



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

143002002 - Aeroelasticidad avanzada

### PLAN DE ESTUDIOS

14IB - Master Universitario En Ingeniería Aeronautica

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2018/19 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
4. Descripción de la asignatura y temario.....	4
5. Cronograma.....	6
6. Actividades y criterios de evaluación.....	8
7. Recursos didácticos.....	10

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	143002002 - Aeroelasticidad avanzada
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Segundo semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	14IB - Master universitario en ingeniería aeronáutica
<b>Centro en el que se imparte</b>	1
<b>Curso académico</b>	2018-19

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Felix Arevalo Lozano	DVA-105	felix.arevalo@upm.es	J - 18:00 - 21:00
Marcos Chimeno Manguan	DVA-105	marcos.chimeno@upm.es	M - 10:30 - 13:30 J - 10:30 - 13:30
Pablo Garcia-Fogeda Nuñez (Coordinador/a)	DVA-105	pablo.garciafogeda@upm.es	M - 09:30 - 13:30 J - 09:30 - 13:30

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

## 3. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 3.1. Competencias

CE-SP-4 - Comprensión y dominio de las leyes de la Aerodinámica Interna. Aplicación de las mismas, junto con otras disciplinas, a la resolución de problemas complejos de Aeroelasticidad de Sistemas Propulsivos.

CE-VA-4 - Aplicación de los conocimientos adquiridos en distintas disciplinas a la resolución de problemas complejos de Aeroelasticidad.

CE-VA-9 - Capacidad para diseñar, ejecutar y analizar los Ensayos en Tierra y en Vuelo de los Vehículos Aeroespaciales, y para llevar a cabo el proceso completo de Certificación de los mismos.

CG1 - Capacidad para proyectar, construir, inspeccionar, certificar y mantener todo tipo de aeronaves y vehículos espaciales, con sus correspondientes subsistemas.

CG10 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Aeronáutico.

CG11 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación.

CG12 - Aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

CG15 - Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CG3 - Capacidad para la dirección general y la dirección técnica de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos aeronáuticos y espaciales.

CG4 - Capacidad de integrar sistemas aeroespaciales complejos y equipos de trabajo multidisciplinares.

CG6 - Capacidad para el análisis y la resolución de problemas aeroespaciales en entornos nuevos o desconocidos, dentro de contextos amplios y complejos.

CG8 - Competencia para el proyecto de construcciones e instalaciones aeronáuticas y espaciales, que requieran un proyecto integrado de conjunto, por la diversidad de sus tecnologías, su complejidad o por los amplios conocimientos técnicos necesarios.

CT1 - Capacidad para comprender los contenidos de clases magistrales, conferencias y seminarios, así como cualquier información y documentación en lengua inglesa.

CT2 - Capacidad para dinamizar y liderar equipos de trabajo multidisciplinarios.

CT3 - Capacidad para adoptar soluciones creativas que satisfagan adecuadamente las diferentes necesidades planteadas.

CT4 - Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de forma independiente o como miembro de un equipo.

CT5 - Capacidad para gestionar la información, identificando las fuentes necesarias, los principales tipos de documentos técnicos y científicos, de una manera adecuada y eficiente.

CT7 - Capacidad para trabajar en contextos internacionales.

### **3.2. Resultados del aprendizaje**

RA76 - RA3.- Elaborar informes y documentación a partir de la información suministrada utilizando bibliografía y fuentes de conocimiento adecuados.

RA79 - RA6.- Conocimiento y comprensión de los aspectos más importantes de la aeroelasticidad experimental, y más concretamente de los ensayos en tierra y en vuelo de las aeroestructuras.

RA75 - RA2.- Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los sistemas vibratorios de múltiples grados de libertad.

RA77 - RA4.- Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los métodos aplicados al estudio aeroelástico.

RA74 - RA1.- Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los métodos aplicados al estudio de la respuesta de aeronaves frente a cargas no estacionarias.

RA78 - RA5.- Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de la aeroelasticidad de ala, desde el punto de vista estático (problemas de divergencia torsional y de inversión de mando) y dinámico (problemas de flameo, bataneo y ráfagas).

## 4. Descripción de la asignatura y temario

---

### 4.1. Descripción de la asignatura

### 4.2. Temario de la asignatura

#### 1. Tema 1. SISTEMAS CONTINUOS Y SISTEMAS DISCRETOS.

1.1. 1.1. Características de un sistema con distribuciones de masa y rigidez.

1.2. 1.2. Aproximación de un sistema continuo por un sistema de un número finito de grados de libertad en coordenadas modales.

1.3. 1.3. Aproximaciones de sistemas continuos por sistemas de un solo grado de libertad.

#### 2. Tema 2. MÉTODOS APROXIMADOS PARA LA RESOLUCIÓN DE SISTEMAS CONTINUOS.

2.1. 2.1. Método de Rayleigh-Ritz.

2.2. 2.2. Matriz de rigidez consistente.

2.3. 2.3. Matriz de Masas consistente y matriz de masas puntuales.

2.4. 2.4. Vector de cargas dinámicas consistente.

2.5. 2.5. Métodos numéricos para el cálculo de las frecuencias y modos propios.

2.6. 2.6. Método de Guyan de reducción de coordenadas generalizadas.

#### 3. Tema 3. AEROELASTICIDAD ESTÁTICA DE ALAS.

3.1. 3.1. Alas rectas de gran alargamiento. Modelo unidimensional. 3.2. Alas con flecha. Acoplamiento flexión-torsión. 3.3. Acoplamiento fluido-estructura para el cálculo de divergencia e inversión del mando.

#### 4. Tema 4. AEROELASTICIDAD DINÁMICA DE ALAS.

4.1. 4.1. Método de la superficie sustentadora para alas en régimen compresible.

4.2. 4.2. Ecuaciones del acoplamiento fluidoestructura en el dominio de la frecuencia.

4.3. 4.3. Aplicación al cálculo de flameo y a la respuesta a la turbulencia atmosférica.

#### 5. Tema 5. AEROELASTICIDAD AVANZADA.

5.1. 5.1. Ecuaciones del acoplamiento fluidoestructura en el dominio de la Laplace. Aeroelasticidad en el dominio de Laplace.

5.2. 5.2. Aeroelasticidad no lineal: Nolinealidades estructurales, no linealidades aerodinámicas, oscilaciones de ciclo límite

5.3. 4.3. Aeroservoelasticidad.

## 6. Tema 6. ENSAYOS DE DINÁMICA ESTRUCTURAL Y AEROELASTICIDAD.

6.1. 6.1. Ensayos de vibración en tierra (GVT): Motivación del ensayo GVT, Hardware, software y desarrollo del ensayo, Ajuste del modelo de elementos finitos a GVT.

6.2. 6.2. Ensayos de vibración en vuelo (FVT): Motivación del ensayo FVT, Instrumentación, telemetría, software y desarrollo del ensayo, Ajuste del modelo aeroelástico al FVT.

## 5. Cronograma

### 5.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<b>Tema 1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Tema 2. Apartados 2.1 y 2.2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	<b>Tema 2. Apartados 2.3 y 2.4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	<b>Tema 2. Apartados 2.5 y 2.6</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	<b>Tema 2</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	<b>Tema 3. Apartado 3.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	<b>Tema 3. Apartado 3.2 y 3.3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	<b>Tema 3</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
9	<b>Tema 4. Apartado 4.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	<b>Tema 4. Apartado 4.2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	<b>Tema 4. Apartado 4.3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
13	<b>Tema 5. Apartado 5.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	<b>Tema 5. Apartado 5.2 y 5.3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Entrega de trabajos</b> PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final Duración: 00:00



15	<b>Tema 6. Apartado 6.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
16	<b>Tema 6. Apartado 6.2</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>Examen final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Duración: 02:00
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.

## 6. Actividades y criterios de evaluación

### 6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 6.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
14	Entrega de trabajos	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	60%	5 / 10	CG1 CT7 CG10 CG11 CG15 CG8 CG12 CT2 CT5 CG3 CT1 CT4 CG4 CG6 CT3 CE-VA-4 CE-VA-9 CE-SP-4
16	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	40%	5 / 10	CG3 CE-VA-4

#### 6.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
14	Entrega de trabajos	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	00:00	60%	5 / 10	CG1 CT7 CG10 CG11 CG15 CG8 CG12 CT2 CT5 CG3 CT1 CT4 CG4

							CG6 CT3 CE-VA-4 CE-VA-9 CE-SP-4
16	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	40%	5 / 10	CG3 CE-VA-4

### 6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 6.2. Criterios de evaluación

### CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se establecerá una evaluación continuada en la cual se consideran las actividades realizadas, trabajos personales individualizados y/o en grupo, y el examen final. Los trabajos individualizados y/o en grupo resueltos satisfactoriamente, son de obligado cumplimiento.

### INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

Los exámenes estarán compuestos de una parte teórica y otra de aplicación práctica. La parte teórica puede estar constituida por un lado:

- Ejercicios tipo " test" con ítems distractores y una solución verdadera o bien con ítems que pueden tener varias respuestas verdaderas o todas falsas.
- Ejercicios de preguntas de respuesta abierta que el alumno debe contestar creativa y correctamente.
- Ejercicios de desarrollo de algún tema de la asignatura.

Para la parte teórica no se podrán consultar libros ni apuntes.

La parte de aplicación práctica estará constituida por:

- Ejercicios de problemas teórico-prácticos relativos a los contenidos de la asignatura.

### SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

- Se establecerá una evaluación continuada en la cual se consideran las actividades prácticas a lo largo del semestre y/o examen final. Las prácticas son de obligado cumplimiento. El examen final será obligatorio para poder optar a aprobar la asignatura.

Los exámenes estarán compuestos de una parte teórica y/u otra de aplicación práctica, o una combinación de ambas. La parte teórica podrán estar constituida por: A) Ejercicios tipo " test" con ítems distractores y una solución verdadera o bien con ítems que pueden tener varias respuestas verdaderas o todas falsas. B) Ejercicios de preguntas de respuesta abierta que el alumno debe contestar creativa y correctamente. C) Ejercicios de desarrollo

de algún tema de la asignatura.

En su caso, la parte de aplicación práctica estará constituida por: A) Ejercicios de problemas teórico-prácticos relativos a los contenidos de la asignatura. B) Ejercicios relacionados con las prácticas realizadas.

La calificación final será dependiente de las pruebas realizadas por el alumno. La calificación obtenida por el alumno será la máxima de las siguientes notas finales:

$$NF1 = 0,6 \cdot P.I. + 0,4 \cdot P.F.$$

$$NF2 = 1,0 \cdot P.F.$$

Donde: NF<sub>i</sub>: Nota final; P.I.: Nota de las pruebas prácticas intermedias; P.F: Nota de la prueba fin

## 7. Recursos didácticos

### 7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
GARCÍA-FOGEDA, P. Y ARÉVALO LOZANO, F. "Apuntes de Aeroelasticidad Avanzada". ETSI Aeronáuticos, UPM.	Bibliografía	Fundamental
DOWELL, EH., CURTISS, HC., SCANLAN, RH Y F. SISFO. FR. "A Modern Course in Aeroelasticity". Sijthoff and Noordhoff, 1980	Bibliografía	fundamental
BISPLINGHOFF, RL. Y ASHLEY, H. "Principles of Aeroelasticity". Dover, 1962.	Bibliografía	Complementario
BISPLINGHOFF, RL, ASHLEY H., Y R.L. HALFMAN. RL. "Aeroelasticity". Ed. Addison-Wesley, 1955.	Bibliografía	Complementaria
BIELAWA, RICHARD L. "Rotary wing structural dynamics and aeroelasticity".	Bibliografía	Complementaria

FUNG. YC. "An Introduction to the theory of Aeroelasticity". Ed. Wiley, 1955.	Bibliografía	Complementaria
WRIGHT, JAN R. Y COOPER, JONATHAN E. "Introduction to aircraft aeroelasticity and loads". American Institute of aeronautics and Astronautics, Chichester Reston, Virginia, 2007.	Bibliografía	Complementaria
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.
Laboratorio	Equipamiento	En el laboratorio los alumnos dispondrán del material e instrumentos necesarios para realizar las prácticas programadas de la asignatura.