



# Guía docente de la asignatura:

## Métodos Numéricos en Mecánica de Sólidos

Titulación:

Máster Universitario en Ingeniería Naval y Oceánica

1. Datos de la asignatura

Nombre		Métodos Numéricos en Mecánica de Sólidos Numerical Methods for Solid Mechanics					
Materia*		Métodos Numéricos en Mecánica de Sólidos					
Módulo*		IV Materias obligatorias					
Código		232101002					
Titulación		Máster Universitario en Ingeniería Naval y Oceánica					
Plan de estudios							
Centro		Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica					
Tipo		Obligatoria					
Periodo lectivo		Cuatrimestral	Cuatrimestre		1º	Curso	1º
Idioma		Castellano					
ECTS	4.5	Horas / ECTS		30	Carga total de trabajo (horas)		135

\* Todos los términos marcados con un asterisco 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	Luis Sánchez Ricart		
Departamento	Estructuras y Construcción		
Área de conocimiento	Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras		
Ubicación del despacho	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA. Paseo Alfonso XIII, 52. 1ª, despacho 2.26		
Teléfono	968325741	Fax	
Correo electrónico	luis.sricart@upct.es		
URL / WEB	<a href="http://www.researchgate.net/profile/Luis_Sanchez-Ricart/publications/">www.researchgate.net/profile/Luis_Sanchez-Ricart/publications/</a>		
Horario de atención / Tutorías	Miércoles de 18:00 h a 21:00 h y jueves de 18:00 h a 21:00 h.		
Ubicación durante las tutorías	Laboratorio de Caracterización de Materiales en Acústica Submarina. Edificio ELDI de la UPCT. Calle Ángel, 15. 30202 Cartagena.		

Titulación	Doctor en Ciencias Aplicadas. Universidad de Lieja (Bélgica) Ingeniero Industrial. ETSI Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
Vinculación con la UPCT	Profesor Contratado Doctor a tiempo completo con Acreditación ANECA como Profesor Titular
Año de ingreso en la UPCT	2004
Nº de quinquenios (si procede)	3 quinquenios docentes reconocidos
Líneas de investigación (si procede)	A. INGENIERÍA SÍSMICA. B. DAÑO Y FATIGA OLIGOCÍCLICA. C. MECÁNICA COMPUTACIONAL. D. ALGORITMOS DE CONTACTO. E. FORMULACIONES VARIACIONALES ESPACIO-TIEMPO. F. ACÚSTICA SUBMARINA.
Nº de sexenios (si procede)	1 sexenio de investigación reconocido
Experiencia profesional	- Consejo, Diseño y Cálculos en Ingeniería Sísmica para Edificaciones y Construcciones Singulares o de Especial Importancia como edificios en altura o centrales nucleares. - Desarrollo de programas numéricos a medida para problemas computacionales avanzados de mecánica de los medios continuos (sectores civil, ferroviario, nuclear, naval, ...)
Otros temas de interés	En general, todo lo relacionado con métodos numéricos en mecánica aplicada, algoritmos de contacto, simulación de problemas de dinámica rápida, impacto, explosiones, ingeniería sísmica, influencia de la velocidad de deformación, fatiga, ensayos a gran escala, interacción fluido-sólido, interacción medio poroelásticos con otros medios, interacción terreno estructura, y cualquier campo de la mecánica de los medios



### 3. Descripción de la asignatura

#### 3.1. Descripción general de la asignatura

Se trata de introducir al alumno al tratamiento numérico mediante el Método de los Elementos Finitos, MEF, para el análisis de problemas de mecánica de sólidos deformables, ya sean piezas, elementos o estructuras.

Los problemas de mecánica de sólidos en el espacio tridimensional que se pueden resolver mediante soluciones analíticas son limitados, y concierne a casos relativamente sencillos con geometrías regulares. Por ello es fundamental es desarrollo de métodos numéricos que permitan la resolución de problemas de mecánica de sólidos.

La asignatura se orientará en dos vertientes, una teórica en donde se estudian los fundamentos del MEF para el tratamiento de sólidos, y donde se estable la tecnología de elementos finitos para tratar volúmenes, elementos tipo placa, elementos tipo barra y el hilo tenso. El objetivo es conseguir la comprensión por parte del alumno del MEF en mecánica de sólidos, así como su introducción a las nociones básicas de programación de un programa de MEF utilizando Matlab.

Además, las asignatura tiene una segunda vertiente más ingenieril y de carácter práctico, donde el objetivo no es otro que la introducción al uso de programas de elementos finitos comerciales, como ANSYS, MSC Nastran o Abaqus. Este tipo de programas comerciales permite la simulación y el análisis de gran variedad de problemas en ingeniería, permitiendo el modelado de sólidos, fluidos, materiales porosos, materiales piezoeléctricos, problemas electromagnéticos, de transmisión de calor, de combustión, de contacto, con un gran número de algoritmos para simular interacciones entre distintos problemas físicos.

#### 3.2. Aportación de la asignatura al ejercicio profesional

El estado del conocimiento actual, tanto en el planteamiento fundamental de problemas de mecánica de los medios continuos como en su tratamiento numérico, permite simulaciones computacionales avanzadas que ayudan, a modo de experimentos virtuales, en el diseño y desarrollo de veleros, submarinos y buques de superficie. Estas simulaciones numéricas complementan la información de las normas de buena práctica definidas por las Sociedades de Clasificación. También complementan, pero no sustituyen, a la experimentación. Por último, no sólo complementan sino que además potencian la intuición física del ingeniero naval.

Dentro de la mecánica computacional avanzada, es posible simular hoy día casi cualquier tipo de problema mecánico, como la interacción de la estructura con fluidos externos (interacción del buque con el agua o con el aire), el análisis de vibraciones producidos por propulsores y equipos auxiliares, la simulación de problemas de acústica submarina, la simulación de impactos y explosiones en el buque, y su influencia en el daño en los sistemas estructurales teniendo en cuenta grandes deformaciones, plastificación y no linealidades geométricas como inestabilidades y abolladuras, problemas de mecánica del daño y de mecánica de la fractura, etc.

#### 3.3. Relación con otras asignaturas del plan de estudios

Conocimientos previos fundamentales para cursar la asignatura son:

Álgebra (Cálculo Matricial)

Cálculo (Derivadas, Integrales Simples y Múltiples, Cambio de Variables, Análisis de Máximos y Mínimos)

Mecánica (Cálculo de Resultante de Fuerzas y Momentos, Ecuaciones de Equilibrio, Centros de Gravedad, Momentos Estáticos y Momentos de Inercia, Cinemática y Dinámica del Sólido Rígido)

Elasticidad y Resistencia de Materiales  
Otros ( Notación Indicial, Operadores Gradiente, Divergencia, Rotacional y Laplaciano)

**3.4. Incompatibilidades de la asignatura definidas en el plan de estudios**  
No están definidas.

**3.5. Recomendaciones para cursar la asignatura**  
Ver 3.3

**3.6. Medidas especiales previstas**  
El alumno que por sus circunstancias especiales pueda necesitar de medidas especiales, debe comunicárselo al profesor al principio del curso.

## 4. Competencias y resultados del aprendizaje

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

- CB07. 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
- CB08. Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios
- CB09. Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades
- CB10. Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

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

- CG01. Capacidad para resolver problemas complejos y para tomar decisiones con responsabilidad sobre la base de los conocimientos científicos y tecnológicos adquiridos en materias básicas y tecnológicas aplicables en la ingeniería naval y oceánica, y en métodos de gestión.
- CG06. Capacidad para realizar investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y métodos navales y oceánicos.
- CG08. Capacidad para el análisis e interpretación de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planos de labores y otros trabajos análogos.

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

- MOB2. Adquisición de conocimientos y capacidades para tratar numéricamente problemas de mecánica de sólidos deformables en el espacio tridimensional, incluyendo el tratamiento de elementos esbeltos (barras, placas y láminas).

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


- T3. Continuar aprendiendo de forma autónoma.
- T5. Aplicar a la práctica los conocimientos adquiridos.

### 4.5. Resultados\*\* del aprendizaje de la asignatura

1. Conocer los fundamentos matemáticos necesarios para aplicar y resolver problemas de mecánica de sólidos.
2. Modelar y analizar estructuras mediante el método de elementos finitos e interpretar los resultados obtenidos.
3. Saber aplicar el método de elementos finitos (MEF) a la resolución de problemas concretos.
4. Saber utilizar programas comerciales para la simulación numérica por el método de elementos finitos.

**\*\* 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](http://www.aneca.es/content/download/12765/158329/file/learningoutcomes_v02.pdf)

CSV:	zWsaxxBttAEOfKdldeTnSIFV		Fecha:	29/01/2019 23:12:23		
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/zWsaxxBttAEOfKdldeTnSIFV		Página:	8/17		



5. Contenidos

5.1. Contenidos del plan de estudios asociados a la asignatura

Introducción al MEF mediante la ecuación del hilo tenso. Tratamiento de la Teoría de la Elasticidad con el MEF. Tratamiento numérico de elementos esbeltos: el MEF en la Teoría de Placas y Láminas y en el tratamiento de barras y sistemas estructurales. Nociones de programación del MEF en mecánica de sólidos. Utilización de programas de simulación numérica comerciales.

5.2. Programa de teoría (unidades didácticas y temas)

Tema 1. Introducción al Método de los Elementos Finitos (M.E.F.)

- 1.1. Introducción.
- 1.2. Formulación fuerte.
- 1.3. Formulación débil.
- 1.4. Equivalencia entre la formulación fuerte y débil.
- 1.5. Método de Galerkin (Bubnov-Galerkin).
- 1.6. Representación matricial.
- 1.7. Ejemplos con 1 y 2 grados de libertad.
- 1.8. Generalización: subdivisión del espacio en dominios de elementos finitos lineales.
- 1.9. Propiedades de la matriz de rigidez.
- 1.10. Análisis matemático del error de la aproximación.
- 1.11. Resolución del sistema de matrices: eliminación de Gauss.
- 1.12. Descripción local de un elemento finito.
- 1.13. Matriz de rigidez y vector de fuerzas del elemento. Ensamblaje de matrices locales: matriz global.
- 1.14. Cálculo explícito de la matriz de rigidez y el vector de fuerzas del elemento.

Tema 2. Pórticos y su tratamiento mediante el M.E.F

- 2.1. Hipótesis.
- 2.2. Ecuaciones constitutivas de un sólido elástico, homogéneo e isótropo.
- 2.3. Inclusión de la hipótesis 2 en las ecuaciones constitutivas.
- 2.4. Inclusión de la tercera hipótesis en las ecuaciones de compatibilidad.
- 2.5. Variables de interés.
- 2.6. Transformación de coordenadas.
- 2.7. Ecuación variacional.
- 2.8. Formulación fuerte del problema.
- 2.9. Formulación débil.
- 2.10. Ecuación variacional en forma matricial.
- 2.11. Matriz de rigidez y de cargas del elemento.

Tema 3. Teoría de placas.

- 3.1. Hipótesis principales de la teoría de “Reissner-Mindlin”.
- 3.2. Ecuaciones constitutivas.
- 3.3. Compatibilidad deformaciones-desplazamientos.
- 3.4. Principales variables de la teoría.
- 3.5. Ecuación variacional.
- 3.6. Formulación fuerte del problema.
- 3.7. Formulación débil del problema.
- 3.8. Formulación matricial de la ecuación variacional.
- 3.9. Matriz de rigidez y vector de fuerzas del elemento.

Tema 4. Elasticidad y su tratamiento mediante el M.E.F.

- 4.1. Ideas preliminares.
- 4.2. Formulación débil, fuerte y equivalencia entre ambas formulaciones.
- 4.3. Formulación de Galerkin. Propiedades de la matriz de rigidez.
- 4.4. Matriz local del elemento y vector de fuerzas local.

- 4.5. Gestión de datos.
- Tema 5. Elementos isoparamétricos. Nociones de programación.
- 5.1. Conceptos preliminares.
- 5.2. Elemento cuadrilátero bilineal.
- 5.3. Elementos isoparamétricos.
- 5.4. Elemento triangular lineal.
- 5.5. Elemento trilineal hexaédrico.
- 5.6. Elementos de orden superior; polinomios de Lagrange.
- 5.7. Elementos con un número variable de nodos.
- 5.8. Integración numérica; cuadratura de Gauss.
- 5.9. Derivadas de las funciones de forma; subrutinas.
- 5.10. Formulación de la matriz de rigidez del elemento.

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

1. Introducción al programa de M.E.F. ANSYS.
2. Modelando con ANSYS.
3. Análisis estructural. Tipos de análisis. Tipos de Elementos.
4. Prácticas guiadas.

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)

Chapter 1.

- 1. Introduction to the Finite Element Method (FEM).
  - 1.1. Introduction.
  - 1.2. Strong formulation.
  - 1.3. Weak formulation.
  - 1.4. Equivalence between strong and weak formulation.
  - 1.5. Galerkin (Bubnov-Galerkin).
  - 1.6. Matrix representation.
  - 1.7. Examples 1 and 2 degrees of freedom.
  - 1.8. Generalization: subdivision of space into domains of linear finite elements.
  - 1.9. Properties of the stiffness matrix.
  - 1.10. Mathematical analysis of the error.
  - 1.11. Resolution of the matrices system: Gaussian elimination.
  - 1.12. Local description of a finite element.
  - 1.13. Stiffness matrix and force vector element. Local assembly arrays: global matrix.
  - 1.14. Explicit calculation of the stiffness matrix and force vector of the element.

Chapter 2. Structures and its treatment by MEF

- 2.1. Hypothesis.
- 2.2. Constitutive equations of elastic, homogeneous and isotropic solid.
- 2.3. Inclusion of hypothesis 2 in the constitutive equations.
- 2.4. Inclusion of the third hypothesis in the equations of compatibility.
- 2.5. Variables of interest.
- 2.6. Coordinate transformation.
- 2.7. Variational equation.
- 2.8. Strong formulation of the problem.
- 2.9. Weak formulation.
- 2.10. Variational equation in matrix form.
- 2.11. Stiffness matrix and load element.

Chapter 3. Theory of plates and its treatment by MEF.

- 3.1. Main assumptions of the theory of "Reissner-Mindlin".
- 3.2. Constitutive equations.
- 3.3. Compatibility strain-displacement.
- 3.4. Main variables of the theory.
- 3.5. Variational equation.
- 3.6. Strong formulation of the problem.
- 3.7. Weak formulation of the problem.
- 3.8. Matrix formulation of the variational equation.
- 3.9. Stiffness matrix and force vector element.

Chapter 4. Elasticity theory and its treatment by MEF

- 4.1. Preliminary ideas.
- 4.2. Weak, strong and equivalence between both formulations formulation.
- 4.3. Galerkin formulation. Properties of the stiffness matrix.

4.4. Local matrix element vector and local forces.
4.5. Data management.
Chapter 5. Isoparametric Elements. Programming the FEM.
5.1. Preliminary concepts.
5.2. Bilinear quadrilateral element.
5.3. Isoparametric elements.
5.4. Linear triangular element.
5.5. Trilinear hexahedral element.
5.6. Elements of higher order; Lagrange polynomials.
5.7. Elements with a variable number of nodes.
5.8. Numerical integration; Gaussian quadrature.
5.9. Derived from the shape functions; subroutines.
5.10. Formulation of the element stiffness matrix.

5.5. Objetivos del aprendizaje detallados por unidades didácticas
Objetivos del programa de teoría:
1. Presentar y ver la equivalencia entre una formulación fuerte y una formulación variacional de un problema de contorno.
2. Dentro del contexto de los métodos variacionales, comprender cuales son las particularidades del método de los elementos finitos.
3. Introducir al alumno a la tecnología de elementos asociada a éste método variacional.
4. Comprender en qué consiste la aproximación del método y las condiciones suficientes que garantizan la convergencia del método.
5. Presentar ejemplos típicos en los que el método o la tecnología de elementos no funciona, y los problemas típicos asociados a la tecnología de elementos.
6. Aplicar el método de forma sistemática a distintas teorías.
7. Familiarizarse con la estructura básica de un programa de M.E.F. y comprender su diagrama de flujo.
Objetivos del programa de prácticas:
1. Que el alumno se haga una idea de las capacidades computacionales de un programa de elementos finitos como es ANSYS.
2. Que el alumno se familiarice con la estructura de la librería de ayudas que el programa ANSYS ofrece, para así potenciar el aprendizaje autodidacta del programa.
3. Que el alumno se familiarice con su uso mediante la realización de una serie de prácticas guiadas.
4. Utilizar algunos resultados experimentales para que el alumno distinga entre el comportamiento real de lo que se quiere modelar, la teoría o modelo y sus límites de aplicación y la resolución aproximada o modelo numérico del problema.



6. Metodología docente

6.1. Actividades formativas			
Actividad	Trabajo del profesor	Trabajo del estudiante	Horas
Clases de teoría	Exponer en la pizarra los fundamentos teóricos del contenido de la asignatura. Ilustrar las exposiciones teóricas de la pizarra con gráficos, figuras y fotos cuando sea pertinente. Además se procurará interactuar con los alumnos para estimular que formulen sus dudas sobre la exposición. Además se proveerá al alumno de unos apuntes con los contenidos teóricos.	<u>Presencial</u> : Tomar apuntes o tomar notas sobre los apuntes facilitados por el Profesor.  Comprender la materia que se va exponiendo y plantear dudas y preguntas sobre aquello que no comprenda. Es fundamental que el alumno lleve la asignatura al día, ya que en caso contrario, después de dos o tres semanas, será incapaz de comprender los contenidos impartidos en las clases teóricas.	20
		<u>No presencial</u> : Estudio de la materia en profundidad. Generación de una visión propia de la materia con sentido físico. Intentar auto exponerse lo esencial de la materia de forma clara y sencilla. Anotar las dudas para plantearse las al Profesor.	24
Resolución de ejercicios y casos prácticos	El profesor facilitará al alumno una colección de problemas resueltos. Parte de los problemas de esta colección se resolverá detalladamente en la pizarra. Se seguirá una secuencia para que los desarrollos teóricos y la resolución de los ejercicios asociados a ellos coincidan en el tiempo.	<u>Presencial</u> : Participación activa. Resolución de ejercicios. Planteamiento de dudas.	20
		<u>No presencial</u> : Resolver problemas de la siguiente manera. Tomar una hoja en blanco, el enunciado de un problema de la colección y un pequeño esquema, preparado previamente por el alumno, de lo esencial de los fundamentos teóricos asociados. Resolver el problema (sin leer la solución). Una vez resuelto el problema, leer y entender la solución y auto corregirse el problema asignándose una nota. Por último, buscar formas alternativas para la resolución del problema.	24
Clases de Prácticas. Sesiones de laboratorio y aula de informática	Desarrollo del programa de prácticas para que los alumnos se interesen en las labores experimentales y en la simulación computacional. Se procurará relacionar estas actividades con las clases teóricas y la resolución manual de ejercicios prácticos, intentando que los alumnos se acostumbren a verificar de forma sencilla la bondad de los resultados numéricos.	<u>Presencial</u> : Manejo del material de ensayo, realización de cálculos en el ordenador y verificación manual de resultados.	7
		<u>No presencial</u> : Realización de los informes de las prácticas.	18
Seminarios de problemas	Se programarán algunos seminarios sobre resolución de problemas puntuables o sustitutivos.	<u>Presencial</u> : Resolución de problemas.	4
Actividades de evaluación formativa	Se realizarán controles sobre contenidos ya estudiados	<u>Presencial</u> : Realización de los controles.	4
Tutorías	Las tutorías serán individuales o de grupo con objeto de realizar un seguimiento del aprendizaje.	<u>Presencial</u> : Resolución de dudas	9
Exámenes	Pruebas escritas oficiales.	<u>Presencial</u> : Respuesta por escrito a las cuestiones, ejercicios y problemas propuestos.	5
			135

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

Resultados del aprendizaje (4.5)										
Actividades formativas (6.1)	1	2	3	4						
Clases de teoría	x	x	x							
Resolución de ejercicios y casos prácticos		x	x							
Clases de Prácticas. Sesiones de laboratorio y aula de informática		x	x	x						
Seminarios de problemas		x	x							
Actividades de evaluación formativa	x	x	x	x						
Tutorías	x	x	x	x						
Exámenes	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 oficial individual.			Se valorará el aprendizaje por parte del alumno en un 30/40% de la nota final.	30-40%	1 al 6
Resolución de casos, cuestiones teóricas, ejercicios prácticos o problemas propuestos.			Se valorarán las competencias adquiridas.	10-15%	1 al 6
Pruebas intermedias de evaluación continua.			Se valorarán las competencias adquiridas.	15-25%	1 al 6
Evaluación de prácticas, visitas y seminarios a partir de las memorias e informes correspondientes.			Se valorarán las competencias adquiridas.	10-15%	1 al 6
Trabajos individuales y en grupo.			Se valorarán las competencias adquiridas.	10-15%	1 al 6
Asistencia y participación en clases y prácticas.			Se valorarán las competencias adquiridas.	10-15%	1 al 6

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

Las pruebas de control que se realizan en clase permiten detectar posibles carencias formativas y consolidar los conceptos más importantes.

- Supervisión durante las sesiones presenciales de trabajo individual o en equipo.
- Ejercicios individuales o en grupo tras cada tema.



## 8 Bibliografía y recursos

### 8.1. Bibliografía básica\*

- Luis Sánchez Ricart. Teoría de la Elasticidad. Apuntes manuscritos.

### 8.2. Bibliografía complementaria\*

O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor  
El Método de los Elementos Finitos, Volumen 1.  
McGraw-Hill, 2004

Thomas J. R. Hughes  
The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis.  
Prentice-Hall, 2000

Klaus-Jurgen Bathe  
Finite Element Procedures  
Prentice-Hall, 1995

### 8.3. Recursos en red y otros recursos