



1.- Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Modelado de Sistemas Robóticos
Clave de la asignatura:	RCJ-2401
SATCA¹	4-2-6
Carrera:	Ingeniería Electrónica

2.- Presentación

Caracterización de la asignatura.

Esta asignatura aporta al perfil de egreso del(de la) ingeniero(a) en electrónica las competencias necesarias para el diseño de modelos de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDOs) de sistemas robóticos para el análisis y predicción del comportamiento dinámico de los mismos sistemas a través del uso de plataformas computacionales.

La asignatura de modelado de sistemas robóticos reviste importancia en lo que se refiere al diseño de controladores de sistemas robóticos. La asignatura integra los recursos y metodologías necesarios para el modelado de sistemas dinámicos desde su representación en términos de EDOs hasta su representación en ecuaciones de entrada-salida, función de transferencia y en la forma espacio de estado. Es luego la disponibilidad y estructura del modelo la que permite identificar y deducir las estrategias de control avanzado y control inteligente, además de las metodologías de control propuestas en el marco de trabajo de control moderno, a implementar en el diseño de controladores.

La asignatura parte del estudio de las leyes de la mecánica Newtoniana, relaciones constitutivas (Ley de Hooke, amortiguador lineal ideal, elementos de circuito ideales, ley de Boyle, ecuación de Bernoulli, modelo de fuerza de arrastre, modelo de transferencia de calor, relaciones de flujo a través de un orificio, etc.) y algunas consideraciones de simplificación para el modelado de sistemas dinámicos en términos de EDOs. La asignatura resume los principios de la mecánica Newtoniana, el estudio de la dinámica de una partícula y de cuerpo rígido en dos dimensiones y trata con detenimiento el estudio de la dinámica de una partícula en el espacio tridimensional, considerando sistemas de coordenadas giratorias, y el estudio de los principios que rigen la mecánica Lagrangiana.

¹ Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos



La asignatura es soporte de las asignaturas de especialidad (MYJ-1702, MYJ-1703, MYJ-1704, MYJ-1705) y de Desarrollo y Evaluación de Proyectos (AEO-1389) así como de refuerzo para la asignatura de Control II (AEF-1010). En la presente asignatura, la caracterización y solución de los modelos de sistemas dinámicos lineales están basados en los métodos de eigenvalor/eigenvector y de movimiento en el espacio de estado más que en la transformada de Laplace.

Intención didáctica

En el primer tema se presenta una breve introducción a la metodología básica del modelado así como un breve repaso a la clasificación de EDOs. El propósito del presente tema es el de introducir al estudiante a la técnica del modelado mediante la aplicación de las leyes de la mecánica Newtoniana, la asimilación de las relaciones constitutivas de los elementos mecánicos básicos y de algunas consideraciones de simplificación en el desarrollo de modelos de EDOs de sistemas dinámicos.

En el segundo tema se presenta la construcción de modelos de sistemas en EDOs a partir de los principios que rigen la mecánica Newtoniana. Se repasan los principios de dinámica de una partícula y de cuerpo rígido junto con los conceptos de trabajo y energía. Se discuten modelos constitutivos empleados en la descripción de sumatoria de fuerzas y de momentos actuantes sobre sistemas mecánicos. Se ilustra el proceso del modelado mediante ejemplos para sistemas Newtonianos de diferente grado de complejidad.

El tercer tema trata con el concepto básico de equilibrio del sistema, determinación del equilibrio de sistemas y linealización de sistemas no lineales mediante la expansión de series de Taylor. Se presentan los métodos de eigenvalor y eigenvector para la solución de modelos lineales autónomos que describen el comportamiento de los sistemas dinámicos cercanos al equilibrio.

El cuarto tema trata con el modelado de sistemas mecánicos para los cuales algunas o todas las cargas surgen debido a efectos hidráulicos, neumáticos, electrónicos o electromagnéticos. El tratamiento no es exhaustivo y es con la principal intención de ilustrar como tales efectos pueden ser usados para ejercer fuerzas y momentos tales que permitan poner en movimiento a los sistemas mecánicos.

El quinto tema trata sobre elementos de gran importancia y utilidad práctica como lo son: El estudio de la dinámica de una partícula en el espacio tridimensional usando sistemas de coordenadas giratorias y el estudio de la mecánica Lagrangiana. Estos temas son incluidos debido a que los estudiantes expuestos a cursos introductorios de dinámica con frecuencia no adquieren una suficiente comprensión de los fundamentos de la asignatura, en donde el enfoque del curso introductorio sobre el movimiento en dos dimensiones genera en los estudiantes algunos conflictos cuando se confronta con sistemas tridimensionales sometidos a movimientos de rotación.



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 y Cuerpo Académico de Mecatrónica y Control del Instituto Tecnológico de La Laguna.	Diseño curricular de la especialidad: Robótica y Control Avanzado.

4.- Competencia(s) a desarrollar

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

Analiza y aplica las leyes de la física, relaciones constitutivas y los principios de la mecánica Newtoniana y de Lagrange en la construcción de modelos de EDOs de sistemas robóticos.

5.- Competencias previas

- Interpreta los fenómenos físicos relacionados con la cinemática y la dinámica de partículas para su aplicación en la solución de problemas de ingeniería (de la asignatura de Mecánica Clásica AEF-1042).
- Interpreta los principios de la conservación de la energía para su aplicación en la solución de problemas de ingeniería (de la asignatura Mecánica Clásica AEF-1042).
- Aplica métodos numéricos en la solución de problemas de ingeniería (de la asignatura Análisis Numérico ETF-1003).
- Identifica, modela y manipula sistemas dinámicos para predecir su comportamiento, tomar decisiones fundamentales y resolver problemas (de la asignatura Ecuaciones Diferenciales ACF-0905).
- Interpreta y aplica los conceptos básicos de control clásico para el análisis y modelado de sistemas físicos (de la asignatura Control I AEF-1010).



6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Introducción al modelado y análisis de sistemas mecánicos	1.1 Introducción. 1.2 Pasos básicos en el modelado y análisis de sistemas mecánicos. 1.3 Comentarios sobre la representación de modelos en términos de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDOs). 1.4 Clasificación de modelos en EDOs.
2	Modelado de sistemas mecánicos	2.1 Principios de la mecánica Newtoniana. 2.2 Modelos constitutivos para sistemas mecánicos. 2.3 Energía cinética, energía potencial y trabajo. 2.4 Traslación y plano de rotación de cuerpos rígidos.
3	Fundamentos del análisis de sistemas dinámicos	3.1 Estabilidad de sistemas lineales. 3.2 Equilibrio del sistema. 3.3 Linealización de funciones mediante expansión de la serie de Taylor. 3.4 Linealización de ángulos pequeños.
4	Modelado de sistemas hidráulicos, neumáticos y electromecánicos.	4.1 Sistemas hidráulicos. 4.2 Sistemas neumáticos. 4.3 Sistemas eléctricos. 4.4 Sistemas electromecánicos.
5	Tópicos avanzados de dinámica	5.1 Introducción. 5.2 Sistemas coordinados rotatorios. 5.3 Ecuaciones de Lagrange.

		<p>5.4 Modelado de sistemas mecatrónicos vía recurso Newton-Euler.</p> <p>5.5 Modelado de sistemas mecatrónicos vía recurso de Euler-Lagrange.</p>
--	--	--

7.- Actividades de aprendizaje de los temas

Tema 1: Introducción al modelado y análisis de sistemas mecánicos	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas</u> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica las leyes de la física en el modelado de sistemas dinámicos. • Aplica relaciones constitutivas para el desarrollo de modelos de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) de sistemas dinámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar las leyes de la física. • Interpretar las relaciones constitutivas de acuerdo al sistema o fenómeno bajo estudio, propiedad o principio asociado a las mismas. • Identificar modelos lineales. • Identificar modelos no lineales. • Establecer la diferencia entre sistemas autónomos y no autónomos. • Determinar el orden del modelo de EDOs de sistemas dinámicos. • Identificar las variables de estado del modelo de EDOs del sistema dinámico.
<u>Genéricas</u> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	

Tema 2: Modelado de sistemas mecánicos	
Competencias	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u> <ul style="list-style-type: none"> • Analiza los modelos constitutivos en la descripción de fuerzas y momentos que actúan sobre sistemas mecánicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Examinar el fenómeno de traslación de una partícula. • Interpretar los conceptos de energía cinética y energía potencial. • Utilizar el concepto de trabajo. • Detectar el plano de rotación de cuerpo rígido.
<u>Genéricas.</u>	



<ul style="list-style-type: none">• Capacidades cognitivas, la capacidad de comprender y manipular ideas y pensamientos.• Capacidad de análisis y síntesis• Capacidad de aprender• Capacidad crítica y autocrítica.	
--	--

Tema 3: Fundamentos del análisis de sistemas dinámicos	
Competencias.	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u> <ul style="list-style-type: none">• Evalúa los conceptos de equilibrio, estabilidad del sistema y linealización del modelo de EDOs.• Reconoce los métodos de eigenvalor y eigenvector para resolver los modelos lineales autónomos que describen el comportamiento de los sistemas dinámicos alrededor del equilibrio. <u>Genéricas.</u> <ul style="list-style-type: none">• Capacidad de análisis y síntesis• Solución de problemas• Capacidad de organizar y planificar• Capacidad de trabajar en equipo interdisciplinario	<ul style="list-style-type: none">• Interpretar el concepto de equilibrio del sistema.• Interpretar el concepto de estabilidad de sistemas lineales.• Determinar el equilibrio de sistemas.• Linealizar modelos no lineales alrededor del equilibrio o punto de operación.• Linealizar modelos no lineales para ángulos pequeños.



Tema 4: Modelado de sistemas hidráulicos, neumáticos y electromecánicos	
Competencias.	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas</u> <ul style="list-style-type: none">● Examina los efectos hidráulicos, neumáticos y electromecánicos en el modelado de sistemas.● Analiza y resuelve algunos ejemplos de sistemas dinámicos. <u>Genéricas.</u> <ul style="list-style-type: none">● Conocimientos generales básicos.● Capacidad de análisis y síntesis.● Capacidades cognitivas, la capacidad de comprender.	<ul style="list-style-type: none">● Aplicar la ley de ohm y leyes de Kirchhoff de circuitos eléctricos.● Interpretar la ley de conservación de masa.● Examinar el fenómeno del flujo a través de un orificio.● Interpretar las leyes de inducción magnética.● Interpretar el concepto de impedancia de elementos eléctricos.● Interpretar el concepto de impedancias mecánicas.

Tema 5: Tópicos avanzados de dinámica	
Competencias.	Actividades de Aprendizaje
<u>Específicas.</u> <ul style="list-style-type: none">● Diagnostica la dinámica de partículas en tres dimensiones usando sistemas de coordenadas giratorios aplicando la mecánica Lagrangiana. <u>Genéricas.</u> <ul style="list-style-type: none">● Capacidades metodológicas.● Capacidad de análisis.● Solución de problemas.● Trabajo en equipo.● Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes.	<ul style="list-style-type: none">● Evalúa el recurso de Newton-Euler en el modelado de sistemas mecatrónicos.● Evalúa el recurso de Euler-Lagrange en el modelado de sistemas mecatrónicos.



8.- Prácticas

1. Relaciones entre la forma espacio de estado, ecuación entrada-salida y función de transferencia.
2. Linealización de un elemento no lineal.
3. Linealización de un modelo no lineal.
4. Sistema masa-resorte-amortiguador traslacional.
5. Sistema masa-resorte-amortiguador rotacional.
6. Sistema doble péndulo invertido acoplado.
7. Sistema bola-péndulo invertido.
8. Sistema de doble péndulo.
9. Sistema carro-péndulo invertido.
10. Motor controlado por armadura.
11. Motor controlado por campo.
12. Brazo robot de un solo eslabón con tren de engranes.
13. Sistema carro móvil accionado por motor de corriente directa.
14. Sistema del tipo helicóptero con cuatro rotores (*quadrotor*).

9.- Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto es interpretar y aplicar las leyes de la física, relaciones constitutivas (Ley de Hooke, amortiguador lineal ideal, elementos de circuito ideales, Ley de Boyle, ecuación de Bernoulli, modelo de fuerza de arrastre, relaciones de flujo a través de un orificio, etc.), los principios de la mecánica Newtoniana y de Lagrange, las leyes de conservación de masa y de conservación de la energía en la construcción de modelos de EDOs de sistemas dinámicos, 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 social, comunitario o empresarial, 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, comunitaria o 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 conocimientos 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, conocimientos, 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. Esfandiari, R.S., Lu, B., Modeling and Analysis of Dynamic Systems, CRC Press, 2018.
2. Stevens, B.L., Lewis, F.L., Johnson, E.N, Aircraft Control and Simulation, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2016.
3. Kulakowski, B.T., Gardner, J.F., Shearer, J.L., Dynamic Modeling and Control of Engineering Systems, Third Edition, Cambridge University Press, 2007.
4. Castillo, P., Lozano, R., Dzul, A.E., Modelling and Control of Mini-Flying Machines; Springer-Verlag London Limited, 2005.
5. Ogata, K., System Dynamics, Fourth Edition, Pearson Prentice Hall, 2004.
6. Mettler, B., Identification Modeling and Characteristics of Miniature Rotorcraft, Kluwer Academic Publishers, 2003.
7. Kelly, R., Santibáñez, V., Control de Movimiento de Robots Manipuladores, Pearson Prentice Hall, 2003.
8. Fantoni, I., Lozano, R., Non-Linear Control for Underactuated Mechanical Systems, Springer-Verlag London, 2002.
9. Umez-Eronini, E., Dinámica de Sistemas y Control, Thomson Learning, 2001.
10. Kuo, B.C., Sistemas de Control Automático, Séptima edición, Prentice Hall, 1996.
11. Etkin, B., Reid, L.I. D., Dynamics of Flight: Stability and Control, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
12. Burton, T.D., Introduction to Dynamic Systems Analysis, McGraw-Hill, 1994.
13. Hauser, W., Introduction to the Principles of Mechanics, Addison-Wesley, 1965.
14. Goldstein, H., Classical Mechanics, Second Edition, Addison-Wesley, 1950.
15. Close, C.M, Frederick, D.K., Newell, J.C., Modeling and Analysis of Dynamic Systems, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
16. Kluever, C.A., Dynamic Systems: Modeling, Simulation, and Control, John Wiley & Sons, Inc., 2015.
17. Yang, B., Abramova, I., Dynamic Systems: Modelling, Simulation, and Analysis, Cambridge University Press, 2022.
18. Jalili, N., Candelino, N.W., Dynamic Systems and Control Engineering, Cambridge University Press, 2023.