

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Control
Clave de la asignatura:	MTJ-1006
SATCA¹:	4 - 2 - 6
Carrera:	Ingeniería Mecatrónica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del ingeniero mecatrónico la capacidad para implementar el control lineal de los sistemas dinámicos. Permite la utilización de herramientas que simulan y analizan el desempeño del diseño de controladores para sistemas de control.

La materia en su constitución tiene especial interés en abordar los diferentes campos de las ingenierías y de la tecnología donde se da la mayor aplicación de enfoques de control, sin dejar de lado la importancia que reviste en los campos diversos en el quehacer profesional.

La asignatura es columna vertebral de las diversas ingenierías, pues ofrece el conocimiento de diversos sistemas dinámicos y sus características fundamentales de funcionamiento. Temas como estabilidad, margen de error, rapidez, robustez y optimización son considerados con especial atención contemplando los enfoques clásico y moderno en el tratamiento de las señales en el proceso de control.

El ingeniero mecatrónico en el desempeño cotidiano es capaz de comprender las características, parámetros y propiedades intrínsecas de un sistema de control al analizar su respuesta ante diversas entradas, y podrá realizar ajustes que permitan la optimización de los sistemas con enfoques actuales.

Intención didáctica

La asignatura considera cinco temas, contemplando la identificación de los sistemas y sus diferentes características como primer tema.

El segundo tema comprende el entendimiento del significado y de la aplicabilidad del concepto de función de transferencia del sistema. Considera la identificación de los sistemas analizando su respuesta a la salida ante diferentes tipos de entradas en la determinación del orden de operación. Centralmente se evalúa la estabilidad de los sistemas mediante diferentes criterios. Se considera el análisis de la respuesta transitoria y de estado estable. Dentro de los temas determinantes en esta unidad esta la evaluación del error.

El tercer tema es dedicado al estudio del concepto de controlador en el tiempo y sus diferentes formas de análisis y diseño. Se implementan diferentes técnicas de diseño de controladores.

El cuarto tema implica una evaluación de los sistemas de control desde una perspectiva diferente, el estudio del control en el dominio de la frecuencia para obtener las diferentes formas de compensación

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

en adelante y/o atraso.

El quinto tema es para apreciar el diseño de controladores desde un enfoque moderno. Para el estudio se emplea la teoría de espacio de estado, que es un recurso promisorio para la eficiente implementación de controladores.

Decididamente, el énfasis fundamental de la materia es brindar todo el conocimiento existente en el terreno del estudio de los sistemas clásicos de control y prepararse para materias posteriores, donde los conceptos clave persistirán, pero las técnicas a base de microprocesadores enriquecerán el análisis y diseño de sistemas de control.

Todos los temas están interrelacionados y es necesario contar con cierto dominio matemático. Es necesario conocer los conceptos fundamentales de la transformada de Laplace, destacando que se vuelve una herramienta imprescindible en el estudio de los modelos matemáticos.

Dentro del curso se contempla el desarrollo de actividades prácticas que promuevan, de los temas básicos a los avanzados, el desarrollo de habilidades para la experimentación tales como identificación, manejo y control de variables de sistemas físicos de naturaleza fundamentalmente eléctrica, electrónica y mecánica; considerando sus datos relevantes, el planteamiento de hipótesis y trabajo en equipo. Asimismo, se busca propiciar procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja. Por lo anterior, varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo analizado previamente en clase, sino una oportunidad para la conceptualización a partir de lo observado. Así, por ejemplo, la dinámica de los sistemas es posible observarla en aplicaciones prácticas que brinden una mejor comprensión de sus características. En las prácticas sugeridas es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a registrar y controlar.

Se sugiere una actividad integradora o proyecto final que permita aplicar los conceptos de control estudiados en la asignatura con el propósito de dar un cierre a la materia mostrándola como útil por sí misma en el desempeño profesional, independientemente de la utilidad que representa en el tratamiento de temas en materias posteriores.

La lista de actividades no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden desempeñarse como actividad extra clase y comenzar el tratamiento en clase a partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los fenómenos físicos en su alrededor y no sólo se hable de ellos en el aula. Es importante ofrecer distintos escenarios, ya sean artificiales, virtuales o naturales.

Cabe perfectamente la posibilidad de utilizar herramientas de apoyo y materiales diversos que en la actualidad se encuentran disponibles para la comprensión de los diferentes temas. Las herramientas sugeridas para la evaluación de sistemas dinámicos son Matlab/Simulink, Simnon, LabView, CircuitMaker, entre otros; los cuales se encuentran como una opción de simulación de sistemas físicos de diferente naturaleza.

En las actividades de aprendizaje sugeridas generalmente se propone la formalización de los conceptos

a partir de experiencias concretas; se busca que el alumno tenga el primer contacto con el concepto en forma concreta y sea a través de la observación, la reflexión y la discusión que se dé la formalización. La resolución de problemas se hará después del proceso comentado con anterioridad. Esta resolución de problemas no se especifica en la descripción de actividades, por ser más familiar en el desarrollo de cualquier curso. Se sugiere que se diseñen problemas con datos faltantes o excedentes de manera que el alumno se ejercite en la identificación de datos relevantes y elaboración de supuestos.

Se pretende que durante el curso se conforme, de manera integral, una visión del futuro profesionista y se pueda crear la confianza en la persona que le permita interpretar el mundo que le rodea, donde fundamentalmente el enfoque sistemático es una herramienta de desempeño de la profesión, así mismo del desarrollo humano.

Durante el desarrollo de las actividades programadas en la asignatura es muy importante que el estudiante aprenda a valorarlas y entienda que está construyendo su conocimiento, aprecie la importancia del mismo y de los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión, la curiosidad, la puntualidad, el entusiasmo, el interés, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía y en consecuencia actúe de manera profesional.

Es necesario que el profesor preste atención y cuidado a los aspectos anteriores y los considere en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de la asignatura en cuestión.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 24 al 28 de agosto de 2009.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Celaya, Ciudad Cuauhtémoc, Cuautla, Durango, Guanajuato, Hermosillo, Huichapan, Irapuato, Jilotepec, Jocotitlán, La Laguna, Oriente del Estado de Hidalgo, Pabellón de Arteaga, Parral, Reynosa, Saltillo, San Luis Potosí, Tlalnepantla, Toluca y Zacapoaxtla.	Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de Mexicali, del 25 al 29 de enero del 2010.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Celaya, Ciudad Cuauhtémoc, Cuautla, Durango, Guanajuato, Hermosillo, Huichapan, Irapuato, Jilotepec, Jocotitlán, La Laguna, Mexicali, Oriente del Estado de Hidalgo, Pabellón de Arteaga, Reynosa, Saltillo, San Luis Potosí, Toluca	Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica.

	y Zacapoaxtla.	
Instituto Tecnológico de la Laguna, del 26 al 29 de noviembre de 2012.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Apizaco, Celaya, Chapala, Cd. Cuauhtémoc, Colima, Culiacán, Huixquilucan, La Laguna, León, Nuevo Laredo, Nuevo León, Oriente del Estado de Hidalgo, Querétaro, Tlalnepantla, Uruapan, Veracruz y Zacapoaxtla.	Reunión Nacional de Seguimiento Curricular de los Programas en Competencias Profesionales de las Carreras de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electromecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica.
Instituto Tecnológico de Toluca, del 10 al 13 de febrero de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Boca del Río, Celaya, Mérida, Orizaba, Puerto Vallarta y Veracruz.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de Ingenierías, Licenciaturas y Asignaturas Comunes del SNIT.
Tecnológico Nacional de México, del 25 al 26 de agosto de 2014.	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Aguascalientes, Apizaco, Boca del Río, Celaya, Cerro Azul, Cd. Juárez, Cd. Madero, Chihuahua, Coacalco, Coatzacoalcos, Durango, Ecatepec, La Laguna, Lerdo, Matamoros, Mérida, Mexicali, Motúl, Nuevo Laredo, Orizaba, Pachuca, Poza Rica, Progreso, Reynosa, Saltillo, Santiago Papasquiario, Tantoyuca, Tlalnepantla, Toluca, Veracruz, Villahermosa, Zacatecas y Zacatepec. Representantes de Petróleos Mexicanos (PEMEX).	Reunión de trabajo para la actualización de los planes de estudio del sector energético, con la participación de PEMEX.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Analiza, construye, sintoniza, controla y mantiene sistemas dinámicos invariantes en el tiempo para diferentes procesos industriales.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> Desarrolla el modelo matemático de sistemas físicos para predecir y describir su comportamiento ante perturbaciones o distintas señales de entrada en tiempo continuo. Resuelve ecuaciones diferenciales y realiza transformaciones directa e inversa mediante la transformada de Laplace. Analiza la respuesta en la frecuencia de sistemas lineales invariantes en tiempo para el diseño de controladores.
--

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción a la teoría de control	1.1 Reseña del desarrollo de los sistemas de control 1.2 Definiciones 1.2.1 Elementos que conforman los sistemas de control 1.2.1.1 Lazo abierto 1.2.1.2 Lazo cerrado 1.2.2 Ejemplos de sistemas de control 1.3 Control clásico contra control moderno
2	Análisis de sistemas realimentados	2.1 Tipos de señales de entrada de un sistema de control 2.2 Identificación del orden del sistema 2.3 Concepto de polos y ceros y su efecto en la respuesta del sistema 2.4 Análisis de la respuesta de un sistema 2.4.1 Respuesta transitoria 2.4.2 Respuesta en estado estable 2.5 Tipos de sistemas y error de estado estacionario y dinámico 2.5.1 Tipos de sistemas 2.5.2 Análisis del error 2.5.2.1 Coeficientes estáticos del error 2.5.2.2 Error de estado estacionario 2.5.2.3 Coeficientes de error dinámico 2.5.3 Criterios de error 2.5.4 Introducción a la optimización de sistemas 2.6 Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz 2.7 Análisis de estabilidad mediante la técnica del lugar de las raíces 2.8 Reubicación de polos y ceros
3	Análisis y diseño de controladores en el tiempo	3.1 Definición de características de un controlador 3.2 Tipos de controladores: Proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) y proporcional-integral-derivativo (PID) 3.3 Diseño de controladores por la técnica del lugar de las raíces 3.4 Controladores clásicos por realimentación 3.4.1 Reglas de Ziegler-Nichols 3.4.2 Aplicación de las reglas de Ziegler-Nichols 3.4.3 Selección y sintonización del controlador

		3.5 Aplicaciones en la solución de problemas reales
4	Análisis y diseño de compensadores en la frecuencia	4.1 Gráficas de Bode 4.2 Criterio de estabilidad por Bode (Margen de ganancia y fase) 4.3 Compensación con Bode 4.3.1 Compensación en adelanto 4.3.2 Compensación en atraso 4.3.3 Compensación en adelanto-atraso 4.4 Aplicaciones en la solución de problemas reales
5	Sistemas de control en espacio de estado	5.1 Introducción 5.2 Conversión entre función de transferencia y espacio de estado 5.3 Estabilidad en el espacio de estado: Punto de equilibrio o punto crítico 5.4 Controlabilidad y estabilizabilidad 5.5 Control por realimentación de estados 5.5.1 Diseño por ubicación de polos 5.5.2 Fórmula de Ackermann 5.6 Observabilidad y detectabilidad 5.7 Diseño de observadores 5.8 Control integral (Control por modelo interno) 5.9 Regulador cuadrático lineal (LQR, Linear Quadratic Regulator)

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Introducción a la teoría de control	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Conoce el principio de operación de sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado para identificar sistemas en la vida real y de estos poder distinguir sus características principales.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de análisis y síntesis. • Trabajo en equipo, • Comunicación oral y escrita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir sobre los diferentes sistemas de la vida real e identificar su naturaleza. • Clasificar las propiedades de cada sistema. • Identificar las relaciones entre los diferentes componentes del sistema • Clasificar sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado a través ejemplos. • Proponer posibles modificaciones a los sistemas para pasar de uno en lazo abierto a otro en lazo cerrado y viceversa, evaluando las conveniencias de realizar tal ejercicio.

2. Análisis de sistemas realimentados	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Evalúa sistemas realimentados ante diferentes señales de entrada para conocer la respuesta en estado transitorio y estable, el error en estado estacionario y dinámico. Comprender la técnica del lugar de las raíces para la identificación de polos y estudiar el efecto de reubicar polos y ceros lo que permite definir la estabilidad del sistema.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. • Capacidad para diseñar proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender a través de ejercicios matemáticos el orden que puede llegar a tener una función de transferencia y observar su salida • Elaborar prácticas empleando amplificadores operacionales (filtros análogos) que permitan comprobar el tipo de orden de un sistema y su respuesta. • Identificar los ceros y polos de un sistema aplicando matemáticas descriptivas. • Utilizar software de simulación (Matlab, SciLab, etc.) para reforzar conceptos. • Comprender los errores estacionario y dinámico mediante el análisis de las gráficas de la respuesta de los sistemas. • Realizar cálculos matemáticos para ubicar las diferencias entre sistemas y ordenes de estos, aplicando diferentes criterios. • Realizar ejercicios (clase y extra-clase) con los métodos básicos para la optimización de sistemas. • Comprender e interpretar mediante gráficas el concepto de estabilidad. • Realizar variaciones al grado del sistema y a las señales de entrada para observar el cambio en el parámetro de estabilidad. • Aplicar la técnica de Routh-Hurwitz en el desarrollo de ejercicios para la determinación del margen de estabilidad de sistemas. • Utilizar la metodología para graficar el lugar geométrico de las raíces y poder realizar modificaciones (reubicación), observando la repercusión en la salida del sistema.
3. Análisis y diseño de controladores en el tiempo	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s): Comprende y aplica el funcionamiento de un controlador en un sistema para diseñar los diferentes tipos de estructuras de control al emplear controladores del tipo proporcional, tipo derivativo y tipo integral.</p> <p>Sintoniza las ganancias de los controladores tipo PID mediante el método de Ziegler-Nichols y el</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el papel que juega un controlador en el estudio de los sistemas. • Utilizar los controladores tipo P, tipo PI, tipo PD y tipo PID en el control de sistemas. • Utilizar el método de Ziegler-Nichols en la sintonización de controladores sobre sistemas con función de transferencia desconocida y sobre sistemas con función de transferencia

<p>método del lugar de las raíces para el control de procesos.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. • Capacidad para diseñar proyectos 	<p>explícita.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar el método del lugar geométrico de las raíces para sintonizar controladores. • Aplicar en sistemas observados en unidades anteriores los métodos de sintonización y valorar diferencias.
<p>4. Análisis y diseño de compensadores en la frecuencia</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s): Comprende y aplica las herramientas que proporcionan las gráficas de Bode para diseñar compensadores en sistemas de control en el dominio de la frecuencia.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. • Capacidad para diseñar proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los parámetros presentes en las gráficas de Bode • Elaborar manualmente diagramas de Bode • Utilizar software para elaborar gráficas de Bode • Evaluar ejemplos vistos en temas anteriores en el contexto de gráficas de Bode • Interpretar el concepto de estabilidad, error y rapidez a partir de las gráficas de Bode. • Examinar las características de los compensadores en atraso, adelanto y adelanto-atraso. • Implementar compensadores en atraso, adelanto y adelanto-atraso.
<p>5. Sistemas de control en espacio de estado</p>	
<p>Competencias</p>	<p>Actividades de aprendizaje</p>
<p>Específica(s): Evalúa sistemas descritos en espacio de estados a partir de las propiedades de controlabilidad y observabilidad para el diseño de controladores.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Habilidades básicas de manejo de la computadora. • Capacidad para diseñar proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender a plenitud el concepto de espacio de estado • Determinar el punto de equilibrio para los sistemas representados en espacio de estados • Identificar las variables de estado medibles y no medibles • Observar cómo influye el concepto de realimentación del vector de estado • Diseñar observadores de estado • Implementar control integral (Control por modelo interno) • Implementar el regulador cuadrático lineal (LQR) óptimo

8. Práctica(s)

- Diseño y simulación por software de controladores y compensadores aplicados en sistemas de control realimentado utilizando software a nivel sistema (Por ejemplo: Matlab/Simulink, Simnon, entre otros) así como software a nivel implementación (Como CircuitMaker) que incluyan los temas de estabilidad, lugar de las raíces, Bode y variables de estado.
- Modelación, construcción, caracterización y sintonización física de un sistema de control realimentado que sea factible de implementar con los medios disponibles.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

10. Evaluación por competencias

Son las técnicas, instrumentos y herramientas sugeridas para constatar los desempeños académicos de las actividades de aprendizaje.

- Mapa conceptual
- Problemario
- Examen
- Esquemas
- Representaciones gráficas o esquemáticas
- Mapas mentales
- Ensayos
- Reportes de prácticas
- Resúmenes
- Rúbrica
- Exposiciones orales.
- Lista de cotejo
- Matriz de valoración
- Guía de observación

11. Fuentes de información

1. Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Modern control systems* (12th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
 2. Nise, N. S. (2011). *Control systems engineering* (6th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
 3. Ogata K. (2010). *Modern control engineering* (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
 4. Franklin, G. F., David Powell, J., & Emami-Naeini, A. (2010). *Feedback control of dynamic systems* (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Higher Education, Inc.
 5. Chen, C. T. (2009). *Linear system theory and design* (3rd ed.). Oxford University Press.
 6. Davison, D. E., & Chen, J. (2007, February). Classical control revisited. *IEEE Control Systems Magazine*, 27(1).
 7. Davison, D. E., & Chen, J. (2007, June). Classical control revisited: Part II. *IEEE Control Systems Magazine*, 27(3).
 8. Bernstein, D. S. (2006, February). PID 2006. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(1).
 9. Stevens, B. L., & Lewis, F. L. (2003). *Aircraft control and simulation* (2nd ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
 10. Umez-Eronini, E. (2001). *Dinámica de sistemas y control* (1a. Ed.). México: International Thomson Editores, S. A. de C. V.
 11. Goodwin, G. C., Graebe, S. F., & Salgado, M. E. (2000) *Control system design*. Prentice Hall.
 12. Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de control automático* (7a. Ed.). Prentice Hall.
 13. Ogata, K. (1992). *Ingeniería de control moderna* (3a. Ed.). Prentice Hall.
- D'Azzo, J. J., & Houpis, C. H. (1981). *Linear control system analysis and design* (2nd ed.). McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.