



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingeniería  
Aeronáutica y del Espacio

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**145005201 - Mecanica De Solidos**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### 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.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	8
8. Recursos didácticos.....	10
9. Otra información.....	12

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145005201 - Mecanica de Solidos
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Quinto semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	14IA - Grado en Ingeniería Aeroespacial
<b>Centro responsable de la titulación</b>	14 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Aeronáutica Y Del Espacio
<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>
Luis Saucedo Mora	Edificio B- DAVE	luis.saucedo@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00
Miguel Angel Sanz Gomez	Edificio B- DAVE	miguelangel.sanz@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00
Francisco Javier Montans Leal	Edificio B- DAVE	fco.montans@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00

Jose Maria Benitez Baena (Coordinador/a)	Edificio B- DAVE	josemaria.benitez@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00
---	---------------------	--------------------------	--

\* 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

- Fisica Ii
- Resistencia De Materiales Y Elasticidad
- Matematicas Ii

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

El plan de estudios Grado en Ingeniería Aeroespacial no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE33 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: La mecánica de fractura del medio continuo y los planteamientos dinámicos, de fatiga de inestabilidad estructural y de aeroelasticidad.

CG3 - Capacidad para identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

CG9 - Razonamiento crítico y capacidad de asociación que posibiliten el aprendizaje continuo

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA235 - Comprensión de las ecuaciones y principios generales del medio continuo, así como la adecuada selección de los diferentes modelos de comportamiento de sólidos deformables.

RA236 - Análisis de sólidos y estructuras sometidas a tensiones superiores al límite elástico y a cargas cíclicas.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Análisis elástico y lineal de sólidos anisótropos. Cálculo elástico, lineal e isótropo de tipologías estructurales tridimensionales. Introducción al comportamiento no lineal de estructuras y sólidos deformables.

### 5.2. Temario de la asignatura

1. INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS.
2. ÁLGEBRA Y CÁLCULO DE TENSORES EN COORDENADAS CARTESIANAS.
  - 2.1. Repaso de tensores: propiedades, cambios de base, objetividad. Tensor permutación y operaciones con tensores de orden uno. Tensores de segundo y cuarto orden y sus operaciones. Invariantes. Tensores proyectores.
  - 2.2. Cálculo de tensores: desarrollo en serie y derivada direccional.
  - 2.3. Cálculo de tensores: gradiente, divergencia y rotacional de tensores de primer y segundo orden. Teoremas integrales.
3. INTRODUCCIÓN A LA NO-LINEALIDAD GEOMÉTRICA.
  - 3.1. Ecuación del movimiento. Configuraciones material o lagrangiana y espacial o euleriana.
  - 3.2. Tensor gradiente material y espacial de las deformaciones. Tensores métricos. Estiramiento.
  - 3.3. Tensores de deformación cuadráticas material y espacial.
  - 3.4. Tensores de tensión. Tensores conjugados de trabajo.
4. ELASTICIDAD ANISÓTROPA.
  - 4.1. Comportamiento elástico y anisótropo. Módulos aparentes.
5. PRINCIPIOS GENERALES Y ENERGÉTICOS DE LA MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS.
  - 5.1. Principios generales: conservación de la masa y primer principio de la termodinámica. Segundo principio

de la termodinámica.

5.2. Potencia mecánica y principios energéticos en Mecánica de Medios Continuos.

5.3. Formulaciones débiles y variacionales.

## 6. INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE FRACTURA.

6.1. Motivación histórica.

6.2. Fractura frágil y fractura tenaz. Teoría energética de Griffith.

6.3. Aproximación tensional de Irwin: factor de intensidad de tensiones y tenacidad de fractura. Integral de Rice (o integral J).

## 7. INTRODUCCIÓN A LA FATIGA.

7.1. Concepto de fatiga y vida útil. Diagramas de fatiga.

7.2. Crecimiento subcrítico de fisuras: Ley de Paris.

7.3. Daño acumulativo: regla de Palmgren-Miner.

7.4. Curva de Wohler. Límite de fatiga.

## 8. PLASTICIDAD Y CRITERIOS DE ROTURA.

8.1. Curva de comportamiento elastoplástico. Modelos reológicos. Plasticidad 1D.

8.2. Endurecimiento isótropo y cinemático. Efectos Bausschinger y Masing.

8.3. Representación de Haigh-Westergaard.

8.4. Criterios de fallo plástico: criterio de Rankine, Hill, Tresca, Gurson, Tsai-Hill, otros criterios.

8.5. Función de fluencia y potencial de flujo. Leyes de flujo y de endurecimiento plástico.

## 9. INTRODUCCIÓN AL DAÑO ISÓTROPO

9.1. Concepto de daño.

9.2. Micromecánica del daño: RVE y variable de área. Concepto de tensión efectiva.

9.3. Formulación del daño a nivel mesoescala. Principios de tensión y de deformación equivalentes.

9.4. Introducción a la termodinámica del daño.

## 10. Tema 9. FLEXIÓN DE PLACAS.

10.1. Tensiones y deformaciones en Placas y Láminas

10.2. Teoría fundamental de Kirchhoff.

10.3. Teoría de Reissner-Mindlin.

10.4. Placa de Navier y de Levi Nadai.

## 10.5. Solución de Rayleigh-Ritz. Teoría fundamental en Láminas y Membranas.

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8			<b>Tema 1 y 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	
9			<b>Tema 3</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Entrega de la práctica correspondiente al tema 2</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
10			<b>Tema 4 y 5</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Entrega de la práctica correspondiente al tema 3</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
11			<b>Tema 6 y 7</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Entrega de la práctica correspondiente al tema 4</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00
12			<b>Tema 8 y 9</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Entrega de la práctica correspondiente a los temas 6 y 7</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00

13			<p><b>Temas 6, 7, 8 y 9</b> Duración: 04:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
14			<p><b>Tema 6,7,8 y 9</b> Duración: 04:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p><b>Entrega de la práctica correspondiente a los temas 8 y 9</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00</p>
15			<p><b>Tema 10</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
16			<p><b>Laboratorio de Mecánica Computacional</b> Duración: 03:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	<p><b>Entrega de la práctica correspondiente al tema 10</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua No presencial Duración: 02:00</p>
17				<p><b>Examen ordinario (evaluación continua)</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua No presencial Duración: 02:30</p> <p><b>Examen ordinario (evaluación no continua)</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 02:30</p>

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
9	Entrega de la práctica correspondiente al tema 2	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.6%	5 / 10	CG3 CG9 CE33
10	Entrega de la práctica correspondiente al tema 3	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.6%	5 / 10	CG3 CG9 CE33
11	Entrega de la práctica correspondiente al tema 4	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.7%	5 / 10	CG3 CG9 CE33
12	Entrega de la práctica correspondiente a los temas 6 y 7	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.7%	5 / 10	CG9 CE33 CG3
14	Entrega de la práctica correspondiente a los temas 8 y 9	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.7%	5 / 10	CG3 CG9 CE33
16	Entrega de la práctica correspondiente al tema 10	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	02:00	6.7%	5 / 10	CG3 CG9 CE33
17	Examen ordinario (evaluación continua)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	02:30	60%	3.5 / 10	CG3 CG9 CE33

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
-----	-------------	-----------	------	----------	-----------------	-------------	------------------------

17	Examen ordinario (evaluación no continua)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	02:30	100%	5 / 10	CE33 CG3 CG9
----	---	-------------------------------------	---------------	-------	------	--------	--------------------

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	100%	5 / 10	CG3 CG9 CE33

## 7.2. Criterios de evaluación

### EVALUACION CONTINUA:

- Para poder optar a una evaluación continua, el alumno debe solicitar esta opción durante la primera semana de clase. Para ello, tendrá que firmar un documento tipo facilitado por los profesores y entregarlo a través de Moodle. Pasada la primera semana de clase no se admitirá ninguna solicitud de evaluación continua, asumiendo que todo aquel que no la haya entregado se evaluará únicamente mediante un examen, ordinario o extraordinario, con independencia de si entrega alguna práctica o no.
- Resolución de ejercicios prácticos mediante lenguajes de programación o software interactivo: 40% de la nota de la evaluación continua. Para poder hacer media con el examen ordinario es necesario haber entregado todos y cada uno de estos ejercicios prácticos y obtener una nota igual o superior a 5 en cada uno de ellos. Si una sola práctica no se entrega o tiene una nota inferior a 5, la nota correspondiente a la parte de "Resolución de ejercicios prácticos mediante lenguajes de programación o software interactivo" será de cero puntos.
- En ningún caso se tendrán en cuenta estos ejercicios para los alumnos que no hayan solicitado la evaluación continua durante la primera semana de clase. Estos ejercicios tampoco se tendrán en cuenta para la convocatoria extraordinaria, tanto si se ha solicitado evaluación continua como si no.
- Examen ordinario: 60% de la nota de la evaluación continua. Para poder hacer media con los ejercicios es necesario obtener una nota igual o superior a 3.5. En caso contrario, el alumno obtendrá un suspenso en la convocatoria ordinaria.

### SIN EVALUACIÓN CONTINUA:

- Examen ordinario: su calificación es el 100% de la nota. En esta modalidad NO se consideran los trabajos que hubiese realizado el alumno.
- Examen extraordinario: su calificación es el 100% de la nota. En esta modalidad NO se consideran los trabajos que hubiese realizado el alumno.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
E.V. CHAVES. Introducción a la Mecánica del Medio Continuo: Tomo I (fundamentos generales) y Tomo II (ecuaciones constitutivas). Ed. UPC, 2010.	Bibliografía	
Apuntes de clase	Bibliografía	Apuntes de clase
C. AGELET Y X. OLIVER. Mecánica de los Medios Continuos para Ingenieros. Ed. UPC, 2000.	Bibliografía	
A.F. BOWER. Applied Mechanics of Solids. Ed. CRC Press, 2010.	Bibliografía	
J. LEMAITRE, Y J. CHABOCHE. Mechanics of Solid Materials. Ed. Cambrigde, 1990.	Bibliografía	
T.L. ANDERSON. Fracture Mechanics. Fundamentals and Applications Ed. CRC Press, 1995.	Bibliografía	
SZILARD, R. Theories and Applications of Plate Analysis: Classical, Numerical and Engineering Methods. John Wiley & Sons, 2 ene. 2004	Bibliografía	

<p>Espacio MOODLE de la asignatura <a href="http://moodle.upm.es/">http://moodle.upm.es/</a></p>	<p>Recursos web</p>	<p>Esta plataforma se utiliza para poner a disposición del alumno cualquier tipo de material docente y se considera la principal vía de comunicación entre alumno y profesor. Algunos exámenes online podrían hacerse a través de esta plataforma.</p>
<p>Moodle-Exam</p>	<p>Recursos web</p>	<p>En caso de que los exámenes tengan que ser online se utilizará esta plataforma para su realización. Dependiendo de requerimientos docentes y logísticos, los exámenes on line podrían hacerse en cualquier otra plataforma.</p>
<p>MATLAB y MATLAB grader</p>	<p>Otros</p>	<p>Se podrá usar la licencia de MATLAB Campus para ejercicios y proyectos de la asignatura</p>
<p>Julia</p>	<p>Otros</p>	<p>Se podrá usar el lenguaje de programación Julia para tareas de la asignatura</p>
<p>Teams</p>	<p>Otros</p>	<p>Aplicación, también disponible como recurso web, para clases online. Dependiendo de los requerimientos docentes las clases podrían impartirse en cualquier otra plataforma (zoom, skype,...)</p>
<p>Zoom</p>	<p>Otros</p>	<p>Aplicación, también disponible como recurso web, para identificación y vigilancia de exámenes. Dependiendo de las futuras prestaciones de otras plataformas, estas actividades se podrían llevar a cabo en otras aplicaciones.</p>

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Debido a la incertidumbre sobre la situación sanitaria derivada del COVID-19, toda la docencia de la asignatura en el curso 2021/22 está programada para poder ser impartida tanto online como presencialmente. Los exámenes ordinario y extraordinario también están programados para realizarse presencial y telemáticamente. De esta manera, el planteamiento de toda la asignatura permite que el cambio de formato, tanto en actividades docentes como evaluadoras, sea inmediato y fácil.