



POLITÉCNICA

CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

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

**145006507 - Materiales compuestos**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado en Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2017/18 - 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.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	13

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006507 - 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 en el que se imparte</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio
<b>Curso académico</b>	2017-18

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Antonio Fernandez Lopez	Lab Quimica 1	antonio.fernandez.lopez@upm.es	X - 08:00 - 10:00 J - 08:00 - 10:00
Jesus Alfredo Guemes Gordo (Coordinador/a)	Lab Quimica 3	alfredo.guemes@upm.es	X - 11:00 - 13:30 J - 11:00 - 13:30
Jose Manuel Menendez Martin	Lab Quimica 2	jose.m.menendez@upm.es	M - 18:00 - 19:00 J - 18:00 - 19:00

Jose Maria Pintado Sanjuanbenito	Lab Quimica 2	josemaria.pintado@upm.es	M - 18:00 - 19:00 J - 18:00 - 19:00
-------------------------------------	---------------	--------------------------	--

\* 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
- Resistencia de materiales y elasticidad
- Estructuras aeronauticas

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

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

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias que adquiere el estudiante al cursar la asignatura

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

CE46 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Las prestaciones tecnológicas, las técnicas de optimización de los materiales utilizados en el sector aeroespacial y los procesos de tratamientos para modificar sus propiedades mecánicas.

CE48 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los métodos de cálculo y de desarrollo de los materiales y sistemas de la defensa; el manejo de las técnicas experimentales, equipamiento e instrumentos de medida propios de la disciplina; la simulación numérica de los procesos físico-matemáticos más significativos; las técnicas de inspección, de control de calidad y de detección de fallos; los métodos y técnicas de reparación más adecuados.

CE49 - Conocimiento aplicado de: aerodinámica; mecánica del vuelo, ingeniería de la defensa aérea (balística, misiles y sistemas aéreos), propulsión espacial, ciencia y tecnología de los materiales, teoría de estructuras.

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 al cursar la asignatura

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 aeroestructuras 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. Fabricación de preformas. Braiding y stitching. 5.3. Resin Transfer Moulding (RTM). 5.4. Infusión de resina (RLI). 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. 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	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<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			
3	<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			
5	<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			
7	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio Bolsa de Vacío</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
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 Bolsa de Vacío</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
9	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio Bolsa de Vacío</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Evaluacion Practica 1</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Duración: 16:00
10	<b>Tema 6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Practica de Laboratorio Bolsa de Vacío</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Examen Parcial</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30

11	<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			
13	<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 Duración: 10:00
14	<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 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			
16				<b>Examen segunda parte y repetición del examen parcial</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30  <b>Examen final de las dos partes de la asignatura</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 03:00
17				

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

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.

## 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 Práctica 1	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	16:00	12.5%	5 / 10	CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
10	Examen Parcial	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	37.5%	5 / 10	CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
13	Evaluación Práctica 2	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	10:00	6.25%	5 / 10	CG4 CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
14	Evaluación práctica 3	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	12:00	6.25%	5 / 10	CG4 CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
16	Examen segunda parte y repetición del examen parcial	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	37.5%	5 / 10	CG4 CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

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	CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
13	Evaluación Practica 2	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	10:00	6.25%	5 / 10	CG4 CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 CE31
14	Evaluación practica 3	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	12:00	6.25%	5 / 10	CG4 CE46 CG3 CG9 CE48 CE49 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 parcial a mitad de cuatrimestre y otro examen al finalizar la impartición de las clases de teoría. Ambos exámenes pueden constar de dos partes, una primera parte del examen con preguntas tipo test y una segunda parte a desarrollar, o bien solo una de ellas, que serán evaluadas con una puntuación máxima de 10 puntos. El temario correspondiente a cada examen parcial puede ser liberado con una calificación por encima del 4.0, aunque se requerirá una media entre los dos parciales 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 10% de la nota final de la asignatura, y dos prácticas de laboratorio y un trabajo de simulación de procesos con un peso de un 7,5% cada una.

### EXÁMENES PARCIAL Y FINAL

El examen final puede constar de dos partes correspondientes a los temarios del primer parcial y del final. Cada una de ellas podrá ser evaluada mediante preguntas tipo test y/o preguntas a desarrollar, ambas evaluadas con una puntuación máxima de 10 puntos. En caso de que la evaluación sea mediante preguntas de tipo test y preguntas a desarrollar, estas últimas solo se corregirán siempre que la parte tipo test del examen se evalúe por encima de 4.0 sobre 10.0. La nota final de cada parte del examen será la nota media del test y de las preguntas de desarrollo. La nota final. Para liberar los contenidos teóricos de la asignatura se deberá obtener una nota por encima de 4,0 en cada parcial, requiriéndose una nota igual o superior a cinco entre los dos parciales. La nota de los parciales se respetará hasta el examen extraordinario de julio. En el supuesto de que el alumno no supere el examen tendrá la opción de recuperar esta parte en el examen final. El peso de la calificación de la teoría de la asignatura en la nota final será del 75%

### EVALUACIÓN DEL TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO Y DE LOS TRABAJOS

Se evalúa el trabajo realizado en las prácticas corrigiendo los informes del alumno sobre el trabajo práctico realizado. La nota del trabajo práctico de laboratorio tendrá en cuenta las notas de los informes y la calificación de la prueba escrita.

Además, se propondrán dos trabajos que el alumno podrá realizar en grupo. Uno será la aproximación a los métodos numéricos aplicados al diseño de materiales compuestos, y el otro una aproximación a la simulación de un proceso de fabricación por inyección de resina.

La calificación del laboratorio y trabajos tendrá un peso del 25% en la nota final obtenida en la asignatura. Es necesario aprobar con una nota mayor o igual a 5 el laboratorio para superar la asignatura.

Adicionalmente se podrá plantear en la semana 15 una práctica voluntaria relacionada con el tema 9, que se valorará con hasta un 5% de la nota final de la asignatura.

## 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	Específica
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

N/A