



1.- Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Control No Lineal
Clave de la asignatura:	RCJ-2404
SATCA¹	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Electrónica

2.- Presentación

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta al perfil de egreso del ingeniero(a) en electrónica las competencias necesarias para entender el comportamiento dinámico no lineal de los sistemas físicos reales, en contraste con el comportamiento dinámico de sistemas lineales. Esto permitirá al egresado tener las competencias o habilidades necesarias para analizar y diseñar sistemas de control en lazo cerrado usando técnicas lineales y no lineales, según convenga.

La asignatura hace un breve recorrido del análisis de respuesta transitoria de sistemas lineales, para luego incursionar en los criterios de estabilidad requeridos para el análisis de sistemas no lineales, usando la teoría de Lyapunov como base, y así progresivamente tener las competencias para poder diseñar sistemas de control no lineal realimentado tanto para regulación como para seguimiento de trayectorias. La asignatura concluye con el estudio de técnicas de control linealizante y el análisis de sistemas no lineales usando la teoría de pasividad.

La asignatura de Control No Lineal se relaciona prácticamente con todas las asignaturas de control automático, como Ingeniería de Control Clásico, Teoría de Control Moderna, Control Digital, Modelación de Sistemas Dinámicos, en las cuales se adquieren las competencias para el diseño de controladores lineales, tomando en cuenta sus respuestas transitorias, respuestas a la frecuencia, lugar de las raíces, modelación por variables de estado, realimentación de estados; tanto para sistemas de una entrada una salida como para sistemas multivariables. La asignatura de Control No Lineal aprovecha estas competencias adquiridas en las otras asignaturas de control automático y las concentra en el ámbito de sistemas dinámicos no lineales.

¹ Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos



Intención didáctica.

Para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Control No Lineal su contenido se organiza en seis temas.

El primer tema aborda un repaso a la respuesta transitoria de sistemas lineales y hace una introducción al concepto de sistemas no lineales y su análisis por medio del plano de fase.

El segundo tema profundiza sobre la utilidad de generación de trayectorias de sistemas no lineales alrededor de los puntos de equilibrio y así obtener un aproximado de las trayectorias del sistema completo no lineal utilizando el plano de fase. Se identifican en este tema el tipo de punto de equilibrio de acuerdo a linealizaciones locales alrededor de dichos puntos de equilibrio.

El tercer tema presenta los fundamentos básicos de la teoría de estabilidad de Lyapunov para continuar en dicho tema con teoría de estabilidad, estabilidad asintótica local y global para sistemas autónomos y continuar con

Cuarto tema que trata sobre la teoría de estabilidad avanzada para sistemas no autónomos.

El quinto tema está enfocado al diseño de control realimentado tanto para regulación como para seguimiento de trayectorias de sistemas mecánicos controlados, hasta de 2 grados de libertad, incluyendo análisis formales de estabilidad en lazo cerrado.

Finalmente en el tema sexto se aborda el problema de análisis de sistemas pasivos basados en balances de energía.

A lo largo del curso, como casos de estudio, las competencias adquiridas se aplican al análisis y diseño de control de diversos sistemas lineales y no lineales, como son: control de posición de servomotores, control de posición y seguimiento de péndulo simple, circuitos eléctricos y osciladores no lineales, entre otros. Se emplean técnicas de simulación de controladores analógicos y digitales previo a la práctica experimental, en donde el diseño del controlador es depurado y resintonizado de acuerdo a las respuestas reales del sistema controlado.

El profesor se encarga de presentar las bases de cada tema y guiar a los estudiantes para incentivarlos al desarrollo de habilidades técnicas e intelectuales para el análisis y diseño de controladores de sistemas no lineales, en base a los conocimientos adquiridos en las aulas y en la observación de las respuestas obtenidas en el laboratorio en simulación y/o experimentación.



Las actividades de los estudiantes se toman en cuenta tanto en forma individual como por grupo, ya sea con exposiciones de temas, realización de proyectos de clase y exámenes escritos.

3.- Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Instituto Tecnológico de La Laguna. Marzo 2024.	Academia de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de La Laguna, en particular profesores investigadores del Posgrado en Ingeniería Eléctrica con opción Mecatrónica y Control	Diseño curricular de la especialidad: ROBÓTICA Y CONTROL AVANZADO.

4.- Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura:

Evalúa el comportamiento dinámico no lineal de los sistemas físicos reales que le permite analizar y diseñar sistemas de control en lazo cerrado usando técnicas lineales y no lineales.

5.- Competencias previas

Diseño de controladores lineales, tomando en cuenta sus respuestas transitorias, respuestas a la frecuencia, lugar de las raíces, modelación por variables de estado, realimentación de estados, tanto para sistemas de una entrada una salida como para sistemas multivariables.



6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1.	Introducción a los sistemas no lineales	1.1. Repaso a respuesta transitoria de sistemas lineales 1.2. Conceptos básicos de control no lineal 1.3 Modelado y análisis de respuesta transitoria de sistemas lineales de segundo orden. 1.3. Sistemas no lineales de segundo orden
2	Generación de trayectorias por el método del planos de fase, para sistemas no lineales.	2.1 Análisis en el plano de fase 2.2 Comportamiento cualitativo del entorno de puntos singulares 2.3 Ciclos límites
3.	Fundamentos de la teoría de Lyapunov	3.1. Puntos de equilibrio 3.2. Conceptos de estabilidad 3.3. Método directo de Lyapunov 3.4. Teoremas de estabilidad de equilibrios 3.5. Análisis de estabilidad de sistemas dinámicos, basado en el método directo de Lyapunov
4.	Teoría de estabilidad avanzada	4.1. Conceptos de estabilidad para sistemas no autónomos 4.2. Análisis de estabilidad para sistemas no autónomos
5.	Control realimentado	5.1. El problema de control 5.2. Regulación 5.3 Seguimiento de trayectorias



		5.3. Linealización exacta vía realimentación 5.4 Introducción al control adaptable
6	Sistemas pasivos basados en balances de energía.	6.1 Definición de pasividad 6.2 Sistemas pasivos y disipativos 6.3 Análisis de estabilidad de Lyapunov usando funciones de energía

7.- Actividades de aprendizaje de los temas.

Tema 1: Introducción a los sistemas no lineales	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u> <ul style="list-style-type: none">Analiza el concepto de estabilidad de equilibrios de sistemas no lineales de segundo orden mediante el plano de fase. <u>Genéricas.</u> <ul style="list-style-type: none">Habilidades en el uso de las tecnologías y la informaciónHabilidades de investigaciónDestrezas de computaciónCapacidad de análisis	<ul style="list-style-type: none">Estudiar sobre respuesta transitoria de sistemas lineales.Investigar sobre conceptos básicos de control no lineal.Simular sistemas no lineales de segundo orden.
Tema 2. Generación de trayectorias por el método del planos de fase, para sistemas no lineales	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u>	* Análisis en el plano de fase



<ul style="list-style-type: none"> Analiza el concepto de estabilidad de equilibrios de sistemas no lineales de segundo orden mediante el plano de fase. <p>Genéricas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades en el uso de las tecnologías y la información Habilidades de investigación Destrezas de computación Capacidad de análisis 	<p>* Comportamiento cualitativo del entorno de puntos singulares</p> <p>* Ciclos límites</p>
---	--

Tema 3: Fundamentos de la teoría de Lyapunov

Competencias	Actividades de Aprendizaje
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Investiga la estabilidad de sistemas no lineales de orden n mediante la teoría de Lyapunov. <p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis Habilidades de investigación Destrezas tecnológicas Habilidades en el uso de las tecnologías y la información 	<ul style="list-style-type: none"> Comprender el concepto práctico de puntos de equilibrio. Investigar sobre los conceptos de estabilidad, específicamente, el método directo de Lyapunov. Encontrar las respuestas transitorias mediante simulación de sistemas no lineales y comparar con las respuestas esperadas de los teoremas de estabilidad de equilibrios. Analizar la estabilidad de diversos sistemas dinámicos, basado en el método directo de Lyapunov.

Tema 4: Teoría de estabilidad avanzada.

Competencias.	Actividades de Aprendizaje
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Investiga el concepto de estabilidad de sistemas no autónomos no lineales de 	<ul style="list-style-type: none"> Comprender los conceptos de estabilidad para sistemas no lineales no autónomos. Investigar sobre los conceptos de estabilidad de sistemas no autónomos



<p>orden n mediante la teoría de Lyapunov y comprensión del concepto de pasividad y su relación con los métodos de estabilidad basados en energía.</p> <p><u>Genéricos.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades de investigación • Capacidad de análisis. • Habilidades en el uso de las tecnologías y la información • Capacidad cognitiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar la estabilidad de casos específicos de estudio de sistemas no autónomos. • Investigar el concepto de pasividad y su aplicación en sistemas no lineales. • Determinar la pasividad de casos específicos de estudio de sistemas lineales y no lineales, autónomos, y no autónomos.
<p>Tema 5: Control realimentado</p>	
<p>Competencias.</p>	<p>Actividades de Aprendizaje</p>
<p><u>Específicas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseña controladores tanto en regulación y seguimiento que resuelvan sus respectivos problemas de control de sistemas dinámicos con distintos parámetros. <p><u>Genéricas.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades de investigación • Capacidad para diseñar y gestionar proyectos • Habilidades en el uso de las tecnologías y la información 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar sobre la formulación del problema de control de regulación y seguimiento y sus posibles soluciones. • Diseñar controladores tanto en regulación como en seguimiento para la solución del problema de control. • Investigar sobre la técnica de diseño de controladores por linealización exacta vía realimentación. • Investigar sobre el control adaptable como herramienta para hacer frente al diseño de controladores de sistemas dinámicos con incertidumbre paramétrica. • Aplicar en simulación las técnicas arriba mencionadas para casos de estudio específicos.

Tema 6: Sistemas pasivos basados en balances de energía.	
Competencias.	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u> <ul style="list-style-type: none"> Conocimiento de Sistemas pasivos basados en balances de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar el concepto de pasividad y su aplicación en sistemas no lineales. Determinar la pasividad de casos específicos de estudio de sistemas lineales y no lineales, autónomos, y no autónomos. Definición de pasividad Sistemas pasivos y disipativos Análisis de estabilidad de Lyapunov usando funciones de energía
<u>Genéricas.</u> <ul style="list-style-type: none"> Habilidades de investigación Capacidad de análisis Habilidades en el uso de las tecnologías y la información Capacidad de tomar decisiones Capacidad de evaluación 	

8.- Práctica(s).

<ol style="list-style-type: none"> Simulación y experimentación de un sistema lineal de segundo orden, para obtener su respuesta transitoria y sus trayectorias en el plano de fase, específicamente, en un control de posición de un servomotor de CD. Simulación y experimentación para encontrar las respuestas transitorias de sistemas no lineales y comparar con las respuestas esperadas de los teoremas de estabilidad de equilibrios; específicamente en los siguientes sistemas: oscilador lineal, oscilador no lineal de Van der Pol y péndulo simple. Simulación y experimentación para el diseño de controladores de posición y seguimiento en un sistema péndulo invertido activado por una fuente ideal de par, usando controladores basados en pasividad, linealización por realimentación y PID (control proporcional, integral y derivativo). Simulación y experimentación en sistemas pasivos para corroborar los conceptos de pasividad y su relación con la conservación de la energía; específicamente en circuitos RLC y sistema pendular simple.
--



9.- Proyecto de asignatura

El proyecto de esta asignatura consta del diseño y construcción por medio de circuitos digitales y/o analógicos de plantas a controlar, como lo son: a) motor de CD, b) péndulo simple, c) oscilador lineal, d) oscilador no lineal, e) circuitos RLC. Dichas plantas serán controladas por medio de los controladores continuos (pero implementados en computadora digital y comunicados por tarjetas de adquisición de datos de entrada salida, con periodos de muestreo relativamente rápidos con respecto a la constante de tiempo de la planta, para que puedan ser considerados como aproximaciones de controladores continuos) vistos en el tema 4 de Control Realimentado y analizadas en lazo cerrado con las técnicas vistas en los temas 2 y 3. Se considerarán restricciones adicionales como efectos de saturación en los actuadores y fenómenos de fricción vistos en el tema de concepto de energía.

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.

El proyecto se determina en común acuerdo con el estudiante y el profesor experto asignado, tomado en cuenta los materiales, equipos y tiempo disponibles.



10.- Evaluación por competencias

La evaluación de la asignatura se hará con base en los siguientes criterios de desempeño:

- La evaluación debe ser un proceso continuo, dinámico y flexible enfocado a la generación de conocimientos sobre el aprendizaje, la práctica docente y el programa en sí mismo.
- Debe realizarse una evaluación diagnóstica al inicio del semestre para partir de saberes previos, expectativas e intereses que tengan los estudiantes.
- Durante el desarrollo del curso debe llevarse a cabo una evaluación formativa que permita retroalimentar el proceso de aprendizaje y establecer las estrategias para el logro de los objetivos establecidos.
- Al finalizar el curso debe realizarse una evaluación sumativa que se vincula con aquellas acciones que se orientan a dar cuenta de productos, saberes, desempeños y actitudes que se deben considerar para la calificación.
- Se sugiere utilizar como herramienta de evaluación el portafolio de evidencias y como instrumento la lista de cotejo y la rúbrica.

11.- Fuentes de información.

1. Khalil, H. (2002). *Nonlinear Systems, third edition*. ? : Prentice Hall.
2. Kelly, R., Santibáñez, V., & Loria, A. (2005). *Control of Robot Manipulators in Joint Space*. : Springer.
3. Hernández, V. (2013). *Teoría de diseño, construcción de prototipos, modelado, identificación y pruebas experimentales*. México: Colección CIDETEC, IPN.
4. Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. ? : Pearson Prentice Hall.
5. MatLab Simulink
6. Pauqte de programación de sistemas no lineales SIMNON.