

ASIGNATURA	: Introducción al Método de los Elementos Finitos.
NOMBRE EN INGLÉS	: Introduction to the Finite Element Method.
CÓDIGO	: IC-0602.
ÁREA DE ESTUDIO	: Mecánica Computacional.
INTENSIDAD HORARIA	: 36 Horas.
MODALIDAD	: Curso Magistral.
CARACTERÍSTICA	: Suficientable.
CRÉDITOS	: 3
PRE-REQUISITOS	: Ecuaciones diferenciales, Medios continuos.
CO-REQUISITOS	: N/A.
FECHA ACTUALIZACIÓN	: Semestre 2019-I
FECHA INICIO	: Enero 18.

1. Descripción

El método de los elementos finitos es probablemente la herramienta computacional de uso ingenieril de más amplio desarrollo durante los últimos 30 años. Así se refleja en la disponibilidad de una variada gama de paquetes de distribución comercial y con la capacidad de simular problemas relevantes en diferentes áreas de la ciencia y la ingeniería. La relativa facilidad de acceso a estos códigos ha originado, al mismo tiempo, un uso desmedido de los mismos restando importancia al conocimiento de las limitaciones del método como tal o al entendimiento del problema objeto de la simulación. Por otro lado, y aunque los programas de uso comercial están orientados a ser una herramienta de tipo multipropósito, no es extraño encontrar problemas con condiciones particulares que claramente agotan las capacidades del software disponible. En dichos casos es necesario acoplar con los códigos comerciales algoritmos propios. Es claro entonces que el ingeniero actual y potencial usuario del método de los elementos finitos requiere de 2 ingredientes fundamentales antes de afrontar cualquier tarea de diseño, evaluación o análisis de un problema de ingeniería. Primero, un amplio entendimiento del problema en cuestión y segundo un conocimiento detallado de las capacidades y limitaciones del método de solución.

2. Objetivos

Generales

Al finalizar el curso el estudiante deberá estar en capacidad de usar métodos matemáticos para resolver problemas de ingeniería. En particular, el estudiante deberá:

- Entender el método de los elementos finitos como una herramienta numérica que permite resolver de manera aproximada problemas de valores en la frontera asociados con múltiples problemas de ingeniería y física. En particular, se plantea la solución de problemas de valores en la frontera asociados con medios deformables vía el método de los elementos finitos, entendiendo dicha estrategia de solución como una aproximación y último recurso ante la imposibilidad de una solución cerrada que permita entender y capturar completamente la física del problema.
- Disponer de la capacidad de implementar las rutinas fundamentales que conforman un código básico por elementos finitos. Estas podrán ser ensambladas posteriormente en forma de programa completo con el cual se podrá realizar una simulación que permita calcular los campos de desplazamientos, tensiones y deformaciones. Alternativamente, el estudiante podrá abordar el problema de simulación utilizando una implementación desarrollada para el curso en el lenguaje Python 2.7. Esta permite sacar provecho de múltiples rutinas de solución de ecuaciones, pre-procesado y post-procesado

Específicos

- Adquirir habilidades básicas en manejo de herramientas computacionales (de uso libre) para abordar problemas de simulación numérica, particularmente a través del método de los elementos finitos.
- Revisar algunos métodos numéricos básicos que son necesarios para formular problemas de discretización por el método de los elementos finitos.
- Reconocer como válido el planteamiento en forma débil de un problema de valores en la frontera descrito en términos de sus ecuaciones gobernantes y condiciones de contorno.
- Aplicar técnicas de interpolación e integración numérica para discretizar la forma débil de un problema de valores en la frontera.
- Entender las idealizaciones de deformación plana, tensión plana y axi-simétrica para problemas de teoría de la elasticidad lineal que permitan reducir de manera racional el costo computacional para el cálculo de la solución.
- Desarrollar la capacidad de abordar procesos de simulación y verificación de un problema de elasticidad plana.

3. Metodología

El presente curso usa las siguientes metodologías de enseñanza-aprendizaje:

- Lecturas independientes por parte de los estudiantes.
- Exposiciones magistrales por parte del docente.
- Tareas y ejercicios de implementación (en Python).
- Tareas y ejercicios teóricos.
- Exámenes teóricos.
- Talleres en clase.
- Proyectos de simulación.

Por medio de clases magistrales y una evaluación teórica, se adquieren los aspectos matemáticos del método de los elementos finitos. Posteriormente se desarrollan destrezas fundamentales de computación mediante tareas y talleres realizados en el aula. En la parte final del curso, se imparten los aspectos algorítmicos del método. Estos son adquiridos a través del desarrollo de tareas correspondientes a implementaciones de rutinas que desempeñan diferentes funciones dentro de un programa por elementos finitos. De manera similar el proceso de simulación de un problema es abordado mediante un proyecto a desarrollar con una herramienta numérica suministrada durante el curso.

4. Contenido de la materia

4.1. Introducción

Repaso de álgebra vectorial e introducción a la notación indicial - Enero 18 y 25

1. Revisión del concepto de vector.
2. Álgebra vectorial.
3. Vector normal a un plano y proyección de un tensor en una dirección \hat{n}
4. Notación indicial.

Herramientas de cómputo básicas - Febrero 1

1. Instalación de software requerido: SolidsPy, GMSH, meshio.
2. Scripts en Python.
3. Repositorios (Github).
4. Notebooks.

4.2. Métodos numéricos

Elementos de teoría de interpolación - Febrero 8, 15 y 22

1. Planteamiento del problema.
2. Teorema de interpolación de Lagrange.
3. Fenómeno de Runge.
4. Interpolación local (y el problema de pérdida de continuidad en las variables secundarias).
5. Extensión a dominios planos.
 - Dominios cuadrados.
 - Dominios distorsionados.

Integración numérica - Marzo 1 y 8

1. Planteamiento del problema.
2. Definición de cuadratura.
3. Derivación de una cuadratura mediante polinomios de interpolación.
4. Cuadraturas Gaussianas.
5. Integración sobre dominios 2D y 3D.

4.3. Solución de PVF por elementos finitos - Marzo 15, 22 y 29; abril 5

1. Problema generalizado de valores en la frontera
2. Ecuaciones clásicas (onda, calor, difusión).
3. Teoría linealizada de la elasticidad.
4. Forma fuerte vs forma débil.
5. Residuos ponderados.
6. Métodos variacionales.

4.4. Aspectos computacionales - Abril 12 y 26

1. Rutinas elementales.
2. Conectividades y el operador ensamblador.
3. Solución del sistema de ecuaciones.
4. Dispersión y post-procesado.

4.5. Examen parcial - Mayo 3

4.6. Asesoría proyectos - Mayo 10 y 17

Como parte de la actividad, el docente realiza un ejemplo de proyecto en el aula.

4.7. Sustentación de proyectos - Fechas por definir

5. Fuentes de información

Durante el curso se usaran las siguientes herramientas computacionales:

- Para las simulaciones se utilizara el programa por elementos finitos en Python SolidsPy disponible en el sitio <https://github.com/AppliedMechanics-EAFIT/SolidsPy>.
- Para la creacion de mallas se usara el codigo libre Gmsh disponible en el sitio <http://gmsh.info/>.
- Para el pre-procesamiento de mallas y escritura en archivos de texto se usara el modulo (en Python) meshio disponible en el sitio <https://pypi.python.org/pypi/meshio>.

Para las lecturas independientes y en algunos casos para uso como material guia se recomiendan los siguientes textos:

Referencias

- [1] Klaus-Jurgen Bathe. *Finite Element Procedures*. Prentice Hall, 2 edition, 6 1995.
- [2] Thomas JR Hughes. *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Courier Corporation, 2000.

6. Evaluación

- Tareas (40 %).
- Examen parcial (30 %).
- Proyecto de semestre (10 % informe escrito; 20 % sustentacion oral).

6.1. Proyecto del semestre

El proyecto del semestre consiste en la realización de una simulación de un problema de teoría linealizada de la elasticidad sobre un dominio plano. El problema particular será seleccionado por cada estudiante. Durante el semestre se deben someter los siguientes entregables:

1. Semana 5: Anteproyecto de una pagina definiendo el problema a simular (debe incluir una imagen de la geometría; las propiedades de los materiales y una descripción de las cargas y condiciones de frontera).
2. Semana 12: Mallas y scripts de generación de archivos de entrada.
3. Semana 16: Informe final

El informe final del proyecto debe incluir las siguientes secciones:

1. Introducción.
2. Descripción del modelo (gometría; condiciones de frontera; mallas y otros aspectos que se consideren relevantes).
3. Análisis de convergencia de la solución.
4. Resultados y análisis.
5. Conclusiones.
6. Bibliografía.

7. Prerrequisitos recomendados

- Álgebra Lineal.
- Ecuaciones Diferenciales.
- Mecánica de los medios continuos

8. Política de asistencia a clases

En la Universidad EAFIT la atención a clases no es obligatoria. Sin embargo, para el presente curso hay evaluaciones escritas que son de carácter presencial y por lo tanto durante estas reuniones se controlará la asistencia.