

1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Modelado y Simulación Numérica en Ingeniería
Clave de la asignatura:	DSD - 2102
SATCA¹:	2 – 3 – 5
Carrera:	Ingeniería Electromecánica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

La asignatura de Modelado y Simulación Numérica en Ingeniería le permitirá al egresado del Programa Educativo de Ingeniería Electromecánica realizar el modelado matemático de distintos sistemas electromecánicos y mediante su solución por simulación numérica, éste será capaz de analizar, predecir y evaluar su comportamiento estático y dinámico. Por lo tanto, esta asignatura será una herramienta de análisis indispensable para la toma de decisiones, cuya aplicación práctica a la solución de problemas ingenieriles se estima que se realizará en el corto plazo.

Esta asignatura le permitirá al alumno comprender las bases para el modelado de sistemas electromecánicos mediante ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, cuya solución implicará la aplicación de los métodos de diferencias finitas, elemento finito y volumen finito, con el fin de aprender el uso de estas técnicas numéricas aplicadas a problemas sencillos. Posteriormente, se aplicarán programas de cómputo especializados para el análisis de problemas complejos de los campos de electricidad y magnetismo, transferencia de calor, transporte de fluidos, análisis de esfuerzos y deformaciones en piezas mecánicas ante cargas estáticas y dinámicas. La metodología del curso se centrará en el análisis y la solución de problemas aplicados, desde el desarrollo del modelo matemático, la aplicación de las condiciones de frontera y su discretización mediante las técnicas numéricas de diferencias finitas, elemento finito y volumen finito, a través de programas de cómputo desarrollados por el estudiante y mediante la aplicación de software especializado, por lo que se le brindará a los estudiantes la capacidad de ser usuario y desarrollador de programas para la simulación de sistemas electromecánicos.

Este curso, de carácter introductorio, podrá constituir una base sólida para la formación de especialistas en modelación y análisis de sistemas, que estarán capacitados para poder emprender el estudio posterior de temáticas de mayor alcance y complejidad, en donde la profundidad de los análisis efectuados y el nivel de los problemas a resolver tenderá a ser creciente y más cercana a la realidad.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos

El curso es profundo y directo, sin dejar de lado la practicidad y la agilidad requerida por los tiempos actuales. Se trata de una instancia de formación donde cada tema teórico encuentra su aplicación directa a muchos de los problemas que a diario debe resolver el Ingeniero Electromecánico.

Intención didáctica

El programa de esta asignatura está organizado en seis temas los cuales se centran en la aplicación de los métodos de diferencias finitas, elemento finito y volumen finito para la solución numérica de ecuaciones diferenciales, que surgen del modelado matemático de sistemas electromecánicos, representativos de los campos de electricidad y magnetismo, dinámica de fluidos, transferencia de calor y esfuerzos mecánicos.

Los temas serán abordados de tal forma que se destaque la importancia del planteamiento matemático y del uso de la aproximación numérica para obtener la solución de sistemas físicos, apoyándose en el desarrollo de programas de computadora o en el uso de software especializado como una herramienta poderosa para el análisis y la predicción del comportamiento de sistemas electromecánicos. En el desarrollo de los temas de estudio, se destacará el proceso de solución, así como las ventajas y desventajas de cada uno de los tres métodos numéricos, permitiendo que el estudiante adquiera la capacidad para la selección del método más adecuado para la solución de un problema específico.

En el primer tema se realiza una introducción al modelado matemático y a la clasificación de las ecuaciones diferenciales, relacionando los tipos de ecuaciones diferenciales con el campo de aplicación del problema a resolver y la técnica de solución más apropiada. Se describirán las clases de condiciones de frontera a las que puede estar sometida una ecuación diferencial, de acuerdo con el fenómeno que representen. Posteriormente, se describirán las etapas del proceso de solución y análisis de ecuaciones diferenciales mediante la simulación numérica: pre-proceso, solución y post-proceso.

El segundo tema trata con la descripción de los conceptos y las bases matemáticas del método de diferencias finitas. Se resolverán casos simples de simulación de sistemas electromecánicos mediante esta técnica numérica, tanto para estado estacionario como transitorio. Se analizarán las ventajas y desventajas de esta técnica numérica, así como sus principales aplicaciones prácticas. En el tema tres se describen las bases matemáticas del método de elemento finito, así como sus ventajas, desventajas y las principales aplicaciones prácticas. En el tema cuatro se contempla el desarrollo de problemas de aplicación de este método mediante el uso de software especializado.

El tema cinco trata con las bases y fundamentos del método de volumen finito, describiendo sus ventajas, desventajas y sus principales aplicaciones prácticas. Finalmente, en el tema seis se contempla el análisis de problemas de aplicación de este método, empleando tanto formulaciones propias así como el manejo de software especializado.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
19 de abril del 2021. Instituto Tecnológico de Zacatepec.	Academia de Ingeniería Electromecánica	Convocatoria para la elaboración del programa de especialidad 2021-2024.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Plantea, interpreta y simula modelos de sistemas mecánicos y eléctricos mediante el uso de los métodos de diferencias finitas (MDF), de elemento finito (MEF) y de volumen finito (MVF) con la ayuda de la herramienta computacional adecuada.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Análisis numérico • Resuelve problemas de aplicación en el área de ingeniería usando métodos numéricos, con el apoyo de algún lenguaje de programación. • Conoce y aplica conceptos básicos de electricidad y magnetismo. • Conoce y aplica conceptos básicos sobre la mecánica de materiales, tales como esfuerzo, deformación unitaria y desplazamiento, equilibrio de un cuerpo rígido, método del trabajo y la energía, diseño basado en el esfuerzo normal máximo. • Conoce y aplica los conocimientos básicos de la dinámica de fluidos y la transferencia de calor. • Conoce y aplica las herramientas de dibujo computarizado (CAD).

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Generalidades	1.1 Clasificación de las ecuaciones diferenciales 1.2 Clases de condiciones de frontera. 1.3 Introducción al modelado matemático. 1.4 Etapas del proceso de solución de ecuaciones diferenciales mediante simulación numérica. 1.4.1 Fase de pre procesamiento. 1.4.2 Fase de solución. 1.4.3 Fase de post procesamiento. 1.5 Fundamentos de discretización.
2	Método de diferencias finitas (MDF)	2.1 Esquemas de discretización.

		<p>2.2 Error de truncamiento.</p> <p>2.3 Estabilidad, consistencia y convergencia.</p> <p>2.4 Ventajas y desventajas del MDF.</p> <p>2.5 Aplicaciones del MDF.</p>
3	Principios básicos del Método de Elemento Finito (MEF)	<p>3.1 Método de residuos pesados.</p> <p>3.2 Esquemas de discretización en 1D</p> <p>3.3 Extensión de la formulación a 2D y 3D.</p> <p>3.4 Ventajas y desventajas del MEF.</p> <p>3.5 Principales aplicaciones prácticas.</p>
4	Aplicaciones del método de elemento finito	<p>4.1 Campo eléctrico y campo magnético.</p> <p>4.2 Transferencia de calor.</p> <p>4.3 Armaduras en 2D y 3D.</p> <p>4.4 Vigas y marcos sólidos.</p> <p>4.5 Vibraciones mecánicas.</p> <p>4.6 Uso de software especializado.</p>
5	Principios básicos del método de volumen finito (MVF)	<p>5.1 Teoría básica del método de volumen finito.</p> <p>5.2 Discretización de la ecuación de convección-difusión: difusión pura 1D.</p> <p>5.3 Extensión de la formulación a 2D y 3D.</p> <p>5.4 Discretización de la ecuación de convección-difusión para 1-D.</p> <p>5.5 Ventajas y desventajas del MVF.</p> <p>5.6 Aplicaciones del MVF.</p>
6	Aplicaciones del método de volumen finito.	<p>6.1 Problemas de difusión de calor.</p> <p>6.2 Solución de la ecuación del potencial.</p> <p>6.3 Problemas de transporte convectivo.</p> <p>6.4 Uso de software especializado.</p>

7. Actividades de aprendizaje de los temas

1. Generalidades	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Identifica los diferentes tipos de ecuaciones diferenciales. Aplica las diferentes etapas del proceso de simulación numérica de ecuaciones diferenciales. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad de análisis y síntesis. Conocimientos generales básicos. Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar en la bibliografía recomendada los tipos de ecuaciones diferenciales e identifica cuáles de ellas son importantes en el contexto de la ingeniería electromecánica Identificar y aplicar las diferentes clases de condiciones de frontera para la solución particular de ecuaciones diferenciales, de acuerdo con el fenómeno físico de interés.
2. Método de diferencias finitas (MDF)	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Identifica los rasgos característicos del método de Diferencias Finitas, sus ventajas y desventajas y sus aplicaciones principales. Aplica el método de diferencias finitas en la solución de modelos de sistemas electromecánicos. Analiza e interpreta los resultados obtenidos. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Solución de problemas. Toma de decisiones. Capacidad de análisis y síntesis. 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar en la bibliografía recomendada el Método de Diferencias Finitas y lo ubica en el contexto electromecánico, apoyado en sus aplicaciones prácticas. Formular el modelo matemático a partir de las ecuaciones gobernantes de acuerdo con el fenómeno físico de interés. Discretiza el modelo matemático con el MDF Verificar resultados con problemas de referencia. Discutir las ventajas y desventajas del método de diferencias finitas.
3. Principios básicos del Método de Elemento Finito (MEF)	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> Identifica los rasgos distintivos del método de Elemento Finito, sus ventajas y desventajas, así como sus principales aplicaciones. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes 	<ul style="list-style-type: none"> Investigar las bases del Método de Elemento Finito en la bibliografía recomendada. Ubica la importancia de este método en el contexto electromecánico, mediante el análisis de sus principales aplicaciones prácticas. Formular el modelo matemático a partir de las ecuaciones

diversas.	<p>gobernantes de acuerdo con el fenómeno físico de interés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discutir las ventajas y desventajas del método de elemento finito.
4. Aplicaciones del método de elemento finito	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica el método de elemento finito en la solución de modelos matemáticos asociados a distintos sistemas electromecánicos. • Usa el software comercial adecuado para resolver problemas de mayor complejidad con el método de elemento finito. • Analiza e interpreta los resultados obtenidos. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solución de problemas. • Toma de decisiones. • Capacidad de análisis y síntesis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver el modelo matemático de sistemas electromecánicos con el MEF. • Verificar resultados con problemas de referencia. • Investigar el software comercial disponible que se apoye en el método de elemento finito. • Utilizar software especializado para la solución de problemas más complejos.
5. Principios básicos del método de volumen finito (MVF)	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifica los rasgos característicos del método de Volumen Finito y sus aplicaciones. • Plantea el método de discretización de la ecuación de Laplace y Poisson. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis. • Habilidad para buscar y analizar información proveniente de fuentes diversas. • Capacidad para trabajar en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar en la bibliografía recomendada el Método de Volumen Finito en el contexto electromecánico y sus aplicaciones físicas. • Formular el modelo matemático a partir de las ecuaciones gobernantes de acuerdo con el fenómeno físico de interés. • Desarrollar un código numérico para resolver problemas difusivos 1D. • Investigar los algoritmos de solución de las ecuaciones de Navier-Stokes para la simulación de flujo de fluidos con el método de volumen finito. • Discutir las ventajas y desventajas del método de volumen finito.

6: Aplicaciones del método de volumen finito	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplica el método de volumen finito en la solución de modelos matemáticos de distintos sistemas electromecánicos. • Usa el software comercial apropiado para resolver problemas de simulación con el método de volumen finito. • Analiza, interpreta y toma decisiones a partir de los resultados de las simulaciones. <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis y síntesis. • Solución de Problemas. • Habilidad para búsqueda de información. • Capacidad para trabajar en equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver problemas de transporte difusivo en 1D y 2D. • Graficar campos y perfiles de las variables de interés para discutir los resultados de la simulación. • Investigar el software comercial disponible que se apoye en el método de volumen finito. • Utilizar software especializado para la solución de problemas más complejos.

8. Práctica(s)

<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un programa de computadora para aplicar los diferentes métodos numéricos para resolver un problema sencillo (Ec. de Laplace para campo eléctrico o conducción de calor en estado estacionario, con distintas clases de condiciones de frontera). • Utilizar software comercial para aplicar los diferentes métodos para resolver problemas complejos (conducción de calor en estado transitorio en aletas con distintas configuraciones geométricas, obtención de la distribución de velocidades y pérdida de calor en vapor ductos y sus accesorios, modelado de campo magnético y potencial eléctrico en torno a dispositivos eléctricos, convección natural en cilindros y esferas, cálculo de esfuerzos mecánicos en transformadores de distribución, distribución de potencial eléctrico en aisladores). • Resolver problemas de referencia (benchmark) para verificar la metodología de solución de cada método.

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto que formule 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 inicial, 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

La evaluación debe ser continua y formativa, por lo que se debe tomar en cuenta el desempeño del estudiante en cada una de las actividades de aprendizaje, poniendo especial énfasis en evaluar aquellas actividades que mejor representen el significado de las competencias:

- Desarrollo de prácticas aplicando seguimiento en el desarrollo del programa.
- Participar en actividades individuales y de equipo.
- Información obtenida durante las investigaciones solicitadas, plasmada en documentos escritos.
- Exámenes prácticos para comprobar el manejo de aspectos teóricos.
- Desarrollar proyectos de dibujo con el manejo de software de actualidad que contemple ensamble, despiece, conjuntos en estructura de alambre y sólido.

11. Fuentes de información

1. Saeed Moaveni (2008), Finite Element Analysis. Theory and Application with ANSYS. Ed. Pearson Prentice Hall.
2. Erdogan Madeci, Ibrahim Guven (2006), The Finite Element Method and Application in Engineering Using ANSYS, Ed. Springer.
3. Daryl L. Logan (2007), A First Course in the Finite Element Method, Ed. Thomson.
4. T. Stolarsky., Y. Nakasone and S. Yoshimoto (2006), Engineering Analysis with ANSYS Software, Ed. Elsevier Butterworth-Heinemann.
5. Suhas V. Patankar (1980), Numerical Heat and Fluid Flow, Ed. McGraw-Hill.
6. J. Xamán, M.A. Gijón-Rivera (2016), Dinámica de fluidos computacional para ingenieros., Ed. Palibrio.
7. H. K. Versteeg, W. Malalasekera (2007), An introduction to computational fluid dynamics. The finite volumen method. Ed. Pearson.
8. G. E. Myers (1971), Analytical Methods in Conduction Heat Transfer, Ed. Mc Graw Hill.
9. J. D. Anderson Jr. (1995), Computational Fluid Dynamics. The basics with applications, Ed. McGraw-Hill.
10. David Bleecker. George Csordas. Basic Partial Differential Equations. Editorial International Press.
11. Smith G. D., Numerical Solution of Partial Differential Equations, Editorial Oxford University Press.
12. J.C. Tannehill. D. A. Anderson. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. Editorial Hemisphere Publishing.
13. C. A. J. Fletcher, Computational Techniques for Fluid Dynamics 1. Editorial Springer.
14. Stanley J. Farlow, Partial Differential Equations for Scientists and Engineers, Editorial Dover