

Guía docente de la asignatura

Fecha de aprobación por la Comisión Académica: 03/07/2023

## Análisis Estructural de Construcciones Históricas (M80/56/2/29)

**Máster**

Máster Doble: Máster Universitario en Ciencia y Tecnología en Patrimonio Arquitectónico + Máster Universitario en Rehabilitación Arquitectónica

**MÓDULO**

Asignaturas del Máster en Rehabilitación Arquitectónica

**RAMA**

Ciencias

**CENTRO RESPONSABLE DEL TÍTULO**

Escuela Internacional de Posgrado

**Semestre**

Anual

**Créditos**

3

**Tipo**

Obligatorio

**Tipo de enseñanza**

Presencial

### PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES

Se recomiendan conocimientos básicos previos de estática gráfica y cálculo matricial de estructuras.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Máster)

Fundamento teórico y proceso metodológico, de los distintos sistemas de análisis estructural de obras de fábrica, contrastando los resultados obtenidos con la aplicación a casos reales.

Arco de fábrica, cúpula y bóveda, son analizados a partir de formulaciones clásicas, mediante análisis límite, y mediante métodos numéricos.

Se detallan y contrastan los distintos métodos de análisis de la estructura de fábrica, a partir del estudio de su fundamento teórico y su aplicación a casos reales.

La estructura de fábrica. El arco de fábrica. Análisis estructural del arco de fábrica. Evolución histórica. Análisis estructural del arco. Análisis límite. Métodos. Cúpulas. Bóvedas. Métodos numéricos en el análisis estructural de fábricas. Ejercicio práctico: análisis estructural de una obra de fábrica.



## COMPETENCIAS

### COMPETENCIAS BÁSICAS

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.
- CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.
- CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.
- CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### COMPETENCIAS GENERALES

- CG02 - Capacidad para aplicar criterios de calidad y procedimientos de mejora continuada en los sistemas productivos, tecnológicos y de servicios.
- CG04 - Que puedan analizar, sintetizar y resolver problemas en situación de incertidumbre e información limitada para formular juicios y tomar buenas decisiones, integrando conocimientos e incluyendo reflexiones para abordar situaciones complejas de forma global.
- CG05 - Que posean habilidades interpersonales y tengan la capacidad para la organización, planificación y gestión de los recursos y el trabajo en equipo. Que demuestren habilidades interpersonales que permitan interactuar y encontrar la complementariedad con grupos e individuos en todos los niveles.

### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

- CE01 - Conocimiento apropiado de la legislación y normativa referente a la rehabilitación arquitectónica y a la conservación e intervención en el patrimonio.
- CE02 - Capacidad para elaborar la documentación pertinente para la rehabilitación, el mantenimiento y la conservación edificios, patrimoniales o no.
- CE18 - Capacidad para formular, programar y aplicar modelos analíticos y numéricos avanzados de cálculo, proyecto, planificación y gestión, así como capacidad para la interpretación de los resultados obtenidos
- CE20 - Capacidad para aplicar las técnicas de inspección, consolidación o refuerzo, propias de estructuras de fábrica, de estructuras de hormigón y de estructuras de madera, y las nuevas tecnologías y materiales.
- CE23 - Aptitud para analizar el comportamiento estructural de edificios históricos

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)



- Comprender el fundamento teórico y el proceso metodológico, de los distintos sistemas de análisis estructural de obras de fábrica.
- Aptitud para analizar el comportamiento estructural de edificios históricos.
- Conocimiento adecuado de los sistemas constructivos y su papel desde el punto de vista estructural.
- Capacidad para identificar las causas de posibles patologías derivadas de la respuesta estructural.

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### TEÓRICO

- Introducción. Criterios estructurales. Análisis moderno. La solución elástica. La teoría plástica. La estructura de fábrica. La escala, la forma, el tamaño. Los materiales. Hipótesis fundamentales.
- Estática Gráfica. Geometría funicular.
- El arco de fábrica. Teoría estructural de las fábricas. El coeficiente geométrico de seguridad. El teorema fundamental de la seguridad. El arco fisurado. La escala de tiempo en los asientos. Modelos.
- Cúpulas y bóvedas. La cúpula como membrana. Tensiones en cascaras. La cúpula semiesférica de espesor constante. Cálculo de esfuerzos en la cúpula de base circular. Métodos gráficos. Agrietamientos en cúpulas. La bóveda de cañón. La bóveda de crucería. Empuje en las bóvedas. Pináculo. Arbotante. Torres y agujas. Estabilidad. Ejemplos.
- Análisis estructural mediante métodos avanzados. - ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y comportamiento. -
- Introducción a los métodos matriciales de análisis estructural.
- Método de las interfases deformables: modelo lineal.
- Estudio de elementos de fábrica: arcos, pilares y muros.- Programa PIEDRAS\_2D
- Modelo lineal para elementos axilsimétricos.- PIEDRAS\_AXI
- Modelos de comportamiento no lineales

### PRÁCTICO

- Diseño estructural mediante aplicación de geometría funicular.
- Análisis de seguridad del arco.
- Análisis tensional y de estabilidad de la cúpula tabicada. Metodologías.
- Ejercicio de cálculo matricial de estructuras
- El programas PIEDRAS\_2D: pilares, arcos y muros
- El programa PIEDRAS\_AXI: cúpulas axilsimétricas

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- Avila, F.;Puertas, E., Martínez Castro, A.E., Gallego, R., (2022) "Calculo Matricial de



- Estructuras", Ediciones Godel
- Heyman, J. (1999). El esqueleto de piedra. Mecánica de la arquitectura de fábrica. Instituto Juan de Herrera.
  - Gallego, R. (2023) "El método de las interfases deformables" (apuntes en PRADO)
  - Lourenço, P., Rots J. G.. (1997), "Multisurface Interface Model for Analysis of Masonry Structures", Journal of Engineering Mechanics, 123(7), ASCE
  - Mas-Guindal Lafarga, A. (2011). Mecánica de las estructuras antiguas. Editorial Munilla-Lería.
  - Huerta, S. (2004). Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan de Herrera. Madrid.
  - Panagiotis G. A. y otros (2015), "Numerical Modeling of Historic Masonry Structures", en Handbook of Research on Seismic Assessment and Rehabilitation of Historic Structures, Advances in Civil and Industrial Engineering (ACIE) Book Series, Engineering Science Reference (an imprint of IGI Global)
  - Timoshenko y Young. (1981). Teoría de las estructuras. URMO s.a. de ediciones.
  - Saliger, R. (1946), Estática aplicada. Ed. Labor

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Boothby, Thomas E. (2015). Engineering Iron and Stone. Understanding Structural Analysis and Design Methods of the Late 19th Century. ASCE PRESS.
- Flügge W. (1960). Stresses in Shells, Springer-Verlag
- Gallego, R. (2023) "Análisis de láminas axilsimétricas: teoría de membrana e introducción a la flexión" (apuntes en PRADO)
- Heyman, J. (1977). Equilibrium of Shell Structures.
- Heyman, J. (1982). The masonry arch. Chichester: Ellis Horwood.
- Heyman, J. (1995). Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Madrid. Instituto Juan de Herrera. CEHOPU.
- Heyman, J. (1998). Structural analysis: a historical approach. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lourenço, P. (2002), Guidelines for the analysis of historical masonry structures, en Finite Elements in Civil Engineering Applications, CRC Press, eBook ISBN 9781003211365
- Philip Ball (2008). Universe of Stone. Harper Perennial.
- Timoshenko S. & Woinowsky K. (1959). Theory of Plates and Shells.
- Tammam Bakeer (2009), Collapse analysis of masonry structures under earthquake actions, Technische Universität Dresden

### ENLACES RECOMENDADOS

<https://pradoposgrado2122.ugr.es/>

### METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Clases de teoría: En ella se exponen los contenidos desde una perspectiva general, ordenados sistemáticamente, aunque se hace imprescindible la participación por parte del alumnado, ya que es cuando él deberá reflexionar, recordar, preguntar, criticar y participar activamente en su desarrollo, produciéndose un diálogo que permita a docente y discente adquirir confianza en el trabajo que se está desarrollando. Se recomienda al alumno tomar sus propios apuntes, las anotaciones que crea oportunas (aclaraciones, ejemplos, puntualizaciones, etc.) que unidos a los apuntes facilitados por el profesor



completarán el material docente.

- MD02 Clases de prácticas: # Prácticas usando aplicaciones informáticas: en las que los alumnos trabajando por grupos y tutelados por el profesor, aplican los conocimientos teóricos y prácticos para resolver problemas de aplicación con la ayuda del ordenador. Se favorecerá, por un lado, el trabajo autónomo del alumno, propiciando un aprendizaje independiente y crítico, y por otro lado, se propondrán trabajos en grupo en los que se desarrollen las capacidades transversales. # Prácticas en laboratorio: Se pretende por un lado mostrar aplicaciones prácticas de los contenidos explicados en las clases de teoría y de problemas, así como fomentar habilidades en el análisis de situaciones prácticas, destreza en el empleo de herramientas necesarias para la materia, análisis de datos experimentales y presentación de resultados. En estas clases se pretende analizar situaciones prácticas relacionadas con el campo de la rehabilitación arquitectónica.
- MD03 Clases de problemas: se promoverán principalmente clases en las que los alumnos individualmente expongan a sus compañeros la resolución de problemas propuestos con anterioridad y seminarios en los que grupos reducidos de alumnos tutelados por el profesor, estudien y presenten al resto de compañeros problemas o prácticas aplicadas a la Ingeniería de Edificación. De este modo, se propicia un ambiente participativo de discusión y debate crítico por parte del alumnado, tanto del que expone como del que atiende a la explicación.
- MD04 Aprendizaje autónomo: Es el estudio por parte del alumno de los contenidos de los diferentes temas explicados en las clases teóricas y en las clases prácticas.
- MD05 Trabajo autónomo del alumnado: Aplicación de los contenidos de los diferentes temas, en la resolución de problemas y análisis de cuestiones teórico-prácticas, trabajos correspondientes a las prácticas de laboratorio y, en su caso, realización de pequeños trabajos de investigación. así como el trabajo realizado en la aplicación de los sistemas de evaluación. Por otra parte se plantean prácticas de conjunto o proyectos a desarrollar en taller, en las que el alumno desarrolle y relacione los distintos contenidos aprendidos tanto en las clases de teoría como en las de problemas y en la resolución de prácticas.

## EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

### EVALUACIÓN ORDINARIA

La evaluación del rendimiento del alumno se realizará de forma continua durante el desarrollo del curso, teniendo en cuenta los siguientes aspectos ponderados:

- E1.- asistencia y participación en ejercicios de clase, seminarios y viajes de curso (30%).
- E2.- ejercicios prácticos de curso, con enunciado personalizado, propuestos por el profesor (70%).

Opcionalmente (E3), a instancias del alumno interesado, se podrá realizar un trabajo de iniciación a la investigación sobre temas relacionados con alguno de los bloques de la asignatura, propuestos por el profesorado (20% adicional).

La calificación final será  $CF = 0,3 \cdot E1 + 0,7 \cdot E2$ . Si se realiza el trabajo opcional será  $CF = \min(10, 0,3 \cdot E1 + 0,7 \cdot E2 + 0,2 \cdot E3)$

Para superar la asignatura se debe asistir al noventa por ciento (90%) de las clases y obtener  $E1 \geq 4$ ,  $E2 \geq 4$  y  $CF \geq 5$ .

Siguiendo las recomendaciones de la CRUE y del Secretariado de Inclusión y Diversidad de la



UGR, los sistemas de adquisición y de evaluación de competencias recogidos en esta guía docente se aplicarán conforme al principio de diseño para todas las personas, facilitando el aprendizaje y la demostración de conocimientos, de acuerdo con las necesidades y la diversidad funcional del estudiantado.

### EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

La evaluación del rendimiento del alumno en la convocatoria extraordinaria se realizará mediante las siguientes actividades ponderadas:

- E1.- ejercicios prácticos realizados en clase iguales o similares a los realizados durante el curso correctamente resueltos, propuestos por los profesores de cada uno de los bloques (30%).
- E2.- ejercicios prácticos de curso, con enunciado personalizado, propuestos por el profesores de cada uno de los bloques (70%).

Opcionalmente, a instancias del alumno interesado, se podrá realizar un trabajo de iniciación a la investigación sobre temas relacionados con alguno de los bloques de la asignatura de la asignatura, propuestos por el profesorado (20% adicional).

La calificación final se calculará igual que en el caso de la convocatoria ordinaria. Para aprobar se ha de obtener  $E1 \geq 4$ ,  $E2 \geq 4$  y  $CF \geq 5$ .

### EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

La Evaluación Única Final consistirá en un examen teórico práctico del programa de la asignatura, en la fecha indicada por el Centro.

### INFORMACIÓN ADICIONAL

Todo lo relativo a la evaluación se registrará por la normativa sobre planificación docente y organización de exámenes vigente en la Universidad de Granada.

Se facilitará la comunicación electrónica entre el alumno y el profesor a través de la Plataforma de Recursos de Apoyo a la Docencia de la UGr: PRADO2. (<http://cevug.ugr.es/prado.html>).

Información de interés para estudiantado con discapacidad y/o Necesidades Específicas de Apoyo Educativo (NEAE): [Gestión de servicios y apoyos](https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad) (<https://ve.ugr.es/servicios/atencion-social/estudiantes-con-discapacidad>).

