

Guía docente de la asignatura

**Teoría de Estructuras**

Fecha última actualización: 17/06/2021

Fecha de aprobación: 17/06/2021

<b>Grado</b>	Grado en Ingeniería Civil	<b>Rama</b>	Ingeniería y Arquitectura				
<b>Módulo</b>	Formación Común a la Rama Civil	<b>Materia</b>	Ingeniería de Estructuras				
<b>Curso</b>	3º	<b>Semestre</b>	1º	<b>Créditos</b>	9	<b>Tipo</b>	Obligatoria

**PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES**

**Prerrequisitos:** Tener cursada y superada la asignatura de carácter básico **Mecánica para Ingenieros**.

**Recomendaciones:** Tener cursadas y superadas las asignaturas de carácter básico: **Matemáticas I, Matemáticas II e Ingeniería Gráfica I**.

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

Cálculo de esfuerzos en estructuras isostáticas. Análisis plano de tensiones y deformaciones. Círculos de Mohr. Deformaciones de la rebanada y tensiones en la sección. Cálculo de movimientos en estructuras isostáticas. Principios energéticos y del trabajo virtual. Métodos de cálculo de estructuras: Compatibilidad y Equilibrio. Simetría. Líneas de influencia. Métodos de cálculo numérico.

**COMPETENCIAS ASOCIADAS A MATERIA/ASIGNATURA****COMPETENCIAS GENERALES**

- CG01 - Capacitación científico-técnica para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Obras Públicas y conocimiento de las funciones de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, construcción, mantenimiento, conservación y explotación
- CG02 - Comprensión de los múltiples condicionamientos de carácter técnico y legal que se plantean en la construcción de una obra pública, y capacidad para emplear métodos contrastados y tecnologías acreditadas, con la finalidad de conseguir la mayor eficacia en la construcción dentro del respeto por el medio ambiente y la protección de la seguridad y salud de los trabajadores y usuarios de la obra pública.

**COMPETENCIAS ESPECÍFICAS**

- CE09 - Capacidad para aplicar los conocimientos de materiales de construcción en sistemas estructurales. Conocimiento de la relación entre la estructura de los materiales y las propiedades mecánicas que de ella se derivan
- CE10 - Capacidad para analizar y comprender cómo las características de las estructuras influyen en su comportamiento. Capacidad para aplicar los conocimientos sobre el funcionamiento resistente de las estructuras para dimensionarlas siguiendo las normativas existentes y utilizando métodos de cálculo analíticos y numéricos

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

El alumno debe de aprender a:

- calcular esfuerzos en estructuras isostáticas (leyes de axiles, cortantes, momentos flectores y torsores)
- analizar un estado plano de tensiones y deformaciones así como a manejar los Círculos de Mohr
- calcular las deformaciones de la rebanada y tensiones en la sección debidas a los distintos esfuerzos
- calcular los movimientos en estructuras isostáticas
- aplicar los Principios Energéticos y del Trabajo Virtual al cálculo de estructuras
- calcular estructuras mediante distintos métodos: Compatibilidad y Equilibrio
- aplicar la Simetría al cálculo de estructuras
- calcular Líneas de influencia
- una introducción de los distintos Métodos de Cálculo Numérico

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### TEÓRICO

#### TEMARIO TEÓRICO/PRÁCTICO:

#### TEMA 1 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA TEORÍA DE ESTRUCTURAS

1. Introducción.
2. Conceptos de sólido deformable y prisma mecánico.
3. Principios generales de la resistencia de materiales.
4. Tipos de solicitaciones.



5. Tipos de apoyos y de nudos.
6. Equilibrio estático y cálculo de esfuerzos.
7. Equilibrio de la rebanada.

## TEMA 2 INTRODUCCIÓN A LA ELASTICIDAD

1. Introducción.
2. Tensión.
  1. Concepto de tensión.
  2. Ecuaciones de equilibrio en la sección.
  3. El tensor de tensiones.
  4. Principio de acción y reacción aplicado a la tensión.
  5. Ecuaciones de equilibrio del volumen elemental.
  6. Tensiones y direcciones principales.
  7. Vector tensión con mayor módulo.
  8. Tensión plana.
  9. Círculos de Mohr.
3. Deformación.
  1. El campo vectorial de desplazamientos.
  2. Concepto de deformación.
  3. Tensores infinitesimales de deformación y de rotación
  4. Vector deformación unitaria y similitud entre los tensores de tensión y deformación.
  5. Deformación cúbica unitaria.
  6. Ecuaciones de compatibilidad de Saint-Venant.
  7. Deformación de una barra de directriz recta.
  8. Deformación de una barra de directriz curva.
  9. Integración del campo de deformaciones.
4. Ley de Hooke.



1. Definición.

2. Límites del coeficiente de Poisson.

5. Criterios de plastificación o rotura.

1. Introducción y definiciones.

2. Criterio de la tensión principal máxima o de Rankine.

3. Criterio de la tensión tangencial máxima o de Tresca.

4. Criterio de la deformación longitudinal máxima o de Saint-Venant.

5. Criterio de la energía de distorsión o de Von Mises.

6. Criterio de Mohr-Coulomb.

### TEMA 3 ESFUERZOS AXIL Y MOMENTO FLECTOR

1. Introducción.

2. Esfuerzo axil. Estado de tracción o compresión pura.

1. Tensiones en la sección debidas al axil.

2. Deformación de la rebanada debida al axil.

3. Esfuerzo momento flector. Estado de flexión pura.

1. Tensiones en la sección debidas al flector.

2. Deformación de la rebanada debida al flector.

4. Deformación por efecto de la temperatura.

5. Concentración de tensiones.

### TEMA 4 FLEXIÓN COMPUESTA

1. Introducción.

2. Tensiones en la sección.

1. Tensiones en la sección de una barra curva.

2. Tensiones en la sección de una barra curva con gran radio de curvatura.

3. Tensiones en la sección de una barra recta.

3. Deformación de la rebanada de una barra curva.



1. Deformación longitudinal.
2. Deformación por curvatura en z.
3. Deformación por curvatura en y.
4. Integración de los desplazamientos.
5. Barras con gran radio de curvatura.
6. Barras rectas.

4. Deformación por efecto de la temperatura de una barra curva.
5. Flexión compuesta.
6. Materiales no resistentes a la tracción.
7. Secciones de varios materiales.

#### TEMA 5 ESFUERZO CORTANTE

1. Introducción.
2. Tensiones debidas al cortante en barras de sección maciza.
3. Límites de la fórmula de Collignon-Jourawski.
4. Tensiones en secciones de varios materiales.
5. Deformación de la rebanada debida al cortante.
6. Tensiones debidas al cortante en barras de sección de pared delgada.
7. Centro de esfuerzos cortantes en barras de sección de pared delgada.
8. Tensiones y centro de esfuerzos cortantes en perfiles cerrados de una célula.
9. Tensiones y centro de esfuerzos cortantes en perfiles cerrados de varias células.
10. Actuación combinada de axil, flector y cortante.

#### TEMA 6 TORSIÓN LIBRE

1. Introducción.
2. Teoría elemental de la torsión en barras de sección circular.
3. Barras de sección circular de varios materiales concéntricos.
4. Torsión en barras de sección cualquiera.



1. Teoría de Saint-Venant de la torsión uniforme.

2. Analogía de la membrana de Prandtl.

5. Torsión en perfiles abiertos de pared delgada.

6. Torsión en perfiles cerrados de pared delgada.

1. Perfiles cerrados de una célula.

2. Perfiles cerrados de varias células.

7. Concentración de tensiones.

8. Actuación combinada de axil, flector, cortante y torsor.

#### TEMA 7 CÁLCULO DE MOVIMIENTOS

1. Introducción. Ecuación de la elástica.

2. Movimientos en piezas curvas mediante las fórmulas de Bresse.

3. Movimientos en piezas compuestas por tramos rectos. Teoremas de Mohr.

4. Teoremas de la viga conjugada.

#### TEMA 8 PRINCIPIOS ENERGÉTICOS Y DEL TRABAJO VIRTUAL

1. Introducción.

2. Teoría del potencial interno o energía de deformación. Teorema de las Fuerzas vivas.

3. PTV en sistemas rígidos.

4. Método del desplazamiento virtual y de la fuerza virtual.

5. PTV en sistemas de barras sometidos a esfuerzo axil.

6. PTV en sistemas de barras sometidos a flexión.

7. Aplicaciones del PTV.

1. Ecuación de equilibrio.

2. Ecuación de compatibilidad.

8. Teorema de reciprocidad.

9. Métodos prácticos de aplicación del PTV.

#### TEMA 9 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS



1. Introducción.
2. Tipología de los sistemas resistentes.
3. Isostatismo, hiperestatismo y mecanismo.
4. Método de la compatibilidad.
5. Método del equilibrio.
  1. Método de la pendiente-deformación.

#### TEMA 10 SIMETRÍA

1. Definiciones.
2. Simetría axial.
3. Simetría central.
4. Casos particulares.

#### TEMA 11 LÍNEAS DE INFLUENCIA

1. Introducción. El método de la carga fija.
2. Teorema de reciprocidad aplicado al cálculo de líneas de influencia.
  1. L.I. de movimientos.
  2. L.I. de reacciones.
  3. L.I. de esfuerzos.
3. Aplicación de las L.I. a cargas distribuidas.
4. Trenes de carga.

#### TEMA 12 MÉTODOS DE CÁLCULO NUMÉRICO

1. Introducción.
2. Introducción al Método de las Diferencias Finitas.
3. Introducción al Método de los Elementos Finitos.

#### PRÁCTICO



## PROGRAMA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

### PR. 1 MEDIDA DEL MÓDULO DE YOUNG Y DEL COEFICIENTE DE POISSON

En esta práctica de extensometría los objetivos son:

- Comprobar la proporcionalidad existente entre tensión y deformación longitudinal en materiales elásticos lineales y obtener el módulo de Young como constante que relaciona ambas magnitudes.
- Observar el fenómeno de deformación transversal, comprobando la relación lineal existente entre deformaciones longitudinales y transversales, que viene dada por el coeficiente de Poisson.

### PR. 2 CÁLCULO DE MOVIMIENTOS EN PIEZAS PRISMÁTICAS: FLEXIÓN Y TORSIÓN

Los objetivos son:

- Medir experimentalmente la rigidez a torsión de distintas barras y comprobarla con la teórica.
- Trabajar el cálculo de movimientos de vigas isostáticas, de forma que se calculen distintos casos mediante los métodos ya estudiados (integración de la ecuación diferencial de la elástica, PTV y teoremas de Mohr).
- Posteriormente se modelarán las vigas con sus respectivas cargas y se comprobarán los resultados con las medidas experimentales de laboratorio, obtenidas con relojes comparadores.
- Comprobar que se cumple el teorema de Reciprocidad de Maxwell-Betti.

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL

- MECÁNICA DE SÓLIDOS, Egor P. Popov (Pearson Educación)
- PROBLEMAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES, Miroljubov (Mir)
- RESISTENCIA DE MATERIALES, L. Ortiz Berrocal (McGraw-Hill)
- RESISTENCIA DE MATERIALES, TEORÍA DE ESTRUCTURAS E INTRODUCCIÓN A LA ELASTICIDAD, Juan José Granados (Godel. 4ed)
- TEORÍA DE ESTRUCTURAS. RECOPIACIÓN DE APUNTES I y II, Granados y Museros.
- TEORÍA DE LA ELASTICIDAD, Federico París (Universidad de Sevilla, Grupo de Elasticidad)





y Resistencia de Materiales)

- TIMOSHENKO. RESISTENCIA DE MATERIALES, James M. Gere (Thomson)
- GARRIDO Y FOCES. RESISTENCIA DE MATERIALES, Garrido y Foces (Univ. Valladolid)

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE BARRAS. FUNDAMENTOS. R. Gallego y G. Rus (ETSICCP, UGR)
- ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS: TEORÍA, PROBLEMAS Y PROGRAMAS, R. Argüelles (Fundación Conde del Valle de Salazar)
- ANÁLISIS DE VIGAS, ARCOS, PLACAS Y LÁMINAS: UNA PRESENTACIÓN UNIFICADA. S. Monleón (UPV)
- ELASTICIDAD, L. Ortiz Berrocal (UPM)
- MECÁNICA DE MATERIALES, Beer, Johnston et al. (McGraw-Hill)
- MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS, Beer, Johnston et al. (McGraw-Hill)
- MECHANICS OF ELASTIC STRUCTURES, Oden y Ripperger (McGraw-Hill)
- PROBLEMAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES, F. Rodríguez Avial (ETSII, UPM)
- RESISTENCIA DE MATERIALES, A. Samartín (Colegio de Ing. de Caminos C. y P.)
- RESISTENCIA DE MATERIALES, S. Timoshenko (Espasa-Calpe)
- TEORÍA DE LA ELASTICIDAD, Timoshenko y Goodier (Urmo)
- TEORÍA DE LAS ESTRUCTURAS, S. Timoshenko y Young (Urmo)

## ENLACES RECOMENDADOS

<http://prado.ugr.es/>

<http://www.ugr.es/~jjgr/>

## METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 Exposiciones en clase por parte del profesor. Podrán ser de tres tipos: 1) Lección



magistral: Se presentarán en el aula los conceptos teóricos fundamentales y se desarrollarán los contenidos propuestos. Se procurará transmitir estos contenidos motivando al alumnado a la reflexión, facilitándole el descubrimiento de las relaciones entre diversos conceptos y tratando de formarle una mentalidad crítica 2) Clases de problemas: Resolución de problemas o supuestos prácticos por parte del profesor, con el fin de ilustrar la aplicación de los contenidos teóricos y describir la metodología de trabajo práctico de la materia. 3) Seminarios: Se ampliará y profundizará en algunos aspectos concretos relacionados con la materia. Se tratará de que sean participativos, motivando al alumno a la reflexión y al debate.

- MDO4 Tutorías académicas. Podrán ser personalizadas o en grupo. En ellas el profesor podrá supervisar el desarrollo del trabajo no presencial, y reorientar a los alumnos en aquellos aspectos en los que detecte la necesidad o conveniencia, aconsejar sobre bibliografía, y realizar un seguimiento más individualizado, en su caso, del trabajo personal del alumno.
- MDO5 Exámenes. Se incluye también esta actividad, que formará parte del procedimiento de evaluación, como parte de la metodología

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

### EVALUACIÓN ORDINARIA

A continuación, se describen de forma detallada los dos caminos que tiene el alumno para superar la asignatura:

1. Evaluación por curso o evaluación continua (convocatoria ordinaria).
2. Evaluación en un sólo examen final (convocatorias extraordinaria, especial y evaluación única final). Este punto se explica en los siguientes apartados.

#### 1. Evaluación por curso o evaluación continua (convocatoria ordinaria)

La evaluación continua consta de distintas pruebas que se evalúan independientemente, estas notas se van sumando para formar la nota por curso del alumno. **Este método es el obligatorio**, salvo causa justificada, para superar la asignatura, además de ser el más apropiado, ya que se trata de un trabajo continuado, una adquisición de conocimientos gradual y un sistema de evaluación compuesto de test y parciales, que facilita el aprendizaje de este tipo de materia y por tanto, aprobar.

Las distintas pruebas de las que consta la evaluación por curso son:

- Doce test en la plataforma PRADO y test presenciales (casi todas las semanas habrá un test). (20%)
- Tres exámenes parciales, que incluirán teoría y problemas. (24% + 24% + 24%)
- Evaluación del estudio previo de la parte teórica (referido al primer apartado de la metodología docente). Cada profesor indicará por adelantado (al comenzar el curso o durante el mismo) qué peso asignará al estudio previo. La forma de evaluar dicho estudio previo será mediante algunas de las siguientes actividades: test on line, test presenciales, foros Prado, preguntas en clase y participación activa en clase. (8%)



- Prácticas de laboratorio (5% adicional).

Las fechas de los dos primeros parciales se fijarán al comienzo del curso, siendo la fecha del tercer parcial la fijada por el centro para la convocatoria ordinaria de enero.

La filosofía de la evaluación continua aquí implementada es que **todo trabajo del alumno suma, sin establecer mínimos que eliminen al alumno** (por ejemplo, no hay un mínimo en los parciales, lo cual se podría establecer, pero iría en contra de la filosofía expuesta). No obstante, sí se penaliza obtener una nota menor o igual a 2.5 (sobre 10) en un parcial, de forma que en este caso la calificación de un alumno en un parcial será la nota que haya obtenido menos 2.5 (si su nota es mayor de 2.5 no hay penalización). Ver ejemplo descrito más adelante.

**Para superar la asignatura el alumno debe llegar al cinco (sobre diez) sumando sus puntuaciones de los test, parciales y estudio previo.**

Si un alumno no ha podido presentarse, por causa justificada, a un parcial y suspende en la convocatoria ordinaria de enero, puede elegir una de las siguientes opciones respecto a la convocatoria extraordinaria de febrero (calendario de semestres cerrados):

- Examinarse de toda la asignatura mediante evaluación en un solo examen final, según se explica a continuación. Esta es la opción por defecto.
- Examinarse del parcial (o parciales) que se perdió por causa justificada, conservando el resto de calificaciones que ha obtenido en la evaluación continua. **Esta opción debe de ser autorizada explícitamente por el profesor responsable, previa solicitud por escrito del alumno interesado.**

Se recuerda que estamos en una asignatura presencial (aunque se usen, como apoyo, herramientas propias de asignaturas virtuales) por lo que la asistencia a las clases teóricas y prácticas (descritas en el apartado anterior) es obligatoria en la evaluación continua.

### Ejemplo de cálculo de calificación de la evaluación continua.

Supongamos las siguientes notas: media de los test: 7.50 (s. 10); 1er Parcial: 8.1 (s. 10); 2º Parcial: 6.5; 3er Parcial: No presentado, por lo que su calificación es 0-2.5 (penalización por nota  $\leq 2.5$ ) = -2.5 en este parcial. Estudio previo 4 (s. 10). Por tanto: calificación de la evaluación continua (media ponderada): 4.7 suspenso.

Si en lugar de no presentarse al tercer parcial el alumno se presenta y obtiene una nota de un 2.0, su calificación sería de 2.0-2.5 (penalización por nota  $\leq 2.5$ ) = -0.5 en este parcial. Por tanto en este caso: calificación de la evaluación continua: aprobado con 5.2 (+ 0.5 de las prácticas de laboratorio, si están realizadas y la memoria entregada correctamente).

## EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

### 2. Evaluación en un sólo examen final (convocatorias extraordinaria, especial y evaluación única final)

Es la modalidad de evaluación en las convocatorias distintas a la ordinaria de enero.

El examen final de la convocatoria ordinaria de enero está destinado exclusivamente al alumno



que no pueda realizar, por causas justificadas, la evaluación continua y así lo haya solicitado según la normativa de la UGR. (Ver la Normativa de evaluación y de calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada).

El examen final de cualquier convocatoria (ordinaria o extraordinaria) contendrá ejercicios de teoría, problemas y cuestiones sobre las prácticas de laboratorio. Se indicará el peso de cada uno de los ejercicios. **La nota del examen final será determinada tras la evaluación global del examen, por lo que no será la media obtenida en los distintos ejercicios sin más, sino que habrá que tener en cuenta los siguientes factores:**

- Un ejercicio muy deficiente (con menos de 2.5 puntos sobre 10) no contribuirá a la media.
- Si se han suspendido 2/3 de los ejercicios (en peso), o más, con menos de 4 puntos (sobre 10), la calificación será suspenso, aunque la media aritmética sea mayor a 5, ya que el examen está muy descompensado.

Como ejemplo, supongamos que el examen consta de tres ejercicios que pesan por igual (uno de teoría y dos problemas). Veamos lo que sucede en distintos casos:

- Caso 1. Teoría 3; 1er problema 3.5; 2do problema 10. La nota media sería 5.5, pero la calificación del examen es de suspenso ya que tiene 2/3 del examen con menos de 4 puntos (en estos casos la calificación numérica será 4.0).
- Caso 2. Teoría 5; 1er problema 2; 2do problema 8. La nota media sería 5, pero el 1er problema tiene una calificación muy deficiente (inferior a 2.5) por lo que no entra a sumar en la nota media. La calificación final es  $(5+0+8)/3 = 4.3$ , suspenso.
- Caso 3. Teoría 4; 1er problema 3; 2do problema 8. En este caso la media sí que arroja la nota final, que es 5.0, aprobado.

## EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

La evaluación única final será la propia de un examen final, por lo que contendrá preguntas de teoría, problemas y cuestiones sobre las prácticas de laboratorio, según se ha descrito previamente.

