

Fecha de aprobación: 28/06/2023

Guía docente de la asignatura

## Estructuras Sismorresistentes (20911AA)

<b>Grado</b>	Grado en Estudios de Arquitectura	<b>Rama</b>	Ingeniería y Arquitectura				
<b>Módulo</b>	Módulo de Optatividad	<b>Materia</b>	Estructuras Sismorresistentes				
<b>Curso</b>	5 <sup>o</sup>	<b>Semestre</b>	2 <sup>o</sup>	<b>Créditos</b>	6	<b>Tipo</b>	Optativa

### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (Según memoria de verificación del Grado)

Dinámica de estructuras. Aplicación al análisis de vibraciones en edificios provocadas por terremotos. Caracterización de la acción sísmica. Estructuras sismorresistentes convencionales y avanzadas. Proyecto y cálculo sísmico de estructuras convencionales aplicando la normativa vigente.

### COMPETENCIAS ASOCIADAS A MATERIA/ASIGNATURA

#### COMPETENCIAS GENERALES

- CG01 - Capacidad de análisis y síntesis
- CG04 - Conocimiento de una lengua extranjera
- CG05 - Conocimientos de informática relativos al ámbito de estudio
- CG06 - Capacidad de gestión de la información
- CG07 - Resolución de problemas
- CG08 - Toma de decisiones
- CG10 - Trabajo en un equipo de carácter interdisciplinar
- CG16 - Aprendizaje autónomo
- CG17 - Adaptación a nuevas situaciones
- CG18 - Creatividad
- CG22 - Motivación por la calidad
- CG24 - Trabajo en colaboración con responsabilidades compartidas
- CG27 - Visión espacial
- CG28 - Comprensión numérica
- CG29 - Intuición mecánica
- CG30 - Sensibilidad estética
- CG33 - Afán de emulación

#### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS



- CE04 - Aptitud para concebir, calcular, diseñar, integrar en edificios y conjuntos urbanos y ejecutar: a) Estructuras de edificación; b) Sistemas de división interior, carpintería, escaleras y demás obra acabada; c) Sistemas de cerramiento, cubierta y demás obra gruesa; d) Soluciones de cimentación; e) Instalaciones de suministro, tratamiento y evacuación de aguas, de calefacción y de climatización.
- CE05 - Aptitud para: a) Aplicar las normas técnicas y constructivas; b) Conservar las estructuras de edificación, la cimentación y obra civil; c) Conservar la obra acabada; d) Valorar las obras.
- CE07 - Conocimiento adecuado de: a) La mecánica de sólidos, de medios continuos y del suelo, así como de las cualidades plásticas, elásticas y de resistencia de los materiales de obra pesada; b) Los sistemas constructivos convencionales y su patología; c) Las características físicas y químicas, los procedimientos de producción, la patología y el uso de los materiales de construcción; d) Los sistemas constructivos industrializados.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

- Dominar la concepción, cálculo, diseño y ejecución de estructuras sismorresistentes de edificación, aplicando las normas técnicas y constructivas.
- Conocer los conceptos de la mecánica de sólidos, de medios continuos y de la dinámica, así como de las cualidades plásticas, elásticas y de resistencia de los materiales de obra pesada.
- Dominar los sistemas constructivos convencionales e industrializados en estructuras sismorresistentes.

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### TEÓRICO

#### Parte I. Dinámica de estructuras

- Tema 1: Introducción
  - 1.1. Objetivo de la dinámica de estructuras y relación con el proyecto sismorresistente.
  - 1.2. Tipos de cargas dinámicas.
  - 1.3. Diferencias entre el problema dinámico y el problema estático
  - 1.4. Métodos de discretización de estructuras
  - 1.5. Ecuaciones de equilibrio dinámico. Principio de D'Alembert
- Tema 2: Vibraciones libres
  - 2.1. Componentes básicas del sistema dinámico
  - 2.2. Ecuación del movimiento del sistema dinámico básico
  - 2.3. Influencia de las cargas gravitatorias
  - 2.4. Influencia de los movimientos en la base
  - 2.5. Análisis de las vibraciones libres sin amortiguamiento
  - 2.6. Análisis de las vibraciones libres con amortiguamiento
- Tema 3: Respuesta dinámica bajo cargas armónicas
  - 3.1. Respuesta bajo cargas armónicas sin amortiguamiento
  - 3.2. Respuesta bajo cargas armónicas con amortiguamiento viscoso
  - 3.3. Respuesta resonante
- Tema 4: Respuesta dinámica bajo cargas periódicas
  - 4.1. Expresión de una carga periódica mediante las series de Fourier
  - 4.2. Respuesta a una carga periódica expresada mediante series de Fourier



- Tema 5: Respuesta dinámica bajo cargas impulsivas
  - 5.1. Naturaleza de las cargas impulsivas
  - 5.2. Respuesta a un impulso rectangular
  - 5.3. Espectros de respuesta de desplazamiento para distintos tipos de cargas impulsivas
  - 5.4. Análisis aproximado de la respuesta bajo cargas impulsivas
- Tema 6: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Métodos de superposición.
  - 6.1. Análisis en el dominio del tiempo. Integral de Duhamel
  - 6.2. Introducción al análisis en el dominio de la frecuencia. Transformadas de Fourier
- Tema 7: Formulación de las ecuaciones del movimiento
  - 7.1. Selección de los grados de libertad
  - 7.2. Condición de equilibrio dinámico
- Tema 8: Evaluación de las propiedades estructurales del sistema
  - 8.1. Propiedades elásticas: matriz de rigidez
  - 8.2. Propiedades másicas: matriz de masas
  - 8.3. Propiedades de amortiguamiento: matriz de amortiguamiento
  - 8.4. Cargas externas: vector de cargas externas
- Tema 9: Vibraciones libres sin amortiguamiento
  - 9.1. Frecuencias propias de vibración
  - 9.2. Modos propios de vibración
  - 9.3. Propiedades de los modos de vibración. Ortogonalidad
- Tema 10: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Método de superposición modal
  - 10.1. Coordenadas normales
  - 10.2. Desacoplamiento de las ecuaciones del movimiento.
  - 10.3. Cálculo de la respuesta por superposición de desplazamientos modales

## Parte II. Fundamentos de ingeniería sísmica

- Tema 11: Aspectos básicos de sismología
  - 11.1. Sismicidad. Fallas y tectónica de placas.
  - 11.2. Mecanismo de generación de las ondas sísmicas.
  - 11.3. Principales parámetros de los terremotos.
  - 11.4. Peligrosidad sísmica. Vulnerabilidad sísmica. Riesgo sísmico
- Tema 12: Definición de la acción sísmica con acelerogramas. Cálculo dinámico directo
  - 12.1. Introducción.
  - 12.2. Acelerogramas históricos. Amplitud, contenido de frecuencias y duración.
  - 12.3. Acelerogramas artificiales.
  - 12.4. Respuesta sísmica obtenida mediante cálculos dinámicos directos.
- Tema 13: Definición de la acción sísmica mediante espectros elásticos de respuesta. Método de los espectros de respuesta o análisis modal espectral
  - 13.1. Espectros elásticos de respuesta para un sismo determinado.
  - 13.2. Factores que influyen en los espectros elásticos de respuesta.
  - 13.3. Espectros elásticos de respuesta de proyecto. Espectros de la NCSE-02
  - 13.4. Cálculo sísmico con el método de los espectros de respuesta
    - 13.4.1. Respuesta de sistemas de un grado de libertad sobre suelo rígido
    - 13.4.2. Respuesta de sistemas de varios grados de libertad sobre suelo rígido
      - 13.4.2.1. Respuesta máxima para un modo de vibración dado
      - 13.4.2.2. Respuesta máxima total combinando respuestas máximas modales
    - 13.5. Introducción a la respuesta sísmica de sistemas elasto-plásticos.
- Tema 14: Definición de la acción sísmica en términos de input de energía. Metodología de proyecto sismorresistente basada en el balance energético
  - 14.1. Introducción.
  - 14.2. Input total de energía en sistemas de un grado de libertad.



- 14.2.1. Ecuación de equilibrio de fuerzas y ecuación del balance de energía.
- 14.2.2. Características básicas del input de energía.
- 14.3. Input total de energía en sistemas de varios grados de libertad.
- 14.4. Espectros de input de energía de proyecto propuestos en la literatura.
- 14.5. Fundamento de los métodos de proyecto sismorresistente basados en el balance energético de Housner-Akiyama
- Tema 15: Comportamiento de los materiales y elementos estructurales
  - 15.1. Los materiales hormigón y acero.
  - 15.2. Elementos estructurales de hormigón armado bajo cargas monótonas y cíclicas.
    - 15.2.1. Vigas y columnas. Fallo a flexión y a cortante. Columnas cortas. Vigas planas.
    - 15.2.2. Muros de cortante.
    - 15.2.3. Nudos viga-columna.
  - 15.3. Elementos estructurales de acero bajo cargas monótonas y cíclicas.
    - 15.3.1. Vigas y pilares. Perfiles en H, circulares y rectangulares. Celosías.
    - 15.3.2. Barras diagonales con y sin resistencia a compresión.
    - 15.3.3. Nudos viga-columna

### Parte III. Proyecto de estructuras sismorresistentes

- Tema 16: Estrategias actuales y avanzadas en el proyecto sismorresistente de estructuras
  - 16.1. Introducción. Acciones sísmicas y acciones gravitatorias. Metas actuales y futuras.
  - 16.2. Principios de proyecto sismorresistente.
    - 16.2.1. Estrategia de las estructuras tipo columna débil-viga fuerte.
    - 16.2.2. Estrategias que incrementan la capacidad de disipación de energía de cada planta.
      - 16.2.2.1. Control del fallo a cortante en elementos de hormigón armado.
      - 16.2.2.2. Instalación de elementos disipadores de energía.
      - 16.2.2.3. Las estructuras mixtas rígido-flexibles.
      - 16.2.2.4. Estrategias orientadas a mitigar la concentración del daño.
      - 16.2.2.5. Estructuras del tipo viga débil-columna fuerte.
      - 16.2.2.6. Estructuras con dispersión del daño.
    - 16.2.3. Estrategias que utilizan de forma positiva la concentración del daño.
      - 16.2.3.1. Estructuras con aislamiento de base.
      - 16.2.3.2. Estructuras con concentración de daño en la última planta.
      - 16.2.3.3. Estructuras con concentración de daño en la primera planta.
  - 16.3. Clasificación de las estructuras sismorresistentes.
    - 16.3.1. Estructuras convencionales.
    - 16.3.2. Estructuras avanzadas equipadas con sistemas de control de respuesta.
      - 16.3.2.1. Estructuras con aislamiento de base.
      - 16.3.2.2. Estructuras equipadas con disipadores de energía.
      - 16.3.2.3. Estructuras equipadas con sistemas de control activo y semiactivo.
- Tema 17: Aspectos importantes en el proyecto sismorresistente
  - 17.1. Coeficiente cortante basal y distribución de cortantes entre plantas.
  - 17.2. Amortiguamiento.
  - 17.3. Ductilidad.
  - 17.4. Efectos de torsión.



- 17.5. Momentos de vuelco y axiles adicionales en pilares.
- 17.6. Efecto P-delta.
- 17.7. Control del desplazamiento entre plantas
- 17.8. Criterios heurísticos de proyecto
  - 17.8.1. Simetría
  - 17.8.2. Redundancia estructural
  - 17.8.3. Limitación de fallos frágiles
  - 17.8.4. Distribución de masa y rigidez
  - 17.8.5. Compatibilidad de deformaciones
  - 17.8.6. Resonancia suelo-estructura
  - 17.8.7. Elementos no estructurales
- Tema 18: Cálculo sismorresistente según la Norma española NCSE-02. Los Eurocódigos.
  - 18.1. Generalidades
  - 18.2. Masas y acciones a considerar en el cálculo
  - 18.3. Verificación de la seguridad
  - 18.4. Métodos de cálculo
    - 18.4.1. Análisis dinámico directo
    - 18.4.2. Análisis modal espectral
    - 18.4.3. Método simplificado para casos usuales de edificación

## PRÁCTICO

- Cálculo de la respuesta de una estructura sencilla de un grado de libertad a una carga armónica, periódica e impulsiva.
- Cálculo de la respuesta de una estructura sencilla de un grado de libertad a una carga general.
- Cálculo de frecuencias y modos de vibración de una estructura de múltiples grados libertad.
- Características de la acción sísmica y espectros.
- Cálculo sismorresistente de una estructura de nueva planta aplicando el método general del análisis modal espectral de la norma NCSE-02; cálculo por ordenador. Comprobaciones de la norma (viga débil columna fuerte); cálculo por capacidad; consideraciones especiales en arranque columnas de planta baja

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- Apuntes del profesor
- Código Técnico de la Edificación.
- Eurocódigo 8 parte 1
- NCSE02

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Pauley T., and Priestley M. J. N. SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES. John Wiley & Sons Inc., New York, 1992, 1 Tomo.
- Adrian S. Scarlat, APROXIMATE METHODS IN STRUCTURAL SEISMIC DESIGN, E&FN Spon, 1996. Tomo 1
- Chopra, Anil K. DINÁMICA DE ESTRUCTURAS.



- Benavent-Climent, A. ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES.

## ENLACES RECOMENDADOS

- [Código técnico de la edificación](#). Página donde se encuentran todos los documentos relacionados con el código técnico de la edificación, así como del software básico necesario.
- [Construaprende](#). Página con mucha información sobre Ingeniería Civil y Arquitectura. Incluye numerosos tutoriales relacionados con los programas de cálculo de estructuras, así como un foro donde compartir opiniones.
- [Ingeniería sísmica y la construcción civil](#). Página chilena sobre ingeniería sísmica con una gran cantidad de recomendaciones constructivas.  
<http://ingenieriasismicaylaconstruccioncivil.blogspot.com.es/>
- [Instituto Geológico y Minero de España](#). Página que contiene una gran cantidad de registros sísmicos. Muy útil a la hora de obtener un acelerograma de una determinada zona del territorio peninsular. <http://www.igme.es/internet/default.asp>
- [Earthquake engineering and structural dynamics](#). Revista internacional que recoge los últimos avances en el campo de la ingeniería sísmica. Solamente se puede leer si se está conectado a la red de la UGR.  
<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291096-9845>

## METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 - Lección magistral/expositiva
- MD02 - Sesiones de discusión y debate
- MD03 - Resolución de problemas y estudio de casos prácticos
- MD06 - Prácticas en sala de informática
- MD07 - Seminarios
- MD08 - Ejercicios de simulación
- MD09 - Análisis de fuentes y documentos
- MD11 - Realización de trabajos individuales
- MD12 - Seguimiento del TFG

## EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

### EVALUACIÓN ORDINARIA

En convocatoria ordinaria se sigue un procedimiento de evaluación continua, consistente en 5 prácticas distribuidas a lo largo del curso y un examen final. El valor de las prácticas es del  $5 \times 18\% = 90\%$  mientras que el examen es el 10%. Las prácticas serán entregadas en el campus virtual en la fecha indicada en el planeamiento de la asignatura evaluadas por el profesor responsable de cada aula. No se aceptará la entrega de prácticas fuera de plazo.

### EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

En convocatoria extraordinaria, la evaluación consiste en una única prueba (100%) que consiste en un examen con un caso práctico (60%) y 2/3 preguntas de teoría o desarrollo (40%).





### EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

La evaluación consiste en una única prueba (100%) que consiste en un examen con un caso práctico (60%) y 2/3 preguntas de teoría o desarrollo (40%).

