



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Arquitectura

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

33000317 - Bases del Metodo de Elementos Finitos: Programas

PLAN DE ESTUDIOS

03AF - Master Universitario en Estructuras de la Edificacion

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Primer semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

| | |
|--|----|
| 1. Datos descriptivos..... | 1 |
| 2. Profesorado..... | 1 |
| 3. Conocimientos previos recomendados..... | 2 |
| 4. Competencias y resultados de aprendizaje..... | 3 |
| 5. Descripción de la asignatura y temario..... | 4 |
| 6. Cronograma..... | 7 |
| 7. Actividades y criterios de evaluación..... | 9 |
| 8. Recursos didácticos..... | 10 |

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

| | |
|--|--|
| Nombre de la asignatura | 33000317 - Bases del Metodo de Elementos Finitos: Programas |
| No de créditos | 2 ECTS |
| Carácter | Obligatoria |
| Curso | Primer curso |
| Semestre | Primer semestre |
| Período de impartición | Septiembre-Enero |
| Idioma de impartición | Castellano |
| Titulación | 03AF - Master Universitario en Estructuras de la Edificacion |
| Centro responsable de la titulación | 03 - Escuela Tecnica Superior de Arquitectura |
| Curso académico | 2019-20 |

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

| Nombre | Despacho | Correo electrónico | Horario de tutorías * |
|--|-----------------|----------------------------|---|
| Juan Francisco Torre Calvo | 95 | juanfrancisco.torre@upm.es | Sin horario. Consultar tutorías en tablón del departamento |
| Jaime Cervera Bravo (Coordinador/a) | | jaime.cervera@upm.es | - - |

| | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------|
| Laura Araceli Navas Sanchez | | laura.navas.sanchez@upm.e s | Sin horario. |
|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------|

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Teoria Basica De Estructuras
- Programas De Analisis Estructural
- Tipos Estructurales Basicos
- Fundamentos Del Analisis De Estructuras Y Su Aplicacion Al Calculo Por Ordenador

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Elasticidad
- Programación
- Resistencia de Materiales
- Cálculo numérico
- Álgebra matricial
- Conocimientos de aplicaciones matemáticas (matlab, mathematica o similar)

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE1 - Manejo de las herramientas de cálculo de la teoría clásica de estructuras con un conocimiento profundo de la teoría que subyace bajo la implementación numérica de los programas.

CE6 - Manejo de las bases de datos y fuentes de información para poder realizar estrategias de búsqueda sobre problemas concretos teóricos o prácticos a nivel avanzado.

CG1 - Capacidad de comprensión de la teoría y la práctica del proyecto y construcción de estructuras de edificación en cada uno de sus campos específicos.

CG4 - Capacidad de realizar un análisis crítico, evaluación y síntesis de ideas nuevas y complejas, en el contexto del proceso complejo del proyecto estructural y su relación con el proyecto de arquitectura y las necesidades de la sociedad.

CG9 - Capacidad de comunicarse con sus colegas, con la comunidad académica en su conjunto y con la sociedad en general acerca de sus áreas de conocimiento.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA60 - El alumno entenderá el fundamento matemático del MEF y empleará dicho conocimiento para evitar errores de modelización.

RA59 - El alumno podrá abordar el modelado MEF de estructuras empleando programas comerciales de manera crítica.

RA46 - Conocimiento de modelos por técnicas de FEM

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

Esta asignatura es una introducción a las bases teóricas que fundamentan el método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM, Finite Element Method en inglés).

El MEF se ha consolidado en el siglo XX como la herramienta definitiva para el análisis estructural, ya que permite obtener una solución numérica aproximada a partir de las ecuaciones diferenciales que describen los fenómenos físicos.

El carácter del MEF hace imprescindible su aplicación con ordenador, para lo que existen numerosos paquetes comerciales entre los que destaca, en el campo estructural, el software SAP2000.

Es sin duda posible resolver estructuras empleando uno de estos paquetes sin entender su funcionamiento, pero surgen dos problemas habituales: i) la interpretación de los resultados exige un conocimiento profundo de análisis estructural; ii) el desconocimiento del modus operandi del software conduce a errores de modelización.

El objetivo de esta asignatura es prevenir, al menos en parte, este segundo problema. Para ello se siguen dos estrategias:

- Se presentan las bases teóricas de los problemas más habituales en estructuras de edificios: elasticidad unidimensional, flexión de barras, elasticidad plana y flexión de placas, lo que permite entender el paso del problema teórico a la solución MEF incluyendo, de manera necesariamente simplificada, las peculiaridades más relevantes de este método.
- Se discute la formulación y metodología empleada por el programa comercial SAP2000 para el análisis de estructuras con los elementos anteriormente citados.

5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción al MEF

- 1.1. Sistemas continuos y discretos, soluciones exactas y aproximadas.
- 1.2. Concepto del MEF: preproceso, solución, postproceso.
- 1.3. Discretización y mallado.
- 1.4. Modelos de verificación.
- 1.5. Convergencia y error.
- 1.6. Ventajas e inconvenientes del MEF.
- 1.7. El principio de los trabajos virtuales como expresión débil del equilibrio.

2. Elementos lineales

- 2.1. Elasticidad unidimensional.
 - 2.1.1. Ecuaciones diferenciales del problema
 - 2.1.2. Funciones de forma lagrangianas y coordenadas naturales.
 - 2.1.3. Clase de un elemento.
 - 2.1.4. Aplicación del PTV y derivación de las matrices de rigidez.
 - 2.1.5. Interpolación de geometría. Elementos iso, sub y superparamétricos.
 - 2.1.6. Cálculo de tensiones. Puntos de integración. Alisado de tensiones.
 - 2.1.7. Error. Extrapolación de soluciones a partir de varias mallas.
- 2.2. Flexión de barras.
 - 2.2.1. Ecuaciones diferenciales del problema.
 - 2.2.2. Elemento hermítico de dos nodos.
 - 2.2.3. Nudos rígidos y semirrígidos.
- 2.3. Estudio de elementos lineales incorporados en SAP2000

3. Elasticidad bidimensional.

- 3.1. Ecuaciones diferenciales del problema.
- 3.2. Elemento triangular de tensión plana
 - 3.2.1. Funciones de forma en 2D.
 - 3.2.2. Elementos lagrangianos y serendípitos.

- 3.3. Elementos rectangulares de tensión plana.
- 3.4. Convergencia y error.
 - 3.4.1. Condiciones para convergencia.
 - 3.4.2. Elementos no conformes.
 - 3.4.3. Test de la parcela.
 - 3.4.4. Test del campo de deformaciones.
 - 3.4.5. Errores en la solución del MEF.
- 3.5. Elementos de elasticidad plana incluidos en SAP2000. Formulación y capacidades.
- 4. Flexión de losas y placas delgadas.
 - 4.1. Ecuaciones del problema.
 - 4.2. Elemento cuadrilátero no conforme.
 - 4.3. Elemento cuadrilátero conforme.
 - 4.4. Elemento triangular no conforme.
 - 4.5. Elemento triangular conforme.
 - 4.6. Elementos placa incluidos en SAP2000. Formulación y capacidades.

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

| Sem | Actividad presencial en aula | Actividad presencial en laboratorio | Otra actividad presencial | Actividades de evaluación |
|-----|---|--|---|--|
| 1 | <p>Lección 1: Introducción al MEF Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 1: Elementos lineales. Elasticidad unidimensional Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> | <p>Ejercicio 1: Modelización con elementos lineales Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> | | |
| 2 | <p>Lección 2: Elasticidad bidimensional. Teoría. Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 2: Elasticidad bidimensional. Ejemplo. Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> | <p>Ejercicio 2: Modelización de un problema de tensión plana. Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> | | |
| 3 | <p>Lección 3: Flexión de losas y cáscaras. Teoría. Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3. Flexión de losas y cáscaras. Ejemplo. Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> | <p>Ejercicio 3: Modelización de un problema de flexión superficial. Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> | | |
| 4 | <p>Lección 4: Criterios de convergencia y error. Teoría. Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 4. Criterios de convergencia y error. Ejemplo. Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> | <p>Ejercicio 4: Modelización de un problema superficial curvo. Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p> | | |
| 5 | | | <p>Tutela Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas</p> | <p>Práctica TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final Duración: 30:00</p> |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |

| | | | | |
|----|--|--|--|--|
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación continua

| Sem. | Descripción | Modalidad | Tipo | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas |
|------|-------------|---------------------------------------|---------------|----------|-----------------|-------------|---------------------------------|
| 5 | Práctica | TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo | No Presencial | 30:00 | 100% | 10 / 10 | CE1 CG9 CG4 CE6 CG1 |

7.1.2. Evaluación sólo prueba final

| Sem | Descripción | Modalidad | Tipo | Duración | Peso en la nota | Nota mínima | Competencias evaluadas |
|-----|-------------|---------------------------------------|---------------|----------|-----------------|-------------|---------------------------------|
| 5 | Práctica | TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo | No Presencial | 30:00 | 100% | 10 / 10 | CE1 CG9 CG4 CE6 CG1 |

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

7.2. Criterios de evaluación

Se valorará el uso crítico de la herramienta SAP2000 en la resolución del problema resuelto.

30% Estudio teórico del problema.

60% Empleo correcto del programa.

10% Exposición de resultados.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

| Nombre | Tipo | Observaciones |
|---|--------------|--|
| ZIENKIEWICZ; The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. | Bibliografía | Texto fundamental de carácter general por uno de los padres de esta técnica de análisis, que cubre prácticamente todos los temas relevantes. Existe traducción española. |
| WILSON; Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures | Bibliografía | Texto del creador del programa SAP2000 que describe el marco teórico multifísico empleado en el mismo. |
| OÑATE: Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis estático lineal. | Bibliografía | Un texto español editado por el CIMNE que presenta el MEF aplicado a elementos estructurales de manera muy gradual y didáctica. |
| CHAPRA, STEVEN; CANALE, RAYMOND; Métodos Numéricos para Ingenieros. | Bibliografía | Manual con referencia a todos los problemas fundamentales del cálculo numérico. |
| SAP2000 Analysis Reference | Bibliografía | Documento de referencia para uso del programa SAP2000. |
| SAP2000 Verification Manual | Bibliografía | Manual de verificación de SAP2000, con ejemplos resueltos con el programa y comparaciones con la solución teórica. |

| | | |
|---|--------------|---|
| CELIGÜETA; Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. | Bibliografía | Un excelente texto introductorio al análisis estático lineal por MEF. |
| MATLAB | Otros | Programa de matemáticas. La UPM posee un acuerdo para licencia educacional. Consultar politécnica virtual. |
| SAP2000 | Otros | Software de análisis de estructuras basado en MEF, de gran difusión internacional. |
| BATHE; Finite Element Procedures | Bibliografía | Otro excelente libro de texto sobre el método de los elementos finitos. Contiene muchos ejemplos y ejercicios propuestos. |
| Materiales en MOODLE de la asignatura | Recursos web | |