



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ing. de Caminos
Canales y P.

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

43000385 - Comportamiento No Lineal De Estructuras

PLAN DE ESTUDIOS

04AG - Master Universitario En Ingeniería De Caminos, Canales Y Puertos

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	43000385 - Comportamiento No Lineal de Estructuras
No de créditos	4.5 ECTS
Carácter	Optativa
Curso	Segundo curso
Semestre	Cuarto semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	04AG - Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos
Centro responsable de la titulación	04 - E.T.S. De Ing. De Caminos Canales Y P.
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Jose Maria Arrieta Torrealba (Coordinador/a)	Desp. Sótano 1	josemaria.arrieta@upm.es	Sin horario. Sin horario.
Miguel Fernandez Ruiz	Lab. Estruct.	miguel.fernandezruiz@upm.es	Sin horario. Sin horario.
Antonio Carnerero Ruiz	Desp. Planta 9	antonio.carnerero@upm.es	Sin horario. Sin horario.

David Izquierdo Lopez	Desp. Planta 9	david.izquierdo@upm.es	Sin horario. Sin horario.
Maria Mercedes Madrid Ramos	Desp. Planta 9	mariamercedes.madrid@upm.es	Sin horario. Sin horario.
Sabino Nicola Tarque Ruiz	Lab. Estruct.	nicola.tarque@upm.es	Sin horario. Sin Horario.

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Elasticidad Aplicada

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Mecánica, Resistencia de materiales, Cálculo lineal de estructuras.

- Análisis matemático, Cálculo diferencial e integral, Álgebra vectorial y tensorial, Análisis vectorial y tensorial, Ecuaciones diferenciales ordinarias, Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE22 - Conocimiento y capacidad para el análisis estructural mediante la aplicación de los métodos y programas de diseño y cálculo avanzado de estructuras, a partir del conocimiento y comprensión de las solicitaciones y su aplicación a las tipologías estructurales de la ingeniería civil. Capacidad para realizar evaluaciones de integridad estructural.

CE23 - Conocimiento de todo tipo de estructuras y sus materiales, y capacidad para diseñar, proyectar, ejecutar y mantener las estructuras y edificaciones de obra civil.

CE38 - Capacidad para integrar y aplicar los conocimientos técnicos en asesoría, análisis, diseño y modelización físico-matemática en ingeniería estructural.

CE39 - Capacidad predictiva para optimización de soluciones en ingeniería estructural.

CGP01 - Capacitación científico-técnica y metodológica para el reciclaje continuo de conocimientos y el ejercicio de las funciones profesionales de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, planificación, dirección, gestión, construcción, mantenimiento, conservación y explotación en los campos de la ingeniería civil. Incorpora las competencias CB6, CB7 y CB8

CGP06 - Conocimiento para aplicar las capacidades técnicas y gestoras en actividades de I+D+i dentro del ámbito de la ingeniería civil. Incorpora las competencias CB6, CB7 y CB8.

CGP11 - Capacidad para el proyecto, ejecución e inspección de estructuras (puentes, edificaciones, etc.), de obras de cimentación y de obras subterráneas de uso civil (túneles, aparcamientos), y el diagnóstico sobre su integridad. Incorpora las competencias CB6, CB7 y CB8.

CGP12 - Capacidad para planificar, diseñar y gestionar infraestructuras, así como su mantenimiento, conservación y explotación. Incorpora las competencias CB6, CB7 y CB8.

CGP18 - Conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de métodos matemáticos, analíticos y numéricos de la ingeniería, mecánica de fluidos, mecánica de medios continuos, cálculo de estructuras, ingeniería del terreno, ingeniería marítima, obras y aprovechamientos hidráulicos y obras lineales. Incorpora las competencias CB6, CB7 y CB8.

CT2 - Polivalencia y capacidad de aprendizaje autónomo. Desarrolla la competencia transversal 5ª del Real Decreto.

CT8 - Capacidad de diseñar, analizar e interpretar experimentos relevantes en ingeniería civil.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA120 - Conoce la influencia de las diversas causas de no linealidad en el análisis dinámico de estructuras y los métodos de cálculo aplicables.

RA119 - Conoce las causas de no linealidad debida al material en estructuras, sus leyes constitutivas y los métodos de cálculo estructural aplicables.

RA121 - Conoce los métodos numéricos para resolver los cálculos estructurales no lineales.

RA116 - Conoce las causas de no linealidad geométrica en estructuras y los métodos de cálculo en los distintos niveles.

RA122 - Conoce el formato de seguridad necesario para poder realizar comprobaciones estructurales mediante cálculos no lineales en estructuras reales.

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura que se propone, Comportamiento No Lineal de Estructuras, supone una continuidad con las anteriores asignaturas estructurales y en ella se estudian los efectos que, sobre el comportamiento de las estructuras, tiene la asunción realista de la falta de proporcionalidad entre las acciones y sus efectos en la estructura, debido a que los materiales no son ideales o a que los movimientos no son lo suficientemente pequeños. Se analizan los distintos tipos de no linealidad (geométrica, material, sustentación) y se desarrollan modelos continuos (vigas, placas, cables) y discretos (Cálculo Matricial y Elementos Finitos), centrándonos fundamentalmente en la no linealidad geométrica y aplicándolo a numerosos ejemplos. Además se aborda el tratamiento de los efectos dinámicos, los métodos numéricos de resolución y el formato de seguridad para este tipo de problemas. Aplicaciones típicas son los elementos comprimidos esbeltos, las estructuras colgadas o atirantadas, y cualquier tipo de estructura con estados de carga elevados.

5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción

1.1. Comportamiento no lineal de estructuras Causas de la no linealidad: geometría, material, otras.
Consecuencias de la no linealidad. Ejemplos.

2. No Linealidad Geométrica

2.1. Tipos de no linealidad geométrica Grandes desplazamientos, grandes giros, grandes deformaciones.
Segundo orden.

2.2. Planteamiento analítico Cálculo de segundo orden en barras y lajas. Carga crítica de Euler.

2.3. Método de la matriz de rigidez geométrica Aplicación al cálculo matricial de estructuras de barras.
Aplicación al método de los Elementos Finitos.

2.4. Método de grandes desplazamientos Aplicación a cálculo matricial y método de los Elementos Finitos.
Resolución de problemas con cables y mallas tesas.

3. No Linealidad del Material

3.1. Tipos de no linealidad del material Comportamiento elástico no lineal, plástico, viscoelástico, fisuración,
elementos de elasticidad y elementos estructurales.

3.2. Modelos de comportamiento del material Elasticidad no lineal, plasticidad, viscoelasticidad.

3.3. Modelos de comportamiento seccional. Diagramas momento curvatura. Modelo multicapa. Ductilidad.

3.4. Métodos de cálculo estructural Aplicación a cálculo matricial y método de los Elementos Finitos.

Ejemplos: estructuras de hormigón, acero y mixtas.

3.5. Combinación de ambas no linealidades Aplicación a cálculo matricial y método de los Elementos Finitos.

Métodos simplificados. Planteamiento normativo.

4. Otras no linealidades

4.1. Condiciones de contorno Condiciones de sustentación. Problemas de contacto: deslizamiento, rodadura, rozamiento, anclaje, etc.

5. Dinámica no lineal de estructuras

5.1. Cálculo Dinámico no lineal Causas de no linealidad dinámica. Métodos de integración explícitos e implícitos. Aplicación a cálculo matricial y método de los Elementos Finitos.

6. Resolución de los cálculos estructurales no lineales

6.1. Métodos numéricos de resolución Métodos iterativos e incrementales (paso a paso).

7. La seguridad en cálculos estructurales no lineales

7.1. Formato de seguridad en cálculo no lineal Influencia de la no linealidad en el formato de seguridad.

Método de los coeficientes parciales.

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
2	Apartado 2.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartado 2.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
3	Apartado 2.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartado 2.3 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
4	Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
5	Apartado 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartado 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			

7	<p>Apartado 3.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 3.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
8	<p>Apartados 3.2 y 3.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.2 y 3.3 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
9	<p>Apartados 3.3 y 3.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.3 y 3.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
10	<p>Apartados 3.4 y 3.5 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.4 y 3.5 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
11	<p>Apartado 3.5 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 3.5 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
12	<p>Apartados 3.5 y 4.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.5 y 4.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
13	<p>Apartados 4.1 y 5.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 4.1 y 5.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
14	<p>Apartados 5.1 y 6.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 5.1 y 6.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			

15	<p>Apartado 7.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 7.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
16				
17				<p>Examen Final Ordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 03:00</p> <p>Ejercicios desarrollados por el alumno TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00</p> <p>Examen Final Ordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00</p>

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final Ordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	60%	4 / 10	CE22 CE23 CE38 CE39 CT2 CT8 CGP11 CGP12 CGP18 CGP01 CGP06
17	Ejercicios desarrollados por el alumno	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:00	40%	0 / 10	

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final Ordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CE22 CE23 CE38 CE39 CT2 CT8 CGP11 CGP12 CGP18 CGP01 CGP06

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen Final Extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CE22 CE23 CE38 CE39 CT2 CT8 CGP11 CGP12 CGP18 CGP01 CGP06

7.2. Criterios de evaluación

Mediante "evaluación continua"

PE1. Trabajo de clase 10%

Descripción. Se valorará el trabajo de clase, mediante el control estadístico de asistencia, y la participación activa del alumno durante las clases.

Criterios de calificación. Se valorará, (sobre 10 puntos) un 50% la asistencia y un 50% la participación en las actividades de clase. Para obtener calificación será preciso haber asistido a un mínimo del 50% de las clases.

Momento y lugar: Durante las clases, que serán presenciales, salvo que las Autoridades Sanitarias lo prohíban, en cuyo caso serán telemáticas.

PE2. Resolución individual de ejercicios y problemas 30%

Descripción. Consiste en la resolución individual de ejercicios de las materias tratadas en clase, que será realizada por el alumno de forma autónoma, con el apoyo de los profesores de la asignatura. Los ejercicios se entregarán de acuerdo con un calendario programado para su evaluación.

Criterios de calificación. Los ejercicios entregados serán valorados cada uno sobre 10 puntos. La calificación obtenida será la media aritmética de las notas de los ejercicios.

Momento y lugar: Durante el curso.

PE3. Examen final 60%

Descripción. Consiste en un único examen cuya duración será entre 2 y 3 horas. Este examen estará formado por varios ejercicios de carácter práctico o teórico relativos a cualquier parte del contenido de la asignatura.

Criterios de calificación. Cada uno de los ejercicios se valorará sobre 10 puntos. La calificación del examen será la media ponderada de las notas de los ejercicios. Para aprobar la asignatura es necesario obtener una calificación mínima de 4 puntos sobre 10 en este examen.

Momento y lugar: El examen será presencial, salvo que las Autoridades Sanitarias lo prohíban, en cuyo caso, será mediante videoconferencia, en la fecha y horario determinado por Jefatura de Estudios.

Calificación final de la asignatura mediante "evaluación continua"

Será la mayor de las dos siguientes:

- La media de la calificación de cada prueba de evaluación ponderada por su correspondiente peso, excepto para los alumnos que en el examen final obtengan una calificación inferior a 4, que suspenderán la asignatura en todo caso.
- La calificación obtenida en el examen final.

Para aprobar la asignatura se debe obtener una calificación final igual o superior a cinco.

Los alumnos de evaluación continua que no aprueben la asignatura tras el examen final deben acudir a la convocatoria extraordinaria. La calificación en dicha convocatoria se obtendrá utilizando los mismos criterios indicados anteriormente, para lo cual se mantienen las notas de las pruebas de evaluación PE1 y PE2 obtenidas en ese curso (no son válidas las obtenidas en cursos anteriores).

Mediante "sólo prueba final"

Descripción. Consiste en un único examen igual al examen final descrito para evaluación continua.

Criterios de calificación. Cada uno de los ejercicios se valorará sobre 10 puntos. La calificación del examen será la media ponderada de las notas de los ejercicios.

Momento y lugar: El examen será presencial, salvo que las Autoridades Sanitarias lo prohíban, en cuyo caso, será mediante videoconferencia, en la fecha y horario determinado por Jefatura de Estudios.

Calificación final de la asignatura mediante "sólo prueba final"

La calificación final de la asignatura será directamente la obtenida en el examen final. Para superar la asignatura se debe obtener una calificación final igual o superior a cinco.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Bathe, K.J. Finite Element Procedures in Engineering Analysis Prentice Hall, Inc., 1982	Bibliografía	
Clough, R.W. y Penzien, J. Dynamics of structures Mac Graw-Hill International	Bibliografía	
Crisfield, M.A. Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures John Wiley & Sons Ltd, 1991	Bibliografía	
Zienkiewicz, O.C. y Taylor, R.L. El método de los elementos finitos. Mecánica de sólidos. CIMNE, 2010	Bibliografía	

En la plataforma Moodle aparecerán periódicamente documentos para completar la información.	Recursos web	
Biblioteca del departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras	Equipamiento	