



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

**53000942 - Metodos De Discretizacion En Ingenieria**

### PLAN DE ESTUDIOS

05AR - Master Universitario En Ingenieria Sismica: Dinamica De Suelos Y Estructura

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2022/23 - Primer 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.....	3
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	12

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	53000942 - Metodos de Discretizacion en Ingenieria
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Primer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	05AR - Master Universitario en Ingenieria Sismica: Dinamica de Suelos y Estructura
<b>Centro responsable de la titulación</b>	05 - Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales
<b>Curso académico</b>	2022-23

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Lutz Karl Heinz Hermanns (Coordinador/a)	UD Estructuras	lutz.hermanns@upm.es	X - 18:15 - 18:30 Y cita 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

El plan de estudios Master Universitario en Ingeniería Sismica: Dinamica de Suelos y Estructura no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

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

- Ecuaciones diferenciales
- Cálculo y álgebra matricial
- Programación en Matlab

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE1 - Métodos matemáticos de la mecánica computacional.

CE17 - La combinación efectiva de los conocimientos para resolver problemas multidisciplinares

CE18 - El diseño y programación de los elementos de software necesarios para implementar las soluciones propuestas

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA35 - El alumno deberá familiarizarse con las principales técnicas de discretización, tanto espacial como temporal, que se emplean en ingeniería estructural

RA38 - Modelización de estructuras, técnicas matemáticas de resolución de problemas dinámicos, enfoques deterministas y probabilistas del cálculo de estructuras

RA36 - El alumno deberá ser capaz de escribir sencillos programas que resuelvan, de forma aproximada, las ecuaciones diferencias que aparecen en ingeniería estructural

RA37 - El alumno deberá conocer qué métodos son los más apropiados para cada tipo de ecuación diferencial, así como sus posibles deficiencias

RA43 - Simulaciones en ordenador

RA49 - Simulación numérica

RA32 - Modelización y análisis de estructuras industriales

RA33 - Modelización y análisis de estructuras de edificación

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

El objetivo principal de este curso es presentar las principales técnicas de discretización que se emplean en la ingeniería mecánica actual, mostrando sus posibles aplicaciones y esbozando su análisis matemático. Se pretende que la asignatura proporcione una visión suficientemente amplia de las técnicas disponibles como para que en un futuro el alumno pueda emplear la que mejor se adapte a los problemas que afronte. Por otro lado, el método de los elementos finitos se estudiará con mayor detalle, para que el alumno desarrolle la capacidad de análisis, programación y mejora de códigos específicos y prácticos.

Algunos objetivos específicos son:

- Conocer y utilizar las técnicas básicas de discretización espacial y temporal que se emplean más frecuentemente en ingeniería (diferencias finitas y elementos finitos).

- Comprender las limitaciones de cada una de estas técnicas, sabiendo explicar los motivos de las mismas desde un punto de vista matemático y físico.
- Familiarizarse con la programación de estas técnicas.
- Sentar las bases para el estudio de técnicas más avanzadas y otros cursos sobre temas más específicos.

### Libro de texto

No habrá libro de texto para el curso. Parte del material se podrá encontrar en la siguiente bibliografía disponible en la biblioteca de la ETSII:

[1] T J R Hughes. The finite element method. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.

[2] K W Morton and D Mayers. Numerical solution of partial differential equations. Cambridge University Press, 1998.

[3] G Strang and G J Fix. An analysis of the finite element method. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1973.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Presentación y repaso de programación en Matlab
2. Sistemas discretos
  - 2.1. Grados de libertad
  - 2.2. Sistemas de masas concentradas y muelles
3. Métodos de integración paso a paso
  - 3.1. Métodos implícitos
  - 3.2. Métodos explícitos
  - 3.3. Criterios de estabilidad, paso de tiempo crítico
4. Método de las Diferencias Finitas: vigas

- 4.1. Estudio de convergencia de la malla
- 4.2. Soluciones analíticas para modos de vibración
- 4.3. Propagación de ondas en un elemento tipo barra
- 4.4. Condición CFL
5. Método de las Diferencias Finitas: transferencia de calor
  - 5.1. Transferencia de calor 1D
  - 5.2. Conducción de calor 1D
  - 5.3. Método implícito vs. método explícito
  - 5.4. Conducción de calor 2D
6. Método de las Diferencias Finitas: propagación de ondas
  - 6.1. EDP de la propagación de ondas escalares en 2D
  - 6.2. Método de las imágenes
  - 6.3. Contornos absorbentes
7. Método de los Elementos Finitos: formulación 1D
  - 7.1. Formulación fuerte
  - 7.2. Formulación débil
  - 7.3. Método de Galerkin o Bubnov-Galerkin
  - 7.4. Método de Elementos Finitos
  - 7.5. Elemento finito tipo barra en axil
8. Método de los Elementos Finitos: formulación 2D
  - 8.1. Implementación del elemento cuadrilátero de 4 nudos
  - 8.2. Cálculo de tensiones
9. Método de los Elementos Finitos: elemento pórtico
  - 9.1. Formulación débil
  - 9.2. Elemento finito tipo viga
  - 9.3. Elemento finito tipo pórtico
  - 9.4. Transformación de ejes locales a globales
  - 9.5. Ensamblaje de la matriz de rigidez del sistema
10. Método de los Elementos Finitos: discretización espacial

- 10.1. Cálculo estático de una barra con carga repartida
- 10.2. Comparación de soluciones: ANSYS vs. Matlab
- 10.3. Barra de sección variable
- 10.4. Matrices de masa
- 10.5. Cálculo de los modos de vibración de una estructura
- 11. Cálculo transitorio por superposición modal
  - 11.1. Desacoplamiento modal
  - 11.2. Concepto de masa movilizada
  - 11.3. Amortiguamiento modal
  - 11.4. Amortiguamiento tipo Rayleigh
- 12. Interacción suelo estructura: contornos absorbentes
  - 12.1. Elemento cuadrilátero incompatible de 4 nudos
  - 12.2. Descripción del método directo para estudiar la interacción suelo-estructura
  - 12.3. Contornos absorbentes
- 13. Convolución rápida
  - 13.1. Cálculos transitorios de sistemas lineales
  - 13.2. Cálculo de la Función de Respuesta en Frecuencia
  - 13.3. Convolución rápida mediante la Transformada de Fourier
  - 13.4. Respuesta dinámica de puentes de ferrocarril
- 14. Método de los elementos finitos: calidad de la malla, cargas nodales equivalentes
  - 14.1. Cargas nodales equivalentes
  - 14.2. Patch test
  - 14.3. Recomendaciones para el uso del método de Elementos Finitos
  - 14.4. Temas adicionales que merecen la pena de ser estudiados



## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Introducción a la asignatura</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Introducción a la programación en Matlab</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Introducción a la asignatura</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Introducción a la programación en Matlab</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2	<b>Sistemas discretos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Sistemas discretos</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
3	<b>Métodos de integración paso a paso</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Métodos de integración paso a paso</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4	<b>Diferencias finitas: vigas</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Diferencias finitas: vigas</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Tarea 1: Vibración libre y forzada de sistemas de 1 gdl</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 16:00
5	<b>Diferencias finitas: transferencia de calor</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Diferencias finitas: transferencia de calor</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
6	<b>Diferencias finitas: propagación de ondas</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Diferencias finitas: propagación de ondas</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
7	<b>Método de los elementos finitos: 1D</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Método de los elementos finitos: 1D</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Tarea 2: Programación de un método de integración paso a paso</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 16:00

8	<b>Métodos de los Elementos Finitos: 2D</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Métodos de los Elementos Finitos: 2D</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
9	<b>Método de los Elementos Finitos: elemento pórtico</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Método de los Elementos Finitos: elemento pórtico</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
10	<b>El método de los Elementos Finitos: discretización espacial</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>El método de los Elementos Finitos: discretización espacial</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
11	<b>Cálculo transitorio por superposición modal</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Cálculo transitorio por superposición modal</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
12	<b>Interacción suelo estructura: contornos absorbentes</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Interacción suelo estructura: contornos absorbentes</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Tarea 3: Cálculo transitorio de una estructura aporticada</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 16:00
13	<b>Convolución rápida</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Convolución rápida</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Programación en Matlab</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
14	<b>Método de los Elementos Finitos: calidad de la malla, cargas nodales equivalentes</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Método de los Elementos Finitos: calidad de la malla, cargas nodales equivalentes</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
15				
16				
17				<b>Examen escrito</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:00  <b>Trabajo individual para prueba de evaluación global</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 48:00

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 (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
4	Tarea 1: Vibración libre y forzada de sistemas de 1 gdl	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	13%	0 / 10	CE1 CE17 CE18
7	Tarea 2: Programación de un método de integración paso a paso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	13%	0 / 10	CE1 CE17 CE18
12	Tarea 3: Cálculo transitorio de una estructura aporticada	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	13%	0 / 10	CE17 CE18 CE1
17	Examen escrito	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	61%	4 / 10	CE1 CE17 CE18

#### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen escrito	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	61%	4 / 10	CE1 CE17 CE18
17	Trabajo individual para prueba de evaluación global	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	48:00	39%	0 / 10	CE1 CE17 CE18

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

La nota final es la suma ponderada de las notas de un examen escrito con un peso del 61% y trabajos individuales con un peso del 39%. En la modalidad de evaluación progresiva hay tres trabajos individuales, cada uno con un peso del 13% en la nota final y en la modalidad de Evaluación global hay un sólo trabajo individual con un peso del 39% en la nota final. El aprobado requiere una nota final mínima de 5 y obtener en el examen escrito una nota igual o superior a 4 sobre 10.

### Evaluación progresiva:

El curso se calificará a partir de los trabajos entregados por los alumnos (un 39% de la nota) y un examen escrito de la asignatura (61% de la nota).

En relación a los trabajos:

- Los alumnos podrán colaborar en la resolución de dudas relacionadas con los trabajos, pero no copiarlos.
- Cada trabajo deberá ser individual.
- Cuando se proponga un trabajo, se indicará una fecha para su entrega, no aceptándose después de ésta.

### Prueba de evaluación global:

Quien renuncie a la evaluación progresiva tiene la opción de solicitarlo y su evaluación constará del mismo examen escrito con el mismo peso del 61% y un trabajo acordado con el profesor de la asignatura que cubrirá los diferentes aspectos que se han desarrollado en el curso y que tendrá un peso equivalente al conjunto de trabajos desarrollados en la modalidad de evaluación progresiva (39%).

### Evaluación convocatoria extraordinaria

Los criterios de evaluación son los mismos que los de la prueba de evaluación global.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Información en Moodle	Recursos web	<a href="https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/login/login.php">https://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/login/login.php</a>
Apuntes	Bibliografía	Todos los apuntes de todas las clases magistrales en la web
Ejemplos de código Matlab	Otros	Programas en Matlab para el desarrollo de los contenidos del curso que se irán explicando con ejemplos durante el curso.

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

La impartición de esta asignatura es bimodal con retransmisión síncrona de las clases. La participación presencial estará condicionada a las restricciones (limitaciones de aforo, distancias mínimas etc.) que en cada momento pudiesen establecer las autoridades competentes por motivos sanitarios. Cuando debido a estas restricciones el alumno no pueda participar de forma presencial, lo hará on-line.

En la enseñanza on-line esta previsto emplear la plataforma MICROFT TEAMS.

Esta asignatura, y el Máster en su conjunto, está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 así como con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.