



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

143002002 - Aeroelasticidad Avanzada

PLAN DE ESTUDIOS

14IB - Master Universitario En Ingeniería Aeronautica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2024/25 - Segundo semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	5
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	12
9. Otra información.....	14

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	143002002 - Aeroelasticidad Avanzada
No de créditos	3 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Segundo semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14IB - Master Universitario en Ingeniería Aeronautica
Centro responsable de la titulación	14 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2024-25

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Andres Keyvan Salehi Paniagua	C014	keyvan.salehi@upm.es	Sin horario. Se publicarán en Moodle de la asignatura
Marcos Chimeno Manguan	C110	marcos.chimeno@upm.es	Sin horario. Se publicarán en Moodle de la asignatura

Felix Arevalo Lozano	C012	felix.arevalo@upm.es	Sin horario. Se publicarán en Moodle de la asignatura
Pablo Garcia-Fogeda Nuñez (Coordinador/a)	C012	pablo.garciafogeda@upm.es	Sin horario. Se publicarán en Moodle de la asignatura

* 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

El plan de estudios Master Universitario en Ingeniería Aeronáutica no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Vibraciones
- Aeroelasticidad del perfil

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. 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.

4.2. Resultados del aprendizaje

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

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.

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).

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

5.2. Temario de la asignatura

1. Tema 1. SISTEMAS CONTINUOS Y SISTEMAS DISCRETOS.

- 1.1. Características de un sistema con distribuciones de masa y rigidez.
- 1.2. Aproximación de un sistema continuo por un sistema de un número finito de grados de libertad en coordenadas modales.
- 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. Método de Rayleigh-Ritz.
- 2.2. Matriz de rigidez consistente.
- 2.3. Matriz de Masas consistente y matriz de masas puntuales.
- 2.4. Vector de cargas dinámicas consistente.
- 2.5. Método de Guyan de reducción de coordenadas generalizadas.

3. Tema 3. AEROELASTICIDAD ESTÁTICA DE ALAS.

- 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. Método de la superficie sustentadora para alas en régimen compresible.
- 4.2. Ecuaciones del acoplamiento fluidoestructura en el dominio de la frecuencia.
- 4.3. Aplicación al cálculo de flameo y a la respuesta a la turbulencia atmosférica.

5. Tema 5. TEMAS ESPECIALES EN AEROELASTICIDAD

- 5.1. Ecuaciones del acoplamiento fluidoestructura en el dominio de la Laplace. Aeroelasticidad en el dominio de Laplace.
- 5.2. Aeroelasticidad no lineal: Nolinealidades estructurales, no linealidades aerodinámicas, oscilaciones de

ciclo límite

5.3. Aeroservoelasticidad.

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Tema 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Tema 2. Apartados 2.1 y 2.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Tema 2. Apartados 2.3 y 2.4 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	Tema 2. Apartados 2.5 y 2.6 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	Tema 2 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	Tema 3. Apartado 3.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	Tema 3. Apartado 3.2 y 3.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	Tema 3 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
9	Tema 4. Apartado 4.1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	Tema 4. Apartado 4.2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	Tema 4. Apartado 4.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	Tema 4. Apartado 4.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	Tema 4. Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
14	Tema 4. Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			

15	Tema 5. Apartado 5.1,5.2 y 5.3 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Entrega de trabajos PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación Progresiva Presencial Duración: 01:00
16				Examen final EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00
17				Examen final extraordinario EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00

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.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
15	Entrega de trabajos	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	01:00	60%	5 / 10	CG10 CG1 CT7 CT2 CT4 CE-SP-4 CE-VA-9 CG11 CG15 CG8 CG12 CT5 CG3 CT1 CG4 CG6 CT3 CE-VA-4

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CG10 CG1 CT7 CG11 CG15 CG8 CG12 CT2 CT5 CG3 CT1 CT4 CG4 CG6 CE-VA-4 CE-VA-9

17	Examen final extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	
----	-----------------------------	-------------------------------------	------------	-------	------	--------	--

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Prueba de Evaluación Extraordinaria	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CG1 CT7 CG10 CG11 CG15 CG8 CG12 CT2 CT5 CG3 CT1 CT4 CG4 CG6 CE-VA-4 CE-SP-4

7.2. Criterios de evaluación

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se establecerá una evaluación distribuida/progresiva 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.

La parte de aplicación práctica estará constituida por:

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

Durante el examen no se podrán consultar libros ni apuntes.

SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA

Evaluación progresiva y/o final ordinaria

- Se establecerá una evaluación distribuida/progresiva en la cual se consideran las actividades prácticas a lo largo del semestre y examen final. Las prácticas son de obligado cumplimiento. El examen final será obligatorio para poder optar a aprobar la asignatura: **La nota mínima en el examen final obligatorio para realizar la evaluación distribuida/progresiva es de 2.5 sobre 10.0.**

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_i: Nota final; P.I.: Nota de las pruebas prácticas intermedias; P.F: Nota de la prueba fin

La nota final mínima para aprobar la asignatura es de 5.0 sobre 10.0

Evaluación por prueba final extraordinaria

La evaluación por prueba final extraordinaria se realizará mediante examen escrito con parte de teoría y de ejercicios de problemas teórico-prácticos.

Para esta evaluación extraordinaria **NO** se tendrán en cuenta los trabajos individualizados y/o en grupo realizados para la evaluación distribuida/progresiva.

La nota final mínima para aprobar la asignatura en la evaluación extraordinaria es de 5.0 sobre 10.0

8. Recursos didácticos

8.1. 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 http://moodle.upm.es/	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.

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

En la asignatura abordamos los principios y aplicaciones de la dinámica estructural, alineándonos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Nuestra asignatura contribuye a los siguientes ODS:

ODS 4: Educación de Calidad

Proporcionamos una educación de alta calidad en ingeniería estructural, enfatizando la ética profesional y la sostenibilidad. Los estudiantes desarrollan soluciones innovadoras y sostenibles para problemas estructurales, promoviendo un aprendizaje aplicable a contextos reales.