



UNIVERSIDAD DE SONORA
Unidad Regional Centro
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
LICENCIATURA INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Nombre de la Asignatura: ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL ASISTIDO POR COMPUTADORA

| | | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Clave: | Créditos: 8 | Horas totales: 80 | Horas Teoría: 1 | Horas Práctica: 4 | Horas Semana: 5 |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|

Modalidad: Presencial **Eje de formación:** Especializante

Elaborado por: DR. CARLOS FIGUEROA NAVARRO, M.C. CARLOS ANAYA EREDIAS

Antecedente: **Consecuente:**

Carácter: Optativa **Departamento de Servicio:** Ingeniería industrial

Propósito:

La asignatura pertenece al eje especializante y es de carácter optativa. El principal propósito es proporcionar a los estudiantes los aspectos fundamentales y básicos del control de sistemas con retroalimentación. Asimismo, aplicar software apropiado para diseñar controladores utilizando técnicas de control robusto, control óptimo y cálculo fraccionario

I. Contextualización

Introducción:

Esta materia introduce al alumno al estudio computacional de los controles automáticos, los cuales tienen una intervención cada vez más importante en la vida diaria, desde los simples controles que hacen funcionar un tostador automático hasta los complicados sistemas de control necesarios en maquinaria o sistemas de manejo de robots. Además, el control automático se ha convertido en parte importante de los procesos de manufactura. Por ejemplo, el control automático resulta esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad, flujo en las industrias de procesos, maquinado, manejo y armado de piezas mecánicas en las industrias de fabricación.

En la actualidad en las fábricas e instalaciones industriales, se hace cada día más necesario de disponer de sistemas de control, que permitan mejorar y optimizar una gran cantidad de procesos, en donde la sola presencia humana es insuficiente para operar y administrar. La industria espacial y de la aviación, petroquímica, papelera, textil, del cemento, son algunos ejemplos de lugares en donde se necesitan sistemas de control, cuya complejidad tiene como consecuencia el desarrollo de técnicas dirigidas a su planeación y construcción.

El control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Como los avances en la teoría y práctica del control automático brindan los medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar los costos de producción y reducir la complejidad de muchas rutinas.

Los sistemas de control son sistemas dinámicos y un conocimiento de la teoría de control proporcionará una base para entender el comportamiento de tales sistemas. Esta teoría es solo una parte de una teoría más general que estudia el comportamiento de todos los sistemas dinámicos.

En todos los sistemas de control se usan con frecuencia componentes de distintos tipos, por ejemplo, componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y combinaciones de estos. Un Ingeniero en

Mecatrónica que trabaje con control debe estar familiarizado con las leyes físicas fundamentales que rigen estos componentes. Sin embargo, en muchos casos entre los estudiantes poseen los fundamentos físicos como conceptos aislados con muy pocos lazos de unión entre ellos. El estudio de los controles automáticos puede ser de gran ayuda para establecer lazos de unión entre los diferentes campos de estudio haciendo que los distintos conceptos se usen en un problema común de control.

Las unidades didácticas del curso son:

la Unidad didáctica I trata de la introducción a los sistemas de control. El sistema de control la vez es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema.

En la Unidad didáctica II se presenta el modelo matemático de un sistema de control con retroalimentación. Los estudios de sistema de control se basan en la solución de ecuaciones diferenciales. La transformada de Laplace simplifica el análisis. Esta teoría ofrece una visión gráfica de las propiedades de estabilidad de un sistema y permite el cálculo gráfico de la respuesta frecuencial. Es decir, el estudio emplea modelos matemáticos. Se describe un sistema físico por un conjunto de ecuaciones matemáticas.

En la Unidad didáctica III se estudia los sistemas de control lineales. Los sistemas de control realimentados son modelos ideales para simplificar el análisis y diseño. Cuando las magnitudes de las señales en un sistema de control están limitadas en intervalos en los cuales los componentes del sistema exhiben una característica lineal, (es decir que se puede aplicar el principio de superposición), el sistema es esencialmente lineal.

En la Unidad didáctica IV se estudia campo de la simulación de sistemas los sistemas de control no lineales. En esta unidad se aborda el control no lineal, tema importante por el efecto que han producido los avances tecnológicos, los cuales han generado una gran cantidad de problemas y aplicaciones que son no lineales. Por ejemplo, fenómenos no lineales tales como equilibrios múltiples, ciclos límite, bifurcaciones, corrimiento de frecuencias y caos, se observan comúnmente en aplicaciones en ingeniería; tales como sistemas de comando de vuelo, manipuladores robot, sistemas de autopistas automatizadas, estructuras de ala de avión, y sistemas de inyección de combustible de alto rendimiento, por mencionar algunos ejemplos.

En la Unidad didáctica V se cubre el modelo basado en el diseño de controladores. En esta unidad se estudian las acciones de control básicas utilizados en los sistemas de control automáticos industriales. También se estudian las formas de compensar los servo sistemas.

En la Unidad Didáctica VI se aborda el diseño de controladores PID. En esta unidad el alumno conoce el controlador PID ampliamente usado, PID es el acrónimo de proporcional integral y derivativo. En efecto, cuando se tiene capacidad de emplear la derivada e integral de la señal del error, esto conlleva a que se puede diseñar un controlador en tiempo continuo más general como aquel que tiene solo componentes de suma o resta, amplificadores o atenuadores.

En la Unidad Didáctica VII se estudia el diseño de sistemas de control robusto. En esta unidad se conceptualiza el control robusto como aquel que busca aproximar el modelo por uno lineal de coeficientes constantes, asumiendo que se incurre en un error de modelado. Este error es considerado como incertidumbre del modelo frente a la planta física real, y utiliza esta incertidumbre, que se modela y acota para cada problema, en el proceso de diseño del controlador.

En la unidad didáctica VIII se estudia controladores de orden fraccional, donde el alumno conoce los elementos del control fraccionario, como el conjunto de aplicaciones del cálculo fraccionario en teoría de control. Los alumnos deben conocer cómo el cálculo fraccionario se aplica en sistemas de control, por tanto, se deben estudiar

los fundamentos del cálculo fraccionario y luego su implementación en el diseño de controladores y filtros fraccionarios, pasando por el análisis de sistemas.

Perfil del(los) instructor(es):

Poseer Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica
Preferentemente con grado académico de maestría o especialidad
Con experiencia docente y desarrollo profesional comprobada cuando menos de dos años en el campo de la materia.

II. Competencias a lograr

Competencias genéricas a desarrollar:

- **Capacidad de aprender y actualizarse permanentemente.** Articula saberes de diversos campos y establece relaciones entre ellos y su vida cotidiana.
- **Trabajo colaborativo.** Asume una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.
- **Capacidad para la toma de decisiones.** Evalúa y sopesa información importante para identificar los aspectos relevantes. Define la prioridad para la solución del problema en términos de impacto y urgencia.
- **Capacidad para realizar investigación básica y aplicada.** Identifica los sistemas y reglas o principios medulares que subyacen a una serie de fenómenos.
- **Competencia Digital.** Aplica herramientas digitales para el pensamiento reflexivo, la creatividad y la innovación.

Competencias específicas:

- HABILIDAD PARA DESARROLLAR SISTEMAS DE CONTROL Y DE AUTOMATIZACIÓN
 - Aplicar los conocimientos aprendidos para el diseño y simulación de algoritmos de control empleando entornos de software especializado.

Objetivo General:

Entender el sistema de control como un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Asimismo, tener los elementos necesarios para el diseño de controladores robustos.

Objetivos Específicos:

1. Conocer los aspectos generales del problema de control.
2. Conocer el control realimentado como aquel que tiende, a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada al sistema estudiado.
3. Identificar un sistema de control lineal como aquel que se puede aplicar el principio de superposición.
4. Brindar una introducción rigurosa a los conceptos fundamentales de la teoría de sistemas no lineales y a técnicas modernas de análisis y diseño de sistemas de control no linealizado.
5. Entender el diseño de controladores en aplicaciones industriales.
6. Identificar el controlador PID como aquel que emplea diferenciadores (D) e integradores (I).
7. Conocer los elementos para el control robusto a través de diseño de un sistema de control con la obtención de un modelo matemático de una planta física.

8. Conocer las características del control fraccionario, entendido éste como el conjunto de aplicaciones del cálculo fraccionario en teoría de control.

Unidades Didácticas:

Unidad Didáctica I – INTRODUCCIÓN

Unidad Didáctica II – MODELO MATEMÁTICO DE UN SISTEMA DE CONTROL CON RETROALIMENTACIÓN

Unidad Didáctica III – SISTEMAS DE CONTROL LINEALES

Unidad Didáctica IV – SIMULACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL NO LINEALES

Unidad Didáctica V – MODELO BASADO EN EL DISEÑO DE CONTROLADORES

Unidad Didáctica VI – DISEÑO DE CONTROLADORES PID

Unidad Didáctica VII- DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL ROBUSTO

Unidad Didáctica VIII- CONTROLADORES DE ORDEN FRACCIONAL

III. Didáctica del programa

Unidades Didácticas:

Unidad didáctica I. introducción a la teoría de control

En la unidad I, el alumno adquiere los conocimientos sobre los aspectos generales del problema de control, que consiste en seleccionar, de un conjunto específico o arbitrario de elementos o parámetros aquellos que, aplicados a un sistema fijo, hagan que este se comporte de una manera predeterminada. El sistema de control la vez es es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema.

- Introducción al control realimentado
- MATLAB.

Unidad didáctica II. Modelo matemático de un sistema de control con retroalimentación

En la unidad II, el alumno conoce el control realimentado como aquel que tiende, a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia, comparando ambas y utilizando la diferencia como variable de control.

Los primeros estudios de sistema de control se basan en la solución de ecuaciones diferenciales. La transformada de Laplace simplifica el análisis. Esta teoría ofrece una visión gráfica de las propiedades de estabilidad de un sistema y permite el cálculo gráfico de la respuesta frecuencial.

El estudio emplea modelos matemáticos. Una vez, descrito un sistema físico por un conjunto de ecuaciones matemáticas, estas se transforman para lograr un determinado modelo matemático y, una vez logrado esto, es independiente la manera de analizarlo, tanto si el sistema es de naturaleza eléctrica, mecánica o de cualquier

otra.

- Transformada de Laplace
- Función de transferencia
- Función de transferencia de sistemas multivariables
- Modelación en la representación del espacio de estados
- Modelación con diagramas de bloque interconectados
- Problemas.

Unidad de didáctica III. Sistemas de control lineales

En la unidad III, el alumno adquiere los conocimientos sobre los sistemas lineales, sin embargo, estos no existen en la práctica, ya que todos los sistemas físicos son no lineales en algún grado. La mayoría de los sistemas de la vida real tienen características no lineales. Los sistemas de control realimentados son modelos ideales para simplificar el análisis y diseño. Cuando las magnitudes de las señales en un sistema de control están limitadas en intervalos en los cuales los componentes del sistema exhiben una característica lineal, (es decir que se puede aplicar el principio de superposición), el sistema es esencialmente lineal. En la mayoría de los sistemas de control lineales, la salida debe seguir la misma forma de la entrada, pero en los casos que la salida no verifique la misma forma de la entrada, para ser considerado un sistema lineal la salida deberá reflejar los mismos cambios generados en la entrada.

- Propiedades de los sistemas de control lineal
- Análisis en el dominio del tiempo
- Simulación numérica de sistemas de control lineal
- Análisis en el dominio de la frecuencia
- problemas

Unidad de didáctica IV. Simulación de los sistemas de control no lineales

En la unidad IV, el alumno aborda el control no lineal, tema importante por el efecto que han producido los avances tecnológicos, los cuales han generado una gran cantidad de problemas y aplicaciones que son no lineales. Por ejemplo, fenómenos no lineales tales como equilibrios múltiples, ciclos límite, bifurcaciones, corrimiento de frecuencias y caos, se observan comúnmente en aplicaciones en ingeniería, tales como sistemas de comando de vuelo, manipuladores robot, sistemas de autopistas automatizadas, estructuras de ala de avión, y sistemas de inyección de combustible de alto rendimiento. Tales fenómenos no lineales no se pueden describir mediante dinámica de modelos lineales lo que significa una razón para el uso de modelos no lineales y el desarrollo de conceptos y herramientas de sistemas no lineales de control.

- Introducción al simulink
- Modelación de sistemas de control no lineal
- Linealizar modelos no lineales
- Problemas.

Unidad de didáctica V. Modelo basado en el diseño de microcontroladores

En la unidad V, el alumno entra al problema de diseñar sistemas de control de acuerdo a normas de funcionamiento. Como ya se sabe un control automático compara el valor efectivo de salida con el valor deseado, determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a un valor cercano a cero. A lo anterior se denomina acción de control. En esta unidad se estudian las acciones de control básicas utilizados en los sistemas de control automáticos industriales. También se estudian las formas de compensar los servo sistemas.

- Control optimo lineal
- Sistemas de control en tiempo discreto
- Selección de matrices de peso
- Controladores basados en sistema realimentados
- Algoritmo Bass- Gura
- Algoritmo de Ackermann
- Sistemas de control multivariados y desacoplados.

Unidad didáctica VI. Diseño de controladores PID

En La unidad VI, el alumno conoce el controlador PID ampliamente usado, PID es el acrónimo de proporcional integral y derivativo. En efecto cuando se tiene capacidad de emplear la derivada e integral de la señal del error esto conlleva a que se puede diseñar un controlador en tiempo continuo más general como aquel que tiene solo componentes de suma o resta, amplificadores o atenuadores. El PID emplea diferenciadores (D) e integradores (I) lo que lo hace más versátil y lo ha convertido en uno de los más importantes dispositivos de control.

- Introducción
- Formula Ziegler-Nichols
- Formula Tunning
- Controlador PID-Tunning
- Diseño de control óptimo.

Unidad didáctica VII. Diseño de sistemas de control robusto

En La unidad VI, el alumno conoce los elementos para el control robusto. El primer paso en el diseño de un sistema de control es la obtención de un modelo matemático de una planta física. En ciertos casos el modelo puede ser no lineal, de parámetros distribuidos, o de alto orden. Un modelo de orden elevado y complejo desde el punto de vista de la dinámica no resulta del todo útil, ya que complica demasiado el proceso de diseño, dando además como resultado controlador de alto orden. Surge la pregunta de si el controlador diseñado para el modelo obtenido funciona satisfactoriamente para simular la planta real. Para responder esta pregunta, se ha desarrollado una teoría de control conocida como control robusto desde el año 1980. En control robusto se busca aproximar el modelo por uno lineal de coeficientes constantes, asumiendo que se incurre en un error de modelado. Este error es considerado como incertidumbre del modelo frente a la planta física real, y utiliza esta incertidumbre, que se modela y acota para cada problema, en el proceso de diseño del controlador.

- Introducción
- Control lineal cuadrático Gaussiano
- Descripción del problema de control robusto
- Diseño de controladores.

Unidad didáctica VIII. Controladores de orden fraccional

En La unidad VI, el alumno conoce los elementos del control fraccionario, entendido éste como el conjunto de aplicaciones del cálculo fraccionario en teoría de control. Los alumnos deben conocer cómo el cálculo fraccionario se aplica en sistemas de control, por tanto, se deben estudiar los fundamentos y definiciones básicas del cálculo fraccionario y luego plantear las estrategias de implementación en el diseño de controladores y filtros fraccionarios, pasando por el análisis de sistemas.

- Cálculo de orden fraccional y computación
- Dominio del tiempo y la frecuencia usando orden fraccional
- Sistemas de control de orden fraccional
- Diseño de controladores de orden fraccional.

Crterios de desempeo

1. Puntualidad.
2. Asistencia. Es muy importante. Tomar en cuenta el Reglamento Escolar.
3. Cumplir cabal y puntualmente con todas las actividades y trabajos.
4. Calificacin de los exámenes.
5. Trabajar en equipo los proyectos del curso.
6. Realizar prcticas de laboratorio programadas.

Experiencias de Enseanza / procesos y objetos de aprendizaje requeridos

1. Exposicin del maestro de conceptos teóricos.
2. Exposicin de alumnos de ejercicios de aplicacin.
3. Actividades en laboratorios relacionados.

Experiencias de aprendizaje.

1. Investigacin de artculos de ciencia y tecnologa.
2. Exposicin de proyectos.

Recursos didcticos y tecnolgicos (material de apoyo):

1. Laptop del instructor.
2. Cañón.
3. Pintarrón.
4. Conexin a internet.
5. Software MATLAB.
6. Prototipos didcticos.

| <i>Bibliografía</i> | <i>Básica/ Complementaria</i> |
|--|--|
| Dingyu Xue, Yang Q. Chen y Dereck Atherton. (2007). Linear Feedback control. Edit. SIAM. | <i>Básica</i> |
| Karl Astrom y Tore Haggeler. (2006). Advanced PID control. Edit ISA instrumentation systems. | <i>Básica</i> |
| Peter Whittle. (1996). Optimal Control, basic and Beyond. Edit. Wiley. | <i>Básica</i> |
| Virginia Mazzone. (2002). Controladores PID. Edit. Universidad nacional de Quilmes. | <i>Básica</i> |

IV. Evaluación Formativa de las Competencias

| # | Tipo (C,H, A) | Evidencias a evaluar | Criterios de evaluación | Técnicas e Instrumentos de Evaluación | Ponderación % |
|---|---------------|-------------------------------|--|--|---------------|
| 1 | C | Examen parcial | Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades I, II y III | Examen escrito | 20 % |
| 2 | C,H, A | Exposiciones de proyectos | Se evaluará la capacidad, habilidades y actitudes en relación a trabajo en equipo, lectura y análisis de proyectos, exposición, organización de ideas. | Diseño, debate, organización y presentación de proyectos | 30 % |
| 3 | C | Examen parcial | Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades IV y V | Examen escrito | 10 % |
| 4 | C | Examen parcial | Se evaluará el nivel de conocimientos adquiridos en relación a las unidades VI ,VII y VIII. | Examen escrito | 20 % |
| 5 | H, A | Participación activa en clase | Se evaluarán las habilidades de comunicación, organización y actitudes de trabajo y compromiso del alumno | Participación en clases y asistencia | 10 % |
| | | | | Total | 100 % |

C: Conocimientos H: Habilidades A: Actitudes