

D. DAVID LÓPEZ MARTÍN, Secretario del Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Granada.

CERTIFICA:

Según la documentación que obra en esta administración, los programas de las asignaturas:

Estructuras I  
Estructuras II  
Estructuras III  
Estructuras IV  
Estructuras sismoresistentes

incluidos en documento son los impartidos en la Titulación de Arquitectura (Plan 1991) por este Departamento en todos los Cursos Académico desde su constitución en el Curso Académico 1999-2000 hasta la extinción de la misma.

Ratificado por acuerdo del Consejo de Departamento de 18 de septiembre de 2017

I.C.I.S. de Ingenieros de C.C y P  
18071 Granada  
Tfno. +34 958249960  
Fax. +34 958249959

**Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica**

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40 Página: 1 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

## IV. 4.- PROGRAMA DETALLADO DE ESTRUCTURAS I

### A) RESISTENCIA DE MATERIALES

#### TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LA ASIGNATURA DE ESTRUCTURAS I

1. 1.- Descripción del alcance de la asignatura.
1. 2.- El proceso del diseño estructural.
1. 3.- Objetivos de la Resistencia de Materiales.
1. 4.- Nociones de Elasticidad.
  1. 4. 1.- Hipótesis básicas.
  1. 4. 2.- Anisotropía e Isotropía.
  1. 4. 3.- Módulo de elasticidad.
  1. 4. 4.- Coeficiente de Poisson.
  1. 4. 5.- Concepto de tensión en un punto de un sólido.
  1. 4. 6.- Convenio de signos para definir un estado tensional.
  1. 4. 7.- Ecuaciones de equilibrio interno.
  1. 4. 8.- Elipsoide de tensiones.
  1. 4. 9.- Tensiones principales.
  1. 4. 10.- Tensiones máximas tangenciales.
  1. 4. 11.- Círculo de Mohr en el plano.
1. 5.- El elemento prismático.
1. 6.- Principios generales.
1. 7.- Planteamiento general del modelo de barras.
1. 8.- Acciones sobre estructuras: fuerzas, reacciones y esfuerzos.
1. 9.- Definiciones cinemáticas: nudos, apoyos y libertades.
1. 10.- Tipologías estructurales.
1. 11.- Isostatismo e hiperestatismo.

#### TEMA 2.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

2. 1.- Ensayo de tracción en el acero.
2. 2.- Ensayo de compresión en el hormigón.
2. 3.- El modelo elástico lineal.

#### TEMA 3.- SOLICITACIONES EN LA PIEZA PRISMÁTICA

3. 1.- Prisma mecánico.
3. 2.- Tipo de solicitaciones en una sección de un prisma mecánico.
3. 3.- Sistemas equivalentes.
3. 4.- Tensiones en los puntos de una sección.
3. 5.- Sección sometida a tracción y compresión pura.



- 3. 6.- Solución de tensiones y deformaciones.
- 3. 7.- Estudio de los corrimientos.
- 3. 8.- Problemas hiprestáticos.

**TEMA 4.- LEYES DE ESFUERZOS INTERNOS**

- 4. 1.- Integración de las ecuaciones de equilibrio.
- 4. 2.- Representación gráfica de las leyes de esfuerzos.
- 4. 3.- Diagramas de esfuerzos para algunos casos más usuales de cargas.
- 4. 4.- Leyes de esfuerzos en piezas curvas.

**TEMA 5.- TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN. TENSIONES NORMALES**

- 5. 1.- Hipótesis simplificadoras.
- 5. 2.- Ecuación general de las tensiones normales.
- 5. 3.- Conceptos de superficie y línea neutra.

**TEMA 6.- PIEZA PRISMÁTICA SOMETIDA A FLEXIÓN PURA: LEY DE NAVIER**

- 6. 1.- Pieza prismática sometida a flexión pura en su plano de simetría.
- 6. 2.- Planteamiento de tensiones y deformaciones.
- 6. 3.- Estudio de corrimientos.
- 6. 4.- Secciones transversales óptimas.
- 6. 5.- Flexión esviada.

**TEMA 7.- PIEZA PRISMÁTICA SOMETIDA A FLEXIÓN SIMPLE**

- 7. 1.- Sección sometida a flexión simple.
- 7. 2.- Planteamiento de tensiones y deformaciones.
- 7. 3.- Teoría de repartición de tensiones cortantes.
- 7. 4.- Tensiones cortantes en secciones delgadas.

**TEMA 8.- PIEZA PRISMÁTICA SOMETIDA A FLEXIÓN COMPUESTA**

- 8. 1.- Sección sometida a flexión compuesta.
- 8. 2.- Planteamiento de tensiones y deformaciones.
- 8. 3.- Línea neutra.
- 8. 4.- Módulo resistente.
- 8. 5.- Núcleo central.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 3 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

### **TEMA 9.- TORSIÓN**

- 9. 1.- Pieza prismática sometida a torsión.
  - 9. 1. 1.- Planteamiento general del problema
  - 9. 1. 2.- Solución de tensiones y corrimientos.
  - 9. 1. 3.- Rigidez torsional.
- 9. 2.- Teoría de Coulomb para secciones circulares.
- 9. 3.- Teoría de Saint-Venant para secciones arbitrarias.
- 9. 4.- Analogías en el estudio de la torsión.
- 9. 5.- Torsión en perfiles de pared delgada.
  - 9. 5. 1.- Perfiles abiertos.
  - 9. 5. 1.- Perfiles cerrados.
- 9. 6.- Energía de deformación en el modelo monodimensional.
- 9. 7.- Problemas hiperestáticos elementales.

### **TEMA 10.- GENERALIDADES DE ESTRUCTURAS**

- 10. 1.- Piezas prismáticas.
- 10. 2.- Fuerzas exteriores y reacciones.
- 10. 3.- Expresión de los esfuerzos en función de las fuerzas exteriores.
- 10. 4.- Elongabilidad, flexibilidad y movimientos de la pieza.
- 10. 5.- Movimientos eficaces y trabajo de las fuerzas exteriores.
- 10. 6.- Medios de unión y apoyos.
- 10. 7.- Coacciones y reacciones.
- 10. 8.- Estructuras incompletas, isostáticas e hiperestáticas.
- 10. 9.- Ejemplos de estructuras planas y espaciales.

### **TEMA 11.- PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA HIPERESTÁTICO**

- 11. 1.- Energía de deformación de una viga, debida a un momento flector.
- 11. 2.- Energía de deformación de una viga, debida a un esfuerzo axial.
- 11. 3.- Energía de deformación de una viga, debida a un esfuerzo cortante.
- 11. 4.- Energía de deformación de una viga, debida a un esfuerzo torsor.
- 11. 5.- Procedimientos para determinar las reacciones hiperestáticas y los esfuerzos.

### **TEMA 12.- TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN. DESPLAZAMIENTOS**

- 12. 1.- Ecuación diferencial de la elástica. Fórmula general y casos particulares.
- 12. 2.- Ecuación universal de la elástica para vigas rectas.
- 12. 3.- Deformaciones debidas a temperaturas.



- 12. 4.- Teoremas de Mohr para vigas.
- 12. 5.- Generalización de los teoremas de Mohr para piezas angulosas de directriz recta y pórticos simples.
- 12. 6.- Generalización de los resultados.
- 12. 7.- Aplicaciones.
- 12. 8.- Fórmulas de Bresse para piezas curvas.

**TEMA 13.- ESTUDIO DE LA PIEZA RECTA**

- 13. 1.- Tipos de sustentación.
- 13. 2.- Pieza recta en voladizo.
- 13. 3.- Pieza recta apoyada o articulada en sus extremos.
- 13. 4.- Determinación de flechas y giros.
- 13. 5.- Pieza recta empotrada.
- 13. 6.- Pieza recta empotrada de sección variable.
- 13. 7.- Pieza recta empotrada-apoyada.
- 13. 8.- Pieza de varios tramos de sección variable.

**TEMA 14.- VIGA CONTINUA**

- 14. 1.- Planteamiento del problema.
- 14. 2.- Teorema de los tres momentos.
- 14. 3.- Determinación de las reacciones.
- 14. 4.- Tipos de vigas continuas.
- 14. 5.- Estudio de las deformaciones.

**TEMA 15.- PÓRTICOS SIMPLES**

- 15. 1.- Definición de pórtico simple.
- 15. 2.- Hipótesis de cálculo.
- 15. 3.- Teoremas de Mohr generalizados.
- 15. 4.- Pórticos simples de pilares articulados.
- 15. 5.- Pórticos simples de pilares empotrados.
- 15. 6.- Métodos diversos de cálculo.

**TEMA 16.- EL PRINCIPIO DE LOS TRABAJOS VIRTUALES**

- 16. 1.- El principio de los trabajos virtuales.
- 16.2.- El principio de los trabajos virtuales para elementos sometidos a flexión.
- 16.3.- El principio de los trabajos virtuales como ecuación de equilibrio o ecuación de compatibilidad.



16. 4.- Cálculo de desplazamientos mediante el principio de los trabajos virtuales en estructuras isostáticas e hiperestáticas.

#### **TEMA 17.- EL MÉTODO DE LAS FUERZAS O DE COMPATIBILIDAD**

17. 1.- Concepto de flexibilidad.
17. 2.- Pasos de aplicación del método.
17. 3.- Teorema de los tres momentos para vigas continuas.
17. 4.- Obtención de las ecuaciones de compatibilidad mediante el principio de los trabajos virtuales.

#### **TEMA 18.- EL MÉTODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS O EQUILIBRIO**

18. 1.- Concepto de rigidez.
18. 2.- Pasos de aplicación del método.
18. 3.- Obtención de las ecuaciones de equilibrio mediante el principio de los trabajos virtuales.
18. 4.- Otros métodos de cálculo: Cross y Matricial.

#### **TEMA 19.- LÍNEAS DE INFLUENCIA EN VIGAS Y PÓRTICOS SIMPLES**

19. 1.- Concepto de líneas de influencia.
19. 2.- Determinación mediante el método de la carga fija.
19. 3.- Aplicación del principio de los trabajos virtuales al cálculo de líneas de influencia.
19. 4.- Teorema de reciprocidad. Aplicación al cálculo de líneas de influencia.

#### **TEMA 20.- ESTUDIO DE LA PIEZA CURVA**

20. 1.- Pieza curva isostática.
20. 2.- Pieza curva hiperestática.
20. 3.- Pieza empotrada en sus extremos.
20. 4.- Pieza empotrada y articulada.
20. 5.- Centro elástico.

#### **TEMA 21.- INTRODUCCIÓN AL CÁLCULO PLÁSTICO**

21. 1.- Objetivos e hipótesis básicas del cálculo plástico.
21. 2.- Criterios de plastificación.
21. 3.- Flexión pura elastoplástica.
21. 4.- Influencia del axil y cortante.
21. 5.- Colapso estructural.



- 21. 6.- Carga de colapso.
- 21. 7.- Métodos de cálculo de la carga de colapso.

**B) ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS ARTICULADAS**

**TEMA 22.- TEORÍA GENERAL DE ESTRUCTURAS ARTICULADAS PLANAS**

- 22. 1.- Tipología.
- 22. 2.- Clasificación.
- 22. 3.- Sistemas isostáticos e hiperestáticos.

**TEMA 23.- ESFUERZOS EN ESTRUCTURAS ARTICULADAS ISOSTÁTICAS**

- 23. 1.- Método de Cremona-Mawell.
- 23. 2.- Método de los nudos.
- 23. 3.- Método de las secciones.
- 23. 4.- Celosías compuestas. Método de las celosías secundarias.
- 23. 5.- Celosías complejas. Método de Henneberg.

**TEMA 24.- DESPLAZAMIENTOS EN ESTRUCTURAS ARTICULADAS ISOSTÁTICAS**

- 24. 1.- El principio de los trabajos virtuales en estructuras articuladas.
- 24. 2.- Expresión de equilibrio y compatibilidad mediante el principio de los trabajos virtuales.
- 24. 3.- Cálculo de desplazamientos mediante el principio de los trabajos virtuales.
- 24. 4.- Desplazamientos debidos a variación de temperatura, defectos de montaje o descenso de apoyos.

**TEMA 25.- ESTRUCTURAS ARTICULADAS HIPERESTÁTICAS**

- 25. 1.- Método de compatibilidad.
- 25. 2.- Método de equilibrio.
- 25. 3.- Cálculo de desplazamientos.
- 25. 4.- Esfuerzos debidos a variación de temperatura, defectos de montaje o descenso de apoyos.

**TEMA 26.- ESTRUCTURAS ARTICULADAS ESPACIALES**

- 26. 1.- Tipos más usuales en edificación.
- 26. 2.- Estabilidad, isostaticidad e hiperestaticidad.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 7 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

- 26. 3.- Método de los nudos y las secciones
- 26. 4.- Análisis mediante métodos de equilibrio.

**B) TEMAS GENERALES**

**TEMA 27.- EVALUACIÓN DE CARGAS EN LA EDIFICACIÓN**

- 27. 1.- Acciones en edificación según la Norma Básica NBAE-95.
- 27. 2.- Ponderación de acciones y combinación según la Norma EHE – 98.

**TEMA 28.- INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS Y EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES**

- 28. 1.- La Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-94.
- 28. 2.- Análisis de los daños más frecuentes y causas de diseño que los motivan.

**TEMA 29.- INTRODUCCIÓN AL DISEÑO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS**

- 29. 1.- Estructuras metálicas
  - 29. 1. 1.- Evolución histórica.
  - 29. 1. 2.- Ventajas e inconvenientes de las estructuras metálicas.
  - 29. 1. 3.- El acero estructural. Perfiles laminados.
- 29. 2.- Seguridad en las estructuras metálicas
  - 29. 2. 1.- Principios de seguridad en el cálculo.
  - 29. 2. 2.- Criterios de plastificación.
  - 29. 2. 3.- Normativa.

**TEMA 30.- COMPRESIÓN**

- 30. 1.- Pandeo I
  - 30. 1. 1.- Teoría de Euler. Carga crítica.
  - 30. 1. 2.- Influencia de las condiciones de apoyo. Longitud de pandeo.
  - 30. 1. 3.- Elementos con carga excéntrica.
  - 30. 1. 4.- Elementos con deformaciones previas.
- 30. 2.- Pandeo II
  - 30. 2. 1.- Método del coeficiente de pandeo.
  - 30. 2. 2.- Pandeo en régimen anelástico.
  - 30. 2. 3.- Elemento con axil variable.
  - 30. 2. 4.- Elemento con axil variable y sección no uniforme.
  - 30. 2. 5.- Métodos aproximados de cálculo de la carga crítica.
- 30. 3.- Pandeo en piezas compuestas.
- 30. 4.- Pandeo global de estructuras.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 8 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

# PROGRAMA DE LA ASIGNATURA ESTRUCTURAS II

(ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE GRANADA)

## LA ESTRUCTURA

### Lección 1.- GENERALIDADES.

- 1.1.- Concepto y definición de estructura.
- 1.2.- Nacimiento.
- 1.3.- Visión general e histórica de la estructura en la Edificación.
- 1.4.- Función y forma en las estructuras:
  - \* El hecho Arquitectónico
  - \* La necesidad de la estructura
- 1.5.- Los materiales estructurales.
- 1.6.- Condiciones exigibles a la estructura.
- 1.7.- Lo fundamental y lo accesorio en las estructuras.
- 1.8.- Tipologías:
  - \* Sistemas estructurales frente a acciones verticales
  - \* " " " " " horizontales
  - \* Estructuras lineales
  - \* " superficiales
  - \* " volumétricas
  - \* " espaciales
- 1.9.- La estructura como vehículo de transmisión de cargas a la sustentación.
- 1.10.- Diferencia y similitud entre estructura y cimentación.

### Bibliografía:

- E. Torroja: RAZON Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES. (cap. I)
- L. Benevolo: HISTORIA DE LA ARQUITECTURA. (cap. I)
- S. Gaideon : El PRESENTE ETERNO: LOS COMIENZOS DE LA ARQUITECTURA. (pg. 187)
- L. Moya Blanco: CONSIDERACIONES PARA LA TEORIA DE LA ESTETICA. (cap. X)
- Spirókostof: HISTORIA DE LA ARQUITECTURA. (caps. I y II)
- J. Loffarga: MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. (Cap. II)
- J. Calavera: PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. (INTEMAC). Tomo II. (cap. I)

PROGRAMA DOCENTE

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN      Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40      Página: 9 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

## LA ESTRUCTURA

### Lección 2.- EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS.

- 2.1.- Objetivos del cálculo.
- 2.2.- Objetivos del diseño.
- 2.2.- Breve historia de la Teoría del cálculo:
  - \* La intuición.
  - \* El nacimiento y desarrollo del cálculo
  - \* El obligado perfeccionamiento como solución a la complejidad
  - \* El principio de estática, de estética y de economía.
- 2.3.- Sistemas de diseño elástico y diseño anelástico.
- 2.4.- Acciones, Reacciones, Solicitaciones y Tensiones.
- 2.5.- Esquema general de las solicitaciones.
- 2.6.- Diseño de enlaces: coacciones y grados de libertad.
- 2.7.- Diseño de estructuras isostáticas e hiperestáticas.
- 2.8.- Equilibrio estático y equilibrio elástico.
- 2.9.- Hipótesis generales de cálculo:
  - \* Ley de Hooke
  - \* Principio de Bernouilli
  - \* " de Superposición de Efectos
  - \* " de Sant Venant
- 2.10.- Teoremas de Mohr. interpretación gráfica.
- 2.11.- Notación y convenio de signos.

#### Bibliografía:

- *Fdz. Casado: CALCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES. 8ª edición. (pgs.129 a 138).*
- *Rgz. Avial: PROBLEMAS RESUELTOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES, (caps. 1ª y 3ª).*
- *M. Vázquez y E. López.: MECANICA PARA INGENIEROS. (caps. 5 y 6).*
- *M. Vázquez : RESISTENCIA DE MATERIALES. (apdos. 3.3 y 3.4)*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC). Tomo II. (cap. 2)*
- *Ortiz Berrocal: RESISTENCIA DE MATERIALES. (cps. 2ª y 4ª)*
- *Ferdinand P. Beer; MECANICA VECTORIAL PARA INGENIEROS . (caps. 4ª y 7ª)*
- *E. Alarcón Álvarez (y otros): CALCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. (Prólogo).*



## DISEÑO DE ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

### Lección 3.- INTRODUCCION.

- 3.1.- Concepto y características de la Estructura Reticular o Enramado.
- 3.2.- Los diferentes Métodos de Cálculo para el diseño de las estructuras reticulares.
- 3.3.- El elemento barra y el elemento nudo.
- 3.4.- Elástica de una pieza recta.
- 3.5.- Diseño de la pieza recta de sección constante.
- 3.6.- " " " " variable.
- 3.7.- Diseño y cálculo de la pieza recta simplemente apoyada solicitada por fuerzas.
- 3.8.- " " " " " " pares.
- 3.9.- " " " " perfectamente empotrada.
- 3.10.- " " " " apoyada-empotrada.

#### Bibliografía:

- *Fernández Casado: CALCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES (caps I, II, V, y Apéndice Segunda).*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC). Tomo I. (cap. 3)*
- *M. Guzmán: ESTRUCTURAS HIPERESTÁTICAS DE NUDOS RIGIDOS. (apartados 1 a 6 y Apéndice III)*



# DISEÑO DE ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

## Lección 4.- DISEÑO TRASLACIONAL E INTRASLACIONAL.

4.1.- Concepto de Traslacionalidad e Intraslacionalidad.

4.2.- Causas de la traslacionalidad:

- \* Asimetría de la estructura
- \* Asimetría del material estructural
- \* Asimetría del sistema exterior de cargas

4.3.- Grados de traslacionalidad.

4.4.- Grupos Co-Traslacionales.

### Bibliografía:

- *M. Vázquez: RESISTENCIA DE MATERIALES. (Apartados 11.2, 11.8 y 11.9)*
- *J. Calavera PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC). Tomo I. (Apartados 5.1.2 y 10.4)*



**DISEÑO DE  
ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS**

**Leción 5.- METODO DE LA PENDIENTE-DEFORMACION.**

- 5.1.- Introducción y criterio de signos.
- 5.2.- Equilibrio de la barra aislada.
- 5.3.- Deducción de las Fórmulas Fundamentales.
- 5.4.- Interpretación y significado de sus coeficientes.
- 5.5.- Desarrollo del método.
- 5.6.- Diagramas de solicitaciones.
- 5.7.- Diagramas de fibras traccionadas.
- 5.8.- Deformada a estima según el diagrama de fibras traccionadas.
- 5.9.- Diseño de la estructura por limitación de flechas.
- 5.10.- " " " desplazamientos.
- 5.11.- " " " giros.
- 5.12.- " " " pandeo.
- 5.12.- " " " de secciones en las barras.
- 5.13.- " " en función del material estructural.
- 5.14.- " " con materiales mixtos.

**Bibliografía:**

- *Mc Cormac Pilling: ANALISIS DE ESTRUCTURAS: METODOS CLASICO Y MATRICIAL. (cap. 13).*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC). Tomo I. (Apartados 4.1 y 4.2.)*
- *Ferández Casado: CALCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES. (pgs. 35 a 41)*
- *M. Guzmán: ESTRUCTURAS HIPERESTATICAS DE NUDOS RIGIDOS. (Apartados 7 a 9)*
- *Felix Lazo: PROBLEMAS DE ESTRUCTURAS DE NUDOS RIGIDOS Y HORMIGON ARMADO. (pags. 7 a 19)*



**DISEÑO DE  
ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS**

**Lección 6.- SIMPLIFICACIONES POR SIMETRÍA Y ANTIMETRÍA.**

6.1.- Diseño de estructuras simétricas y asimétricas:

- \* Simetría geométrica
- \* " mecánica
- \* " de acciones
- \* Antimetría de acciones

6.2.- El Teorema de André en el diseño de estructuras.

6.3.- Solicitaciones en la sección del eje de simetría.

6.4.- Movimientos " " "

6.4.- Solicitaciones " " antimetría.

6.5.- Movimientos " " "

6.5.- Aplicaciones del Método de la Pendiente-Deformación en el diseño.

6.6.- Diseño en la simetría y la antimetría por limitaciones de flecha.

6.7.- " " " " desplazamientos.

6.8.- " " " " giros.

6.9.- " " " " pandeo.

6.10.- " " " " en función del material estructural.

6.11.- " " " " con materiales mixtos.

**Bibliografía:**

- *Fernández Casado: CALCULO DE ESTRUCTURAS RETICULARES. (pgs. 250 a 294)*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. (INTEMAC). Tomo I (Apartados 4.3.7 a 4.3.16 y pgs. 120 a 131)*
- *M. Vázquez: RESISTENCIA DE MATERIALES. (Cap. 11.IV)*
- *M. Guzmán: ESTRUCTURAS HIPERESTATICAS DE NUDOS RIGIDOS. (Apartados 14 y 18)*
- *Félix Lazo: PROBLEMAS DE ESTRUCTURAS DE NUDOS RIGIDOS Y HORMIGÓN ARMADO. (pgs. 38 a 68)*



## DISEÑO DE

### ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

#### Lección 7.- TEORIA DE APOYOS ELASTICOS Y EMPOTRAMIENTOS

##### FLEXIBLES.

7.1.- Noción y causas del apoyo elástico:

- \* Desplazamiento del apoyo
- \* Giro del apoyo

7.2.- Diseño de empotramientos flexibles:

- \* En apoyos
- \* En nudos

7.3.- Constante de resorte o módulo de junta.

7.4.- Diagrama momento-giro.

7.5.- Momentos de empotramiento.

7.6.- Momentos inducidos por translación de un apoyo.

7.7.- Aplicación a pórticos con tirante.

##### Bibliografía:

- J. Calavera: *PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC). Tomo 1. (Cap. 6)*
- M. Guzmán: *ESTRUCTURAS HIPERESTATICAS DE NUDOS RIGIDOS. (Apéndices I-4 y I-5)*
- Félix Lazo: *PROBLEMAS DE ESTRUCTURAS DE NUDOS RIGIDOS DE HORMIGON ARMADO. (pgs. 110 a 116)*
- Fernández Casado, (pgs. 39 y 183)

7

PROGRAMA DOCENTE

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN      Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40      Página: 15 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

## DISEÑO DE

### ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

#### Lección 8.- METODOS APROXIMADOS DE CALCULO.

- 8.1.- Simplificación y aproximación.
- 8.2.- Diseño de entramados con carga vertical:
  - \* Hipótesis fundamentales.
  - \* Localización del punto de inflexión de las barras
- 8.3.- Diseño por el método del pórtico o del portal:
  - \* Campo de aplicación
  - \* Fundamentos de la simplificación
  - \* Desarrollo del método.
- 8.4.- Diseño por el método baricéntrico o de la ménsula:
  - \* Campo de aplicación
  - \* Fundamentos del método
  - \* Desarrollo del método
- 8.5.- Diseño por métodos semiempíricos:
  - \* Campo de aplicación
  - \* Aplicación en vigas
  - \* " en pórticos

#### Bibliografía:

- *INSTRUCCION PARA EL PROYECTO Y LA EJECUCION DE OBRAS DE HORMIGON EN MASA O ARMADO (EH-91)*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC) Tomo I. (cap. 15)*
- *M. Guzmán: ESTRUCTURAS HIPERESTATICAS DE NUDOS RIGIDOS. (Apartado 22 y Apéndice II)*
- *Félix Lazo: PROBLEMAS DE ESTRUCTURAS DE NUDOS RIGIDOS Y HORMIGON ARMADO. (pgs. 85 a 96)*

**PRACTICA DE DISEÑO.-** A partir de esta lección, el alumno presentará uno de sus proyectos para que, bajo la indicación del profesor, diseñe la estructura correspondiente y calcule un pórtico del edificio. Este ejercicio, que se desarrollará a partir de este momento, se dará por finalizado cuando, después de impartidas las clases correspondientes al Hormigón Armado, se armen las barras del pórtico y la cimentación correspondiente.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN      <sup>B</sup> Secretario/a de Departamento

PROGRAMA DOCENTE

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40      Página: 16 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

## DISEÑO DE

### ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

#### Lección 9.- CALCULO MATRICIAL (INTRODUCCION).

9.1.- Generalidades y ventajas del método.

9.2.- Campo de aplicación.

9.3.- Sistematización del Método de la Pendiente-Deformación.

9.4.- Repaso de conceptos básicos de matrices:

\* Definición y concepto de matriz.

\* Matriz simétrica.

\* " traspuesta.

\* " inversa.

\* " idéntica.

\* " nula.

9.5.- Hipótesis básicas.

9.6.- Discretización de la estructura.

9.7.- Sistemas de coordenadas:

\* General o global.

\* Local o particular.

#### Bibliografía:

- M. Guzmán: INICIACION AL CALCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. (Apartados 1, 2 y 5)
- E. Alarcón Alvarez (y otros): CALCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. (Cap. 1)
- V. Quintana Ripoll: ESTRUCTURAS ESPECIALES EN LA EDIFICACION. ANALISIS Y CALCULO. (Lecciones 7 y 8)
- I. S. Sokolnikoff: ANALISIS TENSORIAL. (Párrafo 110)
- Charles Mead Norris (y otros): ANALISIS ELEMENTAL DE ESTRUCTURAS. (Apartados 12.1 y 12.2)
- J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC) Tomo I. (cap. 12)



## DISEÑO DE

### ESTRUCTURAS RETICULARES DE NUDOS RIGIDOS

#### Lección 10.- CALCULO MATRICIAL (CARGAS, RIGIDECES Y DESPLAZAMIENTOS).

10.1.- Matriz de cambio de sistema de referencia.

10.2.- Matriz de movimiento:

\* Vector de desplazamiento.

\* " de rotación

10.3.- Vector de carga.

10.4.- Matriz de Rigidez y matriz de Flexibilidad.

10.4.- Condiciones de contorno.

10.5.- Componentes dependientes e independientes del desplazamiento.

10.6.- Relaciones de contragradencia.

#### Bibliografía:

- *Mc. Cormac Eling: ANALISIS DE ESTRUCTURAS: METODOS CLASICO Y MATRICIAL. (Capítulos 16 al 19)*
- *M. Vázquez: RESISTENCIA DE MATERIALES. (puntos 1.4; 1.5; 2.4 y 2.5)*
- *J. Calavera: PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. (INTEMAC) Tomo I. (cap. 12)*
- *M. Guzmán: INICIACION AL CALCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. (Apartados 3; 4; 6 y 7)*
- *E. Alarcón Alvarez (y otros): CALCULO MATRICIAL DE ESTRUCTURAS. (Cap. 2)*
- *V. Quintana Ripoll: ESTRUCTURAS ESPECIALES EN LA EDIFICACION. ANALISIS Y CALCULO. (lecciones 7 y 8)*
- *Charles Head Norris (y otros): ANALISIS ELEMENTAL DE ESTRUCTURAS. (Apartados 12.3 y 12.4)*

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN

10

Secretario/a de Departamento

PROGRAMA DOCENTE

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40 Página: 18 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA



## TEMARIO DE ESTRUCTURAS III

### E.T.S. Arquitectura de la Universidad de Granada

- Tema 1: Historia.**  
Historia. Ventajas e inconvenientes. Aceros estructurales. Perfiles laminados. Perfiles conformados en frío.
- Tema 2: Principios de Seguridad.**  
Principios de Seguridad. Criterios de Plasticación. Normativa existente. Unidades. Normativas de acciones sobre edificación y normativa de acciones sobre puentes.
- Tema 3: Pandeo I.**  
Curva de Euler. Longitud de Pandeo. Imperfecciones. Deformaciones previas.
- Tema 4: Pandeo II.**  
Pandeo en régimen anelástico. Tensiones residuales. Método de Duthéil. Curvas europeas de pandeo. Flexocompresión.
- Tema 5: Pandeo III.**  
Piezas compuestas. Influencia del cortante en piezas compuestas. Alma equivalente. Esbeltez complementaria. Elementos de enlace, presillas, celosía.
- Tema 6: Pandeo Global.**  
Modos de pandeo. Esfuerzos en segundo orden. Carga crítica de inestabilidad general. Cálculo en segundo orden. Método del Eurocódigo 3. Método de la MV-103.
- Tema 7: Tracción.**  
Tipología de secciones. Secciones de cálculo. Estudio teórico.



- Tema 8: Torsión.**  
Repaso de torsión en perfiles circulares. Torsión uniforme. Perfiles delgados cerrados. Perfiles delgados ramificados. Perfiles multicelulares. Introducción a la torsión no uniforme. Ecuación general de la torsión. Método de la MV-103.
- Tema 9: Elementos a flexión I.**  
Tipología. Repaso análisis elástico de secciones y elementos.
- Tema 10: Elementos a flexión II.**  
Análisis elastoplástico y rígido-plástico de secciones y elementos.
- Tema 11: Elementos a flexión III.**  
Elementos a flexión. Pandeo de placas. Abolladura del alma. Teoría elástica. Rigidizadores. Reserva postcrítica.
- Tema 12: Elementos a flexión IV.**  
Clasificación de las secciones. Tipos de análisis según la clase de secciones. Eurocódigo 3.
- Tema 13: Pandeo lateral y otras formas de pandeo.**  
Momento crítico de pandeo lateral. Carga crítica de pandeo a torsión. Carga crítica de pandeo a flexión y torsión.
- Tema 14: Cálculo de uniones atornilladas.**  
Tipología de uniones atornilladas. Tipología de tornillos. Cálculo según MV 103.
- Tema 15: Cálculo de uniones soldadas.**  
Tipología de uniones soldadas. Cálculo según MV-103.
- Tema 16: Tipología de uniones y aparatos de apoyo.**
- Tema 17: Tipología de Edificios.**
- Tema 18: Introducción al análisis de Estructuras Mixtas.**  
Análisis de la sección. Cálculo de conectores.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 20 / 38



7Gq8CdbGik4f0wk8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

# PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

## ESTRUCTURAS IV

5º CURSO DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

### 1.- Muros de Sótano.-

- \* Tipologías
- \* Funcionamiento
- \* Empuje activo
- \* " pasivo
- \* " al reposo
- \* Diseño de muros mediante tablas
- \* Armaduras principales y transversales
- \* Coeficiente de vuelco
- \* Coeficiente de deslizamiento
- \* Comprobación a cortante
- \* Recomendaciones constructivas

### 2.- Cimentaciones profundas: Pilotes.-

- \* Tipologías
- \* Resistencia por fuste
- \* " en punta
- \* Carga de undimiento
- \* Encapados
- \* Pilotes en arenas
- \* " en arcilla
- \* Recomendaciones constructivas

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 21 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

### 3.- Losas de cimentación.-

\* Criterios de elección de tipología de cimentación

\* Losas rígidas

- Núcleo central
- Funcionamiento de la losa rígida
- Coeficiente de balasto
- Diseño de losas mediante tablas
- Armado de losas

\* Losas flexibles

- Criterios de elección y funcionamiento
- Distribución de tensiones bajo las losas flexibles
- Simplificaciones de la distribución de tensiones

\* Comprobaciones a punzonamiento

\* Recomendaciones constructivas

### 4.- Estudio geotécnico.-

Se estudiará y comentará un estudio geotécnico emitido por un laboratorio de una obra concreta, con objeto de que los alumnos puedan elegir el tipo de cimentación en base al mismo.

Granada, 3 de Enero de 2000

El profesor



Felipe Martín Chica

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 22 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

Estructuras IV. Programa de clases teóricas.

TEMA 1. FORJADOS UNIDIRECCIONALES.

- 1.1. Forjados unidireccionales. Introducción.
- 1.2. Elementos básicos del forjado unidireccional.
- 1.3. Métodos de cálculo de esfuerzos.
  - 1.3.1. Métodos elásticos.
  - 1.3.2. Métodos plásticos.
    - 1.3.2.1. Fórmulas de cálculo admitiendo las redistribuciones de la norma EHE.
    - 1.3.2.2. Hipótesis de carga.
- 1.4. Armado del forjado.
- 1.5. Deformaciones en la edificación.
- 1.6. Detalles de apoyo de forjados.
  - 1.6.1. Apoyo en muros de carga.
  - 1.6.2. Apoyo en vigas de hormigón.
  - 1.6.3. Apoyo en vigas metálicas.
- 1.7. Zonas especiales.
  - 1.7.1. Voladizos.
  - 1.7.2. Nervios transversales y de atado.
  - 1.7.3. Huecos.
  - 1.7.4. Losas de escalera.
- 1.8. Torsiones de equilibrio y torsiones de compatibilidad en los apoyos del forjado.

TEMA 2. FORJADOS BIDIRECCIONALES.

- 2.1. Generalidades.
- 2.2. Modalidades constructivas.
  - 2.2.1. Placas de hormigón armado macizas.
  - 2.2.2. Placas aligeradas.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 23 / 38



7Gq8CdbGik4f0wk8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

- 2.2.2.1. Bovedillas perdidas.
- 2.2.2.2. Moldes recuperables.
- 2.3. Cálculo de esfuerzos.
  - 2.3.1. Método de los pórticos virtuales.
  - 2.3.2. Método del emparrillado plano.
  - 2.3.3. Cálculo espacial.
- 2.4. Puzonamiento. Detalles constructivos de ábacos.
- 2.5. Huccos y zonas especiales.

### TEMA 3. EDIFICIOS DE GRAN ALTURA.

- 3.1. Generalidades.
- 3.2. El problema de la deformabilidad.
- 3.3. Soluciones estructurales para rascacielos.
  - 3.3.1. Soluciones de pantallas aisladas. Distribución de la fuerza lateral entre pantallas.
  - 3.3.2. Pantallas acopladas. Interacción de entramados con pantallas y núcleos. Método de Khan y Sbarounis.
- 3.4. Cimentaciones para edificios esbeltos.
- 3.5. Estabilidad global de edificios esbeltos ante acciones laterales.

### TEMA 4. EDIFICACIONES SITUADAS EN ZONAS SÍSMICAS.

- 4.1. Efectos del sismo sobre las edificaciones.
- 4.2. Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-94.
  - 4.2.1. Criterios de diseño y prescripciones constructivas.
  - 4.2.2. Cálculo de edificios frente a sismo.

### TEMA 5. ESTRUCTURAS PRETENSADAS.

- 5.1. Conceptos generales sobre el pretensado. La fuerza de pretensado.
- 5.2. Pérdidas de pretensado.
- 5.3. Cálculo en estado límite de servicio.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 24 / 38



7Gq8CdbGik4f0wk8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

- 5.4. Cálculo en estado límite último ante solicitaciones normales.
- 5.5. Cálculo en estado límite último ante solicitaciones tangenciales.
- 5.6. Aplicaciones en edificación y detalles constructivos.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 25 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

# UNIVERSIDAD DE GRANADA

## MEMORIA DE LA ASIGNATURA

### 1.- Datos generales

**Datos del académico:**

Benavent Climent, Amadeo - DNI 73913222P

e-mail: obarquitce@coac.net

**Denominación de la asignatura:**

ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES

**Titulación, programa o curso al que corresponde:**

ARQUITECTURA SUPERIOR - Opcional del Segundo Ciclo

**Centro de adscripción :**

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 26 / 38



7Gq8CdbGik4f0wk8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

## 2.-Fundamentación y criterios generales

Los terremotos son sin lugar a duda una de las catástrofes naturales más destructivas en cuanto a víctimas y pérdidas materiales. España se encuentra situada en una zona de sismicidad moderada dentro de la cual, el área de Granada presenta los mayores niveles de peligrosidad sísmica de la península. Todo ello justifica con creces la necesidad de incluir en el currículum académico de los estudios de arquitectura de la Escuela de Granada materias que proporcionen al futuro arquitecto conocimientos suficientes sobre el tema.

La acción sísmica presenta diferencias importantes respecto a las acciones de tipo gravitatorio a las que el estudiante está acostumbrado por cursos anteriores de estructuras. Por una parte, las acciones sísmicas son de naturaleza esencialmente dinámica lo hace que la solución del problema estructural dinámico sea notablemente más complicada que la de su homólogo estático, debido a que además de las fuerzas resistentes elásticas de la estructura intervienen también fuerzas de inercia y fuerzas de amortiguamiento, todas ellas dependientes del tiempo. Por otra parte, las acciones sísmicas se caracterizan por el hecho de ser de una intensidad extrema y tener una probabilidad de ocurrencia muy pequeña. Para abordar esta combinación de carga extrema y baja probabilidad de ocurrencia hay que recurrir a una estrategia dual de proyecto que difiere de la utilizada en el caso de las acciones gravitatorias. Ello aconseja que los conocimientos relativos al proyecto sismorresistente de estructuras se aborden en asignaturas específicas de la carrera.

Como criterio general, se ha intentado dar un enfoque eminentemente práctico a la asignatura sin descuidar por ello el rigor conceptual. Se pretende que el alumno entienda el efecto de carga que el sismo tiene sobre las estructuras, haciendo especial énfasis en su interpretación en términos de energía como base para construir un marco lógico sobre el cual plantear las filosofías y metodologías de proyecto sismorresistente actuales. Durante el curso se abordan los métodos de proyecto preconizados por la norma sísmica española vigente (análisis modal espectral) y se introducen métodos avanzados basados en la teoría de la energía de Housner-Akiyama.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN      Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40      Página: 27 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

## PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

### Datos generales de la materia

**Denominación :** Estructuras Sismoresistentes  
**Titulación :** Arquitecto superior  
**Centro :** Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada  
**Prerequisitos :**  
**Régimen :** Anual  
**Valor en créditos :** 6  
**Horas semana :** 2

### Perfil del alumno

**Aptitudes/Capacidades :**  
Capacidad para el manejo de conceptos físicos y matemáticos.

**Actitudes :**  
Interés en las estructuras y actitud participativa en las clases.

**Conocimientos previos :**  
Se presupone que el alumno está ya familiarizado con las teorías de la estática de las estructuras y posee conocimientos básicos sobre cálculo matricial.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 28 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

**PARTE I: DINÁMICA DE ESTRUCTURAS**

**Tema 1: Introducción**

- 1.1. Objetivo de la dinámica de estructuras
- 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

**UNIDAD 1: Comportamiento dinámico de sistemas de un grado de libertad**

**Tema 2: Vibraciones libres**

- 2.1. Componentes básicas del sistema dinámico
- 2.1. Ecuación del movimiento del sistema dinámico básico
- 2.1. Influencia de las cargas gravitatorias
- 2.1. Influencia de los movimientos en la base
- 2.1. Análisis de las vibraciones libres sin amortiguamiento
- 2.1. Análisis de las vibraciones libres con amortiguamiento

**PRÁCTICA 1: Determinación de las propiedades dinámicas de una estructura sencilla**

**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 carga periódicas expresadas mediante series de Fourier

**PRÁCTICA 2: Cálculo de la respuesta de una estructura sencilla sometida a una carga periódica**

**Tema 5: Respuesta dinámica bajo cargas impulsivas**

- 5.1. Naturaleza de las cargas impulsivas
- 5.2. Impulso rectangular
- 5.3. Espectro de respuesta
- 5.4. Análisis aproximado de la respuesta bajo cargas impulsivas

**PRÁCTICA 3: Cálculo de la respuesta de una estructura bajo una carga impulsiva**

**Tema 6: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Métodos de superposición.**

- 6.1. Análisis en el dominio del tiempo
- 6.2. Introducción al análisis en el dominio de la frecuencia

**Tema 7: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Métodos paso a paso**

- 7.1. Conceptos generales
- 7.2. Métodos de integración numérica. Métodos de Newmark-Beta.
- 7.3. Formulación incremental para sistemas no lineales



**UNIDAD 2: Comportamiento dinámico de sistemas de varios grados de libertad**

**Tema 8: Formulación de las ecuaciones del movimiento**

- 8.1. Selección de los grados de libertad
- 8.2. Condición de equilibrio dinámico

**Tema 9: Evaluación de las propiedades estructurales del sistema**

- 9.1. Propiedades elásticas: matriz de rigidez
- 9.2. Propiedades másicas: matriz de masas
- 9.3. Propiedades de amortiguamiento: matriz de amortiguamiento
- 9.4. Cargas externas: vector de cargas externas

**PRÁCTICA 4: Cálculo de las matrices de rigidez y de masas de una estructura**

**Tema 10: Vibraciones libres sin amortiguamiento**

- 10.1. Frecuencias naturales de vibración
- 10.2. Modos propios de vibración
- 10.3. Propiedades de los modos de vibración: condiciones de ortogonalidad

**PRÁCTICA 5: Cálculo de las frecuencias naturales y modos propios de una estructura**

**Tema 11: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Métodos de superposición.**

- 11.1. Coordenadas normales
- 11.2. Desacoplamiento de las ecuaciones del movimiento.
- 11.3. Cálculo de la respuesta por superposición de desplazamientos modales

**PRÁCTICA 6: Cálculo de la respuesta de una estructura por superposición modal**

**Tema 12: Respuesta dinámica bajo cargas generales. Métodos paso a paso**

- 12.1. Introducción.
- 12.2. Ecuaciones incrementales del movimiento
- 12.3. Integración paso a paso por el método de la aceleración lineal



**PARTE II: FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA SÍSMICA**

**Tema 13: Aspectos básicos de sismología**

- 13.1. Sismicidad
- 13.2. Principales parámetros de los terremotos.
- 13.3. Peligrosidad sísmica. Vulnerabilidad sísmica. Riesgo sísmico

**Tema 14: Definición de la acción sísmica en base a acelerogramas.**

**Cálculos dinámicos directos.**

- 14.1. Introducción
- 14.2. Acelerogramas históricos
- 14.3. Acelerogramas artificiales
- 14.4. Respuesta sísmica obtenida mediante cálculos dinámicos directos

**PRÁCTICA 7:** Cálculo dinámico directo por ordenador de la respuesta sísmica de una estructura real sometida a un acelerograma histórico. Análisis de los resultados. (El programa informático ha sido realizado por el profesor y se proporcionará gratuitamente a los alumnos)

**Tema 15: Definición de la acción sísmica en base a espectros elásticos de respuesta**

**Método de superposición modal (análisis modal espectral).**

- 15.1. Espectros y pseudo-espectros sísmicos elásticos de respuesta.
- 15.2. Factores que influyen en los espectros elásticos de respuesta
- 15.3. Definición de los espectros elásticos de respuesta de proyecto
- 15.4. Espectros de Newmark y Hall. Espectros de Seed e Idriss.
- 15.5. Espectros de proyecto de la norma española NCSB-94
- 15.6. Cálculo de la respuesta sísmica de sistemas lineales y elásticos
  - 15.6.1. Respuesta de sistemas de un grado de libertad sobre suelo rígido sometidos a una componente traslacional del terremoto
  - 15.6.2. Respuesta de sistemas de varios grados de libertad sobre suelo rígido sometidos a una componente traslacional del terremoto. Combinación de respuestas modales máximas.
- 15.7. Introducción a la respuesta sísmica de sistemas elasto-plásticos.

**PRÁCTICA 8:** Cálculo de la respuesta sísmica de una estructura sencilla utilizando espectros elásticos de respuesta.

**Tema 16: Definición de la acción sísmica en términos de input de energía.**

**Metodología de proyecto sismorresistente basada en el balance energético**

- 16.1. Input total de energía en sistemas de un grado de libertad
  - 16.1.1. Ecuación de equilibrio de fuerzas y ecuación del balance de energía
  - 16.1.2. Características básicas del input de energía
- 16.2. Input total de energía en sistemas de varios grados de libertad
- 16.3. Espectros de input de energía de proyecto propuestos por Benavent et. al. para zonas de sismicidad moderada.
- 16.4. Fundamento de los métodos de proyecto sismorresistente basados en la teoría de la energía de Housner-Akiyama.

**PRÁCTICA 9:** Cálculo dinámico directo por ordenador de la respuesta sísmica de sistemas elásticos y elasto-plásticos de un grado de libertad, con el fin de evaluar el input de energía y verificar su estabilidad.



**PARTE III: ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES DE EDIFICACIÓN.**  
**FILOSOFÍA Y PROYECTO**

**Tema 17: Estrategias en el proyecto sismoresistente de estructuras**

- 17.1. Estrategia dual en el proyecto sismoresistente. Tendencias actuales.
- 17.2. Estrategias de proyecto
  - 17.2.1. Estructuras convencionales tipo "columna débil-viga fuerte"
  - 17.2.2. Incremento de la capacidad de disipación de energía de cada planta
    - 17.2.2.1. Fallo a cortante en elementos de hormigón armado.
    - 17.2.2.2. Problemática de las columnas cortas.
    - 17.2.2.3. Estructuras mixtas rígido-flexibles
  - 17.2.3. Estrategias orientadas a la mitigación de daños.
    - 17.2.2.4. Estructuras tipo "viga débil-columna fuerte".
    - 17.2.2.5. Estructuras de dispersión de daños.
  - 17.2.4. Estrategias que utilizan de forma positiva la concentración de daño
    - 17.2.4.1. Estructuras con aislamiento de base
    - 17.2.4.2. Estructuras con concentración de daño en la última planta
    - 17.2.4.3. Estructuras con concentración de daño en primera planta
- 17.3. Clasificación de las estructuras sometidas a movimientos sísmicos
  - 17.3.1. Estructuras sismoresistentes convencionales
  - 17.3.2. Estructuras avanzadas dotadas de sistemas de control de respuesta
    - 17.3.2.1. Estructuras con aislamiento de base
    - 17.3.2.2. Estructuras equipadas con disipadores de energía
    - 17.3.2.3. Estructuras equipadas con sistemas de control activo

**Tema 18: Aspectos importantes en el proyecto sismoresistente de estructuras**

- 18.1. Espectros de proyecto y coeficiente cortante basal
- 18.2. Ductilidad
- 18.3. Distribución de los coeficientes de fuerza cortante
- 18.4. Efectos de torsión
- 18.5. Momentos de vuelco. Axiles adicionales en los pilares
- 18.6. Efecto P- $\Delta$
- 18.7. Control del desplazamiento entre plantas
- 18.8. Criterios heurísticos de proyecto
  - 18.8.1. Simetría
  - 18.8.2. Redundancia estructural
  - 18.8.3. Fallos frágiles
  - 18.8.4. Cambios bruscos de masa y rigidez
  - 18.8.5. Compatibilidad de deformaciones
  - 18.8.6. Resonancia entre suelo y estructura
  - 18.8.7. Elementos no estructurales

**Tema 19: Comportamiento cíclico de los elementos estructurales**

- 19.1. Elementos de hormigón armado
  - 19.1.1. Vigas y columnas
  - 19.1.2. Muros a cortante
- 19.2. Elementos metálicos
  - 19.2.1. Vigas y pilares
  - 19.2.2. Barras diagonales sin resistencia a compresión. Muros a cortante
  - 19.2.3. Barras diagonales con resistencia a compresión



**Tema 20: Estimación de las propiedades de los pórticos convencionales**

- 20.1. Idealización de los pórticos. Modelos a cortante.
- 20.2. Descomposición del pórtico
- 20.3. Estimación de la fuerza cortante de fluencia de cada planta
- 20.4. Estimación de la rigidez lateral de cada planta

**PRÁCTICA 10:** Estimación de las propiedades de un pórtico de varias plantas

**Tema 21: Cálculo sísmoresistente según la Norma española NCSE-94**

- 21.1. Generalidades
- 21.2. Masas y acciones a considerar en el cálculo
- 21.3. Verificación de la seguridad
- 21.3. Métodos de cálculo
  - 21.3.1. Análisis dinámico directo
  - 21.3.2. Análisis modal espectral
  - 21.3.3. Método simplificado para casos usuales de edificación

**PRÁCTICA 11:** Cálculo sísmoresistente manual de una estructura sencilla aplicando el análisis modal espectral y el método simplificado según la NCSE-94

**PRÁCTICA 12:** Cálculo sísmoresistente por ordenador de una estructura aplicando el análisis modal espectral según la NCSE-94. Se utilizará para ello un programa informático de aplicación de la NCSE-94 realizado por profesores que se proporcionará gratuitamente a los alumnos.

**Tema 22: Proyecto de elementos y sistemas estructurales convencionales**

- 22.1. Proyecto de elementos estructurales
  - 22.1.1. Elementos tipo barra
  - 22.1.2. Elementos tipo muro de corte
- 22.2. Proyecto de sistemas estructurales
  - 22.2.1. Pórticos dúctiles
  - 22.2.2. Sistemas con muros de corte
  - 22.2.3. Sistemas de pórticos excéntricos
- 22.3. Reglas de proyecto y prescripciones de la NCSE-94



**PARTE I: DINÁMICA DE ESTRUCTURAS**

En esta parte se introducen los elementos básicos de dinámica estructural que el alumno necesitará para asimilar el resto de la asignatura. Se sigue un orden lógico desde los sistemas de un grado de libertad a los de varios grados de libertad. Se abordan fundamentalmente los sistemas de masas concentradas, normalmente utilizados para idealizar las estructuras de edificación convencionales. Se retiene el concepto de equilibrio de fuerzas (que es la base del cálculo estático de estructuras en el cual está más familiarizado el alumno) para facilitar el paso del cálculo estático al dinámico. Los temas teóricos se acompañan con ejercicios prácticos próximos a la realidad profesional.

**PARTE II: FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA SÍSMICA**

En la Parte II se exponen inicialmente unos conceptos básicos de sismología y a continuación se entra a abordar un aspecto fundamental de la ingeniería sísmica que es el de la definición o caracterización de la acción sísmica.

En primer lugar se trata la caracterización en base a acelerogramas. Se pretende que el alumno entienda, por una parte el papel del análisis dinámico directo a la hora de verificar la respuesta de una estructura ya proyectada y como cantera de información a partir de la cual sintetizar metodologías de proyecto, y por otra parte sus limitaciones utilizado de forma aislada en el proyecto sismoresistente de estructuras.

Los contenidos teóricos se acompañarán de una práctica en la cual el alumno deberá realizar un análisis dinámico directo por ordenador de una estructura sometida a un acelerograma histórico. Se pretende con ello que el alumno vea de forma práctica la extensión de los resultados de un cálculo dinámico directo, aprenda a discernir los aspectos principales de la respuesta y estimular su interés en vistas a proyectos de investigación en el tercer ciclo.

En segundo lugar se aborda la caracterización de la acción sísmica en base a espectros elásticos de respuesta, que es la aproximación empleada por la mayoría de normativas sísmicas actuales, entre ellas la norma española NCSE-94. Se hace especial énfasis en los espectros de la NCSE-94. Para una mejor comprensión de su uso, se realizará una práctica en la que se obtendrá la respuesta sísmica de una estructura utilizando el análisis modal espectral.

En tercer lugar se trata la caracterización de la acción sísmica en términos de input de energía lo que constituye la base de las metodologías modernas de proyecto sismoresistente basadas en el balance energético. Se pretende con ello dos cosas. Por una parte introducir al alumno en uno de los enfoques más modernos de las metodologías de proyecto sismoresistente que se vienen desarrollando en los últimos años en países de sismicidad elevada como Japón. Por otra parte mostrar las ventajas de interpretar el efecto carga del terremoto sobre el edificio en términos de energía en vez de fuerzas, lo cual facilita la comprensión de las filosofía de proyecto de las estructuras sismoresistentes que se aborda en la tercera parte de la asignatura. Se llevarán a cabo prácticas en las cuales el alumno realizará análisis dinámicos directos con sistemas elásticos y elastoplásticos que le ayuden a entender la estabilidad del input de energía total y su dependencia únicamente del periodo fundamental y de la masa total del edificio.



**PARTI III. ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES DE EDIFICACIÓN.  
FILOSOFÍA Y PROYECTO**

Esta tercera parte es la continuación lógica de las dos anteriores en el sentido de que se aplican los conocimientos adquiridos al proyecto de las estructuras las sismoresistente reales.

En el primer tema de esta parte de la asignatura se hace una extensa exposición de las alternativas existentes dentro de las estructuras sismoresistentes, describiéndolas mas que como soluciones concretas como estrategias o filosofías de proyecto. Se pretende con ello establecer un marco en cual situar opciones proyectuales actuales y futuras, evitando encorsetar al alumno en "recetas".

A continuación se abordan aspectos relevantes a tener en cuenta a la hora de proyectar una estructura sismoresistente, tales como los efectos de torsión, momentos de vuelco etc. Así mismo se incluyen criterios heurísticos de proyecto que se han decantado como eficaces a la luz de la experiencia de los daños sufridos por estructuras en pasados terremotos.

Finalmente, en los últimos temas se aborda de forma pormenorizada el cálculo sismoresistente de las estructuras porticadas convencionales en el marco de la normativa española NCSF-94. Se trata de un particularización o aplicación práctica (es ciertos aspectos reiterativa) de todo lo visto en temas anteriores.

En las últimas tres practicas se realizará el cálculo sísmico completo de una estructura porticada convencional.

F0

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 35 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

Bibliografía básica/Otros materiales de apoyo.

- Ray W. Clough, Joseph Penzien, DYNAMICS OF STRUCTURES, McGraw-Hill, Second Edition, 1993
- Nathan M. Newmark, Emilio Rosenblueth, FUNDAMENTALS OF EARTHQUAKE ENGINEERING, Prentice-Hall Inc. 1971
- Hiroshi Akiyama, EARTHQUAKE-RESISTANT LIMIT STATE DESIGN FOR BUILDINGS, University of Tokyo Press, 1985.
- NORMA DE CONSTRUCCION SISMORESISTENTE NCSE-94, Ministerio de Fomento Español
- EUROCODIGO E 8, Comisión de las Comunidades Europeas.
- S. Timoshenko y D. H. Young, DINÁMICA SUPERIOR, Ediciones Urmo, 1971
- John Biggs, INTRODUCTION TO STRUCTURAL DYNAMICS, McGraw-Hill
- E. Alarcón, C. Brebbia, A. Hacar, A. Samartín, CÁLCULO DINÁMICO EN LA INGENIERÍA CIVIL, Edix S.A. Madrid
- D.G. Fertis, DYNAMICS AND VIBRATION OF STRUCTURES, John Wiley, New York
- Ch. Norris, R. J. Hansen, M. J. Honell, J. M. Biggs, S. Namyet, J. K. Minami, STRUCTURAL DESIGN FOR DYNAMIC LOADS, McGraw-Hill, New York
- G. B. Warburton, THE DYNAMICAL BEHAVIOUR OF STRUCTURES, Pergamon Press, Oxford
- A. H. Barbat y J. M. Canet, ESTRUCTURAS SOMETIDAS A ACCIONES SÍSMICAS, Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería, CIMNE, Barcelona 1994.
- G. W. Housner, STRONG GROUND MOTIONS, Earthquake Engineering (Editor R. Wiegell) Prentice-Hall, USA, 1970
- L. Microvitch, INTRODUCTION TO DYNAMICS AND CONTROL, John Wiley and Sons Inc., New York, 1985
- A. H. Barbat, CÁLCULO SÍSMICO DE LAS ESTRUCTURAS, Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona 1982.
- M. Paz, STRUCTURAL DYNAMICS, Van Nostrand Reinhold, New York, 1980
- R. R. Craig, STRUCTURAL DYNAMICS, John Wiley and Sons Inc., New York, 1981
- Park R., y Pauley T., REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, John Wiley and Sons Inc., New York, 1975
- Wakabayashi Minoru, DESIGN OF EARTHQUAKE RESISTANT BUILDINGS, McGraw-Hill, 1986



- \* INTERNATIONAL HANDBOOK OF EARTHQUAKE ENGINEERING. CODES, PROGRAMS AND EXAMPLES. Mario Paz (Editor), Chapman and Hall, New York, 1994.
- \* Neville Gerald (Editor), SIMPLIFIED DESIGN, REINFORCED CONCRETE BUILDINGS OF MODERATE SIZE AND HEIGHT, Portland Cement Association, Illinois, 1984.
- \* José Calavera, PROYECTO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, Intcmac, 1999, 2 Tomos.
- \* Jiménez Montoya, Meseguer, Morán, HORMIGÓN ARMADO, Ediciones Gustavo Gili.
- \* Normas: INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-98, Ministerio de Fomento.

Nota: Se indican con asterisco los libros especialmente recomendados para el seguimiento de la asignatura.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 37 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.

Firmado por: DAVID LOPEZ MARTIN    Secretario/a de Departamento

Sello de tiempo: 22/11/2017 11:57:40    Página: 38 / 38



7Gq8CdbGik4f0wK8Hs6y6H5CKCJ3NmbA

La integridad de este documento se puede verificar en la dirección <https://sede.ugr.es/verifirma/pfinicio.jsp> introduciendo el código de verificación que aparece debajo del código de barras.