

**ANX-PR/CL/001-02**  
**GUÍA DE APRENDIZAJE**

**ASIGNATURA**

Bases del metodo de elementos finitos: programas

**CURSO ACADÉMICO - SEMESTRE**

2015-16 - Segundo semestre

## Datos Descriptivos

---

<b>Nombre de la Asignatura</b>	Bases del metodo de elementos finitos: programas
<b>Titulación</b>	03AF - Master Universitario en Estructuras de la Edificacion
<b>Centro responsable de la titulación</b>	E.T.S. de Arquitectura
<b>Semestre/s de impartición</b>	Segundo semestre
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Código UPM</b>	33000317
<b>Nombre en inglés</b>	Bases del Metodo de Elementos Finitos: Programas

## Datos Generales

---

<b>Créditos</b>	2	<b>Curso</b>	1
<b>Curso Académico</b>	2015-16	<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano	<b>Otros idiomas de impartición</b>	

## Requisitos Previos Obligatorios

---

### Asignaturas Previas Requeridas

El plan de estudios Master Universitario en Estructuras de la Edificacion no tiene definidas asignaturas previas superadas para esta asignatura.

### Otros Requisitos

El plan de estudios Master Universitario en Estructuras de la Edificacion no tiene definidos otros requisitos para esta asignatura.

## Conocimientos Previos

---

### Asignaturas Previas Recomendadas

Programas de analisis estructural

Tipos estructurales basicos

Teoria basica de estructuras

### Otros Conocimientos Previos Recomendados

Elasticidad

Programación

Conocimientos de aplicaciones matemáticas (matlab, mathematica o similar)



CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

E.T.S. de Arquitectura

**PROCESO DE SEGUIMIENTO DE TÍTULOS OFICIALES**

ANX-PR/CL/001-02: GUÍA DE APRENDIZAJE



Código PR/CL/001

Resistencia de Materiales

Cálculo numérico

Álgebra matricial

## 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.
- CE2 - Capacidad de elegir la herramienta informática adecuada al problema en cuestión, evaluando críticamente la base teórica que la sustenta.
- 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.
- CG10 - Capacidad de fomentar, en contextos académicos y profesionales, el avance tecnológico, social o cultural dentro de una sociedad basada en el conocimiento.
- 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.

## Resultados de 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.

## Profesorado

---

### Profesorado

Nombre	Despacho	e-mail	Tutorías
Conde Conde, Jorge ( <b>Coordinador/a</b> )		jorge.conde@upm.es	Consultar tutorías en tablón del departamento
Cervera Bravo, Jaime		jaime.cervera@upm.es	Consultar tutorías en tablón del departamento
Torre Calvo, Juan Francisco		juanfrancisco.torre@upm.es	Consultar tutorías en tablón del departamento

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

## 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.

## Temario

---

### 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.

## Cronograma

**Horas totales:** 53 horas y 30 minutos

**Horas presenciales:** 18 horas y 30 minutos (35.6%)

**Peso total de actividades de evaluación continua:**  
100%

**Peso total de actividades de evaluación sólo prueba final:**  
100%

Semana	Actividad Presencial en Aula	Actividad Presencial en Laboratorio	Otra Actividad Presencial	Actividades Evaluación
Semana 1	<p><b>Lección 1: Introducción al MEF</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Lección 2: Elementos lineales. Elasticidad unidimensional.</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Lección 2: Elementos lineales. Flexión de barras.</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Ejercicio 1: Modelización con elementos lineales</b> Duración: 01:30 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
Semana 2	<p><b>Lección 3: Elasticidad bidimensional. Teoría.</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Lección 3: Elasticidad bidimensional. Ejemplo.</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Ejercicio 2: Modelización de un problema de tensión plana.</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
Semana 3	<p><b>Lección 4: Flexión de losas. Teoría.</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Lección 4: Flexión de losas. Ejemplo.</b> Duración: 01:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Ejercicio 3: Modelización de un problema de flexión superficial.</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
Semana 4			<p><b>Tutela</b> Duración: 02:00 OT: Otras actividades formativas</p>	
Semana 5				<p><b>Práctica</b> Duración: 35:00 TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final Actividad no presencial</p>
Semana 6				
Semana 7				
Semana 8				
Semana 9				
Semana 10				
Semana 11				
Semana 12				
Semana 13				
Semana 14				
Semana 15				
Semana 16				

Semana 17				
-----------	--	--	--	--

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

**Nota 2.-** Para poder calcular correctamente la dedicación de un alumno, la duración de las actividades que se repiten en el tiempo (por ejemplo, subgrupos de prácticas") únicamente se indican la primera vez que se definen.

## Actividades de Evaluación

---

Semana	Descripción	Duración	Tipo evaluación	Técnica evaluativa	Presencial	Peso	Nota mínima	Competencias evaluadas
5	Práctica	35:00	Evaluación continua y sólo prueba final	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No	100%	10 / 10	CG1, CG9, CG4, CE6, CE1, CE2, CG10

## 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.

## Recursos Didácticos

Descripción	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.