

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura :	Control
Carrera :	Ingeniería Mecatrónica
Clave de la asignatura :	MTJ-1006
SATCA ¹	4 - 2 - 6

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Mecatrónico la capacidad para explicar y realizar el control lineal de los sistemas dinámicos. Permite la utilización de herramientas que simulen, analicen y diseñen controladores para sistemas de control.

La materia en su constitución ha tenido 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 otros más son considerados con especial atención contemplando los enfoques clásico y moderno en el tratamiento de las señales en el proceso de control.

El profesional en el desempeño cotidiano será capaz de comprender las características, parámetros y conceptos intrínsecos de un sistema de control al observar sus diferentes respuestas ante entradas diversas, y podrá realizar ajustes que permitan la optimización de los sistemas con enfoques actuales.

Intención didáctica.

El temario considera cinco unidades, contemplando en su primera unidad la identificación de los sistemas y sus diferentes características.

La unidad dos comprende el entendimiento claro de lo que significa y de la aplicabilidad del concepto de Función de Transferencia en los sistemas. Considera la identificación de los sistemas ante diferentes tipos de entradas, identificando sus salidas y los diferentes ordenes de operación del sistema. Centralmente se evalúa la

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

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.

La tercera unidad es dedicada al estudio del concepto de controlador en el tiempo y sus diferentes formas de análisis y diseño. Se emplean diferentes técnicas de diseño de controladores.

La cuarta unidad realiza una evaluación de los sistemas desde una óptica diferente, el estudio en el dominio de la frecuencia de los sistemas, para obtener las diferentes formas de compensación en adelanto y/o atraso de los controladores.

La quinta unidad es observar desde un enfoque modernista los controladores y el diseño de estos. Para el estudio se emplea la teoría de espacio de estado que es una visión de los últimos años con un futuro provisorio para la eficiente sintonización de los 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.

Todas las unidades están interrelacionadas 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 fundamental en el estudio de los modelos matemáticos.

Dentro del curso se contempla la posibilidad del 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; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón 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 visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar 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 controlar y registrar.

Se sugiere una actividad integradora o proyecto final que permita aplicar los conceptos de control estudiados durante el curso, 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 de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse 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 escenarios distintos, ya sean contruidos, artificiales, virtuales o naturales.

Perfectamente cabe la posibilidad de utilizar herramientas de apoyo, materiales diversos que en la actualidad son más disponibles para la comprensión de los diversos temas. Una herramienta sugerida para la evaluación de sistemas reales es Matlab, la cual se encuentra como una opción también 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 de este proceso. Esta resolución de problemas no se especifica en la descripción de actividades, por ser más familiar en el desarrollo de cualquier curso. Pero 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 de manera integral se conforme una visión del futuro profesionista y se pueda crear la confianza en él que permita interpretar el mundo que le rodea, sea este dentro de su desempeño laboral o no, donde fundamentalmente el enfoque sistemático será 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 valorar las actividades que lleva particularmente a cabo y entienda que está construyendo su conocimiento, aprecie la importancia del mismo y 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 actué de manera profesional.

Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos y los considere en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR

<p>Competencias específicas:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Adquirir los conocimientos necesarios para evaluar, analizar, comprender, construir, sintonizar, controlar y mantener sistemas dinámicos invariantes en el tiempo para diferentes procesos industriales.	<p>Competencias genéricas:</p> <p><u>Competencias instrumentales</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de análisis y síntesis• Capacidad de organizar y planificar• Conocimientos básicos de la carrera• Comunicación oral y escrita• Conocimiento de la Transformada de Laplace• Habilidades básicas en el modelado de sistemas mediante la utilización de la Transformada de Laplace.• Habilidades básicas de manejo de la computadora• Habilidad de manejo de software de Ingeniería• Habilidad para simular mediante modelaje matemático los sistemas físicos• Conocimiento de electrónica analógica• Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas• Solución de problemas• Toma de decisiones. <p><u>Competencias interpersonales</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad crítica y autocrítica• Trabajo en equipo• Habilidades interpersonales• Creatividad• Habilidad de modelar <p><u>Competencias sistémicas</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica• Habilidades de investigación• Capacidad de aprender• Capacidad de generar nuevas ideas (creatividad)• Habilidad para trabajar en forma autónoma• Búsqueda del logro
--	---

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Evento
<p>Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del 24 al 28 de agosto de 2009.</p>	<p>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.</p>	<p>Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.</p>
<p>Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 1 de septiembre al 15 de diciembre de 2009.</p>	<p>Academias de Ingeniería Mecatrónica de los Institutos Tecnológicos de: Aquí va los tec</p>	<p>Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño Curricular de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.</p>
<p>Instituto Tecnológico de Mexicali del 25 al 29 de enero de 2010.</p>	<p>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 y Zacapoaxtla.</p>	<p>Reunión Nacional de Consolidación de los Programas en Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.</p>

5.- OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Adquirir los conocimientos necesarios para evaluar, analizar, comprender, construir, sintonizar, controlar y mantener sistemas dinámicos invariantes en el tiempo para diferentes procesos industriales.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Asociar el comportamiento de variables en el tiempo continuo, con una representación gráfica y una representación analítica de una variable compleja S , de un modelo de sistema lineal e invariante en el tiempo.
- Identificar características de sistemas LTI (Linear Time Invariant) utilizando su representación en la Transformada de Laplace.
- Caracterización de sistemas dinámicos en el dominio del tiempo, en el plano complejo (S) y en de la frecuencia.

7.- TEMARIO

Unidad	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 Ejemplo de sistemas de control 1.3 Control Clásico contra Control Moderno
2	Análisis de sistemas realimentados en el tiempo	2.1 Tipos de sistemas y error de estado estacionario y dinámico 2.1.1 Tipos de sistemas 2.1.2 Análisis de error 2.1.2.1 Coeficientes estáticos de error 2.1.2.2 Error de estado estacionario 2.1.2.3 Coeficientes de error dinámico 2.1.3 Criterios de error 2.1.4 Introducción a la optimización de sistemas 2.2 Criterio de Estabilidad de Routh-Hurwitz 2.3 Técnicas del lugar de las raíces 2.4 Reubicación de polos y ceros
3	Análisis y diseño de controladores en el	3.1. Definición de características de un controlador

	tiempo	<p>3.2 Tipos de controladores: P, PI, PD y PID</p> <p>3.3 Método del lugar geométrico de las raíces</p> <p>3.4 Controladores clásicos por retroalimentación</p> <p>3.4.1 Reglas de Ziegler-Nichols</p> <p>3.4.2 Aplicación de las reglas de Ziegler-Nichols</p> <p>3.4.3 Selección y sintonización del controlador</p> <p>3.5 Aplicaciones en la solución de problemas reales</p>
4	Análisis y diseño de compensadores en la frecuencia	<p>4.1 Criterio de Estabilidad por Bode (Margen de ganancia y fase)</p> <p>4.3 Compensación con Bode</p> <p>4.3.1 Compensación en adelanto</p> <p>4.3.2 Compensación en atraso</p> <p>4.3.3 Compensación en adelanto-atraso</p> <p>4.4 Aplicaciones en la solución de problemas reales</p>
5	Introducción al diseño de controladores en espacio de estado	<p>5.1 Introducción</p> <p>5.2 Estabilidad en el espacio estado: Punto de equilibrio o punto crítico</p> <p>5.3 Retroalimentación del vector de estado y asignación de valores propios, ejemplos</p>

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

El profesor debe:

Ser conocedor de la disciplina de control, la cual está bajo su responsabilidad, conocer su origen y desarrollo histórico para considerar este conocimiento al abordar los temas. Desarrollar la capacidad para coordinar y trabajar en equipo; orientar el trabajo del estudiante y potenciar en él la autonomía, el trabajo cooperativo y la toma de decisiones. Mostrar flexibilidad en el seguimiento del proceso formativo y propiciar la interacción entre los estudiantes. Tomar en cuenta el conocimiento de los estudiantes como punto de partida para la construcción de nuevos conocimientos.

- Propiciar actividades de metacognición. Ante la ejecución de una actividad, señalar o identificar el tipo de proceso intelectual que se realizó: una identificación de patrones, un análisis, una síntesis, la creación de un heurístico, etc. Al principio lo hará el profesor, luego será el alumno quien lo identifique. Ejemplos: reconocer el orden de un sistema físico dada la función de transferencia del mismo: reconocimiento de patrones; elaboración de un principio a partir de una serie de observaciones producto de un experimento: síntesis.
- Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Ejemplo: buscar y contrastar comportamientos como aquellos de segundo orden, identificando puntos de coincidencia y diferencia entre ellos en cada situación concreta (subamortiguado, críticamente amortiguado, sobreamortiguado).
- Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Ejemplo: al socializar los resultados de las investigaciones hechas a partir de software de simulación (Matlab) y las experiencias prácticas solicitadas como trabajo extra clase.
- Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional. Ejemplos: el proyecto final se realizará tomando en cuenta el contenido de todas las unidades.
- Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante. Ejemplos: señalar que el control continuo basado en Laplace estudiado en esta clase puede ser extendido a un control discreto basado en transformada Z con conceptos similares, y que ambos son necesarios para controlar el movimiento de robots, los cuales son necesarios para implementar manufactura integrada por computadora, etc.
- Propiciar el desarrollo de capacidades intelectuales relacionadas con la lectura, la escritura y la expresión oral. Ejemplos: trabajar las actividades prácticas a través de guías escritas, redactar reportes e informes de las actividades de experimentación, exponer al grupo las conclusiones obtenidas durante las observaciones.

- Facilitar el contacto directo con materiales e instrumentos, al llevar a cabo actividades prácticas, para contribuir a la formación de las competencias para el trabajo experimental como: identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, trabajo en equipo.
- Propiciar el desarrollo de actividades intelectuales de inducción-deducción y análisis-síntesis, que encaminen hacia la investigación.
- Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos, modelos y metodologías que se van aprendiendo en el desarrollo de la asignatura.
- Proponer problemas que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y solución.
- Relacionar los contenidos de la asignatura con el cuidado del medio ambiente.
- Cuando los temas lo requieran, utilizar medios audiovisuales para una mejor comprensión del estudiante.
- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de la asignatura (Matlab, LabView, Mathematica, Simmon, CircuitMaker, Internet, etc.).

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN

La evaluación debe ser continua y formativa por lo que se debe considerar el desempeño en cada una de las actividades de aprendizaje, haciendo especial énfasis en:

- Ejercicios y problemas en clase
- Exposición de temas por parte de los alumnos con apoyo y asesoría del profesor
- Evaluación trabajos de investigación entregados en forma escrita
- Evaluación por unidad para comprobar el manejo de aspectos teóricos y declarativos
- Evaluación de las prácticas por unidad, considerando los temas que ésta contiene
- Evaluación de las aplicaciones del contenido de la materia
- Considerar reporte de un proyecto final que describa las actividades realizadas y las conclusiones del mismo

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: **Introducción a la teoría de control**

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Identificar los sistemas de control</p> <p>Conocer el principio de operación de sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado</p> <p>Identificar en la vida real sistemas y de ellos poder ubicar las características principales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir sobre los diferentes sistemas de la vida real, identificar la naturaleza de cada sistema. • Saber ubicar las propiedades de cada sistema. • Poder delimitar el sistema. Identificar las relaciones de partes (componentes) del sistema • Ejemplificar sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado, ubicándolos en estas dos clasificaciones. • Proponer posibles modificaciones a los sistemas para pasar de un lazo abierto a cerrado y de un sistema de lazo cerrado a uno de lazo abierto, evaluando las conveniencias de realizar tal ejercicio.

Unidad 2: **Análisis de sistemas realimentados en el tiempo**

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Identificar los diferentes tipos de señales que se emplean</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender a través de ejercicios matemáticos el orden que puede llegar a

<p>como entrada a los sistemas</p> <p>Identificar los órdenes que constituyen la función de transferencia de un sistema determinado</p> <p>Interpretar el concepto de cero (zero) y polo en las funciones de transferencia</p> <p>Comprender el concepto de respuesta transitoria y respuesta de estado estable en la salida del sistema</p> <p>Comprender y analizar el concepto de error estacionario y dinámico.</p> <p>Utilizar métodos básicos de optimización de sistemas</p> <p>Evaluar estabilidad de un sistema por medio de la técnica algebraica de Ruth-Hurwitz</p> <p>Comprender la técnica de identificación de polos llamada lugar de las raíces y reubicar polos y ceros</p>	<p>tener una función de transferencia y observar su salida.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar con amplificadores operacionales prácticas (filtros análogos) que permitan comprobar el tipo de orden de un sistema y su respuesta. • Identificar los ceros y polos de un sistema aplicado matemáticas descriptivas. • Utilizar software de simulación (Matlab, SciLab, etc.) para reforzar los 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 extraclase) 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 algebraica de Routh-Hurwitz desarrollando ejercicios. • Utilizar la metodología para graficar el lugar geométrico de las raíces y poder realizar modificaciones (reubicación), observando la repercusión en la salida del sistema.
--	---

Unidad 3: Análisis y diseño de controladores en el tiempo

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Comprender el funcionamiento de un controlador en un sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar el papel que juega un controlador en el estudio de los sistemas. • Utilizar los controladores P, PI, PD y PID.

<p>Identificar los tipos de controladores</p> <p>Sintonizar controladores mediante el método de Ziegler-Nichols</p> <p>Sintonizar controladores mediante el método del lugar de las raíces</p> <p>Aplicar en sistemas observados en unidades anteriores los métodos de sintonización y observar diferencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar el método Ziegler-Nichols en la sintonización de controladores sobre sistemas con función de transferencia explícita y matemática y sobre sistemas con función de transferencia desconocida. • Utilizar el método del lugar geométrico de las raíces para sintonizar controladores.
---	---

Unidad 4: Análisis y diseño de compensadores en la frecuencia

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Comprender el significado de las gráficas de Bode</p> <p>Elaborar gráficas de Bode conociendo los conceptos de margen de ganancia y margen de fase</p> <p>Comprender las compensaciones posibles en el estudio de sistemas en el dominio de la frecuencia</p> <p>Evaluar los sistemas reales vistos con anterioridad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los parámetros presentes en las gráficas de Bode • Elaborar manualmente gráficas o diagramas de Bode • Utilizar software para elaborar gráficas de Bode • Evaluar ejemplos vistos en unidades pasadas en el tema de gráfica de Bode • Identificar 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. • Diseñar compensadores en atraso, adelanto y adelanto-atraso. • Aplicar los compensadores en atraso, adelanto y adelanto-atraso.

Unidad 5: Introducción al diseño de controladores en espacio de estado

<i>Competencia específica a desarrollar</i>	<i>Actividades de Aprendizaje</i>
<p>Comprender el significado de espacio de estado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender a plenitud el concepto moderno de espacio de estado

<p>Comprender el significado de punto de equilibrio</p> <p>Evaluar ejemplos</p>	<ul style="list-style-type: none">• Ubicar el punto de equilibrio en los sistemas por este método• Observar como influye el concepto de retroalimentación del vector de estado
---	---

Haga clic aquí para escribir texto.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Kuo, Benjamín C., Sistemas de control automático, 7ª edición, Ed. Prentice Hall, (1996)
2. Ogata, Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, 3ª edición, Ed. Prentice Hall, (1992)
3. William L. Brogan, Modern control theory, 3th edition, Ed. Prentice Hall, (1991)
4. Distefano, Stubberud y Williams, Retroalimentación y sistemas de control, 2ª edición, Ed. Mc Graw Hill, (1992)
5. Dorf, Richard C., Sistemas modernos de control, 2ª edición, Ed. Addison Wesley, (1989)
6. Roca Cusidó, Alfred, Control de procesos, Ed. Alfaomega,(1999)
7. Umez_Eronini E., Dinámica de sistemas y control, Ed. International Thomson Editors, (2001)
8. Nise, Norman S., Sistemas de Control para Ingeniería, 3ª Ed., Editorial C.E.C.S.A., 2002

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS

- Diseño y simulación por software de controladores y compensadores aplicados en sistemas de control realimentado utilizando software a nivel sistema como Matlab, y 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.