



1. DATOS GENERALES DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE (UA) O ASIGNATURA			
Nombre de la Unidad de Aprendizaje (UA) o Asignatura			Clave de la UA
Ingeniería de Control			17425
Modalidad de la UA	Tipo de UA	Área de formación	Valor en créditos
Escolarizada	Curso/Taller	Básica Particular Obligatoria	9
UA de pre-requisito		UA simultaneo	UA posteriores
(17428) Circuitos Electricos II, (17422) Ecuaciones Diferenciales Ordinarias		N/A	(17457) Sistemas de Control Secuencial
Horas totales de teoría		Horas totales de práctica	
51		34	
Licenciatura(s) en que se imparte		Módulo al que pertenece	
Ingeniería Mecánica Eléctrica		Automatización de Sistemas Electromecánicos	
Departamento		Academia a la que pertenece	
Ingeniería Mecánica Eléctrica		Control Eléctrico y Mecánico	
Elaboró		Fecha de elaboración o revisión	
Dunstano del Puerto Flores Eduardo Castañeda Paredes Veronica Adriana Galvan Sanchez Eduardo Salvador Bañuelos Cabral		28/06/2017	

2. DESCRIPCIÓN DE LA UA O ASIGNATURA	
Presentación	
<p>La unidad de aprendizaje "Ingeniería de Control" aporta al perfil de egreso del estudiante las competencias relacionados con la implementación de sistemas de control; subsistema o etapa que la automatización y la operación óptima (generalmente automática) de procesos industriales, procesamiento de energía eléctrica y/o maquinaria electromecánicas.</p> <p>El estudiante debe ser capaz de trabajar en equipo para modelar, analizar e investigar opciones de diseño para sistemas de control clásicos de procesos continuos. Una vez completado satisfactoriamente la UA, debería ser capaz de implementar los bloques de construcción típicos de los</p>	



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

sistemas de control y seleccionar componentes e interfaces apropiados para aplicaciones específicas. Además, podrá desarrollar modelos matemáticos para analizar el comportamiento de sistemas electromecánicos seleccionados y diseñar controladores para estos sistemas.

La didáctica a utilizar consiste en presentaciones frente a grupo, solución de ejercicios matemáticos, lectura de artículos, discusión o debate en aula, trabajos de investigación y resolución de problemas y proyectos de sistemas de control.

Relación con el perfil		
Modular	De egreso	
<p>Esta unidad de aprendizaje pertenece al módulo de “Automatización de Sistemas Electromecánicos.” En esta asignatura se desarrollan las competencias del alumno relacionadas con el análisis (de la estabilidad y/o del desempeño) de la dinámica de los diferentes subsistemas electromecánicos de procesos industriales o maquinarias de conversión de energía. Además, se busca que el alumno sintetice (es decir, diseñe e implemente) sistemas de control usando técnicas de control clásicas para la optimización de procesos, consumo de energía y para mejorar el desempeño de instalaciones eléctricas.</p>	<p>Conforme al perfil de egreso de la Ingeniería en Mecánica-Eléctrica, el alumno podrá modelar, analizar y diseñar sistemas de control para la automatización de: procesos existen en la industria; proyectos o trabajos relativos con la construcción, instalación, operación y mantenimiento de equipos electromecánicos; y equipos de alta, media y baja tensión eléctrica.</p> <p>Esta UA ayuda a desarrollar las competencias tecnológicas, sobre el conocimiento, desarrollo e implementación de teorías de control continuo, útil en el análisis y diseño del control automático de procesos, necesario en todas las industrias. Para tal objetivo, la AU proporciona al estudiante métodos estructurados de análisis dinámico de elementos y sistemas electromecánicos; herramientas para el diseño de control automático de procesos continuos; así como fundamentos sólidos para la interpretación y aplicación directa del control automático.</p> <p>En el marco del desarrollo sustentable (es decir, fuentes alternas de energía), el alumno formular, gestionar y evaluar estrategias para el uso eficiente de la energía en los sectores productivo y de servicios apegado a normas y acuerdos nacionales e internacionales para ahorro de energía con un alto sentido de respeto al medio ambiente y la ecología. También, aplicar herramientas computacionales de acuerdo a las tecnologías de vanguardia, para el diseño, simulación y operación de sistemas electromecánicos acordes a las demandas del sector industrial.</p> <p>Los fundamentos sólidos obtenidos permitirán al egresado continuar su formación realizando estudios de posgrado e incorporarse a grupos de investigación relacionados con la teoría de control.</p>	
Competencias a desarrollar en la UA o Asignatura		
Transversales	Genéricas	Profesionales



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>Comunicar información técnica eficientemente de forma oral y escrita a través de la realización de presentaciones y trabajos.</p> <p>Contrastar información relevante de diversas fuentes bibliográficas.</p> <p>Tomar decisiones de forma ágil, informada y sensata en beneficio del equipo de trabajo.</p> <p>Organizar y planificar cronogramas de las tareas de trabajos o proyectos colaborativos.</p>	<p>Identificar los sistemas de control presentes en los procesos industriales o en las instalaciones eléctricas.</p> <p>Identificar los componentes principales de los sistemas de control, a saber, sensor, actuador, planta y controlador.</p> <p>Abstraer, analizar y desarrollar modelos matemáticos de los procesos o sistemas en la industria.</p> <p>Aplicar la metodología clásica para el análisis de la estabilidad de sistemas de control.</p> <p>Interpretar las respuestas en el dominio del tiempo y de la frecuencia de los sistemas de control.</p> <p>Diseñar controladores mediante la metodología clásica para sistemas de control.</p> <p>Evaluar el desempeño de los sistemas de control a través de los índices en el dominio del tiempo y de la frecuencia.</p>	<p>Definir objetivos y supervisar el proceso de construcción de conocimiento.</p> <p>Proponer alternativas de solucionar un problema o desarrollar un proyecto de automatización en equipo, definiendo el curso de acción con pasos específicos.</p> <p>Aplicar conocimientos en la práctica a través de la solución de problemas de automatización en las ramas de ingeniería.</p> <p>Proponer estrategias para la automatización de fuentes de energía no convencionales desde una perspectiva de preservación del medio ambiente.</p> <p>Abstraer, analizar y desarrollar modelos matemáticos para la automatización de procesos, sistemas, y/o equipos electromecánicos.</p>
Saberes involucrados en la UA o Asignatura		
Saber (conocimientos)	Saber hacer (habilidades)	Saber ser (actitudes y valores)
<p>Describir y explicar los principios de los sistemas de control automático y los bloques de construcción del sistema de control.</p> <p>Reconocer y comparar las ideas básicas de los sistemas en lazo abierto y lazo cerrado (retro-alimentado).</p> <p>Reconocer a la retro-alimentación como un factor importante en el desarrollo tecnológico.</p> <p>Identificar los principales componentes en un sistema de retro-alimentación (lazo cerrado).</p>	<p>Identificar las variables de un sistema controlado y los objetivos de control.</p> <p>Diseñar controladores en el dominio de la frecuencia para diferentes objetivos de control (requerimientos) del sistema controlado</p> <p>Modelar y analizar el comportamiento de sistemas mecánicos y eléctricos y del controlador en combinación usando apropiadamente herramientas matemáticas, gráficas y computacionales.</p>	<p>Enfrentar las dificultades que se le presentan y es consciente de sus valores, fortalezas y debilidades.</p> <p>Cultivar relaciones interpersonales que contribuyen a su desarrollo humano y el de quienes lo rodean.</p> <p>Asumir una actitud constructiva, congruente con los conocimientos y habilidades con los que cuenta dentro de distintos equipos de trabajo.</p>



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>Investigar y reportar el proceso del diseño del controlador para un sistema dinámico.</p> <p>Reconocer el papel del controlador en un sistema de control</p> <p>Valorar la importancia del uso de modelos matemáticos en las ciencias e ingeniería.</p> <p>Distinguir la representación del sistema de control usando: la función de transferencia, diagrama de bloques y espacio de estado.</p> <p>Describir el funcionamiento de los controladores PID, sus efectos, sintonía y problemática.</p> <p>Distinguir los principios y las aplicaciones de los sensores, los acondicionadores de señales y los elementos de control final (actuadores) en un sistema de control automático</p>	<p>Desarrollar sistemas de control usando controlador proporcional, controlador integral y controlador derivativo para mejorar el desempeño del sistema controlado.</p> <p>Interpretar la respuesta en frecuencia de sistemas dinámicos, sus representaciones, para el estudio de la estabilidad de los sistemas dinámicos.</p> <p>Interpretar el análisis del error en estado estable de la respuesta de sistemas retro-alimentados de primer y segundo orden.</p> <p>Analizar y diseñar sistemas de control usando herramientas computacionales (e.g. Matlab o Python).</p> <p>Comunicar y documentar soluciones de sistemas de control, presentando cálculos y enfoques, llevados a cabo de forma grupal o autónoma, usando la terminología, símbolos y diagramas apropiadas.</p> <p>Evaluar, comparar y seleccionar los sensores, los acondicionadores de señales y los elementos de control final (actuadores) de acuerdo a los requerimientos del sistema de control automático.</p>	
---	--	--

Producto Integrador Final de la UA o Asignatura

Título del Producto:

Reporte escrito y exposición oral del desarrollo e implementación de un sistema de control para un sistema electromecánico.

Objetivo:

Diseñar e Implementar un sistema de control en tiempo continuo para las tareas de control: regulación o seguimiento a una referencia y robustez a perturbaciones constantes. En el reporte y exposición se deberán presentar el análisis dinámico del sistema a controlar o planta. El análisis será usado para justificar la estrategia de control a usarse en la etapa del diseño del controlador.

Descripción:

El proyecto a desarrollar es un sistema de control cuya implementación o construcción deberá llevarse a cabo usando mayormente dispositivos o materiales recuperados. Los sistemas a controlar deben de ser sistemas eléctricos, mecánicos o electromecánicos. El proyecto será realizado por



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

equipos de 3 o 4 integrantes y trabajo tendrán la libertad de seleccionar el sistema planta y después proponer la tarea o las tareas de control a desarrollar.

Descripción cronológica del proceso:

- Integración del equipo de alumnos
- Calendario de trabajo
- Adquisición de recursos
- Realización de las actividades

Características del producto (reporte escrito):

- Estructura
 - Ortografía y redacción
- Explicaciones teóricas.
- Procedimientos empleados.
- Resultados
- Conclusiones

Características del producto (exposición oral):

- Formalidad de la presentación
- Ortografía y redacción.
- Limpieza de las diapositivas
- Buen lenguaje

3. ORGANIZADOR GRÁFICO DE LOS CONTENIDOS DE LA UA O ASIGNATURA



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

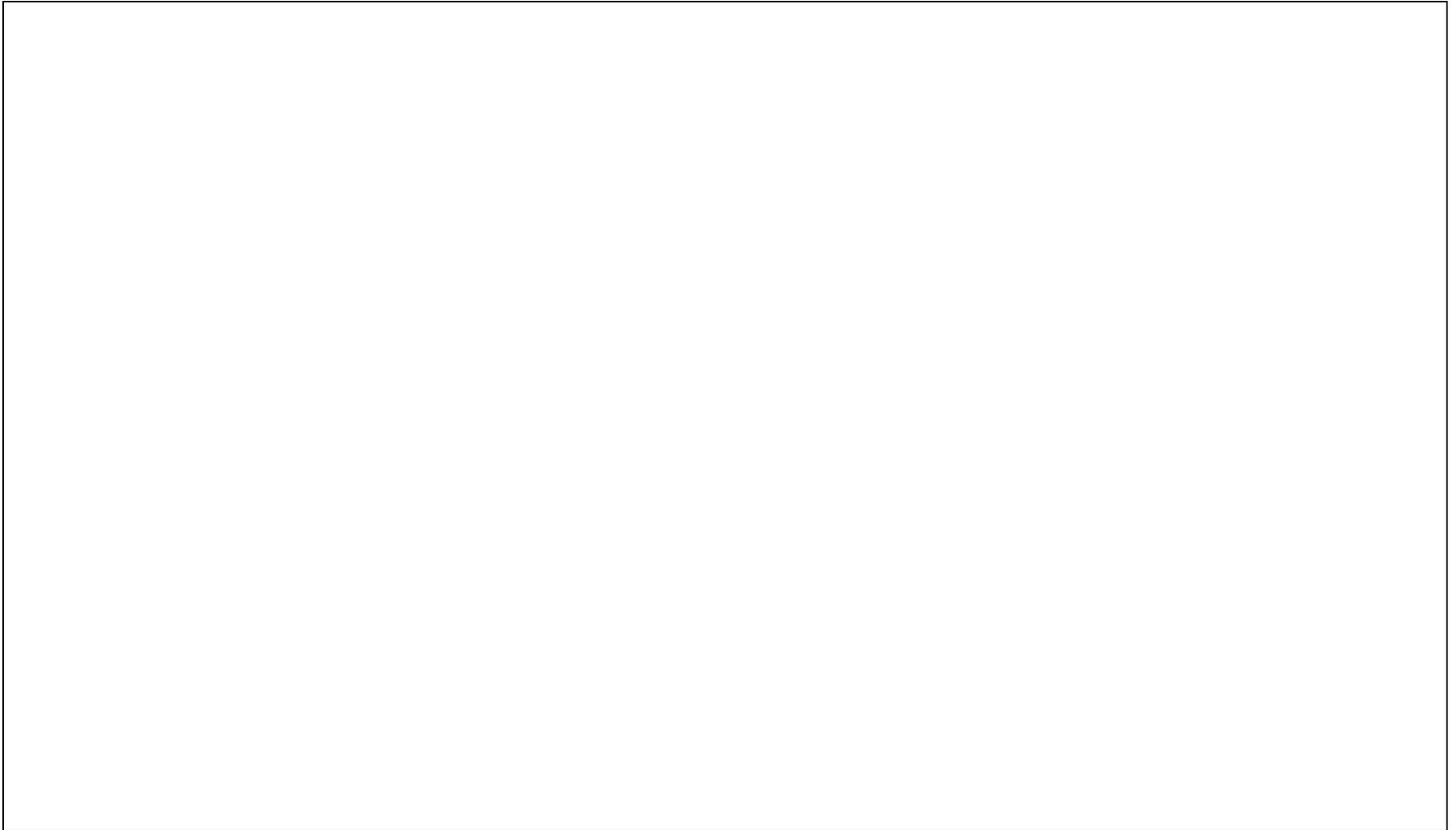
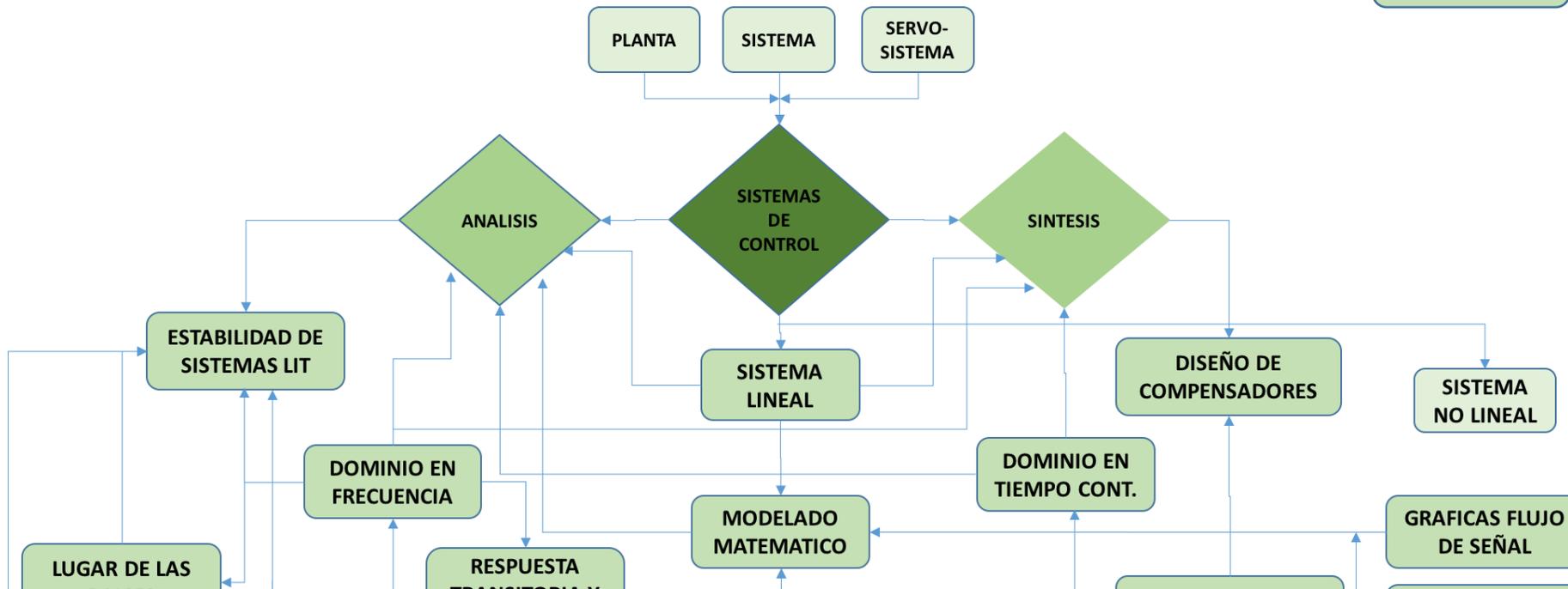




DIAGRAMA DE BLOQUES





4. SECUENCIA DEL CURSO POR UNIDADES TEMÁTICAS

Unidad temática 1: Sistemas de Control y la Transformada de Laplace

Objetivo de la unidad temática:

Explicar el funcionamiento de los sistemas de control así como sus principales características e identificar los componentes de un sistema de retro-alimentación en un sistema práctico. Reconocer y organizar los conceptos de los elementos fundamentales de la teoría de control de procesos para identificar los componentes fundamentales de los sistemas de control de procesos industriales e instalaciones eléctricas. Reconocer y relacionar los sistemas de control en lazo cerrado y lazo abierto para identificar sistemas de control automáticos en la práctica y para valorar a la realimentación como un factor importante en el desarrollo tecnológico.

Identificar sistemas eléctricos y mecánicos, con base en el concepto de linealidad, no linealidad, variancia e invariancia en el tiempo, para clasificar y generalizar estas propiedades a los sistemas dinámicos complejos. Reconocer y aplicar la Transformada de Laplace como el medio natural y poderoso para analizar sistemas lineales. Además, valorar las propiedades de la transformada de Laplace ya que éstas pertenecen al análisis de los sistemas de control.

Introducción:

En esta unidad temática se proporciona el marco conceptual de la automatización de procesos. Introduce al alumno en el conocimiento y clasificación de los tipos de sistemas de control, sus ventajas y desventajas, así como la clasificación y caracterización de los sistemas de acuerdo con su complejidad, como lo es el concepto de linealidad y no linealidad, variancia e invariancia en el tiempo. A través de esta unidad temática, el estudiante recuerda y reconoce las propiedades importantes de la transformada de Laplace para usarlas en el análisis de sistemas lineales.

	Saberes involucrados	Producto de la unidad temática
1. Introducción a los sistemas de control 1.1. Presentación del curso. 1.1.1. Repaso histórico. 1.1.2. Introducción al control automático 1.1.3. Componentes básicos de un sistema de control 1.2. Definiciones y Conceptos. 1.2.1. Plantas, sistemas y servosistemas 1.2.2. Sistemas de control en lazo abierto 1.2.3. Sistemas de control en lazo cerrado 1.3. Clasificación de los sistemas dinámicos 1.3.1. Sistemas dinámicos lineales y no lineales 1.3.2. Sistemas dinámicos variantes e invariantes en el tiempo	Identificar la retro-alimentación como el principio básico de funcionamiento de un sistema de control. Identificar los sistemas de control presentes en los procesos industriales o en las instalaciones eléctricas. Identificar los componentes principales de los sistemas de control, a saber, sensor, actuador, planta y controlador. Discriminar entre el uso de retro-alimentación a alimentación directa en un sistema de control.	Esquema temático en equipo de sistemas de control presentes en los procesos industriales o en las instalaciones eléctricas. Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios usando la transformada de Laplace en problemas de ecuaciones diferenciales ordinarias. Examen escrito



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>1.3.3. Sistemas dinámicos causal y no causal</p> <p>2. La Transformada de Laplace</p> <p>2.1. La transformada de Laplace y sus propiedades</p> <p>2.1.1. Transformada de señales fundamentales</p> <p>2.1.1.1. La función exponencial</p> <p>2.1.1.2. La función escalón</p> <p>2.1.1.3. La función impulso</p> <p>2.1.2. Propiedades de la Transformada de Laplace</p> <p>2.1.2.1. Linealidad</p> <p>2.1.2.2. Transformada de Laplace de las Derivadas de una función</p> <p>2.1.2.3. Transformada de Laplace de la Integral de una función</p> <p>2.2. Transformada inversa de Laplace</p> <p>2.3. Resolución de ecuaciones diferenciales (e. d.) utilizando la transformada de Laplace</p> <p>2.4. Empleo de funciones de Matlab para resolver e. d. y transformadas de Laplace</p>		<p>Discutir e interpretar la relación de linealidad que existe entre el voltaje y la corriente en una resistencia.</p> <p>Resolver problemas analíticamente aplicando la transformada de Laplace que involucren ecuaciones diferenciales ordinarias.</p> <p>Usar Matlab para obtener la transformada de Laplace de ecuaciones diferenciales ordinarias.</p> <p>Desarrollar y fomentar el aprendizaje colaborativo.</p> <p>Comunicar eficientemente de forma oral y escrita.</p> <p>Desarrollar la capacidad de trabajo en equipo.</p>		
Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia de la actividad	Recursos y materiales	Tiempo destinado
Presentar de manera general la Unidad de Aprendizaje, donde se establecen los lineamientos de evaluación.	Participar en los lineamientos de evaluación.	Redacción de los criterios de evaluación.	Pizarrón/pintaron. Presentación electrónica.	2 horas.
Introducir los conceptos básicos que caracterizan a los sistemas de control de procesos clásicos y avanzados, y fundamentar la terminología que se utiliza en estos sistemas.	Realizar una investigación de sistemas de control presentes en la industria. Mediante una lluvia de ideas, se elabora un esquema grafico que describe las aplicaciones de la retro-alimentación en los procesos de la industria actual.	Esquema grafico por alumno o por equipo	Pizarrón/pintaron. Presentación electrónica. Computadora.	3 horas
Explicar en el pizarrón y dispositivas la definición de la Transformada de Laplace, así como sus aplicaciones en la ingeniería de control.	Resolver problemas usando la transformada de Laplace para aplicarla en casos de ingeniería	Solución de problemas por alumnos	Pizarrón/pintaron. Presentación en pintaron.	4 horas
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una serie ejercicios usando la transformada de Laplace en problemas de ecuaciones diferenciales ordinarias.	Reporte escrito en equipo de un solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	5 horas
Unidad temática 2: La Función de Transferencia y el Analisis de la Estabilidad				



Objetivo de la unidad temática:

Describir el concepto de modelo matemático y clasificar los diversos tipos que existen. Emplear el principio de conservación de la energía para modelar sistemas dinámicos electromecánicos de complejidad moderada y valorar la importancia del uso de modelos matemáticos (físicos, químicos, financieros y de información, entre otros) en las ciencias e ingeniería. Aplicar la linealización de sistemas dinámicos no lineales con respecto a sus puntos de equilibrio y/o puntos de operación para simplificar el análisis de tales sistemas. Emplear las operaciones básicas de reducción de diagramas de bloques para encontrar relaciones entrada-salida de sistemas de control y valorar el uso de diagramas de bloques en el diseño de sistemas de control.

Formular la función de transferencia de sistemas físicos, descritos por ecuaciones diferenciales ordinarias con coeficientes constantes, para obtener la representación del sistema físico en el plano de la variable compleja. Analizar la estabilidad y el desempeño de sistemas lineales con base en la posición de los polos, ceros y la magnitud de la ganancia de su función de transferencia. Aplicar el criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz para determinar los valores críticos de la magnitud de la ganancia y las posiciones de polos y ceros del sistema en el plano complejo. Emplear el plano complejo como una herramienta de análisis de sistemas lineales.

Utilizar la función de transferencia para la simulación por software (e.g. Matlab o Python) de sistemas dinámicos. Emplear herramientas computacionales de simulación de sistemas lineales para comparar el comportamiento de estos ante diversos tipos de entradas y graficar el lugar de las raíces para analizar la estabilidad.

Introducción:

Esta unidad temática introduce la metodología para la obtención del modelo matemático de sistemas dinámicos lineales con base en el principio de la conservación de la energía; por ejemplo: las leyes de Kirchhoff para sistemas eléctricos y la segunda ley de movimiento de Newton para sistemas mecánicos. También presenta el concepto de la función de transferencia, obtenidas de la transformada de Laplace de las ecuaciones diferenciales ordinarias de los sistemas dinámicos lineales. Así mismo, el alumno adquiere los elementos para utilizar la representación de sistemas mediante diagramas de bloques y las gráficas del flujo de señales, lo cual tiene la ventaja a diferencia de la función de transferencia, de mostrarnos la relación que existe entre las variables del proceso.

Además, se presentan las metodologías para el análisis de la estabilidad y el desempeño de sistemas lineales a través del criterio de Routh-Hurwitz, del lugar geométrico de las raíces y de la respuesta transitoria.

Contenido temático	Saberes involucrados	Producto de la unidad temática
<p>3. Modelado matemático de sistemas lineales y la Función de Transferencia.</p> <p>3.1. Definiciones elementales</p> <p>3.2. Funciones de transferencia y de respuesta al impulso</p> <p>3.3. Modelado de sistemas de control</p> <p>3.3.1. Modelado de sistemas mecánicos</p> <p>3.3.2. Modelado de sistemas eléctricos</p> <p>3.3.3. Modelado de sistemas electromecánicos y otros sistemas</p> <p>3.4. Gráficas de flujo de señales</p> <p>3.5. Diagramas de bloque y su algebra</p> <p>3.6. Funciones en Matlab para obtener funciones de transferencias de sistemas de control</p> <p>4. Análisis de la Estabilidad de Sistemas Lineales.</p> <p>4.1. Criterio de estabilidad Routh-Hurwitz</p> <p>4.2. Análisis de respuesta transitoria usando Matlab</p>	<p>Investigar, identificar y clasificar ejemplos de sistemas conocidos en su entorno.</p> <p>Compartir y reflexionar la clasificación de ejemplos.</p> <p>Aplicar las leyes que gobiernan a los sistemas eléctricos, mecánicos y de nivel, para generar el modelo matemático que describe el comportamiento dinámico del sistema físico.</p> <p>Modelar redes eléctricas RLC, y discutir la linealidad o la no linealidad de los modelos, la variancia o invariancia en el tiempo.</p> <p>Modelar sistemas mecánicos de masa, amortiguador, resorte, y discutir discutir la</p>	<p>Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios para obtener el modelo matemático (ecuaciones diferenciales ordinarias) de sistemas eléctricos, mecánicos, electromecánicos, etc.</p> <p>Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios usando la algebra de bloques y graficas de flujo de señales para la reducción de modelos de sistemas complejos.</p> <p>Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios usando el criterio de estabilidad Routh-Hurwitz y el lugar de las raíces de modelos de sistemas complejos.</p> <p>Examen escrito</p>



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

4.3. Análisis del lugar de las raíces 4.3.1. Introducción 4.3.2. Gráficas del lugar de las raíces 4.3.3. Análisis del lugar de las raíces 4.3.4. Gráficas del lugar de las raíces con Matlab		linealidad o la no linealidad de los modelos, la variancia o invariancia en el tiempo. Emplear la ubicación de los polos en el plano complejo para inferir la estabilidad del sistema lineal. Analizar la estabilidad de sistemas lineales usando el criterio de Routh-Hurwitz. Emplear Matlab/Simulink para realizar simulaciones de sistemas simples.		
Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia de la actividad	Recursos y materiales	Tiempo destinado
Presentar de manera general la Unidad de Aprendizaje, donde se establecen los lineamientos de evaluación.	Participar en los lineamientos de evaluación.	Redacción de los criterios de evaluación.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica.	1 hora.
Introducir en el pizarrón y dispositivas los conceptos básicos del modelado matemático de sistemas lineales y fundamentar la Función de Transferencia.	Resolver problemas en el pizarrón usando del modelado matemático de sistemas lineales para aplicar en casos de ingeniería de control.	Solución de problemas por alumnos individualmente.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica. Computadora. Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	3 horas
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una series de ejercicios para obtener el modelo matemático (ecuaciones diferenciales ordinarias) de sistemas eléctricos, mecánicos, electromecánicos, etc.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	6 horas
Explicar en el pizarrón y dispositivas las gráficas de flujo de señales y diagramas de bloque y su algebra, así como sus aplicaciones en la ingeniería de control.	Resolver problemas en el pizarrón usando del modelado matemático de sistemas lineales para aplicar en casos de ingeniería de control.	Solución de problemas por alumnos individualmente.	Pizarrón/pintarron. Presentación en pintarron.	3 horas
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una series de ejercicios usando la algebra de bloques y graficas de flujo de señales para la reducción de modelos de sistemas complejos.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	6 horas
Presentar en el pizarrón y dispositivas el análisis de la estabilidad de sistemas lineales, a través de usando del criterio de estabilidad Routh-Hurwitz y del lugar de las raíces, así como sus aplicaciones en la ingeniería de control..	Realizar una investigación del análisis de la estabilidad de sistemas lineales. Mediante una lluvia de ideas, se elabora un esquema grafico que describe el criterio de estabilidad Routh-Hurwitz y del lugar de las raíces. Resolver problemas en el pizarrón del análisis de la estabilidad de sistemas	Esquema grafico por alumno o por equipo. Solución de problemas por alumnos individualmente.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica. Computadora.	4 horas



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

	lineales para aplicar en casos de ingeniería de control			
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una serie de ejercicios usando el criterio de estabilidad Routh-Hurwitz y del lugar de las raíces de modelos de sistemas complejos.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	6 horas

Unidad temática 3: Diseño de controladores mediante el lugar de las raíces y los diagrama de Bode

Objetivo de la unidad temática:

Evaluar la respuesta en el dominio de tiempo continuo o respuesta temporal de sistemas de primer orden para relacionar el lugar geométrico de los polos y la constante del tiempo. Predecir y clasificar la respuesta temporal mediante la interpretación del lugar de las raíces para evaluar el tipo de compensación necesaria en el diseño de controladores compensadores. Identificar el efecto en la respuesta temporal de un sistema de fase mínima, i.e. con ceros en el semi-plano derecho complejo, y discutir la repercusión de contar con sistemas de fase mínima o con retardo en el diseño de controladores para sistemas en la práctica.

En el dominio de la frecuencia, definir la función de transferencia, a partir de la relación entrada-salida de sistemas lineales, y bosquejar la respuesta espectral de sistemas lineales mediante diagramas de Bode y contrastar los resultados obtenidos usando software especializado, como Matlab o Python. Relacionar la respuesta en frecuencia de sistemas lineales con su correspondiente respuesta en el tiempo. Evaluar la estabilidad y el desempeño en el dominio de la frecuencia.

Formular los requerimientos de un sistema de control a especificaciones de diseño para diseñar controladores usando el lugar geométrico de las raíces y a través de diagramas de Bode. Elaborar la síntesis de controladores usando estos métodos gráficos y herramientas computacionales, como Matlab/SISOTool, y valorar a los métodos gráficos como una herramienta simple en el diseño de controladores. Evaluar el efecto en desempeño y la estabilidad al considerar controladores PID, adelanta-atraso en los sistemas de control; Diseña controladores PID y adelanta-atraso usando tanto el plano complejo como la respuesta en frecuencia y descubrir que debido a la simplicidad en la implementación de estos controladores, son controladores dominantes en la práctica.

Introducción:

La tercera unidad temática presenta las bases para evaluar el comportamiento dinámico de los sistemas de primero y segundo orden, la relación que existe entre la respuesta de un sistema y el concepto de polos y ceros. Además, provee los conceptos y definiciones para llevar a cabo la clasificación de los tipos de respuesta de sistemas de segundo orden o sistemas de orden superior.

Esta unidad se da la metodología sistemática de análisis de la estabilidad y del desempeño en los sistemas en lazo cerrado o retroalimentados a través de los diagramas de Nyquist y de Bode, ambos de suma importancia para el desarrollo de habilidades en el ámbito del control y la automatización. Finalmente, se introducen los tipos de controladores que existen en el contexto de la teoría del control clásico, controlador proporcional-integral-derivativo y control compensador de adelanto-atraso; se identifican las ventajas y desventajas entre los tipos de control y los criterios de evaluación de acuerdo a la aplicación o tarea de control, a saber: estabilización, regulación y/o seguimiento a la referencia, la funcionalidad, la dinámica de la variable controlada y lo económico.

Contenido temático	Saberes involucrados	Producto de la unidad temática
5. Respuesta de sistemas en el dominio del tiempo 5.1. Análisis de respuesta transitoria y estacionaria 5.1.1. Sistemas de primer orden 5.1.2. Sistemas de segundo orden 5.1.3. Sistemas de orden superior	Determinar las características de la respuesta en el tiempo a un escalón unitario de sistemas de 1er y 2do orden.	Producto integrador. Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios para obtener la respuesta en



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

<p>5.2. Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria mediante funciones de Matlab</p> <p>6. Diseño e implementación de controladores compensadores</p> <p>6.1. Diagrama de Bode</p> <p>6.1.1. Fundamentos matemático</p> <p>6.1.2. Representación de diagrama de Bode con Matlab</p> <p>6.2. Diagrama polar</p> <p>6.2.1. Fundamentos matemático</p> <p>6.2.2. Obtención de diagramas de Nyquist con Matlab</p> <p>6.3. Análisis de estabilidad</p> <p>6.3.1. Estabilidad y Sensibilidad usando diagrama de Bode</p> <p>6.3.2. Criterio de estabilidad de Nyquist</p> <p>6.4. Diseño de compensadores basado en diagrama de Bode y Nyquist</p> <p>6.4.1. Compensador en serie y retroalimentado</p> <p>6.4.1.1. El Compensador de Adelanto.</p> <p>6.4.1.2. El Compensador de Atraso.</p> <p>6.4.1.3. El Compensador de Atraso-Adelanto.</p> <p>6.4.2. Atenuación de las redes compensadoras.</p>	<p>Emplear la ubicación de sus polos y ceros en el plano complejo para inferir la calidad de la respuesta en el tiempo.</p> <p>Emplear el diagrama de Bode en el plano complejo para inferir la estabilidad del sistema lineal.</p> <p>Analizar la estabilidad de sistemas lineales usando diagramas de Nyquist.</p> <p>Diseñar controladores para sistemas lineales usando diagramas de Bode y de Nyquits.</p> <p>Construir modelos en Matlab/ Simulink usando las diversas librerías.</p> <p>Emplear Matlab/Simulink para realizar simulaciones de sistemas de control complejos.</p>	<p>el tiempo a un escalón unitario de sistema de 1er y 2do orden.</p> <p>Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios usando diagramas de Bode y Nyquist para analizar la estabilidad de sistemas complejos.</p> <p>Reporte escrito en equipo de un solucionario de series de ejercicios del diseño de controlador para sistemas complejos.</p> <p>Examen escrito</p>
---	---	---

Actividades del docente	Actividades del estudiante	Evidencia o de la actividad	Recursos y materiales	Tiempo destinado
Presentar de manera general la Unidad de Aprendizaje, donde se establecen los lineamientos de evaluación.	Participar en los lineamientos de evaluación.	Redacción de los criterios de evaluación.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica.	1 hora.
Asignar el proyecto final del producto integrador y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver el problema del proyecto final Presentación del proyecto final.	Reporte escrito del proyecto final como producto integrador. Presentación oral del proyecto final como producto integrador.	Computadora. Laboratorio de Ingeniería Eléctrica. Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	30 horas
Introducir en el pizarrón y dispositivos los conceptos básicos de la respuesta de sistemas en el dominio del tiempo y el análisis de respuesta transitoria y estacionaria.	Realizar una investigación de la respuesta de sistemas en el dominio del tiempo y el análisis de respuesta transitoria y estacionaria de sistemas lineales. Resolver problemas en el pizarrón de la respuesta de sistemas en el dominio del tiempo y el análisis de respuesta transitoria y estacionaria de sistemas lineales para aplicar en casos de ingeniería de control.	Solución de problemas por alumnos individualmente.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica. Computadora. Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	6 horas



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una serie de ejercicios para obtener la respuesta en el tiempo a un escalón unitario de sistema de 1er y 2do orden.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	6 horas
Presentar en el pizarrón y dispositivas el diseño e implementación de controladores compensadores, introducir el diagramas de Bode y Polar de Nyquist, así como sus aplicaciones en el análisis de estabilidad y el diseño de controladores.	Realizar una investigación del análisis de estabilidad y el diseño de controladores usando los diagramas de Bode y Nyquist. Mediante una lluvia de ideas, se elabora un esquema grafico que describe el análisis de estabilidad usando los diagramas de Bode y Nyquist. Resolver problemas en el pizarrón del análisis de estabilidad y el diseño de controladores, usando los diagramas de Bode y Nyquist, en casos de ingeniería de control	Esquema grafico por alumno o por equipo. Solución de problemas por alumnos individualmente.	Pizarrón/pintarron. Presentación electrónica. Computadora.	8 horas
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una serie ejercicios usando diagramas de Bode y Nyquist para analizar la estabilidad de sistemas complejos.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	4 horas
Asignar la serie de ejercicios y fomentar la formación de grupos de trabajos.	Resolver en equipo una serie ejercicios del diseño de controlador para sistemas complejos.	Reporte escrito en equipo del solucionario de la serie.	Computadora Bibliografía señalada en el apartado de recursos.	4 horas



5. EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN

Requerimientos de acreditación:

Para que el alumno tenga derecho al registro del resultado final de la evaluación se tomara como base el Reglamento de Evaluación y Promoción de los Alumnos de la Universidad de Guadalajara, el cual establece lo siguiente:

Artículo 20. Para que el alumno tenga derecho al registro del resultado final de la evaluación en el periodo ordinario, establecido en el calendario escolar aprobado por el H. Consejo General Universitario, se requiere:

- I. Estar inscrito en el plan de estudios y curso correspondiente, y
- II. Tener un mínimo de asistencia del 80% a clases y actividades registradas durante el curso.

Artículo 25. La evaluación en periodo extraordinario se calificará atendiendo a los siguientes criterios:

- I. La calificación obtenida en periodo extraordinario, tendrá una ponderación del 80% para la calificación final;
- II. La calificación obtenida por el alumno durante el periodo ordinario, tendrá una ponderación del 40% para la calificación en periodo extraordinario, y
- III. La calificación final para la evaluación en periodo extraordinario será la que resulte de la suma de los puntos obtenidos en las fracciones anteriores.

Criterios generales de evaluación:

A lo largo de la UA se elaborarán diversos reportes escritos así como materiales didácticos, que deberán seguir los siguientes lineamientos básicos (más los específicos de cada trabajo):

- Entrega en tiempo
- El desarrollo de temas de investigación, se acompañará siempre de una conclusión que rescate los principales aprendizajes. Todas las conclusiones se sustentarán con datos
- Todas las referencias se citarán adecuadamente conforme al criterio APA para la bibliografía.
- Queda estrictamente prohibido el plagio
- Los trabajos de resolución de ejercicios, deberán ser contestados correctamente (80-100%) para alcanzar el puntaje máximo de la evaluación.
- El material didáctico debe corresponder al tema asignado, que proporcione la información clara y concisa de lo solicitado en las instrucciones.

Las presentaciones orales se evaluarán conforme a los rubros: Contenido suficiente, comprensión del contenido, manejo del lenguaje, apoyo visual y tiempo empleado durante la exposición. Cuando se solicite una presentación oral ésta deberá ser enviada al docente así como a los compañeros de clase.

Evidencias o Productos

Evidencia o producto	Competencias y saberes involucrados	Contenidos temáticos	Ponderación
Exposición en equipo de esquemas temáticos	<p>Utiliza las tecnologías de la información y comunicación para expresar ideas.</p> <p>Capacidad de abstracción y síntesis de los temas planteados.</p> <p>Participa en trabajo colaborativo y respeta el trabajo en equipo.</p>	Sistemas de control presentes en los procesos industriales o en las instalaciones eléctricas.	3 %



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

	Presenta su producto con los criterios de fondo adecuados, de tal manera que demuestre su interés y cuidado en el trabajo.		
Entrega de reportes con seres de ejercicios resueltos.	<p>Identifica y organiza la información que se requiere para resolver un problema.</p> <p>Presenta sus productos en tiempo y forma, de tal manera que demuestra interés y cuidado en su trabajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La transformada de Laplace en problemas de ecuaciones diferenciales ordinarias. (7%) • Modelado matemático (ecuaciones diferenciales ordinarias) de sistemas eléctricos, mecánicos, electromecánicos, etc. (3.33%) • Algebra de bloques y graficas de flujo de señales para la reducción de modelos de sistemas complejos. (3.33%) • Criterio de estabilidad Routh-Hurwitz y el lugar de las raíces de modelos de sistemas complejos. (3.33%) • La respuesta en el tiempo a un escalón unitario de sistema de 1er y 2do orden. (4%) • Diagramas de Bode y Nyquist para analizar la estabilidad de sistemas complejos. (4%) • Diseño de controlador para sistemas complejos. (4%) 	29 %
Producto final			
Descripción		Evaluación	
<p>Título: Reporte escrito y exposición oral del desarrollo e implementación de un sistema de control para un sistema electromecánico.</p>	<p>Criterios de fondo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración del equipo de alumnos • Calendario de trabajo • Adquisición de recursos • Realización de las actividades 	Ponderación	
<p>Objetivo: Diseñar e Implementar un sistema de control en tiempo continuo para las tareas de control: regulación o seguimiento a una referencia y robustez a perturbaciones constantes. En el reporte y exposición se deberán presentar el análisis dinámico del sistema a controlar o planta. El análisis será usado para justificar la estrategia de control a usarse en la etapa del diseño del controlador.</p>	<p>Criterios de forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distinguir fuentes de información bibliográfica y/o electrónica confiable. • Elabora su reporte de investigación respetando las normas gramaticales. • Redacta sin errores ortográficos. 	20%	
<p>Caracterización: El proyecto a desarrollar es un sistema de control cuya implementación o construcción deberá llevarse a cabo usando mayormente dispositivos o materiales recuperados. Los sistemas a controlar deben de ser sistemas eléctricos, mecánicos o electromecánicos. El proyecto será realizado por equipos de 3 o 4 integrantes y trabajo tendrán la libertad de seleccionar el sistema planta y después proponer la tarea o las tareas de control a desarrollar.</p>			
Otros criterios			



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Criterio	Descripción	Ponderación
Exámenes parciales.	Identifica y organiza la información que se requiere para resolver ejercicios. Discrimina y analiza información relevante. primer parcial: Incluye las unidades temáticas 1 y 2. (15%) Segundo parcial: Incluye la unidad temática 3 y 4. (15%) Tercer parcial: Incluye la unidad temática 5 y 6. (18%)	48%



6. REFERENCIAS Y APOYOS

Referencias bibliográficas

Referencias básicas

Autor (Apellido, Nombre)	Año	Título	Editorial	Enlace o bibliotecar virtual donde esté disponible (en su caso)
Kuo, C.	2005	Sistemas automáticos de control.	John Wiley	
Ogata, K.	2007	Ingeniería de control moderna,	Prentice Hall	
Dorf , R.C. Bishop, R. H.	2005	Sistemas modernos de control	Prentice Hall	

Referencias complementarias

Dorsey, J.	2002	Sistemas de control continuos y discretos,	Mc Graw Hill	

Apoys (videos, presentaciones, bibliografía recomendada para el estudiante)

Unidad temática 1:

Tutorial de Control para MATLAB por William C. Messner, Dawn Tilbury (en inglés):
<http://www.engin.umich.edu/class/ctms/>

Unidad temática 2:

Demostraciones de Señales, Sistemas y Control por Wilson J. Rugh (en inglés):
<http://www.jhu.edu/~signals>

Unidad temática 3:

Tutorial de Control para MATLAB por William C. Messner, Dawn Tilbury (en inglés):
<http://www.engin.umich.edu/class/ctms/>
Documentación online sobre MATLAB en MathWorks, Inc. (en inglés):
<http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/matlab.html>