



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Industriales

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**55001069 - Análisis y Simulación de Estructuras**

### PLAN DE ESTUDIOS

05TI - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2020/21 - 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.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	13

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	55001069 - análisis y simulación de estructuras
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Sexto semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	05TI - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
<b>Centro responsable de la titulación</b>	05 - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
<b>Curso académico</b>	2020-21

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Ricardo Perera Velamazán (Coordinador/a)	Estructuras	ricardo.perera@upm.es	Sin horario. Petición por correo electrónico

\* 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

- Resistencia De Materiales

### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE23C - Conocimientos y capacidad para el cálculo y diseño de estructuras y construcciones industriales.

CG1 - Conocer y aplicar conocimientos de ciencias y tecnologías básicas a la práctica de la Ingeniería Industrial.

CG10 - Capacidad para generar nuevas ideas (Creatividad).

CG2 - Poseer capacidad para diseñar, desarrollar, implementar, gestionar y mejorar productos, sistemas y procesos en los distintos ámbitos industriales, usando técnicas analíticas, computacionales o experimentales apropiadas.

CG3 - Aplicar los conocimientos adquiridos para identificar, formular y resolver problemas dentro de contextos amplios y multidisciplinarios, siendo capaces de integrar conocimientos, trabajando en equipos multidisciplinarios.

CG5 - Saber comunicar los conocimientos y conclusiones, de forma oral, escrita y gráfica, a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

CG6 - Poseer habilidades de aprendizaje que permitan continuar estudiando a lo largo de la vida para su adecuado desarrollo profesional.

CG7 - Incorporar nuevas tecnologías y herramientas de la Ingeniería Industrial en sus actividades profesionales.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA39 - Comprender que el Cálculo de Estructuras es una de las fases que conforman el proceso global del proyecto de una estructura; y en ella habrá de determinarse, mediante la aplicación de los Principios de la Mecánica de los Sólidos Deformables, si la estructura podrá desempeñar la función para la que inicialmente fue concebida.

RA42 - Situarse con actitud crítica ante la validez de los cálculos y resultados.

RA40 - Relacionar los desplazamientos y esfuerzos que se producen en una estructura de barras con el sistema de solicitaciones aplicado sobre la misma; teniendo en cuenta que han de satisfacerse las relaciones básicas de Equilibrio, Compatibilidad y Comportamiento.

RA41 - Se tomará como eje fundamental de la asignatura el Principio de los Trabajos Virtuales, que mediante una relación de tipo integral permite expresar de forma global las condiciones de equilibrio y compatibilidad y unifica el tratamiento de los problemas estáticos y dinámicos.

RA559 - Comprender el concepto de diseño óptimo estructural y su aplicación

RA561 - Identificar las distintas tipologías estructurales y su comportamiento estructural

RA30 - Relacionar los desplazamientos y esfuerzos que se producen en una estructura de barras con el sistema de solicitaciones aplicado sobre la misma.

RA558 - Capacidad de simular mediante programas de elementos finitos el comportamiento de estructuras de distintas áreas formadas por elementos unidimensionales

RA560 - Comprender el concepto de pandeo y su aplicación

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Las estructuras que forman parte de cualquier área de la ingeniería están constituidas por diversos tipos de elementos y deben ser capaces de soportar con fiabilidad las acciones a las que están sometidas, con el objetivo de desempeñar la función para la cual fueron concebidas. Para ello han de constituir un sistema resistente de manera que los desplazamientos y las tensiones producidas por las solicitaciones aplicadas, se sitúen dentro de unos límites inicialmente impuestos.

Las estructuras constituidas por elementos unidimensionales son muy frecuentes en la aplicación práctica real.

El objetivo de la asignatura consiste en relacionar los desplazamientos y esfuerzos que se producen en una estructura de elementos unidimensionales con el sistema de solicitaciones aplicado sobre la misma, teniendo en cuenta que han de satisfacerse las relaciones básicas de Equilibrio, Compatibilidad y Comportamiento. A partir de estas relaciones se formula el Principio de los Trabajos Virtuales el cual, mediante una relación de tipo integral, permite expresar de forma global las condiciones de equilibrio y compatibilidad y unifica el tratamiento de los problemas estáticos y dinámicos.

Este principio es el punto de partida para la solución de cualquier estructura mediante el Método de Elementos Finitos. Este método permite la resolución computacional sistemática de cualquier estructura y su formulación unificada y ejecución práctica serán también parte de los objetivos del curso.

A partir del Principio de los Trabajos Virtuales y el Método de Elementos Finitos se formularán y resolverán también problemas más específicos de estructuras unidimensionales como los de

pandeo y diseño óptimo.

El desarrollo de la asignatura será fundamentalmente práctico con la resolución de múltiples problemas que sirvan para ilustrar los principales conceptos

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. MÓDULO I. TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES Y MODELOS DE CÁLCULO

- 1.1. Descripción y comparación de los distintos tipos de elementos de una estructura. Clasificación geométrica y por cargas
- 1.2. Introducción a los modelos de cálculo estructural

### 2. MÓDULO II. FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

- 2.1. Isostaticidad e hiperestaticidad
- 2.2. Equilibrio, compatibilidad y comportamiento
- 2.3. El Principio de los Trabajos Virtuales
- 2.4. Formulaciones fuerte y débil: Barras, Vigas a flexión según las teorías de Bernoulli y Timoshenko
- 2.5. La analogía del problema de transmisión de calor

### 3. MÓDULO III. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN CON EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE ESTRUCTURAS DE ELEMENTOS UNIDIMENSIONALES

- 3.1. Introducción al cálculo matricial de sistemas discretos de barras y vigas
- 3.2. Método de elementos finitos: Conceptos básicos de discretización e interpolación
- 3.3. Matriz de rigidez y vector de cargas elementales. Ensamblaje. Cálculo de desplazamientos y esfuerzos
- 3.4. Aplicación del método de elementos finitos a distintos tipos de estructuras de barras y vigas
- 3.5. El problema del bloqueo
- 3.6. La analogía del problema de transmisión de calor
- 3.7. Problemas termoestructurales

### 4. MÓDULO IV. PANDEO

- 4.1. Introducción al cálculo de pandeo lineal
- 4.2. Formulaciones fuerte y débil del problema de pandeo lineal

4.3. Aplicación del método de elementos finitos a la resolución del problema de pandeo. Matriz de rigidez geométrica

4.4. Multiplicador de carga, carga crítica de pandeo y modos de pandeo

4.5. Aplicaciones prácticas

## 5. MÓDULO V. DISEÑO ÓPTIMO DE ESTRUCTURAS

5.1. Conceptos básicos del diseño óptimo estructural. Variables de diseño, restricciones y funciones objetivo. Problemas mono y multiobjetivo

5.2. Descripción general de los métodos de optimización clásicos y por algoritmos genéticos. Ventajas e inconvenientes.

5.3. Ejemplos de aplicación de diseño con el método de elementos de finitos a estructuras de barras y vigas

5.4. Análisis de sensibilidad

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>MÓDULO I</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2	<b>MÓDULO I</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>MÓDULO II</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
3	<b>MÓDULO II</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4	<b>MÓDULO II</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>MÓDULO III</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
5	<b>MÓDULO III</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>PRÁCTICAS ELEMENTOS FINITOS</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  En el caso que las actividades <b>presenciales en Laboratorio programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 00:00

6	<p><b>MÓDULO III</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>PRÁCTICAS ELEMENTOS FINITOS</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Laboratorio programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
7	<p><b>MÓDULO III</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>PRÁCTICAS ELEMENTOS FINITOS</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Laboratorio programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
8	<p><b>MÓDULO III</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>PRÁCTICAS ELEMENTOS FINITOS</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Laboratorio programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p><b>PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 1</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:30</p>
9	<p><b>MÓDULO III</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>MÓDULO IV</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>		<p>En el caso que las actividades <b>presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	

10	<b>MÓDULO IV</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>PRUEBA PRÁCTICA</b> EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas Evaluación continua Presencial Duración: 02:30
11	<b>MÓDULO IV</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
12	<b>MÓDULO IV</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>MÓDULO V</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 00:00
13	<b>MÓDULO V</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
14	<b>MÓDULO V</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		En el caso que las actividades presenciales en Aula programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
15				<b>PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 2</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:30
16				
17				<b>EXAMEN FINAL</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 02:30

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
5	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:00	5%	0 / 10	CG1 CG3 CE23C CG5 CG6
8	PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	30%	4 / 10	CG1 CG3 CG2 CE23C CG5 CG6
10	PRUEBA PRÁCTICA	EP: Técnica del tipo Examen de Prácticas	Presencial	02:30	20%	4 / 10	CG1 CG3 CG7 CG2 CE23C CG5 CG6 CG10
12	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:00	10%	0 / 10	CG1 CG3 CG7 CG2 CE23C CG5 CG6 CG10
15	PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 2	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	35%	4 / 10	CG1 CG3 CG7 CG2 CE23C CG5 CG6 CG10

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	EXAMEN FINAL	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	02:30	100%	5 / 10	CG1 CG3 CG7 CG2 CE23C CG5 CG6 CG10

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

Todos los alumnos podrán optar entre evaluación continua (EC) o evaluación en un único examen final (EF). De inicio todos los alumnos se considerarán en la opción de EC. El que desee optar por la opción EF deberá comunicarlo al profesor por correo electrónico ([ricardo.perera@upm.es](mailto:ricardo.perera@upm.es)) antes del 30 de Septiembre, si no se entenderá que opta por EC. Los criterios para aprobar en cada una de las dos modalidades son los siguientes:

### 1. Evaluación continua (EC)

#### Dos pruebas escritas evaluables

- Obligatoriedad de obtener un mínimo de 4/10 puntos para hacer media en la evaluación continua. Si no se alcanza un 4/10, el alumno aparecerá como suspenso en las actas.
- Peso de la primera prueba en la calificación global: 30%
- Peso de la segunda prueba en la calificación global: 35%

#### Dos ejercicios de evaluación continua a realizar por el alumno a lo largo del curso

- Estos ejercicios se plantearán a lo largo del curso a través de la plataforma virtual Moodle y tendrán un periodo de entrega definido así como una limitación de tiempo para su resolución
- Peso de los ejercicios de evaluación continua en la calificación global: 5% el primero y 10% el segundo

## Prueba práctica

- Peso de las prácticas: 20%

**NOTA:** Aquellos alumnos que hayan optado por la evaluación continua y no hayan superado la asignatura, podrán presentarse a las pruebas finales de las convocatorias de Enero y Julio. En ese caso, el aprobado exigirá obtener un mínimo de 4/10 puntos en esta prueba y la calificación final se obtendrá ponderando la prueba final (75%), los ejercicios de evaluación continua (10%) y la prueba práctica (15%).

## 2. Examen final (EF)

Los alumnos que opten por este modo de evaluación deberán obtener un mínimo de 5/10 en la prueba ordinaria de Enero o en la prueba extraordinaria de Julio

# 8. Recursos didácticos

---

## 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Pizarra	Equipamiento	Explicaciones en pizarra para clases magistrales
Equipos informáticos	Equipamiento	Utilización del ordenador y cañón de video para presentaciones de resúmenes e imágenes
Bibliografía	Bibliografía	Se proporcionan fuentes bibliográficas con las que el alumno pueda completar el contenido de la materia expuesta en clase.
Programas informáticos	Equipamiento	Utilización de programas informáticos para la realización de las prácticas

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura se relaciona con el ODS 9. Industria, Innovación e Infraestructuras y con el ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

En la asignatura se utilizará de forma preferente como software de elementos finitos la última versión educacional disponible del programa ANSYS

#### BIBLIOGRAFÍA

- 1.- NORRIS, CHARLES H. y WILBUR, J. B. Análisis elemental de Estructuras. Editorial McGraw-Hill, 1973
- 2.- FEODOSIEV, V.I. Resistencia de Materiales. Editorial Mir, 1980
- 3.- TIMOSHENKO, S. Resistencia de Materiales. Editorial Espasa Calpe, 1976
- 4.- GALILEO GALILEI. Consideraciones y Demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Editorial Nacional, 1976
- 4.- TIMOSHENKO, S.P. y YOUNG, D.H. Teoría de las Estructuras. Editorial Urmo, 1976
- 5.- PERERA, R. y GÓMEZ LERA, M<sup>a</sup> S. Problemas de Estructuras Articuladas. Editorial Sección Publicaciones ETSII, 1996
- 6.- GORDON, J.E. Estructuras o por qué las cosas no se caen. Editorial Celeste, 1999
- 7.- PERERA, R. Introducción al Método de Elementos Finitos. Sección de Publicaciones de la ETSII, 2000.
- 8.- REDDY, J.N. An Introduction to the Finite Element Method. New York: McGraw-Hill, 2005
- 9.- CHANDRUPATLA, T.R. Y BELEGUNDU, A.D. Introduction to Finite Elements in Engineering. Prentice-Hall, 2011.

10.- OCHSNER, A. y MERKEL, M. One-dimensional Finite Elements: An Introduction to the FE Method. Springer Berlin Heidelberg, 2014.

11.- CONNOR, J.J. y FARAJI, S. Fundamentals of Structural Engineering. Springer, 2016.