



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

**145006106 - Materiales Compuestos**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - Segundo 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.....	11

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006106 - Materiales Compuestos
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Sexto semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<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>
Jose Manuel Menendez Martin	Lab Quimica 2	jose.m.menendez@upm.es	M - 18:00 - 19:00 J - 18:00 - 19:00
Antonio Fernandez Lopez (Coordinador/a)	Lab Quimica 1	antonio.fernandez.lopez@up m.es	X - 08:00 - 10:00 J - 08:00 - 10:00
Jesus Alfredo Guemes Gordo	Lab Quimica 3	alfredo.guemes@upm.es	X - 11:00 - 13:30 J - 11:00 - 13:30

Angel Renato Pozo Morales		ar.pozo@upm.es	L - 19:30 - 20:00 X - 19:30 - 20:00 V - 19:30 - 20:00
---------------------------	--	----------------	---

\* 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

- Ciencia De Los Materiales
- Estructuras Aeronauticas
- Resistencia De Materiales Y Elasticidad
- Tecnologia Aeroespacial

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

- Mecánica del Solido,
- Cursar la asignatura de Fabricación Aeroespacial.

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE31 - Comprensión de las propiedades y comportamiento de los materiales utilizados en los vehículos aeroespaciales.

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

CG4 - Capacidad para integrarse y formar parte activa de equipos de trabajo. Trabajo en equipo

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

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA29 - Conocimiento y comprensión de los tipos de materiales constituyentes, las propiedades mecánicas, las transformaciones y los tratamientos de los materiales compuestos, y sus aplicaciones en ingeniería aeroespacial.

RA30 - Conocimiento y comprensión de los métodos de fabricación, inspección y reparación de los materiales compuestos, y de los procesos de certificación de aerestructuras constituidas por materiales compuestos.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

En esta asignatura se trata de introducir a los estudiantes en los contenidos específicos de los materiales compuestos aplicados al diseño, cálculo y fabricación. La anisotropía del material y la fabricación mediante apilados con diferentes direcciones es abordada mediante la teoría del laminado y los criterios de tolerancia al daño. La metodología y las reglas de diseño para la fabricación de laminados y uniones son abordadas desde el diseño a la fabricación. Se explicarán las tecnologías de fabricación con materiales compuestos empleadas en la industria. También se abordarán las tecnologías empleadas como el control de calidad mediante técnicas no destructivas, la metodología de obtención de propiedades y admisibles del material, la certificación y el comportamiento en servicio.

### 5.2. Temario de la asignatura

#### 1. Tema 1. INTRODUCCIÓN.

- 1.1. 1.1 Introducción a los materiales compuestos.
- 1.2. 1.2. Evolución de la aplicación de los materiales compuestos en la industria aeronáutica.
- 1.3. 1.3. Situación actual de la industria de los materiales compuestos en España.
- 1.4. 1.4. Situación actual de la industria de los materiales compuestos a nivel mundial

#### 2. Tema 2. FIBRAS Y MATRICES.

- 2.1. 2.1. Función de la fibra en el material compuesto.
- 2.2. 2.2. Tipos de fibras. Fabricación de fibras.
- 2.3. 2.3. Criterios de selección de fibras.
- 2.4. 2.4. Función de la matriz en el material compuesto.
- 2.5. 2.5. Tipos de Matriz. Aplicaciones de composites de matriz metálica y cerámica.

- 2.6. 2.6. Criterios de selección de matrices
- 2.7. 2.7. Volumen de fibra y poros
- 2.8. 2.8. Preimpregnados. Definición y fabricación.
- 3. Tema 3. TEORÍA DEL LAMINADO.
  - 3.1. 3.1. Introducción a la teoría del laminado y a su aplicación.
  - 3.2. 3.2. Ejes principales. Nomenclatura
  - 3.3. 3.3. Rigidez equivalente.
  - 3.4. 3.4. Resistencia de láminas UD. Criterios de fallo
  - 3.5. 3.5. Degradación de propiedades por efectos ambientales. Comportamiento higrotérmico.
  - 3.6. 3.6. Delaminaciones y fractura interlaminar
- 4. Tema 4. DISEÑO DE UNIONES. REPARACIONES.
  - 4.1. 4.1. Uniones Adhesivas. 4.2. Modelización de uniones adhesivas. 4.3. Uniones mecánicas. 4.4. Modos de fallo de uniones mecánicas. 4.5. Reparaciones. Diseño y cálculo de reparaciones
- 5. Tema 5. PROCESOS DE FABRICACIÓN CON FIBRA SECA.
  - 5.1. 5.1. Introducción. Diferenciación de la fabricación mediante preimpregnados.
  - 5.2. 5.2. Fabricación de preformas. Braiding y stitching.
  - 5.3. 5.3. Resin Transfer Moulding (RTM).
  - 5.4. 5.4. Infusión de resina (RLI).
  - 5.5. 5.5. Otros métodos de fabricación con fibra seca.
- 6. Tema 6. PROCESOS DE FABRICACIÓN CON PREIMPREGNADOS Y AUTOCLAVE.
  - 6.1. 6.1 Introducción.
  - 6.2. 6.2. Tipos de estructuras fabricadas con materiales compuestos. Tipos de integración.
  - 6.3. 6.3. Etapas en la fabricación mediante preimpregnados.
  - 6.4. 6.4. Fabricación con preimpregnados. Apilado manual.
  - 6.5. 6.5. Fabricación con preimpregnados. Apilado automático: FP y ATL.
  - 6.6. 6.6. Otros métodos de fabricación con preimpregnados. Aplicaciones.
  - 6.7. 6.7. Bolsa de vacío. Fabricación y motivos para su uso.
  - 6.8. 6.8. Autoclave. Definición y necesidad de uso
  - 6.9. 6.9. Ciclo de curado en autoclave de material polimérico

6.10. 6.10. Integración de geometrías complejas

## 7. Tema 7. UTILLAJE Y OPERACIONES AUXILIARES.

7.1. 7.1. Utillaje. Introducción.

7.2. 7.2. Características del utillaje para la fabricación de materiales compuestos.

7.3. 7.3. Materiales utilizados en el utillaje de materiales compuestos. Características.

7.4. 7.4. Tipos de utillaje

7.5. 7.5. Mecanizado de materiales compuestos

7.6. 7.6. Montaje. Limitaciones a la integración.

## 8. Tema 8. CALIDAD-CERTIFICACIÓN.

8.1. 8.1. Certificación de una estructura aeronáutica de material compuesto: pirámide de certificación. 8.2. Certificación de materiales: Propiedades mecánicas. Admisibles y ensayos mecánicos normalizados. 8.3. Control de calidad. Ensayos físico-químicos

## 9. Tema 9. CALIDAD-ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

9.1. 9.1. Introducción a los ensayos no destructivos.

9.2. 9.2. Defectología típica de los materiales compuestos.

9.3. 9.3. Técnicas de ensayos no destructivos: Ultrasonidos.

9.4. 9.4. Otras técnicas de ensayos no destructivos: Rayos X, Emisión acústica, tomografía computerizada, termografía.

## 10. Tema 10. COMPORTAMIENTO EN SERVICIO.

10.1. 10.1. Problemática de la operación de una aeronave. Escenario. 10.2. Mantenimiento de estructuras de material compuesto. 10.3. MIL Handbook: lecciones aprendidas.

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>Introducción. Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Introducción. Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
2	<b>Tema 2</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 2</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
3	<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
4	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
5	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
6	<b>Tema 4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 4</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		<b>Tema 4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 4</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
7	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio (Fabricación de Materiales Compuestos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
8	<b>Tema 5</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Practica 2</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Practica de Laboratorio (Fabricación de Materiales Compuestos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Tema 5</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Practica 2</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	
9	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio (Fabricación de Materiales Compuestos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Evaluacion Practica 1</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 16:00
10	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio (Fabricación de Materiales Compuestos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	

11	<b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 7</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
12	<b>Tema 7</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 8</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 7</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 8</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
13	<b>Tema 8</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 8</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Evaluación Practica 2</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 10:00
14	<b>Tema 9</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 9</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Evaluación practica 3</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final No presencial Duración: 12:00
15	<b>Tema 9</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 10</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		<b>Tema 9</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Tema 10</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	
16				<b>Examen Teoría</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00  <b>Examen final de las dos partes de la asignatura</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 03:00
17				

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	Evaluación Practica 1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	12.5%	5 / 10	
13	Evaluación Practica 2	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	10:00	6.25%	5 / 10	CG4 CG3 CG9 CE31
14	Evaluación practica 3	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	12:00	6.25%	5 / 10	CG4 CG3 CG9 CE31
16	Examen Teoría	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	75%	5 / 10	CG3 CG9 CE31

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
9	Evaluacion Practica 1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	12.5%	5 / 10	
13	Evaluación Practica 2	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	10:00	6.25%	5 / 10	CG4 CG3 CG9 CE31
14	Evaluación practica 3	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	12:00	6.25%	5 / 10	CG4 CG3 CG9 CE31

16	Examen final de las dos partes de la asignatura	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	75%	5 / 10	
----	---	-------------------------------------	---------------	-------	-----	--------	--

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

### EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE

La evaluación de los alumnos se estructura en dos partes, una parte teórica y otra de prácticas de laboratorio.

### EVALUACIÓN DE LOS CONTENIDOS TEÓRICOS DE LA ASIGNATURA

Para la evaluación de los contenidos teóricos se realizará un examen al finalizar la impartición de las clases de teoría. El examen puede constar de dos partes, las cuales a su vez podran evaluarse mediante un preguntas tipo test y/o de desarrollo, que serán evaluadas con una puntuación máxima de 10 puntos. El temario correspondiente a cada parte del examen puede ser liberado con una calificación por encima del 4.0, aunque además se requerirá una media entre las dos partes superior a 5.0. El peso de la calificación de la teoría de la asignatura en la nota final será del 75%.

El resto de la nota vendrá dada por las notas de los informes de prácticas de laboratorio y trabajos, siendo el trabajo de aproximación a los métodos numéricos aplicados al diseño de materiales compuestos un 12,5% de la nota final de la asignatura, y una práctica de laboratorio y un trabajo de simulación de procesos con un peso de un 6,75% cada una. Es necesario aprobar con una nota mayor o igual a 5 en prácticas para superar la asignatura.

En caso de que no pueda realizarse la práctica de laboratorio será sustituida por un trabajo en grupo relacionado con la fabricación de materiales compuestos.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
ALLAN BAKER, STUART DUTTON, DONALD KELLY. "Composite Materials for Aircraft Structures". Ed. AIAA Educational Series. EIBN 1-56347-540-5.	Bibliografía	Fundamental
MICHAEL C.Y. NIU. "Composite Airframe Structures". Ed. Technical Book Company, Los Angeles, 1992. ISBN 962-7128-06-6.	Bibliografía	Fundamental
VARIOS AUTORES. "MIL Handbook 17-3F Polymer Matrix Composites Vol4". Ed. U.S. Department of Defense.	Bibliografía	Específica
Espacio MOODLE de la asignatura <a href="http://moodle.upm.es/">http://moodle.upm.es/</a>	Recursos web	En esta plataforma se incluyen documentos docentes básicos de la asignatura, enlaces, test de autoevaluación, ejercicios propuestos y resueltos, etc. y se utiliza como método de comunicación de avisos y solución de dudas.

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

El tribunal de la asignatura es:

Presidente: Antonio Fernández

Secretario: Alfredo Güemes

Vocal: José Manuel Menendez

En caso de que se establezcan restricciones que impidan la realización de clases presenciales, la docencia será impartida de forma telemática mediante clases emitidas en directo, con el mismo horario y contenidos.

Respecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la asignatura tiene relación con los siguientes:

7- Energía Asequible y no contaminante: Debido a sus aplicaciones en energía eólica

8- Trabajo decente y crecimiento económico: Debido a su alto componente tecnológico

9- Industria, Innovación e infraestructura: Debido a sus aplicaciones en la industria aeronáutica y su influencia en la optimización de combustible