 1. Aplica de forma correcta la reducción de diagramas de bloques hasta encontrar la función de transferencia de lazo cerrado.	21 puntos - 18 puntos 1. Aplica de forma parcial la reducción de diagramas de bloques, encuentra la función de transferencia de lazo cerrado con mínimos errores.	17 puntos - 0 puntos 1. No aplica de forma correcta reducciones de diagramas de bloques, no encuentra la función de transferencia de lazo o presenta demasiados errores que compromete la fiabilidad del modelo.	25
Calcula la respuesta de salida temporal del sistema, utilizando antitransformada de Laplace.	25 puntos - 17 puntos 1. Aplica de forma correcta la antitransformada de Laplace para encontrar la respuesta del sistema en el dominio del tiempo.	16 puntos - 18 puntos 1. Aplica la antitransformada de Laplace para encontrar la respuesta del sistema en el dominio del tiempo, pero comete ligeros errores en el procedimiento.	17 puntos - 0 puntos 1. No aplica de forma adecuada la antitransformada de Laplace, no encuentra la respuesta de salida del sistema o presenta errores que comprometen su correspondencia con la respuesta real del sistema.	25
TOTAL				100%

Evidencia 2, opción 1.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Allamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Identifica mediante técnica gráfica el modelo matemático de un sistema.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	3. Distingue la gráfica de un sistema de primer orden y uno de segundo orden. 4. Conoce cuales son los parámetros que modelan a cada orden de sistema. 5. Calcula de forma adecuada todos los parámetros que le corresponden al sistema: ganancia, constante de tiempo, factor de amortiguamiento, frecuencia no amortiguada, tiempo muerto, etc.	3. Distingue la gráfica de un sistema de primer orden y uno de segundo orden. 4. Conoce cuales son los parámetros que modelan a cada orden de sistema. 5. Calcula de forma adecuada la mayoría de los parámetros que le corresponden al sistema: ganancia, constante de tiempo, factor de amortiguamiento, frecuencia no amortiguada, tiempo muerto, etc.	3. Confunde las respuestas gráficas de los sistemas de primer y segundo orden. 4. Confunde cuales son los parámetros que modelan a cada orden de sistema. 5. Calcula de forma errónea la mayoría de los parámetros que le corresponden al sistema: ganancia, constante de tiempo, factor de amortiguamiento, frecuencia no amortiguada, tiempo muerto, etc.	
Calcula el error de estado estacionario de un sistema de control.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	2. Identifica la función de transferencia de lazo abierto. 3. Identifica adecuadamente el tipo de sistema. 4. Identifica de forma correcta el tipo de entrada y su magnitud al que es sometido el sistema y calcula de forma satisfactoria el error de estado estable.	2. Identifica la función de transferencia de lazo abierto. 2. Identifica adecuadamente el tipo de sistema. 3. Identifica de forma correcta el tipo de entrada al que es sometido el sistema, pero no toma en cuenta su magnitud y calcula el error de estado estacionario sin aplicar dicha proporcionalidad.	2. Desconoce el uso de la función de transferencia de lazo abierto. 3. No distingue entre los diferentes tipos de sistemas. 4. No identifica adecuadamente ni el tipo de entrada ni su magnitud, el error de estado estable calculado es incorrecto.	
Propone estructuras de control para eliminar ess y modificar algún parámetro de la respuesta.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	2. Propone de manera correcta la estructura que elimina el ess para el tipo de entrada solicitado. 3. Es capaz de ajustar la ganancia para conseguir la premisa de comportamiento solicitado.	2. Propone de manera correcta la estructura que elimina el ess para el tipo de entrada solicitado. 3. Errores algebraicos y aritméticos simples en el cálculo de la ganancia que provoca la premisa de comportamiento deseado	2. La estructura propuesta no sería capaz de eliminar el ess ante la entrada solicitada. 3. No es capaz de calcular de forma correcta un valor de ganancia o existen errores graves algebraicos y aritméticos en el procedimiento.	
Sintoniza controladores PID mediante técnicas de Ziegler Nichols.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	2. Ejecuta de forma adecuada el método de sintonización y encuentra los valores correctos de ganancia del controlador.	2. Errores simples en el procedimiento de sintonización y encuentra valores aproximados o cercanos a los correctos en las ganancias del controlador.	2. No conoce el método de sintonización, errores graves en el procedimiento, ganancias del controlador erráticas o faltantes.	
TOTAL				100%

Evidencia 2, opción 2.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Altamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Identifica los parámetros del sistema de control.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos - 18 puntos	17 puntos - 0 puntos	25
	1. Identifica correctamente todos los parámetros de un sistema de control.	1. Identifica de forma correcta la mayoría de los parámetros de un sistema de control.	1. Presenta deficiencias al aplicar el método de identificación	
Determina parámetros del controlador mediante Ziegler Nichols.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos - 18 puntos	17 puntos - 0 puntos	25
	1. Obtiene, adecuadamente, todos los parámetros del controlador solicitado.	1. Obtiene, de manera adecuada, la mayoría de los parámetros del controlador solicitado.	1. Presenta deficiencias al aplicar los métodos para determinar los parámetros del controlador	
Determina parámetros del controlador mediante Criterios Integrales.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos - 18 puntos	17 puntos - 0 puntos	25
	1. Obtiene, adecuadamente, todos los parámetros del controlador solicitado.	1. Obtiene, de manera adecuada, la mayoría de los parámetros del controlador solicitado.	1. Presenta deficiencias al aplicar los métodos para determinar los parámetros del controlador	
Obtiene la gráfica del sistema retroalimentado, empleando los controladores diseñados.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos - 18 puntos	17 puntos - 0 puntos	25
	1. Obtiene correctamente todas las gráficas de los sistemas retroalimentados. 2. Aplica correctamente los criterios de selección.	1. Obtiene, de forma correcta, la mayoría de las gráficas de los sistemas retroalimentados. 2. Aplica adecuadamente los criterios de selección.	1. Presenta deficiencias al graficar el sistema retroalimentado. 2. No aplica ningún criterio de selección.	
TOTAL			100%	

Evidencia 3, opción 1.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Allamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Dibuja el lugar geométrico de las raíces para un sistema de control.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	6. Identifica correctamente todos los lugares geométricos de las raíces. 7. Calcula de forma adecuada la ubicación del centro de la asíntota. 8. Calcula de forma adecuada todos los ángulos de las asíntotas.	6. Identifica de forma correcta solo algunos de los lugares geométricos de las raíces. 7. Presenta errores simples en la ubicación del centro de la asíntota, la respuesta es una buena aproximación. 8. Calcula de forma adecuada la mayoría de los ángulos de las asíntotas.	1. No identifica de forma correcta ningún lugar geométrico de las raíces. 2. No calcula el centro de la asíntota o presenta errores graves de planteamiento. 3. No calcula los ángulos de las asíntotas o lo hace en forma equivocada	
Identifica correctamente los puntos de interés del lugar geométrico de las raíces.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	5. Calcula de forma adecuada la ubicación del punto de ruptura. 6. Calcula de forma correcta la ganancia del punto de ruptura.	3. Presenta errores simples en el cálculo de la ubicación del punto de ruptura. 4. Presenta errores básicos en el planteamiento del cálculo de la ganancia del punto de ruptura.	5. No calcula la ubicación del punto de ruptura, o lo hace con errores importantes. 6. No calcula la ganancia del punto de ruptura, o el planteamiento es sumamente deficiente.	
Dibuja el Diagrama de Bode.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	4. Dibuja de forma adecuada la contribución en magnitud y fase de todos los factores individuales. 5. Realiza de forma correcta la suma gráfica de todas las contribuciones.	4. Dibuja la mayoría de las contribuciones en magnitud y fase de los factores individuales. 5. Presenta errores simples al momento de sumar gráficamente todas las contribuciones.	4. No dibuja de forma correcta la mayoría de las contribuciones en magnitud y fase de los factores individuales. 5. No dibuja la suma gráfica de contribuciones o presenta errores graves de aplicación del concepto.	
Interpreta el Diagrama de Bode.	25 puntos - 22 puntos	21 puntos – 18 puntos	17 puntos – 0 puntos	25
	3. Identifica de forma correcta los márgenes de fase y ganancia. 4. Propone de forma acertada, usando los márgenes de ganancia, los valores de ganancia del controlador para cumplir las premisas solicitadas.	3. Solo identifica de forma correcta un margen, ya sea el de fase o el de ganancia. 4. Propone de forma empírica, si usar los márgenes de ganancia, los valores de ganancia del controlador, el cumplimiento de las premisas solicitadas es solo aproximado.	3. No identifica de forma correcta ningún margen (ni ganancia ni fase) 4. Los valores de ganancia propuesto no cumplen las premisas de control solicitadas, no se apoya en el margen de ganancia para definir los valores correctos de ganancia en el controlador.	
TOTAL				100%

Evidencia 3, opción 2.

Criterios de evaluación	Nivel de desempeño			%
	Allamente competente 100%-86%	Competente 85%-71%	Aún sin desarrollar la competencia 70%-0%	
Aplica el método del lugar geométrico de las raíces.	35 puntos - 30 puntos	29 puntos – 25 puntos	24 puntos – 0 puntos	35
	6. Aplica correctamente el método del lugar geométrico de las raíces y determina adecuadamente el rango de la ganancia.	1. Aplica el método del lugar geométrico de las raíces con algunos errores menores y determina el rango de la ganancia.	1. Aplica el método del lugar geométrico de las raíces con errores y/o no determina adecuadamente el rango de la ganancia.	
Aplica el método de Bode y Nyquist.	35 puntos - 30 puntos	29 puntos – 25 puntos	24 puntos – 0 puntos	35
	1. Aplica correctamente el método de Bode y Nyquist. 2. Determina adecuadamente margen de ganancia y de fase en cada caso.	1. Aplica el método de Bode y Nyquist, presentando algunos errores. 2. Determina adecuadamente margen de ganancia y de fase en cada caso.	1. Aplica el método de Bode o Nyquist. 2. Determina el margen de ganancia o de fase en cada caso.	
Propone un esquema de control cascada.	30 puntos - 26 puntos	25 puntos – 21 puntos	20 puntos – 0 puntos	30
	1. Estructura adecuadamente un control cascada. 2. Dibuja adecuadamente su propuesta empleando simbología ISA.	1. Estructura un control cascada con algunos errores. 2. Dibuja su propuesta empleando simbología ISA, presenta algunos errores.	1. No estructura adecuadamente un control cascada. 2. No dibuja adecuadamente su propuesta empleando simbología ISA.	
TOTAL				100%