Teaching Guide				
Identifying Data				2019/20
Subject (*)	Structural Analysis of Historical Buildings		Code	630567118
Study programme	Mestrado Universitario en Rehabilitación Arquitectónica (Plan 2016)			
Descriptors				
Cycle	Period	Year	Type	Credits
Official Master's Degree	2nd four-month period	First	Optional	3
Language	Spanish			
Teaching method	Face-to-face			
Prerequisites				
Department	Construcións e Estruturas Arquitectónicas, Civís e AeronáuticasEnxeñaría Civil			
Coordinador	Martín Gutiérrez, Emilio	E-mail	emilio.martin@udc.es	
Lecturers	Martín Gutiérrez, Emilio	E-mail	emilio.martin@udc.es	
Web	moodle.udc.es			
General description	El enfoque de la materia se orienta a la aplicación práctica de los métodos numéricos en estudios de estabilidad y de comportamiento estructural vinculados a edificaciones con valor histórico y obras de rehabilitación en general. Se desarrollan así competencias instrumentales útiles en labores periciales o en el momento de valorar comparativamente la incidencia de diferentes alternativas de intervención.			

Study programme competences	
Code	Study programme competences
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	CB6 - 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	CB7 - 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	CB9 - 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

Learning outcomes			
Learning outcomes	Study programme competences		
Aquirir conocimientos genéricos sobre técnicas instrumentales de auscultación y seguimiento de construcciones históricas.	AJ5 AJ8		
Profundizar en el estudio del comportamiento mecánico de la obra de fábrica y de los modelos que permiten abordar su caracterización analítica.	AJ5 AJ8		

Proponer una aproximación a las técnicas de diagnosis estructural de edificaciones con valor histórico y obras de rehabilitación en general, utilizando aplicaciones informáticas basadas en la programación de métodos numéricos.	AJ5 AJ8	BJ1 BJ2	CJ4 CJ6 CJ12 CJ13
Familiarizarse con la utilización de herramientas que faciliten las tareas de inspección y control técnico, y que puedan servir para analizar las repercusiones a tener en cuenta ante una determinada intervención.	AJ5 AJ8	BJ1 BJ2	CJ4 CJ6 CJ12 CJ13
Fomentar el desarrollo de capacidades actitudinales de carácter autónomo: tendencia al aprendizaje continuo, habilidad para resolver problemas de forma efectiva, capacidades de análisis y síntesis, organización y planificación personal, gestión productiva de la documentación, y utilización de tecnologías de la información y de las comunicaciones.		BJ4	CJ1 CJ5

Contents	
Topic	**Sub-topic**
Principios, técnicas y herramientas para la toma de datos.	
Complementariedad de técnicas instrumentales y analíticas.	
Comportamiento mecánico de la obra de fábrica.	
Técnicas de simulación numérica.	

Planning				
Methodologies / tests	**Competencies**	**Ordinary class hours**	**Student?s personal work hours**	**Total hours**
Guest lecture / keynote speech	A5 B1 B2	12	12	24
Workshop	A5 B1 B2 C4 C6 C12 C13	9	13.5	22.5
Problem solving	A5 B1 B2 C4 C6 C12 C13	0	5	5
Supervised projects	A5 A8 B1 B2 B4 C1 C4 C5 C6 C12 C13	0	22.5	22.5
Personalized attention		1	0	1
(*)The information in the planning table is for guidance only and does not take into account the heterogeneity of the students.				

Methodologies	
Methodologies	**Description**
Guest lecture / keynote speech	Se aplica una metodología expositiva complementada mediante medios audiovisuales, con el fin de ilustrar significativamente los contenidos tratados y de facilitar su comprensión. No obstante, y con independencia de lo anterior, durante dichas sesiones se persigue alcanzar una cierta cuota de participación por parte del alumnado, potenciando su implicación, fomentando la retroalimentación del proceso (y por tanto el carácter bidireccional de la comunicación), y dinamizando los mecanismos de aprendizaje mediante técnicas de interacción.
Workshop	Se plantea la ejercitación mediante prácticas guiadas desarrolladas con medios informáticos. Contempla la adquisición de una metodología operativa sobre la base de supuestos prácticos con un nivel creciente de complejidad.
Problem solving	Se proponen pruebas de carácter práctico, en las que se ha de afrontar situaciones problemáticas concretas, diseñadas a partir de los contenidos trabajados previamente.

Supervised projects	La metodología docente se orienta básicamente según el criterio del aprendizaje en la acción, a efectos de potenciar la adquisición de destrezas específicas. En este contexto cobra protagonismo la elaboración de un trabajo amplio, donde confluyen las competencias profesionalizantes de la materia, ligadas por tanto a la utilización de aplicaciones de análisis numérico, con otras de carácter transversal, como son, entre otras, la búsqueda de documentación (a menudo haciendo uso de nuevas tecnologías), la organización y planificación de actividades, la gestión de la información, o la expresión oral y escrita. De forma esquemática, se distinguen los siguientes pasos: selección del tema, elaboración de un guión de trabajo genérico, examen in situ, reportaje fotográfico, levantamiento planimétrico, localización y consulta de fuentes de referencia, construcción y ajuste de modelos, interpretación de resultados, y redacción de una memoria final que atienda a la totalidad del trabajo. Dado el carácter tutelado del mismo, deben producirse sesiones periódicas de seguimiento con el profesorado, a fin de optimizar o, en su caso, reconducir las actividades en curso.

Personalized attention	
Methodologies	**Description**
Supervised projects	Dada la especificidad de los contenidos ligados a la materia, y el diferente nivel de formación informática con que el alumnado puede acceder a la misma, se entiende crucial articular mecanismos de atención personalizada que atiendan a las posibles singularidades. A tales efectos, se recurre al desarrollo de tutorías presenciales y consultas a través de los recursos de la plataforma virtual.

Assessment			
Methodologies	**Competencies**	**Description**	**Qualification**
Supervised projects	A5 A8 B1 B2 B4 C1 C4 C5 C6 C12 C13	Su desarrollo se entiende plenamente individual y de naturaleza no presencial. De cara a garantizar la autoría del trabajo, y la adecuada adquisición de competencias, en su evaluación se entienden relevantes las sucesivas sesiones de control, y por tanto el grado de cumplimiento con relación a las indicaciones formuladas en cada caso por el profesorado. Otros aspectos a valorar son: la profundidad y rigor del desarrollo; la búsqueda de fuentes de información; las relaciones construidas entre los diferentes apartados; las capacidades de análisis y síntesis; la corrección del estudio metodológico, de la diagnosis constructiva y estructural, de las modelizaciones y de las oportunas conclusiones; la argumentación; y la calidad gramatical, gráfica y técnica de la documentación final.	100

Assessment comments
Como en las restantes materias que integran el presente postgrado, se exige además una asistencia no inferior al 80% relativa a la totalidad de las sesiones presenciales programadas.

Sources of information

Basic	Bibliografía Hendry, A.W, 1998. Structural Masonry. Macmillan. 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., 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. Macchi, G., 1992. Diagnosis estructural y rehabilitación de edificios históricos, Cuadernos INTEMAC. INTEMAC, Madrid. Madenci, E., Guven, I., 2015. The finite element method and applications in engineering using Ansys. Springer US, Boston, MA. 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 Politénica de Madrid, Madrid. Schuller, M.P., 20003. 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.

Complementary	Bibliografía 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. Inspecção e Diagnóstico Estrutural de Construções Históricas. Algumas contribuições da FEUP. Presented at the 1o Seminário quot;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 Te sting 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 l?Arena (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, 52?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., Lacidogna, 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., Lacidogna, 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., Lacidogna, 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., Lacidogna, 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 byusing 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 conjeture 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. Strenghtening 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 gotica de Reims. Mac Gaul, 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, Berlín, 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). Univesitat Politécnica 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 haritage, Venice. Giunta, G., Calloni, G., 2000. Ground Penetrating Radar applications on the Façade of St. Peter?s Basilica in Vatican. Presented at the 15 th World Conference on Non-Destructive Testing, Rome. Gómez, J.L, Ruata, M.E, 2003. Comportamiento estructural de la iglesia de la Compañia de Jesus. 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, Concas, 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. Insituto 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 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.hbrcj.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) 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 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. 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 Lombillo, I., Agudo, E., Villegas, L., 2007. Evaluación no destructiva del patrimonio construido. Inspección visual. Técnicas acústicas electromagnéticas y tomográficas. Presented at the 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 structuresnull. Structural Survey 28, 53?70. doi: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 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 techniquesThis 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 Sísmica in Italia, Pisa. Lourenco,

P.B, Rots, J.G, Blaauwendraad, J., 1998. Continuum model for masonry. parameter estimation and validation. Journal of Structgural 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 Comission 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 Peters Basilica in Rome. Presented at the 3rd International Seminar on Structural Analysis of Historical Constructions, Guimarães, pp. 309?318. 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 Politénica 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 Politécnica 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 d Pisa, Piso. 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 esforcos de compressao e corte. Presented at the Encontro Nacional sobre Conservaçao e Reabilitaçao 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 mapostería 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. Vermeltfoort,

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. Insituto 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.

Recommendations
Subjects that it is recommended to have taken before
Subjects that are recommended to be taken simultaneously
Subjects that continue the syllabus
Other comments
Se requieren unas determinadas destrezas en la utilización de herramientas de diseño asistido por ordenador, así como unos conocimientos elementales sobre las bases teóricas del método de elementos finitos.