



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

**145006101 - Aerodinámica y Aeroelasticidad**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - 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

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006101 - Aerodinamica y Aeroelasticidad
<b>No de créditos</b>	9 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>	2019-20

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Fernando Gandía Aguera (Coordinador/a)	B - 219	fernando.gandia@upm.es	Sin horario.
Rodolfo Sant Palma	B - 218	rodolfo.sant@upm.es	Sin horario.
Luis Manuel Ayuso Moreno	B - 218	luis.ayuso@upm.es	Sin horario.
Pablo Garcia-Fogeda Nuñez	DAVE - 105	pablo.garciafogeda@upm.es	Sin horario.

Marcos Chimeno Manguan	DAVE - 113	marcos.chimeno@upm.es	Sin horario.
Sebastian Nicolas Franchini Longhi	IDR	s.franchini@upm.es	Sin horario.
Angel Antonio Rodriguez Sevillano	B - 219	angel.rodriguez.sevillano@upm.es	Sin horario.
Angel Pedro Sanz Andres	IDR	angel.sanz.andres@upm.es	Sin horario.
Felix Arevalo Lozano	DAVE - 105	felix.arevalo@upm.es	Sin horario.

\* 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

- Mecanica De Fluidos
- Termodinamica

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

- Ecuaciones integrales y diferenciales,

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE22 - 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.

CE24 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los fundamentos de la mecánica de fluidos que describen el flujo en todos los regímenes, para determinar las distribuciones de presiones y las fuerzas sobre las aeronaves.

CE27 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: los métodos de cálculo de diseño y proyecto aeronáutico; el uso de la experimentación aerodinámica y de los parámetros más significativos en la aplicación teórica; el manejo de las técnicas experimentales, equipamiento e instrumentos de medida propios de la disciplina;

la simulación, diseño, análisis e interpretación de experimentación y operaciones en vuelo; los sistemas de mantenimiento y certificación de aeronaves

CE28 - Conocimiento aplicado de: aerodinámica; mecánica y termodinámica, mecánica del vuelo, ingeniería de aeronaves (ala fija y alas rotatorias), teoría de estructuras.

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

RA7 - Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los fenómenos aerodinámicos y de las leyes que gobiernan su comportamiento.

RA8 - Conocimiento, comprensión y síntesis de los fenómenos físicos del vuelo de las aeronaves.

RA9 - Conocimiento, comprensión y análisis de la aerodinámica.

RA6 - Conocimiento y comprensión de la aeroelasticidad.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

Esta asignatura representa una introducción a las enseñanzas de Aerodinámica y Aeroelasticidad a nivel básico.

En la parte dedicada a la Aerodinámica, se presenta un compendio de las teorías potenciales linealizadas que permiten analizar el flujo alrededor de cuerpos de geometría sencilla, como perfiles, alas y cuerpos esbeltos, que se mueven a través del aire en régimen subsónico o supersónico. Se finaliza con una introducción a la Aerodinámica experimental.

La parte correspondiente a la Aeroelasticidad está dedicada al estudio del perfil aerodinámico, primero desde el punto de vista estático y después dinámico y, finalmente, se hace una introducción a la Aeroelasticidad experimental.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. BLOQUE TEMÁTICO 1. AERODINÁMICA (6 créditos).

#### 1.1. Tema 1. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL PERFIL.

1.1.1. 1.1. Características geométricas de los perfiles. Fuerzas y momentos.

1.1.2. 1.2. Sustentación. Circulación. Condiciones de Kutta-Youkowski. Torbellino de arranque.

1.1.3. 1.3. Resistencia aerodinámica de presión y de fricción.

1.1.4. 1.4. Métodos de cálculo en aerodinámica.

1.1.5. 1.5. Representación gráfica de los coeficientes aerodinámicos.

#### 1.2. Tema 2. MOVIMIENTOS PLANOS POTENCIALES.

1.2.1. 2.1. Función potencial y de corriente. Potencial complejo. 2.2. Singularidades. 2.3. Movimiento alrededor de un cilindro. 2.4. Singularidades distribuidas. Transformación conforme

#### 1.3. Tema 3. PERFILES EN RÉGIMEN INCOMPRESIBLE.

1.3.1. 3.1. Teoría potencial linealizada en régimen incompresible. 3.2. Métodos numéricos. Método de paneles. 3.3. Características aerodinámicas. Influencia de la geometría. 3.4. Entrada en pérdida. 3.5. Hipersustentadores.

#### 1.4. Tema 4. PERFILES EN RÉGIMEN COMPRESIBLE.

1.4.1. 4.1. Teoría potencial linealizada en régimen compresible. Analogía de Prandtl - Glauert.

1.4.2. 4.2. Número de Mach crítico y Mach de divergencia aerodinámica. Perfiles supercríticos.

1.4.3. 4.3. Régimen Transónico.

1.4.4. 4.4. Teoría potencial linealizada en régimen supersónico. Teoría de Ackerett.

1.4.5. 4.5. Características aerodinámicas. Influencia de la geometría

#### 1.5. Tema 5. FAMILIAS DE PERFILES.

1.5.1. 5.1. Familias de perfiles. 5.2. Criterios de selección de un perfil.

#### 1.6. Tema 6. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL ALA.

1.6.1. 6.1. Características geométricas. 6.2. Fuerzas y momentos. Movimiento tridimensional. Resistencia inducida.

#### 1.7. Tema 7. ALAS EN RÉGIMEN INCOMPRESIBLE.

1.7.1. 7.1. Características geométricas.

1.7.2. 7.2. Métodos clásicos. Prandtl, Anderson, Weissinger, etc.

1.7.3. 7.3. Métodos numéricos. Mallas de torbellinos (VLM).

1.7.4. 7.4. Características aerodinámicas. Influencia de la geometría.

1.7.5. 7.5. Entrada en pérdida de alas. Hipersustentadores.

1.7.6. 7.6. Dispositivos especiales. Reducción de resistencia.

1.8. Tema 8. ALAS EN RÉGIMEN COMPRESIBLE.

1.8.1. 8.1. Compresibilidad. Alas en flecha y en delta. 8.2. Régimen Transónico. 8.3. Teoría linealizada en régimen supersónico. 8.4. Consideraciones de diseño.

1.9. Tema 9. CUERPOS ESBELTOS.

1.9.1. 9.1. Características geométricas. Coeficientes de fuerza y momento. 9.2. Teoría potencial. Características aerodinámicas. 9.3. Régimen compresible. Regla del área.

1.10. Tema 10. AVIÓN.

1.10.1. 10.1. Coeficientes de fuerza y momento. Configuraciones del avión. 10.2. Cálculo de la Polar. Régimen incompresible y compresible. 10.3. Cálculo de la polar con hipersustentadores. 10.4. Interferencias y estelas. Reducción de resistencia.

1.11. Tema 11. EXPERIMENTACIÓN EN AERODINÁMICA.

1.11.1. 11.1. Túneles aerodinámicos. 11.2. Técnicas de visualización de flujo. 11.3. Ensayos aerodinámicos.

2. BLOQUE TEMÁTICO 2. AEROELASTICIDAD (3 créditos).

2.1. Tema 1. INTRODUCCIÓN A LA AEROELASTICIDAD.

2.1.1. 1.1. Triángulo de Collar. 1.2. Velocidades críticas.

2.2. Tema 2. AEROELASTICIDAD ESTÁTICA DEL PERFIL.

2.2.1. 2.1. Fenómenos aeroelásticos estáticos. 2.2. Ala bidimensional. Divergencia torsional. Inversión y efectividad del mando

2.3. Tema 3. AEROELASTICIDAD DINÁMICA DEL PERFIL.

2.3.1. 3.1. Aeroelasticidad dinámica. Flameo. Sistemas de tres grados de libertad. Métodos de obtención de la velocidad y frecuencia de flameo. Integración en el tiempo. Método p. Método V-g. Efecto de la compresibilidad en la velocidad de flameo.

2.3.2. 3.2. Teoría del perfil oscilante en una corriente incompresible. Ecuaciones generales. Función de Theodorsen. Cálculo de flameo

2.3.3. 3.3. Teoría del perfil oscilante en una corriente supersónica. Ecuaciones generales. Función de Garrick. Teoría del Pistón Cálculo de flameo y fuerzas oscilatorias.

2.3.4. 3.4. Aeroelasticidad dinámica. Ráfagas. Respuesta dinámica de un perfil a una ráfaga discreta. Función de Wagner y Küssner. Ráfagas. Función de Sears. Respuesta de un avión rígido a la turbulencia atmosférica.

#### 2.4. Tema 4. AEROELASTICIDAD EXPERIMENTAL.

2.4.1. 4.1. Introducción. 4.2. Ensayos en tierra. 4.3. Ensayos en vuelo.



## 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>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
2			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
3			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
4			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
5			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
6			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
7			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
8			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	<b>Aerodinámica 1</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 00:00
9			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
10			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
11			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
12			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	
13			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	

14			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	<b>Aerodinámica 2</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 00:00
15			<b>Clases de Teoría y Problemas.</b> Duración: 00:00 OT: Otras actividades formativas	<b>Aeroelasticidad</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 00:00
16				
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
8	Aerodinámica 1	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	33%	4 / 10	CG9 CG3 CE24 CE27 CE28
14	Aerodinámica 2	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	33%	4 / 10	
15	Aeroelasticidad	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	33%	5 / 10	CE22 CE24 CG3

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

No se ha definido la evaluación sólo por prueba final.

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

### Criterios de evaluación.

Se establecerá una evaluación continuada en la cual se consideran las actividades realizadas, trabajos personales individualizados, exámenes parciales a lo largo del semestre y/o examen final.

El estudiante puede voluntariamente realizar o no los exámenes parciales.

### Instrumentos de evaluación.

1. Contenido de los exámenes. Los exámenes estarán compuestos de una parte teórica y otra de aplicación práctica.

1.a. En el desarrollo de la parte teórica no se podrán consultar libros ni apuntes. Esta parte podrá estar constituida por:

- 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 correctamente.
- Ejercicios de desarrollo de algún tema de la asignatura.

1.b. La parte de aplicación práctica estará constituida por ejercicios de problemas teórico-prácticos relativos a los contenidos de la asignatura. En esta parte:

- No se podrán consultar libros ni apuntes (en la parte de Aerodinámica se permitirá usar una única hoja a modo de formulario).
- No se permitirá el uso de calculadora programable.

2. Sistema de calificación de la asignatura.

2.a. Evaluación continua.

- En la parte de **Aerodinámica**, se realizarán dos pruebas parciales no liberatorias.

La calificación obtenida, en esta parte, por el alumno será la siguiente:

$$\text{NAD} = 0,15 \text{ A} + 0,85 \text{ B}$$

Donde:

NAD: Nota de Aerodinámica.

A: Nota media de las actividades y trabajos realizados.

B: Nota media de las pruebas parciales.

El alumno podrá liberar la parte de Aerodinámica mediante las pruebas parciales, cuando obtenga en cada una de ellas una nota igual o superior a 4.0 sobre 10 y una NAD igual o superior a 5,0 sobre 10.

El alumno que haya liberado por curso la parte de Aerodinámica podrá presentarse al examen final ordinario para mejorar su nota, pero teniendo en cuenta que la nota final de esta parte será la obtenida en el examen final, aunque sea menor que la obtenida por curso.

- En la parte de **Aeroelasticidad**, se realizará un examen parcial. El alumno podrá liberar esta parte cuando obtenga una nota igual o superior a 5,0.

## 2.b. Evaluación final.

Adicionalmente, se realizará una **prueba final obligatoria** al completar el semestre.

Los alumnos que hayan liberado una parte de la asignatura por parciales, están exentos de esa parte en el examen final.

En el examen final, la calificación obtenida por el alumno en la parte de Aerodinámica será la siguiente:

$$\text{NADF} = 0,15 A + 0,85 C$$

Donde:

NADF: Nota media de Aerodinámica en el examen final.

C: Nota media de los ejercicios de Aerodinámica del examen final.

En el examen final, el alumno podrá liberar por separado la parte de Aerodinámica o la de Aeroelasticidad, dentro de un curso académico, cuando obtenga una nota media en esa parte igual o superior a 5.0 sobre 10.

La nota final obtenida por el alumno en la asignatura se obtendrá como media ponderada de ambas partes (asignando un peso de 0,65 a Aerodinámica y un peso de 0,35 a Aeroelasticidad).

La asignatura se considerará aprobada cuando la nota final sea igual o superior a 5,0 sobre 10 y una nota media en ambas partes superior a 4,0.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
GANDÍA, F.; BARCALA, A.; "Introducción a la Aerodinámica". Ed. Fundación General UPM, 2003.	Bibliografía	Aerodinámica. Fundamental.
GANDÍA, F.; GONZALO DE GRADO, J.; MARGOT, X.; MESEGUER, J. "Fundamentos de los métodos numéricos en Aerodinámica". Garceta Grupo Editorial	Bibliografía	Aerodinámica. Fundamental.

MESEGUER, J.; SANZ, A. "Aerodinámica Básica". Garceta Grupo Editorial.	Bibliografía	Aerodinámica. Fundamental.
ANDERSON, J. "Fundamentals of Aerodynamics". Ed. McGraw Hill, 1984.	Bibliografía	Aerodinámica. Fundamental.
BERTIN, J.J.; SMITH, M. L. "Aerodynamics for Engineers". Ed. Prentice Hall, 1989.	Bibliografía	Aerodinámica. Complementaria.
KUETHE, A.; CHOW, C. "Foundations of Aerodynamics". Ed. John Wiley & Sons, 1986.	Bibliografía	Aerodinámica. Complementaria.
SCHLICHTING, H.; TRUCKENBRODT, E.; RAMM, H. "Aerodynamics of the Airplane". Ed. McGraw Hill, 1979.	Bibliografía	Aerodinámica. Complementaria.
GARCÍA-FOGEDA, P. Y ARÉVALO, F. "Introducción a la Aeroelasticidad", Editorial Garceta, Septiembre, 2015.	Bibliografía	Aeroelasticidad. Fundamental.
LÓPEZ DÍEZ, J. Y GARCÍA- FOGEDA, P. "Problemas de Aeroelasticidad". ETSI Aeronáuticos, UPM.	Bibliografía	Aeroelasticidad. Fundamental.
DOWELL, EH., CURTISS, HC., SCANLAU, RH Y F. SISFO. FR. "A Modern Course in Aeroelasticity". Sijthoff and Noordhoff, 1980.	Bibliografía	Aeroelasticidad. Fundamental.
BISPLINGHOFF, RL. Y ASHLEY, H. "Principles of Aeroelasticity". Dover, 1962.	Bibliografía	Aeroelasticidad. Complementaria.
BISPLINGHOFF, RL, ASHLEY H., Y R.L. HALFMAN. RL. "Aeroelasticity". Ed. Addison-Wesley, 1955.	Bibliografía	Aeroelasticidad. Complementaria.

BIELAWA, RICHARD L. "Rotary wing structural dynamics and aeroelasticity".	Bibliografía	Aeroelasticidad. Complementaria.
FUNG. YC. "An Introduction to the theory of Aeroelasticity". Wiley, 1955.	Bibliografía	Aeroelasticidad. 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	Aeroelasticidad. 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.