



| Guía Docente          |  |                    |                       |          |
|-----------------------|--|--------------------|-----------------------|----------|
| Datos Identificativos |  |                    |                       | 2018/19  |
| Asignatura (*)        | Estruturas III   | Código             | 632514003             |          |
| Titulación            | Mestrado Universitario en Enxeñaría de Camiños, Canais e Portos  |                    |                       |          |
| Descriptorios         |  |                    |                       |          |
| Ciclo                 | Período  | Curso              | Tipo                  | Créditos |
| Mestrado Oficial      | 1º cuatrimestre  | Primeiro           | Obrigatoria           | 6        |
| Idioma                | Castelán   |                    |                       |          |
| Modalidade docente    | Presencial   |                    |                       |          |
| Prerrequisitos        |  |                    |                       |          |
| Departamento          | Construcións e Estruturas Arquitectónicas, Cívicas e Aeronáuticas Enxeñaría Civil  |                    |                       |          |
| Coordinación          | Díaz García, Jacobo Manuel   | Correo electrónico | jacobodiaz@udc.es     |          |
| Profesorado           | Baldomir García, Aitor   | Correo electrónico | aitor.baldomir@udc.es |          |
|                       | Díaz García, Jacobo Manuel   |                    | jacobodiaz@udc.es     |          |
|                       | Romera Rodríguez, Luis Esteban   |                    | l.romera@udc.es       |          |
| Web                   | moodle.udc.es (4514003-E3-MICCP)   |                    |                       |          |
| Descrición xeral      | <p>O obxectivo global da materia é adquirir os fundamentos teóricos e prácticos da análise de estruturas mediante o Método de Elementos Finitos (MEF). Para iso expónse os seguintes obxectivos parciais:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprender as bases teóricas do MEF, tipos de elementos, características e tipoloxías de aplicación en enxeñaría civil.</li> <li>- Aplicar o MEF utilizando programas de deseño e cálculo de estruturas por computador.</li> <li>- Espertar unha visión crítica do alumno sobre os resultados obtidos.</li> <li>- Iniciar ao alumno na análise non lineal de estruturas.</li> </ul> |                    |                       |          |

| Competencias / Resultados do título |  |
|-------------------------------------|--|
| Código                              | Competencias / Resultados do título  |
| 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: edificación, enerxía, estruturas, xeotecnia, hidráulica, hidroloxía, enxeñaría cartográfica, enxeñaría marítima e costeira, enxeñaría sanitaria, materiais de construción, medio ambiente, ordenación do territorio, transportes e urbanismo, entre outros   |
| A2                                  | Capacidade para comprender os múltiples condicionamentos de carácter técnico, legal e da propiedade que se suscitan no proxecto dunha obra pública, e capacidade para establecer diferentes alternativas válidas, elixir a óptima e plasmala adecuadamente, prevendo os problemas da súa construción, e empregando os métodos e tecnoloxías máis adecuadas, tanto tradicionais como innovadoras, 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 |
| A3                                  | Coñecemento, comprensión e capacidade para aplicar a lexislación necesaria durante o desenvolvemento da profesión de Enxeñeiro de Camiños, Canais e Portos   |
| A4                                  | Coñecemento da historia da Enxeñaría Civil e capacitación para analizar e valorar as obras públicas en particular e a construción en xeral   |
| A5                                  | Coñecemento da profesión de Enxeñeiro de Camiños, Canais e Portos e das actividades que se poden realizar no eido da Enxeñaría Civil   |
| A6                                  | Aplicación das capacidades técnicas e xestoras en actividades de I+D+i dentro do eido da Enxeñaría Civil   |
| A8                                  | Utilización dos ordenadores para a resolución de problemas complexos de enxeñaría. Utilización de métodos e modelos sofisticados de cálculo por ordenador así como utilización de técnicas de sistemas expertos e de intelixencia artificial no contexto das súas aplicacións na resolución de problemas do ámbito estrito da Enxeñaría Civil  |
| A9                                  | Capacidade para resolver numericamente os problemas matemáticos máis frecuentes na enxeñaría, desde a formulación do problema ata o desenvolvemento da formulación e a súa implementación nun programa de ordenador. En particular, capacidade para formular, programar e aplicar modelos numéricos avanzados de cálculo, así como capacidade para a interpretación dos resultados obtidos no contexto da enxeñaría civil, a mecánica computacional e/ou a enxeñaría matemática, entre outros  |



|     |  |
|-----|--|
| A11 | Capacidade para documentarse, obter información e aplicar os coñecementos de materiais de construción en sistemas estruturais. Coñecementos da relación entre a estrutura dos materiais e as propiedades mecánicas que dela se derivan, incluíndo a caracterización microestrutural. Coñecemento, comprensión e capacidade para aplicar os métodos, procedementos e equipos que permiten a caracterización mecánica dos materiais, tanto experimentais como analíticos. Coñecementos teóricos e prácticos avanzados das propiedades dos materiais de construción máis utilizados en enxeñaría civil. Capacidade para a aplicación de novos materiais a problemas construtivos. |
| A17 | Capacidade para analizar e comprender como as características das estruturas inflúen no seu comportamento, así como 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 diferentes materiais, sometidas a esforzos diversos e en situacións de comportamentos mecánicos variados. Coñecemento das diferentes tipoloxías de pontes metálicas, de formigón e mixtas, o seu comportamento estrutural, os métodos de cálculo e os procedementos construtivos empregados  |
| A18 | Coñecemento teórico e práctico para a análise non lineal e dinámico estrutural, con especial fincapé na análise sísmica, mediante a 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.  |
| A19 | Capacidade para definir a formulación do problema de deseño óptimo de estruturas, mediante a aplicación dos métodos de optimización lineal e non lineal máis habituais en diversas tipoloxías estruturais, incluíndo conceptos de análise de sensibilidade   |
| A20 | Coñecemento dos esquemas estruturais máis empregados en Enxeñaría Civil, e capacidade para analizar os antecedentes históricos e a súa evolución ao longo do tempo. Comprensión das interaccións entre as tipoloxías estruturais, os materiais de construción existentes en cada etapa histórica e os medios de cálculo utilizados.  |
| A52 | Coñecemento e comprensión dos diferentes estilos artísticos, en relación co contexto histórico, económico e social da súa época desenvolvendo a capacidade para apreciar e incluír condicionantes estéticos na obra civil.   |
| B1  | Que os estudantes posúan as habilidades de aprendizaxe que lles permitan continuar estudando dun xeito que terá que ser en gran medida autodirixido ou autónomo.   |
| B2  | Posuír e comprender coñecementos que aporten unha base ou oportunidade de ser orixinais no desenvolvemento e/ou aplicación de ideas, a miúdo nun contexto de investigación   |
| B3  | Que os estudantes saiban aplicar os coñecementos adquiridos e a súa capacidade de resolución de problemas en contornas novas ou pouco coñecidas dentro de contextos máis amplos (ou multidisciplinares) relacionados coa súa área de estudo.   |
| B4  | Que os estudantes sexan capaces de integrar coñecementos e enfrontarse á complexidade de formular xuízos a partir dunha información que, sendo incompleta ou limitada, inclúa reflexións sobre as responsabilidades sociais e éticas vinculadas á aplicación dos seus coñecementos e xuízos  |
| B5  | Que os estudantes saiban comunicar as súas conclusións e os coñecementos e razóns últimas que as sustentan a públicos especializados e non especializados dun xeito claro e sen ambigüidades.  |
| B6  | Resolver problemas de forma efectiva   |
| B7  | Aplicar un pensamento crítico, lóxico e creativo   |
| B8  | Traballar de xeito autónomo con iniciativa   |
| B9  | Traballar de forma colaborativa  |
| B16 | Valorar criticamente o coñecemento, a tecnoloxía e a información dispoñible para resolver os problemas cos que deben enfrontarse   |
| B18 | Valorar a importancia que ten a investigación, a innovación e o desenvolvemento tecnolóxico no avance socioeconómico e cultural da sociedade   |
| C1  | Reciclaxe continua de coñecementos nunha perspectiva xeral no eido global de actuación da Enxeñaría Civil  |
| C2  | Comprender a importancia da innovación na profesión  |
| C5  | Comprensión da necesidade de actuar de forma enriquecedora sobre o medio ambiente contribuíndo ao desenvolvemento sostible   |
| C9  | Capacidade para organizar e planificar   |
| C13 | Claridade na formulación de hipóteses  |
| C15 | Capacidade de traballo persoal, organizado e planificado   |
| C21 | Capacidade de realizar probas, ensaios e experimentos, analizando, sintetizando e interpretando os resultados  |

## Resultados da aprendizaxe

| Resultados de aprendizaxe | Competencias / Resultados do título |
|---------------------------|-------------------------------------|
|---------------------------|-------------------------------------|



|  |      |      |      |
|--|------|------|------|
| Capacidade de expor, executar e analizar modelos de elementos finitos adecuados ao problema que desexa resolver e capacidade de interpretar os resultados numéricos obtidos da análise lineal e non lineal de estruturas | AM1  | BM1  | CM1  |
|  | AM2  | BM2  | CM2  |
|  | AM3  | BM3  | CM5  |
|  | AM4  | BM4  | CM9  |
|  | AM5  | BM5  | CM13 |
|  | AM6  | BM6  | CM15 |
|  | AM8  | BM7  | CM21 |
|  | AM9  | BM8  |      |
|  | AM11 | BM9  |      |
|  | AM17 | BM16 |      |
|  | AM18 | BM18 |      |
|  | AM19 |      |      |
|  | AM20 |      |      |
|  | AM52 |      |      |

| Contidos  |   |
|---|---|
| Temas   | Subtemas  |
| Introdución ao método dos elementos finitos                   | Sistemas discretos e continuos: elementos, nós e graos de liberdade. Etapas do proceso de solución. Tipos de elementos. Obtención das ecuacións de equilibrio. Matriz de rixidez e vectores de carga. Exemplos de aplicación.   |
| Elemento unidimensional barra a axil                          | Discretización. Elemento lineal: funcións de forma e formulación isoparamétrica. Principio de traballos virtuais (PTV). Matrices elementais. Elementos lagrangianos de orde superior. Exemplos.   |
| Elementos finitos en elasticidade bidimensional               | Teoría de elasticidade 2D. Elemento triangular lineal, PTV e discretización. Ecuacións de equilibrio. Movements e magnitudes derivadas. Elemento rectangular bilineal. Propiedades da solución e converxencia. Elementos lagrangianos e serendipitos de orde superior. Formulación isoparamétrica. Integración analítica e numérica. Estabilidade, converxencia e integración. Melloras do elemento C4. Estudo comparativo dos elementos. Exemplos. |
| Introdución ao programa comercial de EF Abaqus                | Estrutura. Módulos. Tipos de mallas. Elementos. Cargas, casos de carga e condicións de contorno. Comprobacións, cálculo e visualización. Módulos de análises.   |
| Elementos finitos tridimensionales                            | Elasticidade 3D. Ecuacións constitutivas. PTV. Elementos tetraédricos e hexaédricos. Formulación isoparamétrica e integración. Análise comparativa. Efecto da distorsión. Exemplos de aplicación.   |
| Elementos viga  | Teoría de Navier-Bernouilli. Elemento viga hermítico de clase C1. Cortante. Elemento viga de Timoshenko de clase C0. Análise comparativa. Estructuras 2D e 3D. Condicións de contorno. Exemplos.  |
| Elementos placa   | Teoría de placas. Placa de Kirchhoff e placa de Reissner-Mindlin. Equilibrio e relacións momento-curvatura. PTV. Elementos placa delgada: elementos de clase C1 MCZ e DKT. Elementos placa grossa. Integración e bloqueo da solución. Cálculo de esforzos e tensións. Efecto do esvíaie. Exemplos.  |
| Elementos lámina  | Formulacións e tipos de elementos. Elementos lámina plana: Teorías de Reissner-Mindlin e Kirchhoff. PTV. Matrices elementais. Problemas de coplanariedade. Elementos lámina espacial curva. Exemplos.   |
| Introdución á análise non lineal de estruturas mediante o MEF | Tipos de non linealidades. Esquemas de control, métodos iterativos e converxencia. Tensores de deformacións e tensións. Non linealidade xeométrica, do material e contacto. Exemplos.   |



|                       |   |
|-----------------------|---|
| Temas complementarios | Estimación do erro. Aspectos computacionais. Mallas adaptativas. Subestructuración. Problemas térmicos. Elementos axisimétricos e de revolución. Análise dinámica mediante o MEF. |
|-----------------------|---|

| Planificación          |  |   |                         |              |
|------------------------|--|---|-------------------------|--------------|
| Metodoloxías / probas  | Competencias / Resultados  | Horas lectivas (presenciais e virtuais) | Horas traballo autónomo | Horas totais |
| Sesión maxistral       | A1 A2 A3 A4 A5 A6<br>A11 A17 A18 A19<br>A20 A52 B1 B2 B7<br>B16 C5 C13   | 24                                      | 48                      | 72           |
| Solución de problemas  | A1 A2 A7 A8 A9 A11<br>A12 A17 A18 B1 B2<br>B3 B4 B5 B6 B7 B8<br>B9 B11 B12 B19 B13<br>B16 B18 C1 C2 C3<br>C9 C13 C15 C21 | 25                                      | 37.5                    | 62.5         |
| Proba obxectiva        | A1 A2 A7 A8 A9 A11<br>A12 A17 A18 B1 B2<br>B3 B4 B5 B6 B7 B8<br>B9 B11 B12 B19 B13<br>B16 B18 C1 C2 C3<br>C9 C13 C15 C21 | 2.5                                     | 0                       | 2.5          |
| Traballos tutelados    | A1 A2 A7 A8 A9 A11<br>A12 A17 A18 B1 B2<br>B3 B4 B5 B6 B7 B8<br>B9 B11 B12 B19 B13<br>B16 B18 C1 C2 C3<br>C9 C13 C15 C21 | 3                                       | 9                       | 12           |
| Atención personalizada |  | 1                                       | 0                       | 1            |

\*Os datos que aparecen na táboa de planificación son de carácter orientativo, considerando a heteroxeneidade do alumnado

| Metodoloxías          |  |
|-----------------------|--|
| Metodoloxías          | Descrición   |
| Sesión maxistral      | Exposición de contidos conceptuais dos diversos temas.   |
| Solución de problemas | Resolución das prácticas analíticas e numéricas dos diferentes temas expostas polos profesores.                                  |
| Proba obxectiva       | Exame escrito e mediante computador dos contidos da materia.   |
| Traballos tutelados   | Os alumnos poden realizar de forma voluntaria as prácticas analíticas e de computador expostas polos profesores durante o curso. |

| Atención personalizada |  |
|------------------------|--|
| Metodoloxías           | Descrición   |
| Proba obxectiva        | Os alumnos deberán resolver as dúbidas que se lles expoñan antes ou despois de que as prácticas de cada tema fosen resoltas na aula polos profesores da materia. |
| Sesión maxistral       |  |
| Traballos tutelados    | Da mesma forma, os alumnos poden resolver as dúbidas asociadas ás sesións maxistras ou aos traballos tutelados con calquera dos profesores da materia.           |
| Solución de problemas  | Os alumnos poden acudir a tutoría individualmente ou en grupo.   |



| Avaliación          |  |  |               |
|---------------------|--|--|---------------|
| Metodoloxías        | Competencias / Resultados  | Descrición   | Cualificación |
| Proba obxectiva     | A1 A2 A7 A8 A9 A11<br>A12 A17 A18 B1 B2<br>B3 B4 B5 B6 B7 B8<br>B9 B11 B12 B19 B13<br>B16 B18 C1 C2 C3<br>C9 C13 C15 C21 | Examen que consta de dúas partes: Unha parte onde se avalían cuestións teóricas e exercicios prácticos sobre o método dos elementos finitos e outra parte onde se avalía o coñecemento do programa Abaqus mediante un exercicio práctico no Laboratorio de Cálculo de Estructuras. | 100           |
| Traballos tutelados | A1 A2 A7 A8 A9 A11<br>A12 A17 A18 B1 B2<br>B3 B4 B5 B6 B7 B8<br>B9 B11 B12 B19 B13<br>B16 B18 C1 C2 C3<br>C9 C13 C15 C21 | Os traballos voluntarios feitos polos estudantes entregaranse estrictamente nos prazos habilitados polos profesores durante o cadrimestre de impartición da asignatura.  | 20            |
| Outros              |  |  |               |

### Observacións avaliación

A nota final obtense sumando a nota obtida no exame, e a nota obtida nos traballos voluntarios.

Para aprobar a materia é necesario obter un mínimo de 4 sobre 10 na parte teórica do exame, e un mínimo de 4 sobre 10 na parte práctica do exame de uso do programa Abaqus. Non se gardan as notas de partes illadas do exame entre oportunidades de avaliación.

A nota final calcúlase sumando á nota do exame a nota das prácticas voluntarias cun valor máximo destas de 2 sobre 10.

Para aprobar a materia é preciso obter unha nota final igual ou superior a 5 e cumprir a condición de nota mínima establecida para as dúas partes do exame.

Se non se supera unha das partes do exame:

- Non se terá en conta na nota final a calificación do traballo de curso
- A nota que figurará nas actas será a media aritmética das dúas partes do exame, cun máximo de 4,9

Os estudantes que concurran á "convocatoria adiantada" poderán

solicitar e realizar o traballo voluntario de curso co fin de que sexa considerado na calificación final. O traballo deberá solicitarse como mínimo cun mes de antelación respecto á data oficial do exame e a entrega será antes da realización do mesmo.

### Fontes de información

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>Bibliografía básica</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cook R., Malkus D., Plesha. M. (1989). Concepts and applications of finite element analysis. John Wiley</li> <li>- E. Oñate (1992). Cálculo de estruturas por el método de elementos finitos. CIMNE</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>- K.J. Bathe (1996). Finite Element Procedures. Prentice-Hall</li> <li>- Hinton, E., Owen, D.R.J (1980). Introduction to finite element computations. Pineridge Press</li> <li>- Chandrupatla T.R., Belegundu A. (1997). Introduction to finite elements in engineering. Prentice Hall</li> <li>- Anderson W.J. (1994). Linear static finite element analysis. Online training.. Automated Analysis Corporation</li> </ul> |
| <b>Bibliografía complementaria</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>   |



## Recomendacións

Materias que se recomenda ter cursado previamente

Materias que se recomenda cursar simultaneamente

Materias que continúan o temario

Pontes II/632514023

Cálculo sísmico e aeroelástico de estruturas/632514026

Análise avanzado de estruturas/632514028

Deseño óptimo de estruturas/632514025

Cálculo dinámico de estruturas/632514024

## Observacións

Requírese coñecemento dos aspectos básicos do cálculo de estruturas. É aconsellable o coñecemento de programas de cálculo de estruturas.

(\*A Guía docente é o documento onde se visualiza a proposta académica da UDC. Este documento é público e non se pode modificar, salvo casos excepcionais baixo a revisión do órgano competente dacordo coa normativa vixente que establece o proceso de elaboración de guías