

## GUÍA DOCENTE DE LA ASIGNATURA

**Análisis de Estructuras**

Fecha última actualización: 17/06/2021

Fecha de aprobación: 17/06/2021

<b>GRADOS</b>	Grado en Ingeniería Civil		<b>RAMA</b>	Ingeniería y Arquitectura			
<b>MÓDULO</b>	Complementos Obligatorios		<b>MATERIA</b>	Análisis de Estructuras			
<b>CURSO</b>	3º	<b>SEMESTRE</b>	2º	<b>CRÉDITOS</b>	6	<b>TIPO</b>	Obligatoria

**PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES**

Tener cursadas las asignaturas Mecánica para Ingenieros y Teoría de Estructuras

Tener conocimientos adecuados sobre las asignaturas Física, Análisis Matemático, Matemática Aplicada, Fundamentos de Informática e Ingeniería Gráfica I

**BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Grado)**

Cálculo matricial de estructuras. Inestabilidad. Cálculo plástico. Elementos Finitos.

**COMPETENCIAS****Competencias básicas**

- CB1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio
- CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio

- CB3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética
- CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado
- CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

### **Competencias generales**

- CG01 - Capacitación científico-técnica para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Obras Públicas y conocimiento de las funciones de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, construcción, mantenimiento, conservación y explotación
- CG02 - Comprensión de los múltiples condicionamientos de carácter técnico y legal que se plantean en la construcción de una obra pública, y capacidad para emplear métodos contrastados y tecnologías acreditadas, con la finalidad de conseguir la mayor eficacia en la construcción dentro del respeto por el medio ambiente y la protección de la seguridad y salud de los trabajadores y usuarios de la obra pública.
- CG04 - Capacidad para proyectar, inspeccionar y dirigir obras, en su ámbito

### **Competencias específicas**

- CE09 - Capacidad para aplicar los conocimientos de materiales de construcción en sistemas estructurales. Conocimiento de la relación entre la estructura de los materiales y las propiedades mecánicas que de ella se derivan
- CE10 - Capacidad para analizar y comprender cómo las características de las estructuras influyen en su comportamiento. Capacidad para aplicar los conocimientos sobre el funcionamiento resistente de las estructuras para dimensionarlas siguiendo las normativas existentes y utilizando métodos de cálculo analíticos y numéricos
- CE21 - Conocimiento sobre el proyecto, cálculo, construcción y mantenimiento de las obras de edificación en cuanto a la estructura, los acabados, las instalaciones y los equipos propios
- CE23 - Capacidad para la construcción y conservación de carreteras, así como para el dimensionamiento, el proyecto y los elementos que componen las dotaciones viarias básicas

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

El alumnado debe aprender a:

- Elegir el modelo estructural de cálculo adecuado según la tipología estructural
- Calcular matrices de rigidez elementales bajo diversas condiciones de unión y planos de carga, en distintos sistemas de coordenadas
- Calcular matrices de rigidez globales a partir de las elementales, teniendo en cuenta diferentes condiciones de apoyo y unión en nudos
- Obtener cargas en nudos equivalentes para diferentes hipótesis de cargas en barras y acciones asimilables
- Resolver estructuras completas mediante el Método Directo de la Rigidez, calculando tanto desplazamientos en nudos, como fuerzas en barras y a partir de ellos, diagramas de esfuerzos.
- Evaluar elementos aislados a compresión mediante teoría de 2º orden aplicando la Teoría de Euler, así como evaluar el efecto de excentricidades, imperfecciones, grandes desplazamientos y plasticidad
- Calcular matrices elementales de segundo orden, tanto exactas como utilizando la matriz geométrica
- Calcular la carga global de pandeo de una estructura.

- Modelizar estructuras de elementos lineales mediante elementos finitos.
- Modelizar estructuras tipo sólido mediante elementos finitos.

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### Teórico

#### BLOQUE I: CÁLCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS

- Tema I.1. Conceptos básicos.
  1. Introducción.
  2. Métodos matriciales. Relaciones básicas.
  3. Discretización. Elementos y nudos.
  4. Métodos de Compatibilidad y Equilibrio.
  5. Conceptos de matriz de rigidez y matriz de flexibilidad.
- Tema I.2. Coordenadas y matrices elementales.
  1. Sistemas de coordenadas.
  2. Obtención de las matrices de rigidez elementales.
  3. Elementos articulados.
  4. Elementos viga.
  5. Elementos viga con deformación a cortante.
  6. Elementos emparrillados.
  7. Elemento viga tridimensional.
  8. Transformación de coordenadas.
- Tema I.3. El Método Directo de la Rigidez (MDR).
  1. El elemento y la estructura.
  2. Formación de la matriz de rigidez.
  3. Propiedades de la matriz de rigidez.
  4. Aplicación de las condiciones de contorno.
  5. Postproceso: determinación de esfuerzos y reacciones.
- Tema I.4. Problemas particulares de carga y apoyo.
  1. Introducción.
  2. Cargas aplicadas en barras.

3. Asientos en apoyos.
  4. Efectos térmicos y defectos de montaje.
  5. Apoyos no concordantes y apoyos elásticos.
- Tema I.5. Técnicas complementarias de análisis.
    1. Introducción.
    2. Condensación de grados de libertad.
    3. Libertades en barras.
    4. Subestructuras o macroelementos.
    5. Ligaduras de movimientos.
    6. Nudos flexibles.

## **BLOQUE II: INESTABILIDAD DE ESTRUCTURAS**

- Tema II.0. Introducción a las Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.
- Tema II.1. Inestabilidad de barras comprimidas.
  1. Motivación.
  2. Ejemplos sencillos de comportamiento no lineal.
  3. Pandeo de una columna aislada articulada.
  4. Pandeo de columnas: influencia de las condiciones de contorno.
  5. Ecuación Diferencial de Pandeo de Columnas.
  6. Longitud de pandeo. Hipérbola de Euler.
  7. Pandeo con imperfecciones.
- Tema II.2. Inestabilidad global de estructuras.
  1. Introducción.
  2. Modos de pandeo global.
  3. El elemento viga-columna.
  4. Análisis no lineal de estructuras en segundo orden: efecto P-Delta.
  5. Pandeo global de estructuras.

## **BLOQUE III: ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS**

- Tema III.1. El Método de los Elementos Finitos: elementos barra.
  1. Introducción.

2. MEF para barras a axil.
  3. Integración numérica.
  4. MEF para vigas delgadas.
  5. MEF para vigas gruesas.
- Tema III.2. El Método de los Elementos Finitos: elasticidad lineal.
    1. Introducción.
    2. MEF para elasticidad bidimensional.
    3. Elementos lineales.
    4. Tecnología de elementos.
    5. Aspectos complementarios

## Práctico

Prácticas con software especializado en cálculo de estructuras

- Estructuras Articuladas Planas.
- Pórticos planos.
- Inestabilidad y no linealidad geométrica.
- Elementos finitos para elasticidad.

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía fundamental

- Ávila Cruces, F.; Puertas García, M.E.; Martínez Castro, A.E.; Gallego Sevilla, R. *Análisis de Estructuras: Cálculo Matricial. Con Aplicaciones en Python*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual.
- Ávila Cruces, F.; Puertas García, M.E.; Martínez Castro, A.E.; Gallego Sevilla, R. *Problemas resueltos de Cálculo Matricial. Con Soluciones en Python*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual.
- Martínez Castro, A.E.; Puertas García, M.E.; Gallego Sevilla, R. *Inestabilidad de Estructuras*. Universidad de Granada. Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. 2015. URI: <http://hdl.handle.net/10481/36616>

- Martínez Castro, A.E.; Puertas García, M.E.; Gallego Sevilla, R. *Problemas resueltos de Inestabilidad de Estructuras. Con Soluciones en Python*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual.
- Martínez Castro, A.E.; Puertas García, M.E.; Gallego Sevilla, R. *El Método de los Elementos Finitos en Análisis Estructural. Con Aplicaciones en Python*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual.
- Martínez Castro, A.E.; Puertas García, M.E.; Gallego Sevilla, R. *Problemas resueltos de El Método de los Elementos Finitos. Con Soluciones en Python*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual.
- Martínez Castro, A.E.; Puertas García, M.E.; Gallego Sevilla, R. *Cuadernos interactivos del Método de los Elementos Finitos*. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual. URI: [https://github.com/alexmacastro/AE\\_FEM](https://github.com/alexmacastro/AE_FEM)

### Bibliografía complementaria

- Samartín Quiroga, A. y González de Cangas, J.R., Cálculo Matricial de estructuras, Colegio ICCP, 2001.
- Celigüeta, J.T., Curso de Análisis Estructural, Eunsa, 2008
- Martí Montrull, P., Análisis de estructuras: métodos clásicos y matriciales, HE Editores, 2003
- Monleón Cremadas, S., Análisis de vigas, arcos, placas y láminas, UPV, 1999.
- Oñate, E., Análisis de Estructuras mediante el Método de los Elementos Finitos, UPC.
- Z. Bažant and L. Cedolin. *Stability of Structures. Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories*. World Scientific, 2010.
- J. Domínguez. *Elementos para el Cálculo de Estructuras Metálicas*. Servicio de publicaciones. ETSII Las Palmas de Gran Canaria, 1982.
- T. V. Galambos and A. E. Surovek. *Structural Stability of Steel: Concepts and Applications for Structural Engineers*. John Wiley and Sons, 2008.
- S. P. Timoshenko and J. M. Gere. *Theory of Elastic Stability*. Dover Publications, 2009.

### ENLACES RECOMENDADOS

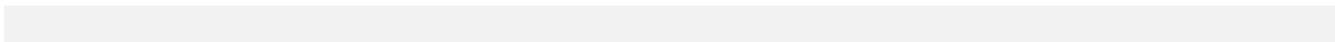
Plataforma PRADO de la asignatura

## METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Exposiciones en clase por parte del profesor. Podrán ser de tres tipos: 1) Lección magistral: Se presentarán en el aula los conceptos teóricos fundamentales y se desarrollarán los contenidos propuestos. Se procurará transmitir estos contenidos motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y tratando de formarle una mentalidad crítica 2) Clases de problemas: Resolución de problemas o supuestos prácticos por parte del profesor, con el fin de ilustrar la aplicación de los contenidos teóricos y describir la metodología de trabajo práctico de la materia. 3) Seminarios: Se ampliará y profundizará en algunos aspectos concretos relacionados con la materia. Se tratará de que sean participativos, motivando al alumno a la reflexión y al debate.
- MD03 Trabajos realizados de forma no presencial. Actividades propuestas por el profesor que podrán ser realizados individualmente o en grupo. Los alumnos presentarán en público los resultados de algunos de estos trabajos, desarrollando las habilidades y destrezas propias de la materia, además de las competencias transversales relacionadas con la presentación pública de resultados y el debate posterior, así como la puesta en común de conclusiones en los trabajos no presenciales desarrollados en grupo.
- MD04 Tutorías académicas. Podrán ser personalizadas o en grupo. En ellas el profesor podrá supervisar el desarrollo del trabajo no presencial, y reorientar a los alumnos en aquellos aspectos en los que detecte la necesidad o conveniencia, aconsejar sobre bibliografía, y realizar un seguimiento más individualizado, en su caso, del trabajo personal del alumno.
- MD05 Exámenes. Se incluye también esta actividad, que formará parte del procedimiento de evaluación, como parte de la metodología

## EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL.)

### Evaluación ordinaria





La *Evaluación Continua* se realizará del siguiente modo:

1.- **Pruebas teórico-prácticas (50%)**: Se realizarán tres pruebas teórico-prácticas presenciales. El formato de estos exámenes se especificará en cada caso en la convocatoria de las pruebas.

- Primer Parcial: Cálculo Matricial.
- Segundo Parcial: Inestabilidad de Estructuras.
- Tercer Parcial: Método de los Elementos Finitos.

2.- **Pruebas cortas o test de marcas de 15 minutos, en clase (10%)**: De forma periódica se realizarán en clase ejercicios cortos que serán entregados a través de la plataforma PRADO o corregidos mediante un sistema de marcas.

3.- **Estudio y Trabajo individual (20%)**: Estas actividades consistirán en la realización de prácticas o cuestionarios individualizados en la plataforma PRADO. Este trabajo tendrá carácter estrictamente individual, y cualquier detección de copia o fraude será calificado con 0 puntos en la asignatura.

Para la realización de algunas de las cuestiones se hará uso del lenguaje de programación **Python**, a nivel básico. No se requieren conocimientos previos de este lenguaje. Se empleará como herramienta que permita realizar operaciones matemáticas con matrices (suma, multiplicación, ensamblaje, resolución del sistema de ecuaciones, resolución de problemas de valores propios generalizados, funciones, objetos, gráficas, etc).

4.- **Prácticas informáticas (20%)**: Se propondrá la realización por parte del estudiantado de una serie de prácticas individuales que le permitirán trabajar de forma autónoma con un programa de cálculo de estructuras. La realización de estas prácticas es estrictamente individual. En caso de detectarse plagio o copia, el estudiante tendrá la calificación de 0 puntos global en la asignatura.

El sistema de trabajo se dividirá en 2 fases.

- Fase de trabajo y entrega (80% de la calificación de cada taller): Durante el plazo de 1 semana, de forma individual, el alumno realizará una práctica, que será personalizada. La entrega será en formato pdf y de forma anónima. La práctica se redactará en formato OpenOffice o Word, y se convertirá en formato pdf. La práctica se redactará por aspectos, que posteriormente formarán la base para la evaluación por pares.

- Fase de revisión (20% de la calificación): Al final de la fase de entrega, se asignará a

## Evaluación extraordinaria

La *Evaluación Extraordinaria* se realizará del siguiente modo:

Se realizará un único examen, con tres partes, correspondientes a cada uno de los bloques en que se divide la asignatura.

A.- Cálculo Matricial

B.- Inestabilidad

C.- Elementos Finitos

Para aprobar este examen será necesario cumplir los siguientes requisitos

- 1.- Obtener un mínimo de 5 puntos sobre 10 en el bloque de Cálculo Matricial.
- 2.- Obtener un mínimo de 5 puntos sobre 10 en otro de los dos bloques B o C.
- 3.- Obtener en el tercer bloque restante una nota mínima de 3 puntos sobre 10.
- 4.- Obtener una media ponderada superior a 5 puntos (40% Matricial, 30% Elementos Finitos, 30% Inestabilidad)

Para alumnos que han seguido el sistema de evaluación continua, se podrá optar a examinarse de los parciales no superados (nota inferior a 5) en dicha evaluación, siempre que el resto de actividades de la evaluación continua tengan una calificación superior a 5 puntos. En tal caso se obtendrá la calificación final considerando los criterios de evaluación continua previstos en esta guía.

## Evaluación única final

La *Evaluación Única Final* se realizará del siguiente modo:

Se realizará un único examen, con tres partes, correspondientes a cada uno de los bloques en que se divide la asignatura.

A.- Cálculo Matricial

B.- Inestabilidad

C.- Elementos Finitos

Para aprobar este examen será necesario cumplir los siguientes requisitos

- 1.- Obtener un mínimo de 5 puntos sobre 10 en el bloque de Cálculo Matricial.
- 2.- Obtener un mínimo de 5 puntos sobre 10 en otro de los dos bloques B o C.
- 3.- Obtener en el tercer bloque restante una nota mínima de 3 puntos sobre 10.
- 4.- Obtener una media ponderada superior a 5 puntos (40% Matricial, 30% Elementos Finitos, 30% Inestabilidad)

## INFORMACIÓN ADICIONAL

Los estudiantes están obligados a actuar en las pruebas de evaluación de acuerdo con los principios de mérito individual y autenticidad del ejercicio. **Cualquier actuación contraria en ese sentido dará lugar a la calificación numérica de cero** (artículo 13 de la NCG71/2). En consecuencia, la detección de una acción fraudulenta tanto en el examen como en cualquier actividad individual que se proponga supondrá una calificación final de cero.

## ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y TELE-PRESENCIAL)

### ATENCIÓN TUTORIAL

**HORARIO**  
(Según lo establecido en el POD)**HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN  
TUTORIAL**  
(Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

Se mantiene el horario indicado.

Las tutorías se realizarán de manera presencial si ello es posible. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.

**MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE**

Se seguirá la metodología docente indicada más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.

**MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación)****Evaluación ordinaria**

Se seguirá el procedimiento de evaluación ordinaria indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.

**Evaluación extraordinaria**

Se seguirá el procedimiento de evaluación extraordinaria indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el

Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.

### **Evaluación única final**

Se seguirá el procedimiento de evaluación única final indicado más arriba. Si la situación sanitaria lo requiriera, de acuerdo con el Plan de Contingencia del Centro, se adoptarán medidas parciales de adaptación y virtualización siguiendo las pautas que se establecen más abajo para el Escenario B, y se comunicarán al Centro y el estudiantado por el procedimiento establecido.

## **ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)**

### **ATENCIÓN TUTORIAL**

<b>HORARIO</b> (Según lo establecido en el POD)	<b>HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL</b> (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)
Para la atención tutorial se realizará un primer contacto a través del correo electrónico o mensajería instantánea y en función de la necesidad de acción tutorial, se establecerán las herramientas necesarias.	Correo electrónico, plataforma de mensajería instantánea, foros, Meet (G-Suite UGR).

### **MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE**

- Las clases presenciales se sustituirán por screencasts, videoconferencias y/o lecciones de PRADO.
- El resto de actividades no requieren adaptación, ya que de por sí están diseñados en formato no presencial mediante Moodle/PRADO.

### **MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación)**

## **Evaluación ordinaria**

- **Pruebas teórico-prácticas**

Las pruebas presenciales se transformarán cuestionarios de PRADO y/o realización de test automarcas enviados a través del correo electrónico o empleando la Suite de Google.

Adicionalmente, se contempla una prueba oral por videoconferencia para aquellos estudiantes que así lo soliciten y/o la calificación obtenida difiera de los resultados obtenidos en evaluación continua.

- **Pruebas cortas o test de marcas en el desarrollo de los contenidos**

Los ejercicios realizados en clase se transforman en cuestionarios y contenidos evaluables en lecciones de PRADO y test automarcas enviados a través del correo electrónico y entregados a través de PRADO o Suite de Google.

- **Estudio y trabajo individual**

Estas actividades consistentes no sufren adaptación.

- **Prácticas informáticas**

Estas actividades consistentes en la realización de prácticas de cálculo de estructuras mediante trabajo autónomo empleando Talleres de PRADO no sufre adaptación.

El criterio para la obtención de la calificación final no sufre variación.

## **Evaluación extraordinaria**

La prueba extraordinaria presencial se transformará en la realización de test automarcas con partes escritas, que será enviado a través del correo electrónico y entregado mediante PRADO o Google Classroom.

El criterio para la obtención de la calificación final no sufre variación.

## **Evaluación única final**

La prueba extraordinaria presencial se transformará en la realización de test automarcas con partes



escritas, que será enviado a través del correo electrónico y entregado mediante PRADO o Google Classroom.

La calificación final se obtendrá siguiendo los mismos criterios previstos para evaluación única final en Escenario A de esta guía docente.