



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de
Caminos, Canales y Puertos

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

43000427 - Comportamiento No Lineal de Estructuras

PLAN DE ESTUDIOS

04AM - Master Universitario Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2020/21 - Primer semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
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	43000427 - Comportamiento No Lineal de Estructuras
No de créditos	4.5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	04AM - Master Universitario Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales
Centro responsable de la titulación	04 - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Curso académico	2020-21

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Antonio Carnerero Ruiz	Desp. Planta 9	antonio.carnerero@upm.es	M - 08:30 - 11:30 X - 08:30 - 11:30
Jose Maria Arrieta Torrealba (Coordinador/a)	Desp. Sótano 1	josemaria.arrieta@upm.es	M - 08:30 - 11:30 X - 08:30 - 11:30

Juan Carlos Arroyo Portero	Desp. Planta 9	jc.arroyo@upm.es	J - 18:00 - 21:00
David Izquierdo Lopez	Desp. Planta 9	david.izquierdo@upm.es	M - 08:30 - 11:30 X - 08:30 - 11:30
Florencio J.del Pozo Vindel	Desp. Sótano 1	florencio.delpozo@upm.es	M - 08:30 - 11:30 X - 08:30 - 11:30
Maria Mercedes Madrid Ramos	Desp. Planta 9	mariamercedes.madrid@upm.es	J - 18:00 - 21:00
Manuel Alejandro Nicolas Pazo	Desp. Planta 9	manuelalejandro.nicolas@upm.es	J - 18:00 - 21:00

* 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

El plan de estudios Master Universitario Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Análisis matemático, Cálculo diferencial e integral, Álgebra vectorial y tensorial, Análisis vectorial y tensorial, Ecuaciones diferenciales ordinarias, Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales
- Mecánica, Resistencia de materiales, Cálculo lineal de estructuras.

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

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

CE1 - Capacidad para la resolución de problemas de proyecto, construcción, conservación y evaluación técnica de infraestructuras que involucren el comportamiento no lineal de estructuras y se planteen en contextos globalizados

CG2 - Capacidad de ejercer las funciones de proyecto, construcción, conservación y evaluación técnica mediante el uso de normativa europea e internacional.

CG3 - Capacidad de diseñar, analizar e interpretar experimentos relevantes en Ingeniería Estructural, Geotécnica y de Materiales Estructurales.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA20 - Conoce las causas de no linealidad geométrica en estructuras y los métodos de cálculo en los distintos niveles.

RA25 - Conoce el formato de seguridad necesario para poder realizar comprobaciones estructurales mediante cálculos no lineales en estructuras reales.

RA23 - Conoce la influencia de las diversas causas de no linealidad en el análisis dinámico de estructuras y los métodos de cálculo aplicables.

RA24 - Conoce los métodos numéricos para resolver los cálculos estructurales no lineales.

RA21 - Conoce las causas de no linealidad debida al material en estructuras, sus leyes constitutivas y los métodos de cálculo estructural aplicables.

RA22 - Conoce las causas de no linealidad en estructuras originadas por las condiciones de sustentación y los métodos de cálculo estructural aplicables.

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

En la asignatura que se propone, Comportamiento No Lineal de Estructuras, 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 presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p>Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 1.1 y 2.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
2	<p>Apartado 2.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartado 2.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
3	<p>Apartado 2.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.3 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartado 2.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.3 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
4	<p>Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
5	<p>Apartado 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartado 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartado 2.4 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
6	<p>Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Apartados 3.1 y 3.2 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	

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>		<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>		<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>		<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>		<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>		<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>		<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>		<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>		<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	Apartado 7.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Apartado 7.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		Apartado 7.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Apartado 7.1 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
16				
17				Examen Final Ordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua No presencial Duración: 03:00 Ejercicios desarrollados por el alumno TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 00:00 Examen Final Ordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 03:00

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.

* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final Ordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	60%	4 / 10	CG2 CG3 CB7 CB8 CB9 CE1
17	Ejercicios desarrollados por el alumno	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	00:00	40%	0 / 10	

7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final Ordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	100%	5 / 10	CB7 CB8 CB9 CG2 CG3 CE1

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	CG2 CG3 CB7 CB8 CB9 CE1

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.

PE2. Resolución individual de ejercicios y problemas 30%

Descripción. Consiste en la resolución individual de ejercicios de la 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: Los determina la 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: Lo determinará la 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	