



## Guía Docente

| Datos Identificativos |   |                    |                      |           | 2024/25 |
|-----------------------|---|--------------------|----------------------|-----------|---------|
| Asignatura (*)        | Análise Estrutural de Edificios Históricos  |                    | Código               | 630548017 |         |
| Titulación            | Máster Universitario en Rehabilitación Arquitectónica   |                    |                      |           |         |
| Descriptorios         |   |                    |                      |           |         |
| Ciclo                 | Período   | Curso              | Tipo                 | Créditos  |         |
| Mestrado Oficial      | 2º cuatrimestre   | Primeiro           | Optativa             | 3         |         |
| Idioma                | Castelán  |                    |                      |           |         |
| Modalidade docente    | Presencial  |                    |                      |           |         |
| Prerrequisitos        |   |                    |                      |           |         |
| Departamento          | Construcións e Estructuras Arquitectónicas, Cívicas e Aeronáuticas Enxeñaría Civil  |                    |                      |           |         |
| Coordinación          | Martín Gutiérrez, Emilio  | Correo electrónico | emilio.martin@udc.es |           |         |
| Profesorado           | Martín Gutiérrez, Emilio  | Correo electrónico | emilio.martin@udc.es |           |         |
| Web                   | moodle.udc.es   |                    |                      |           |         |
| Descrición xeral      | O enfoque da materia oríentase á aplicación práctica dos métodos numéricos en estudos de estabilidade e de comportamento estrutural vinculados a edificacións con valor histórico e obras de rehabilitación en xeral. Desenvólvense así competencias instrumentais útiles en labores periciais ou no momento de valorar comparativamente a incidencia de diferentes alternativas de intervención. |                    |                      |           |         |

## Competencias / Resultados do título

| Código | Competencias / Resultados do título  |
|--------|--|
| A5     | E05. Aptitude ou capacidade para a conservación da obra pesada, mediante a inspección, a análise, o control de calidade, a definición das condicións de mantemento e a estimación da seguridade das estruturas de edificación, incluídas as súas posibles cimentacións, podendo igualmente afrontar a redacción de proxectos de reparación e reforzo, e a dirección da execución asociada. |
| A8     | E08. Aptitude ou capacidade para redactar informes técnicos e proxectos de rehabilitación do patrimonio edificado, incluídas actividades de asesoramento e consultoría.  |
| B1     | CB06. Posuír e comprender coñecementos que proporcionen unha base ou oportunidade para ser orixinais no desenvolvemento e/ou a aplicación de ideas, a miúdo nun contexto de investigación.   |
| B2     | CB07. Que os estudantes saiban aplicar os coñecementos adquiridos e a súa capacidade de resolución de problemas en contornos novos ou pouco coñecidos dentro de contextos máis amplos (ou multidisciplinares) relacionados coa súa área de estudo.   |
| B4     | CB09. Que os estudantes saiban comunicar as súas conclusións e os coñecementos e as razóns últimas que as sustentan a públicos especializados e non especializados dun modo claro e sen ambigüidades.  |
| C1     | T01. Capacidade de análise e síntese   |
| C4     | T04. Coñecementos de informática relativos ao ámbito de estudo   |
| C5     | T05. Capacidade para a xestión da información  |
| C6     | T06. Resolución de problemas   |
| C12    | T12. Comprensión numérica  |
| C13    | T13. Intuición mecánica  |

## Resultados da aprendizaxe

| Resultados de aprendizaxe  | Competencias / Resultados do título |     |      |
|--|-------------------------------------|-----|------|
| Adquirir coñecementos xenéricos sobre técnicas instrumentais de auscultación e seguimento de construcións históricas.  | AP5                                 |     |      |
|  | AP8                                 |     |      |
| Familiarizarse coa utilización de ferramentas que faciliten as tarefas de inspección e control técnico, e que poidan servir para analizar as repercusións a ter en conta ante unha determinada intervención. | AP5                                 | BP1 | CP4  |
|  | AP8                                 | BP2 | CP6  |
|  |                                     |     | CP12 |
|  |                                     |     | CP13 |



|   |            |            |                            |
|---|------------|------------|----------------------------|
| Profundar no estudo do comportamento mecánico da obra de fábrica e dos modelos que permiten abordar a súa caracterización analítica.  | AP5<br>AP8 |            |                            |
| Propor unha aproximación ás técnicas de diagnose estrutural de edificacións con valor histórico e obras de rehabilitación en xeral, utilizando aplicacións informáticas baseadas na programación de métodos numéricos.  | AP5<br>AP8 | BP1<br>BP2 | CP4<br>CP6<br>CP12<br>CP13 |
| Fomentar o desenvolvemento de capacidades actitudinais de carácter autónomo: tendencia á aprendizaxe continua, habilidade para resolver problemas de forma efectiva, capacidades de análise e síntese, organización e planificación persoal, xestión produtiva da documentación, e utilización de tecnoloxías da información e das comunicacións. |            | BP4        | CP1<br>CP5                 |

| Contidos   |          |
|--|----------|
| Temas  | Subtemas |
| Principios, técnicas e ferramentas para a toma de datos.   |          |
| Complementariedade de técnicas instrumentais e analíticas. |          |
| Comportamento mecánico da obra de fábrica.                 |          |
| Técnicas de simulación numérica.                           |          |

| Planificación          |                                       |   |                         |              |
|------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|--------------|
| Metodoloxías / probas  | Competencias / Resultados             | Horas lectivas (presenciais e virtuais) | Horas traballo autónomo | Horas totais |
| Sesión maxistral       | A5 B1 B2                              | 12                                      | 12                      | 24           |
| Obradoiro              | A5 B1 B2 C4 C6 C12<br>C13             | 9                                       | 13.5                    | 22.5         |
| Solución de problemas  | A5 B1 B2 C4 C6 C12<br>C13             | 0                                       | 5                       | 5            |
| Traballos tutelados    | A5 A8 B1 B2 B4 C1<br>C4 C5 C6 C12 C13 | 0                                       | 22.5                    | 22.5         |
| 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      | <p>Aplicase unha metodoloxía expositiva complementada mediante medios audiovisuais, co fin de ilustrar significativamente os contidos tratados e de facilitar a súa comprensión.</p> <p>No entanto, e con independencia do anterior, durante as devanditas sesións perséguese alcanzar unha certa cota de participación por parte do alumnado, potenciando a súa implicación, fomentando a retroalimentación do proceso (e por tanto o carácter bidireccional da comunicación), e dinamizando os mecanismos de aprendizaxe mediante técnicas de interacción.</p> |
| Obradoiro             | <p>Propónse a exercitación mediante prácticas guiadas desenvolvidas con medios informáticos.</p> <p>Contempla a adquisición dunha metodoloxía operativa sobre a base de supostos prácticos cun nivel crecente de complexidade.</p>   |
| Solución de problemas | <p>Propónse probas de carácter práctico, nas que se ha de afrontar situacións problemáticas concretas, deseñadas a partir dos contidos traballados previamente.</p>  |



|                     |  |
|---------------------|--|
| Traballos tutelados | A metodoloxía docente orientase basicamente segundo o criterio da aprendizaxe na acción, a efectos de potenciar a adquisición de destrezas específicas. Neste contexto cobra protagonismo a elaboración dun traballo amplo, onde conflúen as competencias profesionalizantes da materia, ligadas por tanto á utilización de aplicacións de análise numérica, con outras de carácter transversal, como son, entre outras, a procura de documentación (a miúdo facendo uso de novas tecnoloxías), a organización e planificación de actividades, a xestión da información, ou a expresión oral e escrita. De forma esquemática, distínguense os seguintes pasos: selección do tema, elaboración dun guión de traballo xenérico, exame in situ, reportaxe fotográfica, levantamento planimétrico, localización e consulta de fontes de referencia, construción e axuste de modelos, interpretación de resultados, e redacción dunha memoria final que atenda á totalidade do traballo. Dado o carácter tutelado do mesmo, deben producirse sesións periódicas de seguimento co profesorado, a fin de optimizar ou, no seu caso, reconducir as actividades en curso. |
|---------------------|--|

### Atención personalizada

| Metodoloxías        | Descrición  |
|---------------------|---|
| Traballos tutelados | Dada a especificidade dos contidos ligados á materia, e o diferente nivel de formación informática con que o alumnado pode acceder á mesma, enténdese crucial articular mecanismos de atención personalizada que atendan ás posibles singularidades. A tales efectos, recórrase ao desenvolvemento de tutorías presenciais e consultas a través dos recursos da plataforma virtual. |

### Avaliación

| Metodoloxías        | Competencias / Resultados          | Descrición   | Cualificación |
|---------------------|------------------------------------|--|---------------|
| Traballos tutelados | A5 A8 B1 B2 B4 C1 C4 C5 C6 C12 C13 | O seu desenvolvemento enténdese plenamente individual e de natureza non presencial. Para garantir a autoría do traballo, e a adecuada adquisición de competencias, na súa avaliación enténdense relevantes as sucesivas sesións de control, e por tanto o grao de cumprimento con relación ás indicacións formuladas en cada caso polo profesorado. Outros aspectos a valorar son: a profundidade e rigor do desenvolvemento; a procura de fontes de información; as relacións construídas entre os diferentes apartados; as capacidades de análise e síntese; a corrección do estudo metodolóxico, da diagnose construtiva e estrutural, das modelizacións e das oportunas conclusións; a argumentación; e a calidade gramatical, gráfica e técnica da documentación final. | 100           |

### Observacións avaliación

Como nas restantes materias que integran o presente posgra, esíxese ademais unha asistencia non inferior ao 80% relativa á totalidade das sesións presenciais programadas. Este requisito non terá efecto cos estudantes que teñan recoñecida unha dedicación a tempo parcial segundo a Norma que regula o réxime de dedicación ao estudo e a permanencia e a progresión de estudantes de grao e máster na UDC. Cualquier constatación de plaxio ou incumprimento relevante das condicións establecidas para o desenvolvemento de entregas e/ou exámenes, derivará nunha calificación de suspenso (0) na materia e na convocatoria correspondentes, invalidando calquera valoración obtida en todas as actividades de avaliación previas de cara a outras convocatorias.

### Fontes de información



**Bibliografía básica**

Hendry, A.W, 1998. Structural Masonry. Macmillan. León, J., 2000. Planteamiento del análisis estructural. Identificación de modos de fallo y criterios de decisión. Lombillo, I., Villegas, L., Silió, D., Hoppe, C., 2008. Evaluación no destructiva del patrimonio construido. Revista Internacional Construlink 16, 40?53. Lourenco, P.B. Gaetani, A., 2022. Finite element analysis for building assessment. Advanced use and practical recommendations. Routledge. Macchi, G., 1992. Diagnosis estructural y rehabilitación de edificios históricos, Cuadernos INTEMAC. INTEMAC, Madrid. Martínez, J.L., Martín-Caro, J.A., León, J., 2001. Comportamiento mecánico de la obra de fábrica, Monografías sobre el análisis estructural de construcciones históricas de fábrica. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Schuller, M.P., 2003. Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures. Prog. Struct. Engng Mater. 5, 239?251. doi:10.1002/pse.160 Vázquez M., López, E., 2001. El método de los elementos finitos aplicado al análisis estructural. Noela, Madrid. Bibliografía



## Bibliografía complementaria

- A. Zucchini, Lourenco, P.B, 2007. Mechanics of masonry in compression: Results from a homogenisation approach. *Computers & Structures* 85, 193-204. doi:10.1016/j.compstruc.2006.08.054
- Alawadhi, E.M, 2010. Finite element simulations using Ansys. CRC Press, Boca Raton.
- Álvarez de Buergo, M., González, T., 1994. Restauración de edificios monumentales: estudio de materiales y técnicas instrumentales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.
- Anzani, A, L. Binda, Mirabella, G., 2000. The effect of heavy persistent actions into the behaviour of ancient masonry. *Materials and Structures* 33, 251-261. doi:10.1007/BF02479335
- Arede, A., Costa, A., 2002. Inspeção e Diagnóstico Estrutural de Construções Históricas. Algumas contribuições da FEUP. Presented at the 1o Seminário "A Intervenção no Património. Práticas de Conservação e Reabilitação.
- Asteris, P.G, 2008. On the structural analysis and seismic protection of historical masonry structures. *The Open Construction and Building Technology Journal* 2, 124-133.
- Astudillo, R., García, P., 1995. El ensayo de gato plano como técnica para la auscultación in-situ de obras de fábrica. *Ingeniería Civil* 98, 25-33.
- Atamturktur, S., Hemez, F., Cetin, U., 2010. Calibration under uncertainty for finite element models of masonry monuments (No. LA-14414, 974684).
- Ballivy, B., Perret, S., Rhazi, J., Palardy, D., Laporte, R., Gagnon, E., n.d. Rehabilitation of hydraulic masonry heritage structures. Injection of special cement-based grouts and tomographic control. *Transactions on the Built Environment* 55.
- Barbero, E., 2008. Finite element analysis of composite materials. CRC Press, Boca Raton.
- Barros, J.O, Lourenco, P.B, 2000. Size effect on masonry subjected to out-of-plane loading. Presented at the 12th International Brick Masonry Conference, Madrid.
- Beconcini, M.L, Bennati, S., Salvatore, W., 2001. Structural characterisation of a medieval bell tower. First historical, experimental and numerical investigations. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, Guimarães, pp. 431-444.
- Betti, M., Galano, L, 2012. Seismic Analysis of Historic Masonry Buildings: The Vicarious Palace in Pescia (Italy). *Buildings* 2, 63-82. doi:10.3390/buildings2020063
- Binda, L., Baronio, G., Palma, M., Penazzi, D., n.d. Il patrimonio storico architettonico ed il terremoto: la diagnosi e gli interventi di recupero. Località di roccanolfi di preci e montesanto di sellano: redazione di schede per il rilievo tipológico e dei danni sismici agli edifici.
- Binda, L., Cantini, L., Fernandes, F., Saisi, A., Tedeschi, C., Zanzi, L., 2004. Diagnostic investigation on the historical masonry structures of a castle by the complementary use of non destructive techniques. Presented at the 13 th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam.
- Binda, L., Cardani, G., Saisi, A., Valluzzi, M.R, 2006. Vulnerability analysis of the historical buildings in seismic area by a multilevel approach. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 7, 343-357.
- Binda, L., Modena, C., Baronio, G., Abbaneo, S., 1997. Repair and investigation techniques for stone masonry walls. *Construction and Building Materials* 11, 133-142. doi:10.1016/S0950-0618(97)00031-7
- Binda, L., Saisi, A., 2009. Application of NDTs to the diagnosis of Historic Structures. Presented at the NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nantes, France.
- Binda, L., Saisi, A., 2005. Research on historic structures in seismic areas in Italy. *Prog. Struct. Engng Mater.* 7, 71-85. doi:10.1002/pse.194
- Binda, L., Saisi, A., 2004. Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale.
- Binda, L., Saisi, A., 2001a. Mechanical damage due to long term behaviour of multiple leaf pillars in Sicilian Churches. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, Guimarães, pp. 707-718.
- Binda, L., Saisi, A., 2001b. Non destructive testing applied to historic buildings. The case of some Sicilian Churches. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, Guimarães, pp. 29-46.
- Binda, L., Saisi, A., 2001c. State of the art of research on historic structures in Italy.
- Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., 2001. Application of sonic tests to the diagnosis of damaged and repaired structures. *NDT & E International* 34, 123-138. doi:10.1016/S0963-8695(00)00037-2
- Binda, L., Saisi, A., Tiraboschi, C., 2000a. Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries. *Construction and Building Materials* 14, 199-233. doi:10.1016/S0950-0618(00)00018-0
- Binda, L., Saisi, A., Zanzi, L., 2003. Sonic tomography and flat-jack tests as complementary investigation procedures for the stone pillars of the temple of S. Nicolò (Italy). *NDT & E International* 36, 215-227. doi:10.1016/S0963-8695(02)00066-X
- Binda, L., Tongini, R., Mirabella, G., 2000b. Survey and investigation for the diagnosis of damaged masonry structures. The Torrazo of Cremona. Presented at the 12th International brick/block masonry conference, University of Madrid, Madrid, pp. 237-257.
- Bosilijkov, V., Totoev, Y.Z, Nichols, J.M, 2005. Shear modulus and stiffness of brickwork masonry. An experimental perspective. *Structural Engineering and Mechanics* 20, 21-43. doi:10.12989/sem.2005.20.1.021
- Brebbia, C.A, Domínguez, J., Escrig, F., International Conference on Structural Repair and Maintenance of Historical Building (Eds.), 1991. Structural repair and maintenance of historical buildings II. Computational Mechanics Publications, Southampton [etc.].
- Brebbia, C.A, Frewier, R.J.B, International Conference on Structural Repair and Maintenance of



Historical Building (Eds.), 1993. Structural repair and maintenance of historical buildings III. Computational Mechanics Publications, Southampton; Boston. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Repair and Maintenance of Historical Building (Eds.), 1989. Structural repair and maintenance of historical buildings I. Computational Mechanics, Southampton. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2015. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture XIV. Wit Pr/Computational Mechanics. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2013. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture XIII. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2011. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture XII. WIT Press, Southampton; Boston. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2009. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture XI. WIT, Southampton. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2007. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture X. WIT, Southampton. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2005. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture IX. WIT, Southampton; Boston. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2003. Structural studies, repairs and maintenance of heritage architecture VIII. WIT, Southampton. Brebbia, C.A, International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 2001. Structural studies, repairs, and maintenance of historical buildings VII. WIT Press, Southampton, UK; Boston. Brebbia, C.A, Jäger, W., International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture (Eds.), 1999. Structural studies, repairs and maintenance of historical buildings VI. WIT, Southampton; Boston. Brebbia, C.A, Leftheris, B., International Conference on Structural Repair and Maintenance of Historical Building (Eds.), 1995. Structural studies, repairs and maintenance of historical buildings IV. Computational Mechanics. Brignola, A., Frumento, S., Lagomarsino, S., Podestà, S., 2008. Identification of Shear Parameters of Masonry Panels Through the In-Situ Diagonal Compression Test. International Journal of Architectural Heritage 3, 527-73. doi:10.1080/15583050802138634 Buyukozturk, O, NDTMS (Symposium) (Eds.), 2013. Nondestructive testing of materials and structures. Springer, Dordrecht; New York. Calabresi, G., Fattorini, M., 2003. Safety assessment of the foundations of the Basilica of Maxentius in Rome. Transactions on the Built Environment 66. Cámara, L., Latorre, P., 2003. El Modelo Analítico Tridimensional obtenido por fotogrametría. Descomposición, manipulación y aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica. Arqueología de la Arquitectura 2, 87-96. Carpinteri, A., Invernizzi, S., Lacedogna, G., 2009. Historical brick-masonry subjected to double flat-jack test: Acoustic emissions and scale effects on cracking density. Construction and Building Materials 23, 2813-2820. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.03.003 Carpinteri, A., Invernizzi, S., Lacedogna, G., 2007. Structural assessment of a 17th-century masonry vault with acoustic emissions and numerical techniques. International Journal of Architectural Heritage 1, 214-226. doi:10.1080/15583050701287649 Carpinteri, A., Invernizzi, S., Lacedogna, G., 2005. In situ damage assessment and nonlinear modelling of a historical masonry tower. Engineering Structures 27, 387-395. doi:10.1016/j.engstruct.2004.11.001 Carpinteri, A., Lacedogna, G., 2007. Damage evaluation of three masonry towers by acoustic emission. Engineering Structures 29, 1569-1579. doi:10.1016/j.engstruct.2006.08.008 Castellazzi, G., D'Altri, A., Bitelli, G., Selvaggi, I., Lambertini, A., 2015. From laser scanning to finite element analysis of complex buildings by using a semi-automatic procedure. Sensors 15, 18360-18380. doi:10.3390/s150818360 Castro, A., 1999. Historia de la construcción arquitectónica. Edicions UPC, [Barcelona]. Castro, A., 1996. Historia de la construcción medieval: aportaciones. Edicions UPC, Barcelona. Clemente, J.J., 2005. Evaluación de puentes arco de fábrica. Introducción al análisis con el MEF. Como, M., 2009. The collapse of the Beauvais Cathedral in 1284. The conjecture of the creep buckling piers. Presented at the 3th International Congress on Construction History, Cottbus. Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A., 2003. Experimental study on the determination of strength of masonry walls. Construction and Building Materials 17, 325-337. doi:10.1016/S0950-0618(03)00007-2 Costanzo, A., Minasi, M., Casula, G., Musacchio, M., Buongiorno, M.F., n.d. Combined use of terrestrial laser scanning and IR thermography applied to a historical building. Sensors 15, 194-213. doi:10.3390/s150100194 Creazza, G., Saetta, A.V., Matteazzi, R., Vitaliani, R.V., 2001. Analysis of masonry structures reinforced by FRP. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, Guimarães, pp. 539-546. Croci, G., 2001a. Restoring the Basilica of St Francis of Assisi. CRM Cultural



Resource Management 24, 26-29. Croci, G., 2001b. Strengthening of monuments under the effect of static loads, soil settlements and seismic actions. Examples. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, University of Minho, Guimarães, pp. 1167-1190. Croci, G., 2000a. Emergency stabilization of the Basilica of St. Francis of Assisi. CRM Cultural Resource Management 23, 30-32. Croci, G., 2000b. General methodology for the structural restoration of historic buildings: the cases of the Tower of Pisa and the Basilica of Assisi. Journal of Cultural Heritage 1, 7-18. doi:10.1016/S1296-2074(99)00119-3. Cultrone, G., Sebastián, E., Ortega, M., 2007. Durability of masonry systems: A laboratory study. Construction and Building Materials 21, 40-51. doi:10.1016/j.conbuildmat.2005.07.008. Curcio, L.C., 1968. Estudios y reflexiones sobre estructuras medievales y equilibrio de la catedral gótica de Reims. MacGraw-Hill, Buenos Aires. Dadkhah, F., Zecher, J., 2009. Ansys Workbench software tutorial with multimedia CD: release 12. Schroff Development Corporation, Mission, KS. Dalla, M., 2015. Qualificazione di murature storiche: procedure sperimentali in sito e calibrazioni in laboratorio. Dialer, C., 1991. Some remarks on the strength and deformation behaviour of shear stressed masonry panels under static monotonic loading. Presented at the 9th International Brick Masonry Conference, Berlin, pp. 276-283. Diamanti, N., Giannopoulos, A., Forde, M.C., 2008. Numerical modelling and experimental verification of GPR to investigate ring separation in brick masonry arch bridges. NDT & E International 41, 354-363. doi:10.1016/j.ndteint.2008.01.006. Escrig, F. (Ed.), 2004a. Análisis de estructuras de obras de fábrica. Star. Structural Architecture 11, 3-89. Escrig, F. (Ed.), 2004b. Análisis dinámico de edificios históricos. Espadaña de la Iglesia de Santa María de la Blanca. Sevilla. Star. Structural Architecture 9, 3-63. Escrig, F. (Ed.), 2004c. Métodos de análisis para la rehabilitación de estructuras. Star. Structural Architecture 10, 3-101. Fedele, R., Maier, G., 2007. Flat-jack tests and inverse analysis for the identification of stress states and elastic properties in concrete dams. Meccanica 42, 387-402. doi:10.1007/s11012-007-9061-y. Fitchen, J., 1981. The construction of Gothic cathedrals; a study of medieval vault erection. University of Chicago Press, Chicago. Fraile M., J., García, P., Fraile A., J., 2013. Instrumentación aplicada a la ingeniería. Garceta, Madrid. Franco, V., 2011. Caracterización y modelado de estructuras del patrimonio histórico (masters). Universitat Politècnica de Catalunya. G. Baronio, L. Binda, Tedeschi, C., Tiraboschi, C., 2003. Characterisation of the materials used in the construction of the Noto Cathedral. Construction and Building Materials 17, 557-571. doi:10.1016/j.conbuildmat.2003.08.007. Gálvez, J.C., Reyes, E., Casati, M.J., 2004. Comportamiento mecánico de estructuras de fábrica de ladrillo. Hormigón y acero 234, 121-134. G. Vasconcelos, Lourenco, P.B., 2009. Experimental characterization of stone masonry in shear and compression. Construction and Building Materials 23, 3337-3345. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.06.045. Gens, A., Alonso, E., 1989. Instrumentación de obras. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Giunta, G., 2004. Architectural survey and non destructive investigations for conservative restoration of monuments. Presented at the 1st International workshop on Science, technology and cultural heritage, Venice. Giunta, G., Calloni, G., 2000. Ground Penetrating Radar applications on the Façade of St. Peter's Basilica in Vatican. Presented at the 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Rome. Gómez, J.L., Ruata, M.E., 2003. Comportamiento estructural de la iglesia de la Compañía de Jesús. Montevideo. Gregorczyk, P., Lourenco, P.B., 2000. A review on flat-jack testing. Engenharia Civil 9, 39-50. Grinzato, E., Marinetti, S., Bison, P.G., Concias, M., Fais, S., 2004. Comparison of ultrasonic velocity and IR thermography for the characterisation of stones. Infrared Physics & Technology 46, 63-68. doi:10.1016/j.infrared.2004.03.009. Herbert, D.M., Gardner, D.R., Harbottle, M., Thomas, J., Hughes, T.G., 2011. The development of a new method for testing the lateral load capacity of small-scale masonry walls using a centrifuge and digital image correlation. Construction and Building Materials 25, 4465-4476. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.02.002. Heyman, J., 2009. La Coupe des Pierres. Presented at the 3th International Congress on Construction History, Cottbus. Heyman, J., Huerta, S., 1995. Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica: colección de ensayos. Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. CEHOPU. CEDEX, Madrid. Huerta, S., 2010. The safety of masonry buttresses. Proceedings of the ICE - Engineering History and Heritage 163, 3-24. doi:10.1680/ehah.2010.163.1.3. Huerta, S., 2008. The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach. Architectural Science Review 51, 297-328. doi:10.3763/asre.2008.5136. Huerta, S., 2005. Mecánica de las bóvedas de fábrica. El enfoque del equilibrio. Informes de la Construcción 56, 73-89. doi:10.3989/ic.2005.v57.i496.496. Huerta, S., 2004. Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera, Madrid. Hughes, T.G., International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry (Eds.), 2003. Computer methods in structural masonry V. Computers & Geotechnics Ltd, Swansea. Hughes, T.G., Pande, G.N., International Symposium on Computer Methods in Structural





Masonry (Eds.), 2004. Computer methods in structural masonry VI. Computers & Geotechnics, Sketty, Swansea [Wales].

Ignatakis, C., Stavrakakis, E., Penelis, G., 1993. Mechanical characteristics of ancient Roman masonry. Presented at the IABSE Colloquim. Structural preservation of the architectural heritage, Rome, pp. 433-440. doi:<http://dx.doi.org/10.5169/seals-53327>

Irizarry, J., Podesta, S., Resemini, S., 2003. Curvas de capacidad para edificios monumentales: la Iglesia Santa María del Mar de Barcelona. Presented at the 2o Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Málaga, pp. 541-555.

Jurado, F., 2007. Interventions on ancient buildings structure. Presented at the International Workshop Preservation of Natural Stone and Rock Weathering, Madrid.

Jurado, F., 1996. Análisis vectorial automático en la restauración de monumentos.

Jurina, L., 2007. La caratterizzazione meccanica delle murature. Parte prima: prove penetrometriche. Parte seconda: martinetti piatti. Parte terza: prove dinamiche. Presented at the Seminario Internazionale C.I.A.S.

Kadam, S., Singh, Y., Bing, L., 2015. Out-of-plane behaviour of unreinforced masonry strengthened using ferrocement overlay. *Materials and Structures* 48, 3187-3203. doi:[10.1617/s11527-014-0390-8](https://doi.org/10.1617/s11527-014-0390-8)

Kamal, O.A., Hamdy, G.A., El-Salakawy, T.S., 2014. Nonlinear analysis of historic and contemporary vaulted masonry assemblages. *HBRC Journal* 10, 235-246. doi:[10.1016/j.hbrj.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.11.004)

Kaushik, H., Rai, D., Jain, S., 2007. Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering* 19, 728-739. doi:[10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:9\(728\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(728))

L Binda, C Tiraboschi, Baronio, G., 2003. On-site investigation on the remains of the Cathedral of Noto. *Construction and Building Materials* 17, 543-555. doi:[10.1016/S0950-0618\(03\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(03)00057-6)

Lasagabaster, J.I., Congreso Europeo sobre Restauración de Catedrales Góticas (Eds.), 2001. I Congreso Europeo de Restauración de Catedrales Góticas. Diputación Foral de Álava, Vitoria-Gasteiz.

Lawrence, K., 2012a. Ansys tutorial: release 14: structural & thermal analysis using the Ansys Mechanical APDL release 14 environment. SDC Publications, Mission, KS.

Lawrence, K., 2012b. Ansys Workbench tutorial: structural & thermal analysis using the Ansys Workbench release 14 environment. Schroff Development Corp., Mission, Kan.

Lee, H-H., 2014. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 15. SDC publications, Mission.

León, J., Corres, H., Espejo, S., 2007. Obras de fábrica. Sostenibilidad e ingeniería. León, J., Martínez, J., Martín-Caro, J.A., 2000. La torre de la Silla de la Reina en la Catedral de León.

Leonhardt, F., 1997. The committee to save the tower of Pisa: a personal report. *Structural Engineering International* 7, 201-212. doi:[10.2749/101686697780494734](https://doi.org/10.2749/101686697780494734)

Lombillo, I., Agudo, E., Villegas, L., 2007. Evaluación no destructiva del patrimonio construido. Inspección visual. Técnicas acústicas electromagnéticas y tomográficas. Presentado al 11o Congreso Español de Ensayos No Destructivos, Gijón.

Lombillo, I., Villegas, L., 2008. Campaña experimental cuasi-no destructiva desarrollada en elementos estructurales de fábrica: Ensayos in situ y en laboratorio. Presented at the 3as. Jornadas Internacionales sobre Tecnología de la Rehabilitación y Gestión del Patrimonio Construido (REHABEND), Valencia.

Lombillo, I., Villegas, L., 2006. Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio. Presented at the Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido (REHABEND).

Lombillo, I., Villegas, L., Elices, J., 2010. Minor destructive techniques applied to the mechanical characterization of historical rubble stone masonry structures. *Structural Survey* 28, 53-70. doi:[10.1108/02630801011040860](https://doi.org/10.1108/02630801011040860)

Lombillo, I., Villegas, L., Elices, J., 2009. Non minor destructive methodologies applied to the study and diagnosis of masonry structures of the building heritage. A state of the art. Presented at the I Congreso Internacional de Investigación en Edificación (COINVEDI), Madrid.

López, J., Oller, S., Oñate, E., 1998. Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos, Monografía CIMNE. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.

Lourenco, P.B., 2002. Computations on historic masonry structures. *Prog. Struct. Engng Mater.* 4, 301-319. doi:[10.1002/pse.120](https://doi.org/10.1002/pse.120)

Lourenco, P.B (Ed.), 2001. Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques. University of Minho, Guimarães.

Lourenco, P.B., 2000. A macro-model for the out-of-plane behaviour of masonry. Presented at the 12th International Brick Masonry Conference, Madrid.

Lourenco, P.B., 1998. Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry. Presented at the Structural Analysis of Historical Constructions II, Barcelona.

Lourenco, P.B., 1996. Computational strategies for masonry structures. TU Delft.

Lourenco, P.B., 1995. An orthotropic continuum model for the analysis of masonry structures.

Lourenco, P.B., 1994. Analysis of masonry structures with interface elements.

Lourenco, P.B, Barros, J.O, Almeida, J.C, 2002. Characterization of masonry under uniaxial tension. Lourenco, P.B, International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions (Eds.), 2007. Structural analysis of historical constructions V: possibilities of numerical and experimental techniques. Macmillan, New Delhi.

Lourenco, P.B, Milani, G., Tralli, A., Zucchini, A., 2007. Analysis of masonry structures: review of and recent





trends in homogenization techniques This article is one of a selection of papers published in this Special Issue on Masonry. Canadian Journal of Civil Engineering 34, 1443-1457. doi:10.1139/L07-097

Lourenco, P.B, Oliveira, D.V, 2007. Improving the seismic resistance of masonry buildings: concepts for cultural heritage and recent developments in structural analysis. Presented at the XII Convegno Nazionale ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Pisa.

Lourenco, P.B, Rots, J.G, Blaauwendraad, J., 1998. Continuum model for masonry. parameter estimation and validation. Journal of Structural Engineering 124, 642-652. doi:http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:6(642)

Lourenco, P.B, Vasconcelos, G., Gouveia, J.P, Haach, V., 2006. Current experimental investigations on modern masonry at University of Minho. Presented at the Commission Meeting and Workshop: proceedings, Lisboa.

Ludovico-Marques, M., Chastre, C., Vasconcelos, G., 2012. Modelling the compressive mechanical behaviour of granite and sandstone historical building stones. Construction and Building Materials 28, 372-381. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.083

Luigia Binda, Lenzi, G., Saisi, A., 1998. NDE of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries. NDT & E International 31, 411-419. doi:10.1016/S0963-8695(98)00039-5

Luigia Binda, Lualdi, M., Saisi, A., 2007. Non-Destructive Testing Techniques Applied for Diagnostic Investigation: Syracuse Cathedral in Sicily, Italy. International Journal of Architectural Heritage 1, 380-402. doi:10.1080/15583050701386029

Macchi, G., 2001. Diagnosis of the facade of St Peter's Basilica in Rome. Presented at the 3rd International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Guimarães, pp. 309-318.

Madenci, E., Guven, I., 2015. The finite element method and applications in engineering using Ansys. Springer US, Boston, MA.

Mark, R., 1995. Architectural technology up to the scientific revolution: the art and structure of large-scale buildings. MIT Press, Cambridge, Mass.

Mark, R., 1982. Experiments in gothic structure. MIT Press.

Mark, R., Gómez, J.M, López, D., 2002. Tecnología arquitectónica hasta la revolución científica: arte y estructura de las grandes construcciones. Akal Ediciones, Tres Cantos, Madrid.

Martínez, J.L., 2003. Determinación teórica y experimental de diagramas de interacción de esfuerzos en estructuras de fábrica y aplicación al análisis de construcciones históricas. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).

Martínez, J.L., Martín-Caro, J.A., León, J., 2003. Evaluación estructural de puentes arco de fábrica, Monografías sobre el análisis estructural de construcciones históricas de fábrica. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Masciotta, M.G., Roque, J.C.A., Ramos, L.F., Lourenco, P.B., 2016. A multidisciplinary approach to assess the health state of heritage structures: The case study of the Church of Monastery of Jerónimos in Lisbon. Construction and Building Materials 116, 169-187. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.04.146

Mas-Guindal, A.J., 2011. Mecánica de las estructuras antiguas. Munilla-Leira, Madrid.

Mas-Guindal, A.J., 2005. La concepción estructural de la fábrica en la arquitectura. Informes de la Construcción 56, 3-12. doi:10.3989/ic.2005.v57.i496.458

Mas-Guindal, A.J., 1998. La reparación de la estructura. Fundación Cultural COAM, Madrid.

Mete, O., 2012. Structural modelling analysis evaluation and strengthening of Perge Southern Gate hellenistic towers. Middle East Technical University, Ankara.

Moaveni, S., 2008. Finite element analysis: Theory and application with Ansys, 3rd. ed. ed. Pearson, Upper Saddle River (New Jersey).

Modena, C., Lourenco, P.B, Roca, P., International seminar on structural analysis of historical constructions (Eds.), 2005. Structural analysis of historical constructions IV: possibilities of numerical and experimental techniques. A. A. Balkema publishers, Leiden.

Mojsilovic, N., 2011. Strength of masonry subjected to in-plane loading: A contribution. International Journal of Solids and Structures 48, 865-873. doi:10.1016/j.ijsolstr.2010.11.019

Molins, C., 1996. Un model per l'anàlisi del comportament resistent de construccions de maçoneria (info:eu-repo/semantics/doctoralThesis). Univesitat Politècnica de Catalunya.

Montazerolghaem, M., Wolfram, J., 2014. A comparative numerical evaluation of masonry initial shear test methods and modifications proposed for EN 1052-3. Presented at the 9th International Masonry Conference, Guimarães.

Nakasone, Y., Stolarski, T.A, Yoshimoto, S., 2011. Engineering analysis with Ansys software. Butterworth-Heinemann.

Nardini, L., 2001. Indagine numerica e sperimentale sul comportamento statico e dinamico della torre di Matilde in San Miniato. Università degli Studi di Pisa, Pisa.

Nichols, J.M, Totoev, Y.Z, 2012. Experimental investigation of the damage mechanics of masonry under dynamic in-plane loads. Norbert, B., Snethlage, R., Dahlem Workshop on Saving our Architectural Heritage (Eds.), 1997. Saving our architectural heritage: the conservation of historic stone structures. J. Wiley, Chichester; New York.

Oliveira, D.V, 2000a. Mechanical characterization of stone and brick masonry. Oliveira, D.V, 2000b. Mechanical characterization of stone and brick masonry. Oliveira, D.V, Lourenco, P.B, Roca, P., 2000. Comportamento experimental de muros de pedra sujeitos a esforços de compressão e corte. Presented at the Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas.

Oller, S., 2014. Numerical simulation of mechanical behavior of composite materials, Lecture Notes on



Numerical Methods in Engineering and Sciences. Springer International Publishing. Page, A.W, 1982. An experimental investigation of the biaxial strength of brick masonry. Presented at the 6th International Brick Masonry Conference, Rome, pp. 3?15. Page, A.W, 1981. The biaxial compressive strength of brick masonry. Proceedings of the Institution of Civil Engineers 71, 893?906. doi:10.1680/iicep.1981.1825 Page, A.W, 1979. A model for the in-plane behaviour of masonry and a sensitivity analysis of its critical parameters. Presented at the 5th International Brick Masonry Conference. Pande, G.N, Middleton, J., Kralj, B., International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry (Eds.), 1998. Computer methods in structural masonry IV. E & FN Spon, London; New York. Parent, T., Domede, N., Sellier, A., Dujarrier, C., 2014. Structural analysis of masonry historical construction. Ribbed-vault case study. Paricio, I, 2000. La construcción de la arquitectura. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, Barcelona. Pau, A., Vestroni, F., 2013. Vibration assessment and structural monitoring of the Basilica of Maxentius in Rome. Mechanical Systems and Signal Processing 41, 454?466. doi:10.1016/j.ymssp.2013.05.009 Plevris, V., Asteris, P.G, 2014. Modeling of masonry failure surface under biaxial compressive stress using Neural Networks. Construction and Building Materials 55, 447?461. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.01.041 Porto, F., Modena, C., Valluzzi, M.R., 2004. Experimental tests on irregular masonry. Rabasa, E., 2000. Forma y construcción en piedra: de la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX. Akal Ediciones, Madrid, España. Ramírez, A, 1993. El acueducto de Segovia. Revista de Obras Públicas 140, 7?18. Reyes, E., Casati, M.J, Gálvez, J.C, 2003. Estudio de la rotura de la fábrica de ladrillo bajo solicitaciones de tracción y cortante. Hormigón y acero 230, 43?55. Riddington, J.R, Ghazali, M.Z, 1988. Shear strength of masonry walls. Presented at the 8th International Brick Masonry Conference, London. Rieg, F, Hackenschmidt, R., Alber-Laukant, B., 2014. Finite element analysis for engineers: basics and practical applications with Z88Aurora. Textstream. Roa, M.A, Garzón, D.A, 2002. Introducción al modelamiento por elementos finitos con Ansys. Roca, P., Cervera, M., Gariup, G., Pela, L., 2010. Structural analysis of masonry historical constructions. Classical and advanced approaches. Archives of Computational Methods in Engineering 17, 299?325. doi:10.1007/s11831-010-9046-1 Roca, P., International seminar on structural analysis of historical constructions (Eds.), 1998. Structural analysis of historical constructions II: possibilities of numerical and experimental techniques. International Center for Numerical Methods in Engineering, Barcelona. Roca, P., International seminar on structural analysis of historical constructions (Eds.), 1997. Structural analysis of historical constructions I: possibilities of numerical and experimental techniques. CIMNE, Barcelona. Roca, P., Lodos, J.C, 2001. Análisis estructural de catedrales góticas. O.P. Ingeniería y Territorio 56, 38?47. Roca, P., Molins, C., Carol, I., 2000. Análisis de edificios de muros de carga de mampostería ante acciones horizontales. Hormigón y acero 215, 115?126. Rolando, A., 2006. Resistencia característica a compresión de una fábrica de ladrillo en función de la resistencia de sus componentes. Materiales de Construcción 56, 91?98. doi:10.3989/mc.2006.v56.i283.11 Roque, J.C.A, Lourenco, P.B, 2003. Caracterização mecânica de paredes antigas de alvenaria?: um caso de estudo no centro histórico de Bragança. Engenharia Civil 17, 31?42. Rosas, J.G, Villegas, L.M, Lorenzo, D., 2001. Aplicación de modelos numéricos al estudio del comportamiento de muros de cortante en estructuras de fábrica. Hormigón y acero 221, 69?82. Rossi, P.P, 1995. Possibilities of numerical and experimental techniques. Presented at the International seminar on structural analysis of historical constructions, Barcelona. Sánchez-Beitia, S., Brebbia, C.A, International Conference on Structural Repair and Maintenance of Historical Building (Eds.), 1997. Structural studies, repairs and maintenance of historical buildings V. Computational Mechanics Publ., Southampton [u.a. Theodossopoulos, D., 2005. Structural scheme of the Cathedral of Burgos. Presented at the International seminar on structural analysis of historical constructions, Leiden, pp. 643?651. Thurlimann, B., Guggisberg, R., 1988. Failure criterion for laterally loaded masonry walls. Experimental investigations. Presented at the 8th International Brick Masonry Conference, London. Tringali, S., De Benedictis, R., La Rosa, R., Russo, C., Bramante, A., Gavarini, C., Valente, G., Ceradini, V., Tocci, C., Tobriner, S., Maugeri, M., L Binda, Baronio, G., 2003. The reconstruction of the Cathedral of Noto. Construction and Building Materials 17, 573?578. doi:10.1016/S0950-0618(03)00052-7 Umair, S., Numada, M., Amin, M., Kimiro, M., 2015. Fiber Reinforced Polymer and Polypropylene Composite Retrofitting Technique for Masonry Structures. Polymers 7, 963?984. doi:10.3390/polym7050963 Valcárcel, J.B, Martín, E., Domínguez, E., Escrig, F., 2001. Structural modelling of medieval walls. Presented at the Historical constructions 2001: possibilities of numerical and experimental techniques, Guimarães, pp. 501?510. Valle, J.M, Rodríguez, A., Pérez, P., 2008. Evaluation of the contentional surveying equipment applied to deformation analysis of heritage buildings. Presented at the 13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis, Lisbon. Van der Mersch, M.A, 2015. Modelling the seismic response of

an unreinforced masonry structure (Master thesis). TU Delft, Delft University of Technology. Vasconcelos, G., Lourenco, P.B., 2006. Assessment of the in-plane shear strength of stone masonry walls by simplified models. Presented at the International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, MacMillan, New Delhi. Vasconcelos, G., Lourenco, P.B., Mouzakis, H., Karapitta, L., 2006. Experimental investigations on dry stone masonry walls. Presented at the International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures, Cairo. Vermeltoort, A., 2004. Shear bond and 2d compressive properties of thin bed mortar masonry. Presented at the 13th International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam. Villegas, L., Lombillo, I., Agudo, E., 2007. Evaluación no destructiva del patrimonio construido. Técnicas basadas en aspectos tensionales. Presented at the 11o Congreso Español de Ensayos No Destructivos, Gijón. Viollet-le-Duc, E.E., 2000. La construcción medieval. Instituto Juan de Herrera. Woodham, D.B., 2001. Imaging structural elements of a cathedral using ground penetrating radar. Presented at the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings VII, WIT Press, Bologna.



## Recomendacións

Materias que se recomenda ter cursado previamente

Materias que se recomenda cursar simultaneamente

Materias que continúan o temario

## Observacións

Requírense unhas determinadas destrezas na utilización de ferramentas de deseño asistido por computador, así como uns coñecementos elementais sobre as bases teóricas do método de elementos finitos.

(\*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