



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

2022/23 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

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

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	55001069 - Análisis y Simulación de Estructuras
No de créditos	6 ECTS
Carácter	Optativa
Curso	Tercero curso
Semestre	Sexto semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	05TI - Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
Centro responsable de la titulación	05 - Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales
Curso académico	2022-23

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
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. Competencias y resultados de aprendizaje

3.1. 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.

3.2. 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.

RA560 - Comprender el concepto de pandeo y su aplicación

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

4. Descripción de la asignatura y temario

4.1. 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

4.2. 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 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

5. Cronograma

5.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	MÓDULO I 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	
2	MÓDULO I Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral MÓDULO II 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	
3	MÓDULO II 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	
4	MÓDULO II Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral MÓDULO III 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	
5	MÓDULO III Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	PRÁCTICAS ELEMENTOS FINITOS Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	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 En el caso que las actividades presenciales en Laboratorio programadas para esta semana no se pudiesen impartir presencialmente, se harían telemáticamente Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	

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

10	MÓDULO IV 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	
11	MÓDULO IV 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	MÓDULO IV Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral MÓDULO V 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	
13	MÓDULO V 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	MÓDULO V 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	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 00:00 PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 00:00
15				PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 2 EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:30
16				
17				EXAMEN FINAL 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.

6. Actividades y criterios de evaluación

6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

6.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
8	PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	25%	4 / 10	CG2 CE23C CG1 CG3 CG5 CG6
9	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:00	20%	4 / 10	
14	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:00	20%	4 / 10	CG10 CG2 CE23C CG1 CG3 CG5 CG6 CG7
15	PRUEBA DE EVALUACIÓN CONTINUA 2	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	35%	4 / 10	CG10 CG2 CE23C CG1 CG3 CG5 CG6 CG7

6.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
9	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	00:00	20%	4 / 10	

14	PRUEBA PRÁCTICA DE EVALUACIÓN TELEMÁTICA USANDO MOODLE	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	20%	4 / 10	
17	EXAMEN FINAL	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	02:30	60%	5 / 10	CG10 CG2 CE23C CG1 CG3 CG5 CG6 CG7

6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

6.2. Criterios de evaluación

Todos los alumnos podrán optar entre evaluación continua (EC) o evaluación en 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) 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 en cada una de las pruebas para poder aprobar por evaluación continua.
- Peso de la primera prueba en la calificación global: 20%
- Peso de la segunda prueba en la calificación global: 35%
- . La segunda prueba de evaluación continua coincidirá con el Examen Final de Junio

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

- **Obligatoriedad de obtener un mínimo de 4/10 puntos en cada ejercicio para contabilizar su nota. Si no se alcanza un 4/10 en un ejercicio, éste no contabilizará para la nota final.**
- **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 prácticos de evaluación continua en la calificación global: 20% el primero y 25% el segundo**

NOTA: Las dos pruebas escritas son liberatorias en el curso corriente pero no para cursos posteriores. Para acogerse a la evaluación continua el alumno ha de concurrir a las dos pruebas escritas y ha de entregar los dos ejercicios prácticos. Si no lo hiciese, automáticamente su evaluación se hará en modo examen final

2. Examen final (EF)

Los alumnos que opten por la modalidad de Examen Final deberán entregar los dos ejercicios prácticos de evaluación en los mismos plazos y con las mismas reglas y coeficientes de ponderación que aquellos que opten por evaluación continua.

El examen final de junio coincidirá en fecha con la segunda prueba escrita de evaluación continua pero el contenido de ambas pruebas no tiene por qué coincidir.

Tanto para el examen final como para la convocatoria extraordinaria el peso de la prueba será de un 55% en la nota final, siendo requisito imprescindible para superar la asignatura que el alumno obtenga una calificación mayor o igual a 5/10 en esta prueba

En la modalidad de examen final no se liberará contenido de la asignatura de la convocatoria ordinaria a la extraordinaria en ningún caso.

7. Recursos didácticos

7.1. 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

8. Otra información

8.1. 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
- 4.- GALILEO GALILEI. Consideraciones y

Demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Editorial Nacional, 1976

3.- TIMOSHENKO, S. Resistencia de Materiales. Editorial Espasa Calpe, 1976

4.- TIMOSHENKO, S.P. y YOUNG, D.H. Teoría de las Estructuras. Editorial Urmo, 1976

5.- PERERA, R. y GÓMEZ LERA, M^a 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.