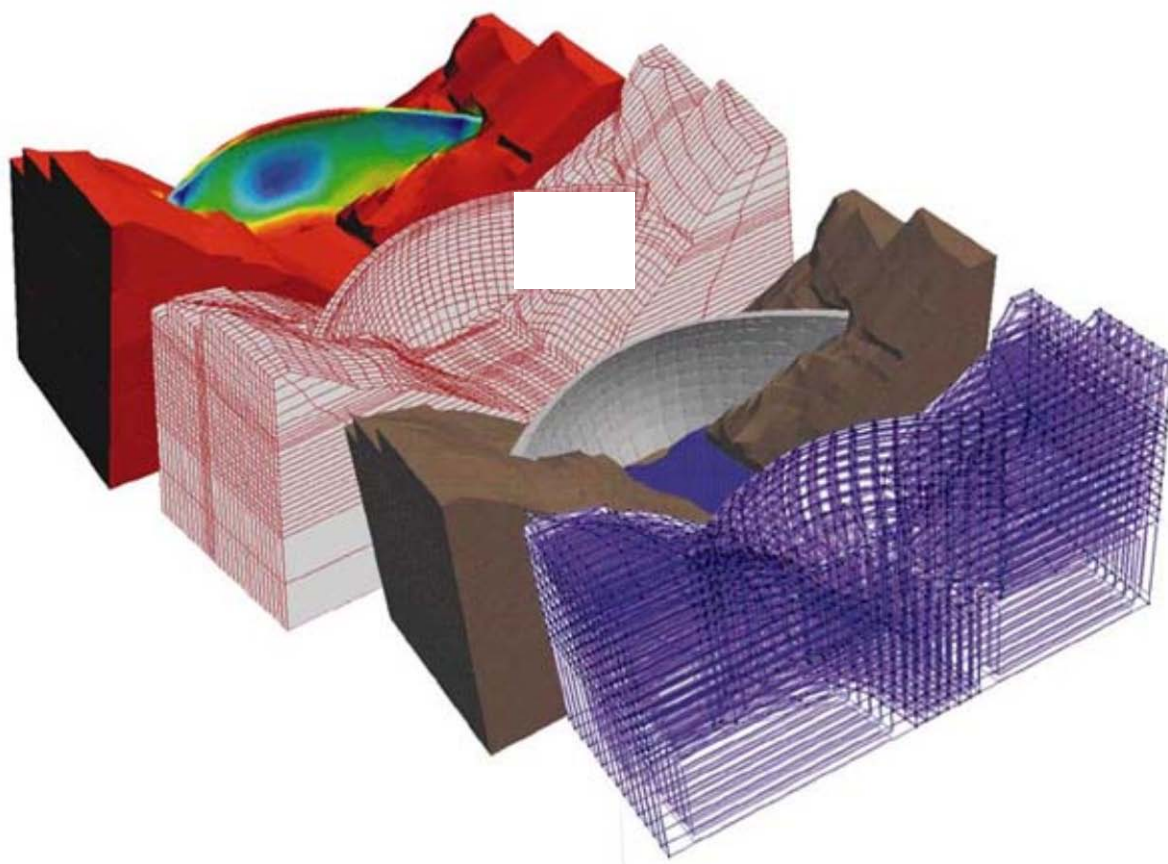




E.T.S. de Ingenierías de
Caminos, Canales y Puertos y
de Ingeniería de Minas
Universidad Politécnica
de Cartagena



Guía docente de la asignatura: Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos en Ingeniería Estructural



Titulación: Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

CSV:	w22jJnE8ilfTSAAhwlSupz4fk	Fecha:	29/01/2019 23:08:40		
Normativa:	Este documento es copia auténtica imprimible de un documento administrativo firmado electrónicamente y archivado por la Universidad Politécnica de Cartagena.				
Firmado Por:	Universidad Politécnica de Cartagena - Q8050013E				
Url Validación:	https://validador.upct.es/csv/w22jJnE8ilfTSAAhwlSupz4fk	Página:	1/15		

1. Datos de la asignatura

Nombre	Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos en Ingeniería Estructural (Finite Element Procedures for Structural Design)				
Materia*	Optativas- Bloque Construcción				
Módulo*	Módulo V: Optativas				
Código	213101024				
Titulación	Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos				
Plan de estudios	2011				
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas				
Tipo	Optativa				
Periodo lectivo	Cuatrimstral	Cuatrimestre	1º	Curso	2º
Idioma	Castellano				
ECTS	3	Horas / ECTS	30	Carga total de trabajo (horas)	90

* Todos los términos marcados con un asterisco que aparecen en este documento están definidos en *Referencias para la actividad docente en la UPCT y Glosario de términos*:

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3330/1/isbn8469531360.pdf>

2. Datos del profesorado

Profesor responsable	Gregorio Sánchez Olivares		
Departamento	Ingeniería Civil		
Área de conocimiento	Ingeniería de la Construcción		
Ubicación del despacho	Edf. de Caminos y Minas/Navales, 1ª planta, despacho A1.13		
Teléfono	968 32 5927	Fax	968 33 88 05
Correo electrónico	gregorio.sanchez@upct.es		
URL / WEB	www.upct.es/~ingcivil		
Horario de atención / Tutorías	Jueves de 8:00 a 14:00 h		
Ubicación durante las tutorías	En el despacho.		

Titulación	Dr. Ingeniero Industrial
Vinculación con la UPCT	Profesor Titular de Universidad
Año de ingreso en la UPCT	1994
Nº de quinquenios	4
Líneas de investigación	Optimización estructural. Análisis avanzado de estructuras. Miembro del Grupo de Investigación <i>Structural Engineering and Technology</i> (STRENGTH) de la UPCT.
Nº de sexenios (si procede)	1
Experiencia profesional	Múltiples contratos con empresas para actividades de asesoramiento y asistencia técnica en ingeniería estructural.
Otros temas de interés	Innovación docente.

Profesor	Juan Manuel García Guerrero		
Departamento	Ingeniería Civil		
Área de conocimiento	Ingeniería de la Construcción		
Ubicación del despacho	Edf. de Caminos y Minas/Navales, 1ª planta, despacho A.1.23		
Teléfono	968 17 77 15	Fax	968 33 88 05
Correo electrónico	jm.guerrero@upct.es		
URL / WEB	www.upct.es/~ingcivil		
Horario de atención / Tutorías	Lunes y Martes de 11:00 a 14:00. Se recomienda contactar previamente con el profesor.		
Ubicación durante las tutorías	Despacho del profesor		

Titulación	Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Vinculación con la UPCT	Contrato Predoctoral de Formación del Personal Investigador
Año de ingreso en la UPCT	2015
Nº de quinquenios	
Líneas de investigación	Ingeniería estructural, Puentes. Miembro del Grupo de Investigación <i>New Structural Typologies</i> (NEST) de la UPCT.
Nº de sexenios (si procede)	
Experiencia profesional	
Otros temas de interés	

3. Descripción de la asignatura

3.1. Descripción general de la asignatura

La finalidad de esta asignatura es presentar las posibilidades de aplicación del Método de los Elementos Finitos (MEF) en problemas asociados al proyecto de estructuras en ingeniería civil.

3.2. Aportación de la asignatura al ejercicio profesional

La formación recibida en el curso permite completar la formación básica, ya adquirida por el alumno, relativa al análisis de estructuras. En el proyecto de estructuras es necesario conocer la respuesta del sistema estructural, siendo el MEF una herramienta de cálculo sencilla y versátil que, por ello, se adapta a gran cantidad de casos, de menor o mayor complejidad.. La asignatura aporta, por tanto, parte de la formación necesaria para que el futuro titulado pueda desarrollar adecuadamente las atribuciones profesionales relacionadas con su capacidad para concebir, proyectar, construir y mantener estructuras.

3.3. Relación con otras asignaturas del plan de estudios

De 1^{er} curso: *Teoría de estructuras; Construcción en hormigón; Geotecnia y cimientos.*
De 2^o curso: *Construcción metálica; Análisis avanzado de estructuras; Puentes (asignatura de bloque optativo); Tipología estructural y constructiva (asignatura de bloque optativo).*

3.4. Incompatibilidades de la asignatura definidas en el plan de estudios

No existen.

3.5. Recomendaciones para cursar la asignatura

Es recomendable disponer de conocimientos básicos de resistencia de materiales y de cálculo lineal de estructuras.

3.6. Medidas especiales previstas

El Vicerrectorado correspondiente podrá establecer adaptaciones especiales en la metodología y el desarrollo de enseñanzas para los estudiantes que padezcan algún tipo de discapacidad o alguna limitación, a efectos de posibilitarles la continuación de los estudios (artículo 6 de la Normativa de Evaluación de la UPCT).

El estudiante que, por sus circunstancias, pueda necesitar de medidas especiales de este tipo, debe comunicárselo al profesor al principio del cuatrimestre.

Asimismo, los estudiantes extranjeros que puedan tener dificultades con el idioma deben comunicárselo al profesor. Las pruebas de evaluación pueden desarrollarse en inglés.

4. Competencias y resultados del aprendizaje

4.1. Competencias básicas* del plan de estudios asociadas a la asignatura

Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación (CB06).

Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio (CB07).

4.2. Competencias generales del plan de estudios asociadas a la asignatura

Capacitación científico-técnica y metodológica para el reciclaje continuo de conocimientos y el ejercicio de las funciones profesionales de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, planificación, dirección, gestión, construcción, mantenimiento, conservación y explotación en los campos de la ingeniería civil (CG01).

Conocimiento para aplicar las capacidades técnicas y gestoras en actividades de I+D+i dentro del ámbito de la ingeniería civil (CG06).

Conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de métodos matemáticos, analíticos y numéricos de la ingeniería, mecánica de fluidos, mecánica de medios continuos, cálculo de estructuras, ingeniería del terreno, ingeniería marítima, obras y aprovechamientos hidráulicos y obras lineales (CG18).

4.3. Competencias específicas* del plan de estudios asociadas a la asignatura

Capacidad para modelizar y analizar estructuras con ayuda del ordenador, y para la interpretación de los resultados obtenidos. (OP08).

4.4. Competencias transversales del plan de estudios asociadas a la asignatura

Trabajo en equipo (nivel 3).

4.5. Resultados** del aprendizaje de la asignatura

Al terminar con éxito esta asignatura, los estudiantes serán capaces de:

1. Formular modelos matemáticos adecuados basados en la idealización y discretización de estructuras reales.
2. Conocer las bases teóricas del MEF aplicado a estructuras.
3. Aplicar técnicas para la resolución de diferentes tipos de problemas reales (lineales/no lineales, estabilidad, estáticos/dinámicos, etc.)
4. Aplicar técnicas de validación del modelo usado en el análisis.
5. Realizar análisis de los resultados de la respuesta para mejorar y validar los resultados.
6. Conocer y usar software de análisis por el MEF.
7. Motivar a los equipos y guiar su desenvolvimiento, resolviendo los problemas técnicos o personales que pudieran surgir; detectar y resolver las causas de ineficacia en el trabajo; evaluar o medir la efectividad de cada integrante y la grupal o final; crear un liderazgo colectivo.

**** Véase también la *Guía de apoyo para la redacción, puesta en práctica y evaluación de los resultados del aprendizaje*, de ANECA:**

http://www.aneca.es/content/download/12765/158329/file/learningoutcomes_v02.pdf

5. Contenidos

5.1. Contenidos del plan de estudios asociados a la asignatura

Fundamentos del MEF en ingeniería estructural. El método de los desplazamientos. Elementos y funciones de interpolación. Introducción a programas de análisis por elementos finitos. Interfase gráfica de usuario. Técnicas de modelado. Preproceso, análisis y postproceso. Modelado y resolución de diversos problemas estructurales en ingeniería civil.

5.2. Programa de teoría (unidades didácticas y temas)

UNIDAD DIDÁCTICA I.	INTRODUCCIÓN AL MEF.
TEMA 1.	INTRODUCCIÓN AL MEF.
TEMA 2.	SISTEMAS DISCRETOS.
TEMA 3.	INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE APROXIMACIÓN.
UNIDAD DIDÁCTICA II.	FORMULACIÓN BÁSICA.
TEMA 4.	MÉTODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS.
TEMA 5.	TENSIÓN Y DEFORMACIÓN PLANA.
TEMA 6.	ANÁLISIS TRIIMENSIONAL.
TEMA 7.	FUNCIONES DE FORMA.
UNIDAD DIDÁCTICA III.	ELEMENTOS CURVOS, ISOPARAMÉTRICOS E INTEGRACIÓN NUMÉRICA.
TEMA 8.	ELEMENTOS TRANSFORMADOS.
TEMA 9.	INTEGRACIÓN NUMÉRICA.
UNIDAD DIDÁCTICA IV.	APLICACIÓN DEL MEF.
TEMA 10.	PREPROCESO.
TEMA 11.	ENSAMBLAJE Y SOLUCIÓN.
TEMA 12.	POSTPROCESO.

5.3. Programa de prácticas (nombre y descripción de cada práctica)

SESIONES PRÁCTICAS DE AULA INFORMÁTICA:

P1. SISTEMAS DISCRETOS PLANOS Y ESPACIALES.

Descripción: creación de modelos de estructuras reales y su análisis con el programa comercial SAP. Análisis de los resultados de la respuesta.

P2. ANÁLISIS LINEAL DE UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A TENSIÓN O DEFORMACIÓN PLANA.

Descripción: utilizando el programa MATLAB se crea una aplicación informática para el análisis lineal de una estructura sometida a tensión o a deformación plana. Se crea otro modelo de la misma estructura para su análisis con el programa comercial SAP. Se comparan resultados y se analizan los errores cometidos en la discretización.

P3. ANÁLISIS DE UN MURO MÉNSULA.

Descripción: creación de un modelo paramétrico para el análisis no lineal y optimización de un muro. Comparación de resultados con los obtenidos mediante métodos tradicionales.

P4. ANÁLISIS ELÁSTICO DE SEGUNDO ORDEN DE UNA ESTRUCTURA.

Descripción: utilizando el programa SAP se realiza el análisis no lineal geométrico de una estructura con grandes cargas axiales y pequeños desplazamientos. Se obtienen las cargas críticas de pandeo con varias hipótesis de carga y condiciones de apoyo. Se realiza el análisis no lineal geométrico de la misma estructura considerando grandes cargas axiales y grandes desplazamientos. Se obtiene la carga crítica de pandeo global y se comparan los resultados obtenidos.

P5. ANÁLISIS ELASTO-PLÁSTICO DE SEGUNDO ORDEN DE UNA ESTRUCTURA.

Descripción: utilizando el programa SAP se obtiene el mecanismo, y la carga crítica, de colapso de una estructura metálica con perfiles sección clase 1 incluyendo efectos de segundo orden.

P6. ANÁLISIS DINÁMICO DE UNA ESTRUCTURA.

Descripción: utilizando el programa SAP se crea un modelo para el análisis lineal dinámico de una estructura tridimensional.

EVALUACIÓN DE LAS SESIONES PRÁCTICAS DE LABORATORIO INFORMÁTICO:

Valoración de los ejercicios de aplicación a realizar en el aula informática durante cada práctica y de un trabajo no presencial sumativo de ampliación de los contenidos trabajados en cada práctica a realizar en grupos de dos alumnos.

Prevención de riesgos

La Universidad Politécnica de Cartagena considera como uno de sus principios básicos y objetivos fundamentales la promoción de la mejora continua de las condiciones de trabajo y estudio de toda la Comunidad Universitaria.

Este compromiso con la prevención y las responsabilidades que se derivan atañe a todos los niveles que integran la Universidad: órganos de gobierno, equipo de dirección, personal docente e investigador, personal de administración y servicios y estudiantes.

El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UPCT ha elaborado un "Manual de acogida al estudiante en materia de prevención de riesgos" que puedes encontrar en el Aula Virtual, y en el que encontraras instrucciones y recomendaciones acerca de cómo actuar de forma correcta, desde el punto de vista de la prevención (seguridad, ergonomía, etc.), cuando desarrolles cualquier tipo de actividad en la Universidad. También encontrarás recomendaciones sobre cómo proceder en caso de emergencia o que se produzca algún incidente.

En especial, cuando realices prácticas docentes en laboratorios, talleres o trabajo de campo, debes seguir todas las instrucciones del profesorado, que es la persona responsable de tu seguridad y salud durante su realización. Consúltale todas las dudas que te surjan y no pongas en riesgo tu seguridad ni la de tus compañeros.

5.4. Programa de teoría en inglés (unidades didácticas y temas)

UNIT I. INTRODUCTION.

LESSON 1. PRELIMINARIES.

LESSON 2. STANDARD DISCRETE SYSTEMS.

LESSON 3. WEIGHTED RESIDUAL AND VARIATIONAL APPROACHES.

UNIT II. BASIC FORMULATION.

LESSON 4.	DISPLACEMENT APPROACH.
LESSON 5.	PLANE STRESS AND PLANE STRAIN.
LESSON 6.	THREE-DIMENSIONAL STRESS ANALYSIS.
LESSON 7.	ELEMENT SHAPE FUNCTIONS.
UNIT III.	MAPPED ELEMENTS AND NUMERICAL INTEGRATION.
LESSON 8.	TRANSFORMED ELEMENTS.
LESSON 9.	NUMERICAL INTEGRATION.
UNIT IV.	COMPUTER PROCEDURES.
LESSON 10.	GEOMETRY, MATERIAL, LOADS AND MESH SPECIFICATION.
LESSON 11.	ASSEMBLY AND SOLUTION.
LESSON 12.	RESULTS PROCESSING.

5.5. Objetivos del aprendizaje detallados por unidades didácticas

Los contenidos de la asignatura se han agrupado en cinco unidades didácticas:

UNIDAD DIDÁCTICA I. INTRODUCCIÓN AL MEF.

Esta unidad didáctica es de carácter introductorio a los restantes contenidos de la asignatura.

Los objetivos de esta unidad didáctica son:

- Conocer los antecedentes del MEF, describir el método y mostrar aplicaciones.
- Relacionar el MEF con los métodos de análisis numéricos basados en la discretización de la estructura.
- Presentar métodos de análisis aproximados y su relación con el MEF

UNIDAD DIDÁCTICA II. FORMULACIÓN BÁSICA.

Esta unidad didáctica trata de los fundamentos teóricos del MEF. Por simplificación se restringe la formulación al método de los desplazamientos por su relación con los programas de ordenador que implementan el Método.

Los objetivos de esta unidad didáctica son:

- Definir la formulación básica.
- Establecer criterios de completitud y admisibilidad.
- Aplicar la formulación básica a casos sencillos: tensión plana y deformación plana.
- Aplicar la formulación básica a casos más complejos: estructuras tridimensionales.
- Conocer métodos de generación de funciones de forma adecuadas para el MEF.

UNIDAD DIDÁCTICA III. ELEMENTOS CURVOS, ISOPARAMÉTRICOS E INTEGRACIÓN NUMÉRICA.

Esta unidad didáctica profundiza en la formulación del MEF y en la resolución de casos reales habituales en ingeniería estructural.

Los objetivos de esta unidad didáctica son:


- Establecer procedimientos eficientes para aplicar el MEF en geometrías complejas.
- Estudiar y definir elementos especiales de uso amplio en ingeniería estructural: vigas, placas y láminas.

UNIDAD DIDÁCTICA IV. APLICACIÓN DEL MEF.

Esta unidad didáctica trata de la aplicación del MEF a casos reales mediante programas de ordenador que implementan el Método. Se intenta comprender, una vez conocidos los aspectos formales del Método, las estrategias más adecuadas para garantizar resultados del análisis fiables, controlando el nivel de error.

Los objetivos de esta unidad didáctica son:

- Elegir el tipo de elemento y la densidad de malla adecuados a cada caso.
- Aplicar estrategias de validación del elemento y la malla.
- Saber interpretar resultados, estimar errores, hacer diagnósticos de la solución y mejorarla mediante técnicas automáticas adaptativas a cada caso.

CSV:	w22jJnE8ilfTSAAhwlSupz4fk	Fecha:	29/01/2019 23:08:40	
Normativa:	Este documento es copia auténtica imprimible de un documento administrativo firmado electrónicamente y archivado por la Universidad Politécnica de Cartagena.			
Firmado Por:	Universidad Politécnica de Cartagena - Q8050013E			
Url Validación:	https://validador.upct.es/csv/w22jJnE8ilfTSAAhwlSupz4fk	Página:	10/15	

6. Metodología docente

6.1. Metodología docente*

Actividad*	Técnicas docentes	Trabajo del estudiante	Horas
Clase de teoría	Exposición del profesor, con la ayuda de dispositivos electrónicos, pizarra y recursos de Internet, de los contenidos de mayor importancia, y complejidad, y de los aspectos más relevantes. Resolución de dudas planteadas por los estudiantes.	<u>Presencial</u> : toma de apuntes y revisión con el compañero. Planteamiento de dudas individuales o por parejas	15
		<u>No presencial</u> : estudio de la materia	15
Clases de problemas	Se resolverán problemas tipo y se analizarán casos prácticos. Se enfatizará el trabajo en plantear métodos de resolución y no en los resultados. En ocasiones se da un tiempo para que el estudiante intente resolverlo, con posibilidad de participación activa a través de estudiantes voluntarios. Se propondrán problemas y/o casos prácticos similares.	<u>Presencial</u> : participación activa con resolución de ejercicios y planteamiento de dudas.	4
		<u>No presencial</u> : resolución de ejercicios propuestos por el profesor.	12
Prácticas de laboratorio	En el aula informática se utilizará software de aplicación de los conocimientos trabajados para la resolución de casos prácticos reales.	<u>Presencial</u> : manejo de aplicaciones informáticas para la resolución de ejercicios concretos con la ayuda del profesor en grupos de dos alumnos.	11
		<u>No presencial</u> : ampliación del trabajo realizado en el aula informática por los grupos de dos alumnos, elaboración de memorias siguiendo criterios de calidad establecidos.	18
Seminarios y actividades de aprendizaje cooperativo	Se realizarán varios seminarios de resolución de problemas prácticos reales para relacionar la materia con la actividad del profesional o para el estudio intensivo de un tema. Se realizarán en grupo y con la supervisión del profesor.	<u>Presencial</u> : búsqueda de información, selección de herramientas de resolución y análisis/síntesis del problema. Determinación de la solución con discusión y justificación en grupo. Puesta en común por grupos.	7
Tutorías	Seguimiento individualizado o grupal del aprendizaje. Revisión de casos planteados en clase y de exámenes anteriores.	<u>Presencial</u> : planteamiento de dudas.	4
		<u>No presencial</u> : planteamiento de dudas por chat o correo electrónico.	2
Prueba oficial	Se realizará una prueba escrita de tipo individual para evaluar los objetivos y los resultados esperados del aprendizaje.	<u>Presencial</u> : examen escrito de teoría tipo test y/o cuestiones cortas de aplicación.	2
			90

6.2. Resultados (4.5) / actividades formativas (6.1) (opcional)

	Resultados del aprendizaje (4.5)									
Actividades formativas (6.1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clase de teoría	X	X	X	X	X					
Clases de problemas	X	X	X	X						
Prácticas de laboratorio	X	X	X	X	X	X	X			
Seminarios y actividades de aprendizaje cooperativo	X	X	X	X	X		X			
Tutorías	X	X	X	X	X	X				

7. Metodología de evaluación

7.1. Metodología de evaluación*

Actividad	Tipo		Sistema y criterios de evaluación*	Peso (%)	Resultados (4.5) evaluados
	Sumativa*	Formativa*			
Prueba escrita oficial	X		<p>Test: cuestiones cortas tipo test con cuatro respuestas posibles. Evalúan conocimientos teóricos. Tres respuestas erróneas restan, sin solución de continuidad, una respuesta bien contestada. Al menos se debe obtener, en esta parte, una calificación de 3 puntos sobre 10 para aprobar. Peso relativo de esta parte en la nota de la prueba escrita oficial: 50%.</p> <p>Cuestiones cortas: dos o tres cuestiones cortas de aplicación práctica de la teoría. Evalúan habilidades. Al menos se debe obtener, encada cuestión, una calificación de 3 puntos sobre 10 para aprobar. Peso relativo de esta parte en la nota de la prueba escrita oficial: 50%.</p> <p>REQUISITO PARA APROBAR: 5 PUNTOS SOBRE 10.</p>	50	1,2,3,4,5
Ejercicios de prácticas de laboratorio.		X	En las sesiones prácticas se entregará a los grupos de alumnos (2 alumnos por grupo) unas hojas con ejercicios propuestos a realizar durante la sesión. Al final de la sesión el profesor dará las soluciones para autoevaluación de los alumnos.		1,2,3,4,5,6,7
Memorias de prácticas de laboratorio.	X	X	Como extensión del trabajo realizado en cada práctica de laboratorio los grupos realizarán un ejercicio en horario libre. Cada grupo deberá entregar en un plazo de dos semanas una memoria que debe ajustarse a criterios de calidad evaluables conocidos por los alumnos previamente.	50	1,2,3,4,5,6,7
Memorias de problemas propuestos por el profesor		X	Cada alumno realizará varias memorias donde exponga, en cada una, la solución de un problema propuesto por el profesor en clase.		1,2,3,4
Seminarios y actividades de aprendizaje cooperativo		X	El profesor planteará un caso práctico y real a resolver en grupo. Los alumnos expondrán y defenderán su solución en grupo al resto de los grupos y se realizará, al final de la exposición, una evaluación común con criterios de calidad evaluables aportados por el profesor que supervisará la actividad en su conjunto.		1,2,3,4,5,7

Tal como prevé el artículo 5.4 del *Reglamento de las pruebas de evaluación de los títulos oficiales de grado y de máster con atribuciones profesionales* de la UPCT, el estudiante en el que se den las circunstancias especiales recogidas en el Reglamento, y previa solicitud justificada al Departamento y admitida por este, tendrá derecho a una prueba global de evaluación. Esto no le exime de realizar los trabajos obligatorios que estén recogidos en la guía docente de la asignatura.

7.2. Mecanismos de control y seguimiento (opcional)

El seguimiento del aprendizaje se realizará mediante las siguientes actividades:

- Cuestiones planteadas en clase durante las sesiones de teoría o de problemas.
- Problemas propuestos en clase a realizar individualmente en horario libre.
- Cuestiones y ejercicios planteados en prácticas de laboratorio.
- Trabajos de ampliación propuestos en prácticas de laboratorio.
- Cuestiones planteadas durante los seminarios y actividades de aprendizaje cooperativo y evaluación final de los trabajos en grupo.
- Cuestiones planteadas en tutorías individuales o grupales.

8 Bibliografía y recursos

8.1. Bibliografía básica*

- BATHE K.J. *Finite Element Procedures*, 2nd ed., Prentice Hall, Upple Saddle River, NJ, 1996.
- NAFEMS. *A Finite Element Primer*. NEL, Hamilton, UK, 2003.
- OÑATE E. *Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal*. CIMNE, Barcelona, 1995.
- ZIENKIEWICZ O.C., TAYLOR R.L., ZHU J.Z. y NITHIARASU P. *El Método de los Elementos Finitos. Volumen 1. Las Bases*. CIMNE, Barcelona, 2010.
- ZIENKIEWICZ O.C., TAYLOR R.L., ZHU J.Z. y NITHIARASU P. *El Método de los Elementos Finitos. Volumen 2. Mecánica de Sólidos*. CIMNE, Barcelona, 2010.

8.2. Bibliografía complementaria*

- ARRIETA J.M., MADRID A.J. y MIRA P. *Un programa de elementos finitos: SAP-90*. CEDEX, Madrid, 1992.
- BELTZER A.I. *Variational and Finite Elements Methods: Symbolic Computation Approach*. Springer-Verlag, Berlín, 1990.
- CRISFIELD M.A. *Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures Volume 1. Essentials*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2003.
- CRISFIELD M.A. *Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures Volume 2. Advanced Topics*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2001.
- FERREIRA A.J.M. *MATLAB Codes for Finite Element Analysis. Solids and Structures*. Springer, 2008.
- HUEBNER K.H., DEWHIRST D.L., SMITH D.E. and BYROM T.G. *The Finite Element Method for Engineers*. 4ª ed., John Wiley & Sons, New York, 2001.
- HOFSTETTER G. and MANG H.A. *Computational Mechanics of Reinforced Concrete Structures*. Vieweg, Weisbaden, 1995.
- JURADO J.A., DIAZ J., NIETO F., FONTAN A.N. y HERNANDEZ S. *Ejemplos resueltos de cálculo de estructuras con el programa SAP 2000*. Tórculo Ediciones, Santiago de Compostela, 2008.
- MADENCI E. and GUVEN I. *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*. Springer, NY, 2006.

8.3. Recursos en red y otros recursos

<http://www.nafems.org/>
<http://www.csiamerica.com/products/sap2000>
<http://www.nist.gov/itl/math/>
<http://www.autodesk.com/products/autodesk-simulation-family/features/robot-structural-analysis/all/gallery-view>
<http://www.ansys.com/>
<http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/finite-element-analysis.htm>
<http://www.comp-engineering.com/>
<http://www.cimne.com/cdl1/ctrhome/2#>
<https://aulavirtual.upct.es/>