



## Teaching Guide

| Teaching Guide         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |          |           |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------|
| Identifying Data       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |          | 2023/24   |
| Subject (*)            | Estruturas III                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                    | Code     | 632011604 |
| Study programme        | Enxeñeiro de Camiños, Canais e Portos                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                    |          |           |
| Descriptors            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |          |           |
| Cycle                  | Period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Year               | Type     | Credits   |
| First and Second Cycle | 1st four-month period                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Third Fourth Fifth | Optional | 4         |
| Language               | Spanish                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                    |          |           |
| Teaching method        | Face-to-face                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                    |          |           |
| Prerequisites          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |          |           |
| Department             | Enxeñaría Civil                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                    |          |           |
| Coordinador            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | E-mail             |          |           |
| Lecturers              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | E-mail             |          |           |
| Web                    | caminos.udc.es/info/asignaturas/621/index.php                                                                                                                                                                                                                                                                           |                    |          |           |
| General description    | El objetivo de la asignatura es adquirir los fundamentos del cálculo de estructuras mediante el Método de Elementos Finitos y su aplicación en problemas de elasticidad 2D y 3D. El alumno deberá ser capaz de elegir el modelo más adecuado para cada problema así como la interpretación de los resultados obtenidos. |                    |          |           |

## Study programme competences

| Code | Study programme competences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1   | Capacitación científico-técnica e metodolóxica para a asesoría, a análise, o deseño, o cálculo, o proxecto, a planificación, a dirección, a xestión, a construción, o mantemento, a conservación e a explotación nos campos relacionados coa enxeñaría civil: materiais de construción, xeotecnia, estruturas, edificación, hidráulica, enerxía, enxeñaría sanitaria, medio ambiente, enxeñaría marítima e costeira, transportes, enxeñaría cartográfica, urbanismo e ordenación do territorio.                                                                                           |
| A2   | Capacidade para comprender os múltiples condicionamentos de carácter técnico, legal e da propiedade que se formulan no proxecto dunha obra pública e capacidade para establecer diferentes alternativas válidas, elixir a óptima e plasmala axeitadamente, tras prever os problemas da súa construción e empregar os métodos e tecnoloxías máis axeitados, tanto tradicionais como innovadores, coa finalidade de conseguir a maior eficacia dentro do respecto polo medio ambiente e a protección da seguridade e saúde dos traballadores e usuarios da obra pública.                    |
| A5   | Coñecemento da profesión de enxeñeiro de Camiños, Canais e Portos e das actividades que se poden realizar no ámbito da enxeñaría civil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| A8   | Coñecementos básicos sobre o uso dos ordenadores e a súa programación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| A21  | Capacidade para analizar e comprender como as características das estruturas inflúen no seu comportamento, así como para coñecer as tipoloxías máis usuais na Enxeñaría Civil. Capacidade para utilizar métodos tradicionais e numéricos de cálculo e deseño de todo tipo de estruturas (de barras, placas, láminas esféricas e de revolución, etc.) de diferentes materiais (formigón, metálicas, mixtas, de madeira, cerámicas, compostas, etc.) sometidas a esforzos diversos e en situacións de comportamentos mecánicos variados (elásticos, elastoplásticos, viscoelásticos, etc.). |
| A22  | Coñecemento teórico e práctico para a análise non lineal e dinámica estrutural, con especial atención á análise sísmica, por medio da aplicación dos métodos e programas de deseño e cálculo dinámico de estruturas por ordenador, a partir do coñecemento e comprensión das cargas dinámicas máis habituais e a súa aplicación ás tipoloxías estruturais da Enxeñaría Civil.                                                                                                                                                                                                             |
| B1   | Aprender a aprender.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B2   | Resolver problemas de forma efectiva.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| B3   | Aplicar un pensamento crítico, lóxico e creativo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| B4   | Traballar de forma autónoma con iniciativa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| B5   | Traballar de forma colaborativa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| B8   | Reciclaxe continua de coñecementos nunha perspectiva xeneralista no ámbito global de actuación da enxeñaría civil.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| B9   | Comprender a importancia da innovación na profesión.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B10  | Aproveitamento e incorporación das novas tecnoloxías.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| B19  | Capacidade de análise, síntese e estruturación da información e das ideas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| B27  | Capacidade para aplicar coñecementos básicos na aprendizaxe de coñecementos tecnolóxicos e na súa posta en práctica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



| Learning outcomes                                                                                |                             |                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|--|
| Learning outcomes                                                                                | Study programme competences |                                          |  |
| Capacidad de realizar modelos de elementos finitos adecuados al problema que desea resolver      | A1<br>A2<br>A5<br>A8<br>A21 | B1<br>B2<br>B4<br>B5<br>B9<br>B10        |  |
| Capacidad de interpretar los resultados obtenidos del análisis lineal y no lineal de estructuras | A21<br>A22                  | B1<br>B2<br>B3<br>B8<br>B9<br>B19<br>B27 |  |

| Contents                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Topic                                               | Sub-topic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Introducción al método de los elementos finitos     | Tipos de modelización estructural                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Elementos unidimensionales: barra a axil            | Elemento lineal, formulación isoparamétrica<br>Elemento cuadrático<br>Ejemplos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Elementos finitos en elasticidad bidimensional (I)  | Teoría de elasticidad bidimensional<br>Formulación del elemento triangular de tres nudos<br>Discretización del campo de deformaciones<br>Ecuaciones de equilibrio de la discretización<br>Formulación del elemento rectangular de cuatro nudos<br>Consideraciones acerca de la solución obtenida con el MEF<br>Condiciones para la convergencia de la solución                                |
| Elementos finitos en elasticidad bidimensional (II) | Elementos de clase C0 de orden superior en coordenadas naturales<br>Elementos rectangulares<br>Elementos rectangulares lagrangianos<br>Elementos rectangulares serendipitos<br>Elementos triangulares<br>Convergencia e Integración numérica<br>Comportamiento del cuadrilátero bilineal (elemento C4)<br>Cálculo de magnitudes derivadas<br>Comparación entre distintos elementos y ejemplos |
| Aplicación del MEF en problemas térmicos            | Problemas de campo escalar<br>Ecuaciones de equilibrio en el problema estacionario de conducción del calor<br>Matriz de conductividad y vector de flujo térmico<br>Ejemplos de aplicación                                                                                                                                                                                                     |



|                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elementos finitos en elasticidad 3D                               | Teoría de elasticidad 3D<br>Formulación de los elementos finitos<br>Discretización y ecuaciones de equilibrio<br>Elementos finitos tridimensionales<br>Formulación isoparamétrica<br>Comparación de los distintos tipos de elementos<br>Efecto de la distorsión<br>Ejemplos de aplicación                                                                                                                        |
| Elementos unidimensionales: elemento viga                         | Barra a flexión: teoría de vigas esbeltas<br>Ecuaciones de equilibrio y discretización<br>Elemento viga de 2 nudos<br>Estructuras de barras planas<br>Estructuras de barras tridimensionales<br>Condiciones de contorno<br>Ejemplos de aplicación                                                                                                                                                                |
| Elementos placa                                                   | Teoría de placas: ecuaciones de equilibrio y relaciones momento-curvatura<br>Aplicación del PTV y formulación de los elementos<br>Elementos finitos para placas delgadas<br>Elementos finitos para placas gruesas<br>Cálculo de esfuerzos y tensiones<br>Efecto del esviaje<br>Ejemplos de aplicación                                                                                                            |
| Elementos lámina                                                  | Formulaciones y tipos de elementos lámina<br>Elementos lámina plana<br>Teoría de láminas planas de Reissner-Mindlin<br>Aplicación del PTV y formulación de los elementos<br>Matrices de deformación y rigidez<br>Elementos lámina espacial curva isoparamétricos<br>Ejemplos de aplicación                                                                                                                       |
| Introducción al análisis no lineal de estructuras mediante el MEF | Introducción<br>Tipos de no linealidades<br>Tensores de deformaciones y tensiones<br>Deformaciones<br>Teorema de descomposición polar<br>Tensiones<br>Métodos numéricos de solución<br>No linealidad geométrica<br>Formulación general<br>Rigidización tensional y pandeo<br>Formulación Lagrangiana Total<br>No linealidad del material<br>Plasticidad unidimensional<br>Desarrollo en Cosmos/m<br>Bibliografía |

| Planning              |              |                      |                               |             |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------------------|-------------|
| Methodologies / tests | Competencies | Ordinary class hours | Student?s personal work hours | Total hours |
| Supervised projects   |              | 0                    | 0                             | 0           |



|                                                                                                                                 |  |   |   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|---|---|
| Personalized attention                                                                                                          |  | 0 | 0 | 0 |
| (*)The information in the planning table is for guidance only and does not take into account the heterogeneity of the students. |  |   |   |   |

## Methodologies

| Methodologies       | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Supervised projects | <p>Se realizarán los siguientes trabajos durante el curso:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Un trabajo teórico resolviendo un problema numérico simplificado de forma manual y comparando la solución obtenida con resultados de un programa profesional de elementos finitos.</li> <li>2. Dos trabajos prácticos resueltos mediante un programa comercial de elementos finitos (Abaqus), uno de elasticidad bidimensional y otro con elementos lámina y barra o de elasticidad tridimensional.</li> </ol> |

## Personalized attention

| Methodologies       | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Supervised projects | <p>Trabajos tutelados:</p> <p>Los alumnos deberán preguntar en tutoría individual aquellos aspectos relacionados con los trabajos proporcionados por el profesor.</p> <p>Solución de problemas:</p> <p>Igualmente, los alumnos deberán resolver las dudas que se les planteen sobre la teoría y practica de la asignatura.</p> |

## Assessment

| Methodologies       | Competencies | Description                                                                                                                                                     | Qualification |
|---------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Supervised projects |              | <p>Cada uno de los tres trabajos se valorará de 0 a 10 puntos.</p> <p>La nota final de la asignatura será la media aritmética de las tres notas anteriores.</p> | 100           |
| Others              |              |                                                                                                                                                                 |               |

## Assessment comments

El modo de evaluación es a través de la realización de trabajos prácticos tutorizados e individualizados por parte de los estudiantes.

La asignatura pertenece a una titulación en extinción y no tiene docencia asignada. Los alumnos que se matriculen deben ponerse en contacto con los profesores de la asignatura.

## Sources of information

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Basic</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- E. Oñate (1992). Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos. CIMNE</li> <li>- Cook R., Malkus D., Plesha. (1989). Concepts and applications of finite element analysis. M., John Wiley</li> <li>- K.J. Bathe (1996). Finite Element Procedures. Prentice-Hall</li> <li>- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L (2000). The finite element method (fifth ed.). Vol 1: The Basis, Vol2: Solid mechanics. Thomas Telford</li> <li>- T.J. Hughes (1987). The Finite Element Method. Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. Prentice-Hall</li> <li>- Hinton, E., Owen, D.R.J (1980). ? Introduction to finite element computations. Pineridge Press</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Complementary</b> | <p>Mechanics of materials, Hibbeler, R. C., 6ª ed., Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2005. Análisis Estructural, Hibbeler, R. C., 3ª ed., Prentice Hall Hispanoamericana S.A., Naucalpan de Juárez, Méjico, 1997.</p> <p>Fundamentos de Análisis Estructural, Leet, R. C. and C.M. Uang, 2ª ed., McGraw-Hill Interamericana S.A., México D.F., Méjico, 2006. Structures, Schodek, D. L., 5ª ed., Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2004.</p> <p>Resistencia de materiales, Gere, J. M. y Timoshenko, S., 5ª ed., Thomson-Paraninfo, Madrid, 2002. Mecánica de sólidos, Popov, E. P.2, 5ª ed., Pearson Educación, México, 2000. Elasticidad, Ortiz Berrocal, L., 3ª ed., McGraw-Hill, Madrid, 1998. Razón y ser de los tipos estructurales, Torroja Miret, E., 9ª ed., CSIC, Madrid, 1998. Estructuras o por qué las cosas no se caen, Gordon, J. E., Celeste Ediciones, Madrid, 1999.</p> |



## Recommendations

### Subjects that it is recommended to have taken before

Álgebra/632011101

Cálculo I/632011102

Estruturas I/632011202

Estruturas II/632011303

### Subjects that are recommended to be taken simultaneously

### Subjects that continue the syllabus

Cálculo Dinámico de Estruturas/632011601

Pontes II/632011622

### Other comments

Se requiere conocimiento de los aspectos básicos del cálculo de estructuras.

Es aconsejable el conocimiento de programas comerciales de cálculo de estructuras.

(\*)The teaching guide is the document in which the URV publishes the information about all its courses. It is a public document and cannot be modified. Only in exceptional cases can it be revised by the competent agent or duly revised so that it is in line with current legislation.