



## Teaching Guide

| Teaching Guide         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                    |          |           |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------|
| Identifying Data       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                    |          | 2021/22   |
| 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.                                  |                    |          |           |
| Contingency plan       | 1. Modifications to the contents<br><br>2. Methodologies<br>*Teaching methodologies that are maintained<br><br>*Teaching methodologies that are modified<br><br>3. Mechanisms for personalized attention to students<br><br>4. Modifications in the evaluation<br><br>*Evaluation observations:<br><br>5. Modifications to the bibliography or webgraphy |                    |          |           |

## 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                          | B1  |
|                                                                                                  |  | A2                          | B2  |
|                                                                                                  |  | A5                          | B4  |
|                                                                                                  |  | A8                          | B5  |
|                                                                                                  |  | A21                         | B9  |
|                                                                                                  |  |                             | B10 |
| Capacidad de interpretar los resultados obtenidos del análisis lineal y no lineal de estructuras |  | A21                         | B1  |
|                                                                                                  |  | A22                         | B2  |
|                                                                                                  |  |                             | B3  |
|                                                                                                  |  |                             | B8  |
|                                                                                                  |  |                             | B9  |
|                                                                                                  |  |                             | B19 |
|                                                                                                  |  |                             | 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               |
|                                                    | Elemento cuadrático                                       |
|                                                    | Ejemplos                                                  |
| Elementos finitos en elasticidad bidimensional (I) | Teoría de elasticidad bidimensional                       |
|                                                    | Formulación del elemento triangular de tres nudos         |
|                                                    | Discretización del campo de deformaciones                 |
|                                                    | Ecuaciones de equilibrio de la discretización             |
|                                                    | Formulación del elemento rectangular de cuatro nudos      |
|                                                    | Consideraciones acerca de la solución obtenida con el MEF |
|                                                    | 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 | <p>Introducción</p> <p>Tipos de no linealidades</p> <p>Tensores de deformaciones y tensiones</p> <p>Deformaciones</p> <p>Teorema de descomposición polar</p> <p>Tensiones</p> <p>Métodos numéricos de solución</p> <p>No linealidad geométrica</p> <p>Formulación general</p> <p>Rigidización tensional y pandeo</p> <p>Formulación Lagrangiana Total</p> <p>No linealidad del material</p> <p>Plasticidad unidimensional</p> <p>Desarrollo en Cosmos/m</p> <p>Bibliografía</p> |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| 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. 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. 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.