



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

**53000945 - Calculo Avanzado De Estructuras**

### PLAN DE ESTUDIOS

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

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - 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.....	9
8. Recursos didácticos.....	11
9. Otra información.....	12

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	53000945 - Calculo Avanzado de Estructuras
<b>No de créditos</b>	4.5 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 Tecnica Superior De Ingenieros Industriales
<b>Curso académico</b>	2021-22

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Amadeo Benavent Climent (Coordinador/a)	Cátedra	amadeo.benavent@upm.es	L - 10:00 - 11:00 A acordar con profesor previa solicitud 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

- Titulación académica previa, que cubra las bases de la teoría de la mecánica de los medios continuos.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE2 - Leyes de comportamiento de materiales.

CE28 - Capacidad para desarrollar instrumentos avanzados para la realización de tareas relacionadas con el Máster.

CE3 - Modelos abstractos de suelos y estructuras.

CE6 - Medidas y cálculos

CE7 - Modelos matemáticos y simulaciones de los problemas estudiados

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA39 - Comprensión y análisis de la respuesta de un sistema estructural ante una sollicitación sísmica de tipo general. Estudiando en particular la sollicitación sísmica.

RA45 - Capacidad de interpretación en los dominios del tiempo y la frecuencia

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

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

En esta asignatura se abordan métodos modernos de cálculo de estructuras, mostrando la unidad fundamental que existe entre dos tipos de cálculo que tradicionalmente se estudian por separado: el cálculo estático y el cálculo dinámico. El hilo conductor que establece la conexión entre ambos es el principio de los trabajos virtuales.

En los primeros temas se aborda el cálculo estático aplicando el método de la rigidez con el que el alumno debe estar ya familiarizado. A continuación se pasa al cálculo dinámico de estructuras de múltiples grados de libertad con propiedades másicas y elásticas tanto repartidas como concentradas, que constituye el núcleo central de la asignatura. El estudio de la dinámica de los sistemas de un grado de libertad se realiza en otra asignatura que el alumno cursa en paralelo. Aunque la asignatura se centra en sistemas lineales y elásticos, al final de la misma se introducen los métodos paso a paso para abordar el comportamiento no lineal.

En la asignatura se estudia la predicción de la respuesta dinámica frente a cargas dinámicas generales. Como caso particular y con mayor nivel de detalle se tratan las cargas de origen sísmico y los procedimientos para obtener los parámetros de respuesta necesarios para realizar el proyecto sísmico de una estructura en el marco del moderno paradigma del Proyecto Basado en Prestaciones. Finalmente se realiza una introducción a la Fiabilidad estructural.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. 1.-Introducción. Funciones de interpolación. Principio de los Trabajos Virtuales
  - 1.1. Conceptos básicos. Sistemas de coordenadas. Dependencia e independencia de desplazamiento y/p fuerzas en un determinado sistema de coordenadas
  - 1.2. Proceso general de cálculo de una estructura. Distinción entre método de las fuerzas y método de los desplazamientos
  - 1.3. Ecuaciones de campo en piezas monodimensionales
  - 1.4. El Principio de los Trabajos Virtuales aplicado a piezas monodimensionales
  - 1.5. La idea de aproximación: funciones de interpolación
2. Expresiones analíticas de la matriz de rigidez y del vector de cargas
  - 2.1. Matriz de rigidez y vector de cargas de una barra
  - 2.2. Matriz de rigidez y vector de cargas de toda la estructura
3. Cálculo estático. Método de la rigidez
  - 3.1. Relación entre desplazamientos en sistema de coordenadas globales y en los sistemas de coordenadas locales de las barras. Matriz de conexiones
  - 3.2. Medidas de desplazamiento en diferentes sistemas de coordenadas locales
  - 3.3. Relación entre fuerzas en sistema de coordenadas globales y en los sistemas de coordenadas locales de las barras. Matriz de conexiones
  - 3.4. Transformaciones de sistemas de coordenadas globales y locales
  - 3.5. Construcción indirecta de la matriz de rigidez y del vector de cargas de la estructura
  - 3.6. Construcción directa de la matriz de rigidez y del vector de cargas de la estructura
  - 3.7. Cálculo de esfuerzos en barras
  - 3.8. Sistemas con propiedades elásticas concentradas representadas por muelles discretos o distribuidos
4. Dinámica de sistemas continuos. Ecuaciones de campo. Vibraciones libres. Respuesta a cargas generales
  - 4.1. Ecuaciones de campo en piezas monodimensionales de sistemas dinámicos
  - 4.2. Vibraciones libres sin amortiguamiento: caso general de propiedades no uniformes
  - 4.3. Vibraciones libres sin amortiguamiento: caso particular de propiedades uniformes
  - 4.4. Respuesta frente a cargas arbitrarias: método de superposición modal
5. Dinámica de sistemas discretos. Planteamiento del sistema de ecuaciones de equilibrio dinámico. Expresiones

analíticas de la matriz de masas y de la matriz de amortiguamiento consistentes

5.1. El Principio de los Trabajos Virtuales en sistemas dinámicos

5.2. Sistemas discretos con propiedades elásticas, másicas y de amortiguamiento repartidas

5.2.1. Expresión analítica de la matriz de masas y de la matriz de amortiguamiento de una barra y de toda la estructura

5.2.2. Construcción de la matriz de masas y de amortiguamiento de toda la estructura

5.2.3. Transformación de la matriz de masas y de amortiguamiento de una barra en diferentes sistemas de coordenadas locales

5.3. Sistemas discretos con propiedades másicas y de amortiguamiento concentradas

6. Dinámica de sistemas discretos con masas repartidas y concentradas en vibración libre sin amortiguamiento. Frecuencias y modos propios. Coordenadas normales.

6.1. Sistemas de masas repartidas

6.1.1. Vibraciones libres sin amortiguamiento. Frecuencias y modos propios

6.1.2. Propiedades de ortogonalidad

6.1.3. Coordenadas normales

6.2. Sistemas con masas concentradas

7. Dinámica de sistemas discretos con masas repartidas y concentradas sometidas a cargas dinámicas generales. Cálculo modal.

7.1. Consideraciones sobre la matriz de amortiguamiento

7.2. Método de superposición modal general. Obtención de la respuesta en cada instante

7.2.1. Cálculo de desplazamientos

7.2.2. Cálculo de esfuerzos en barras

7.3. Método de superposición modal particularizado a vectores de cargas separables. Obtención de la respuesta en cada instante del tiempo. Factor de participación modal.

8. Dinámica de sistemas discretos con masas concentradas sometidas a cargas dinámicas generales. Cálculo de esfuerzos.

8.1. Caso general de vector de cargas

8.2. Caso particular de vector de cargas separables

9. Dinámica de sistemas discretos con masas concentradas sometidas a cargas sísmicas. Cálculo modal espectral.

9.1. Concepto de vector de arrastre

9.2. Respuesta sísmica máxima de una estructura sometida a una componente del terremoto. Cálculo modal espectral

9.2.1. Respuesta máxima en cada modo de vibración

9.2.2. Respuesta máxima total. Reglas de combinación

9.2.3. Concepto de masa movilizada

10. Dinámica de sistemas discretos con masas repartidas sometidas a cargas sísmicas. Cálculo modal espectral. Cálculo de esfuerzos

10.1. Caracterización del efecto de carga del sismo

10.2. Respuesta sísmica en cada instante del tiempo

10.3. Respuesta sísmica máxima

11. Evaluación de la fiabilidad estructural. Métodos de cálculo. Proyecto basado en prestaciones

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Tema 1</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 1</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2	<b>Tema 2</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 2</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
3	<b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4	<b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
5	<b>Tema 4</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 4</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
6	<b>Tema 4</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 4</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
7	<b>Tema 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
8	<b>Tema 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
9	<b>Tema 6</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 6</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
10	<b>Tema 7</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 7</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00

11	<b>Tema 8</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 8</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
12	<b>Tema 9</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 8</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
13	<b>Tema 10</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 10</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Realización de ejercicios prácticos</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
14	<b>Tema 11</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 11</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
15				
16				
17				<b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y 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
4	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
5	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
6	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
7	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
8	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
9	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
10	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
11	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28

12	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
13	Realización de ejercicios prácticos	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	02:00	2.5%	5 / 10	CE28
17	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	100%	5 / 10	CE6 CE3 CE28 CE2 CE7

### 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	03:00	100%	5 / 10	CE6 CE3 CE28 CE2 CE7

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

A).-CONVOCATORIA ORDINARIA: Se puede optar por evaluación continua o por evaluación con examen final únicamente.

Salvo que el alumno lo pida por escrito mediante un correo electrónico dirigido al coordinador de la asignatura en las dos primeras semanas de clase, se asumirá que el alumno opta por evaluación continua.

### A.1) EVALUACION CONTINUA:

En la evaluación continua se evalúan los trabajos/ejercicios realizados en casa a lo largo del curso (con un peso del 25% de la nota total) y la nota que obtenga en el examen final de la convocatoria ordinaria (con un peso del 75%).

Para poder ser evaluado por evaluación continua el alumno debe asistir (de forma presencial o telemática) al menos al 70% de las clases, y haber presentado al menos el 70% de los trabajos/ejercicios. Si estos requisitos no se cumplen (y salvo casos de fuerza mayor debidamente justificados y aceptados por el profesor) el alumno pasará al sistema de evaluación por examen final únicamente. En el examen final de la evaluación continua el alumno deberá obtener 4 o más puntos para poder aplicar la ponderación anterior. Si en el examen final la nota obtenida es inferior a 4 puntos, el alumno estará suspendido. Si la nota obtenida al aplicar la ponderación anterior es inferior a la obtenida en el examen final, se tomará la nota del examen final.

#### A.2) EVALUACION CON EXAMEN FINAL UNICAMENTE:

Se cuenta únicamente la nota del examen final. Deberá obtenerse 5 o más puntos para aprobar.

B).-CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA: En la convocatoria extraordinaria habrá una prueba final con un peso del 100%.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Pizarra	Equipamiento	Explicaciones en pizarra para las clases magistrales
Ordenadores	Equipamiento	Empleo de programas de ordenador y prácticas informáticas
Problemas resueltos	Otros	El profesor proporciona problemas resueltos
Bibliografía	Bibliografía	Se proporcionan fuentes bibliográficas

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

El Máster tiene carácter presencial siendo posible también cursarlo de forma totalmente telemática (sin necesidad de desplazarse físicamente a las aulas). Las clases se imparten desde las aulas de la Universidad Politécnica de Madrid y el alumno puede asistir a ellas forma presencial en los horarios establecidos (con las restricciones de aforo máximo y distancias mínimas que en su caso se pudieran establecer las autoridades competentes por razones de la pandemia covid-19). Simultáneamente, las clases se emiten de forma telemática para que los alumnos puedan seguirlas en tiempo real y participar activamente en ellas.

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.

#### BIBLIOGRAFIA

E. Alarcón, R. Álvarez, M<sup>a</sup> S. Gómez. CÁLCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. Ed. REVERTÉ, 1990

W. McGuire & R.H. Gallagher. MATRIX STRUCTURAL ANALYSIS. Ed. Wiley. 1979

R. W. Clough & J. Penzien. DYNAMICS OF STRUCTURES. Ed McGraw Hill. 1993

Klaus-Jürgen Bathe. FINITE ELEMENT PROCEDURES IN ENGINEERING ANALYSIS. Ed. Prentice Hall. 1982.

Walter C. Hurty y Moshe F. Rubinstein. DYNAMICS OF STRUCTURES. Prentice-Hall, Inc.

Metodología de proyecto sismorresistente de edificios basada en el balance energético. Akiyama H. Editorial Reverté.

Introducción a la fiabilidad estructural y algunas aplicaciones.. M. S. Gómez Lera, E. Alarcón. ICCET Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Número 408. pp.1-114.