



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S.I Aeronáutica y del
Espacio

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

143001006 - Mecánica De Fluidos Avanzada

PLAN DE ESTUDIOS

14IB - Master Universitario En Ingeniería Aeronautica

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2025/26 - Primer 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.....	5
6. Cronograma.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	13
9. Otra información.....	14

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	143001006 - Mecánica de Fluidos Avanzada
No de créditos	5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14IB - Master Universitario en Ingeniería Aeronautica
Centro responsable de la titulación	14 - E.T.S.I. Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Victor Muntean Erhan	C121	victor.muntean@upm.es	L - 13:00 - 15:00 X - 13:00 - 15:00
Benigno Lazaro Gomez (Coordinador/a)	C120	benigno.lazaro@upm.es	L - 11:00 - 14:00 X - 11:00 - 14:00
Ezequiel Gonzalez Martinez	C119	ezequiel.gonzalez@upm.es	L - 11:30 - 14:30 X - 11:30 - 14:30

* 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

- Curso adicional de Mecánica de Fluidos, que mejore y profundice en los conocimientos básicos, incluyendo aspectos tales como el análisis de flujo ideal no-estacionario y flujo compresible en conductos de sección lentamente variable.
- Conocimientos de Cálculo Diferencial e Integral, Termodinámica de Equilibrio, Cinemática y Dinámica.
- Curso básico de Mecánica de Fluidos, incluyendo la descripción de las ecuaciones de Navier-Stokes y sus condiciones de contorno, así como el estudio de flujos simples, tales como flujos uni-direccionales laminares y flujos ideales.

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE-SP-2 - Conocimiento adecuado de Mecánica de Fluidos Avanzada, con especial incidencia en las Técnicas Experimentales y Numéricas utilizadas en la Mecánica de Fluidos.

CE-SP-3 - Comprensión y dominio de los fenómenos asociados a la Combustión y a la Transferencia de Calor y Masa.

CE-VA-2 - Conocimiento adecuado de Mecánica de Fluidos Avanzada, con especial incidencia en la Mecánica de Fluidos Computacional y en los fenómenos de Turbulencia.

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.

CG13 - Ser capaz de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

CG14 - Comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

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

CG16 - Capacidad de integrar el respeto al medio ambiente como actitud general en la gestión y el desempeño de sus actividades.

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.

CG5 - Capacidad para analizar y corregir el impacto ambiental y social de las soluciones técnicas de cualquier sistema aeroespacial.

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

CG7 - Competencia para planificar, proyectar, gestionar y certificar los procedimientos, infraestructuras y sistemas que soportan la actividad aeroespacial, incluyendo los sistemas de navegación aérea.

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.

CG9 - Competencia en todas aquellas áreas relacionadas con las tecnologías aeroportuarias, aeronáuticas o espaciales que, por su naturaleza, no sean exclusivas de otras ramas de la ingeniería.

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 multidisciplinares.

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.

CT6 - Capacidad para emitir juicios sobre implicaciones económicas, administrativas, sociales, éticas y medioambientales ligadas a la aplicación de sus conocimientos.

CT7 - Capacidad para trabajar en contextos internacionales.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA199 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de flujo en capa límite turbulenta.

RA196 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de la descripción básica de flujos turbulentos.

RA200 - Conocimiento, comprensión y aplicación de modelos de cierre turbulento algebraicos y de dos ecuaciones.

RA195 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de flujos de capa límite laminar incompresible y compresible, incluidos métodos integrales para su resolución aproximada.

RA198 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de flujos turbulentos en conductos.

RA197 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de flujos de cortadura libre turbulenta.

RA194 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de flujos de cortadura libre laminar

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

La mecánica de fluidos encuentra múltiples aplicaciones en ingeniería aeronáutica y espacial, de tal forma que puede considerarse una disciplina básica en estas áreas. Su especial relevancia justifica el estudio de alguno de sus aspectos avanzados, en particular, aquellos que juegan un papel protagonista en la ingeniería aeroespacial y que no han podido desarrollarse de forma adecuada dentro de los cursos básicos de mecánica de fluidos típicamente incluidos en las titulaciones de grado. Específicamente, la asignatura profundiza en el estudio y descripción del flujo en capas límites y del flujo turbulento.

El contenido de la asignatura incluye en primer lugar una revisión de las ecuaciones de Navier-Stokes y de sus condiciones de contorno, recordando los procedimientos de adimensionalización y las técnicas de análisis dimensional. A continuación se estudia el flujo laminar esbelto a elevados números de Reynolds, incluyendo el análisis de flujos de cortadura libre y, especialmente, de la capa límite laminar. En este último apartado se presta atención tanto a soluciones analíticas como a métodos integrales aproximados utilizados para su resolución generalizada.

La segunda parte de la asignatura se dedica al análisis del flujo turbulento, recordando los conceptos básicos asociados a su estudio, las escalas que lo definen, así como las ecuaciones utilizadas en su resolución aproximada (ecuaciones de Reynolds). Posteriormente se estudian los flujos turbulentos de cortadura libre y con presencia de paredes, incluyendo el análisis detallado de la estructura del flujo turbulento en tubos y en la capa límite turbulenta. Finalmente se introducen alguno de los modelos propuestos para establecer el cierre de las ecuaciones de Reynolds, ampliamente utilizados en la resolución del flujo turbulento mediante métodos CFD.

5.2. Temario de la asignatura

1. REVISION DE ECUACIONES DE NAVIER-STOKES

- 1.1. Principios de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía.
- 1.2. Ecuaciones de Euler.
- 1.3. Condiciones iniciales y de contorno.
- 1.4. Formulación adimensional, parámetros adimensionales y semejanza física. Aplicación al flujo de Rayleigh.

2. FLUJO ESBELTO LAMINAR CON $Re \gg 1$

- 2.1. Ecuaciones y condiciones de contorno.
- 2.2. Cortadura libre laminar: flujo en estelas y chorros laminares.

3. CAPA LIMITE LAMINAR

- 3.1. Introducción. Ecuaciones de la capa límite. Problemas de perturbaciones singulares. Espesores y consideraciones generales.
- 3.2. Ecuación integral de Karman.
- 3.3. Solución de Blasius. Efectos de succión/soplado.
- 3.4. Soluciones de Falkner-Skan.
- 3.5. Capa límite térmica.
- 3.6. Efectos de compresibilidad.
- 3.7. Métodos integrales aproximados para la capa límite incompresible. Métodos de Pohlhausen y Thwaites.
- 3.8. Métodos para la resolución de capa límites compresibles.

4. INTRODUCCION AL FLUJO TURBULENTO

- 4.1. Descripción general y propiedades del flujo turbulento.
- 4.2. Dinámica de vorticidad. Escalas turbulentas.
- 4.3. Ecuaciones de Reynolds (descripción RANS).
- 4.4. Cierre turbulento. Hipótesis de Boussinesq. Viscosidad Turbulenta
- 4.5. Modelos turbulentos básicos. Longitud de mezcla de Prandtl.

5. FLUJO ESBELTO TURBULENTO

- 5.1. Ecuaciones del flujo esbelto turbulento.

5.2. Flujos turbulentos de cortadura libre. Estela turbulenta lejana.

6. FLUJO TURBULENTO EN CONDUCTOS

6.1. Introducción. Ecuaciones y regiones del flujo para conductos lisos de sección circular.

6.2. Análisis de la regiones central y de pared. Acoplamiento.

6.3. Efectos de la rugosidad de la pared.

6.4. Diagrama de Moody y correlación de Colebrook. Análisis de flujo turbulento en conductos de sección transversal no circular.

7. CAPA LIMITE TURBULENTO

7.1. Introducción. Ecuaciones y condiciones de contorno.

7.2. Estructura de la capa límite turbulenta. Regiones de pared y del defecto de velocidad. Acoplamiento. Efecto de la rugosidad de la pared.

7.3. Capas límites en equilibrio.

7.4. Evolución de escalas en la capa límite turbulenta. Aplicación al caso sin gradiente de presión.

8. MODELOS TURBULENTOS PARA LAS ECUACIONES DE NAVIER-STOKES CON PROMEDIO DE REYNOLDS

8.1. Introducción. Cierre de las ecuaciones de Reynolds. Modelos RANS-Boussinesq.

8.2. Modelos algebraicos y de una ecuación.

8.3. Modelos de dos ecuaciones.

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 Tema 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Tema 2 Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 3 Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Tema 3 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	Tema 3 Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Temas 2- 3 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
5	Tema 3 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
6	Tema 3 Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 3 Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
7	Tema 4 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	Tema 4 Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 5 Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			

9	Tema 6 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	Tema 6 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Prueba Objetiva Intermedia Duración: 02:30 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			Prueba Objetiva Intermedia EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 02:30
11	Tema 6 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Temas 5-6 Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
12	Tema 7 Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	Tema 7 Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Tema 7 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
14				
15	Tema 7 Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas Tema 8 Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
16				
17				Prueba Objetiva Final EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 04:00

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
10	Prueba Objetiva Intermedia	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	100%	5 / 10	CT5 CT6 CG14 CE-SP-2 CE-SP-3 CT2 CT4 CE-VA-2 CG12 CG4 CG3 CG1 CG5 CG6 CG7 CG8 CG11 CG13 CT3 CT7 CG15 CG16 CT1

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Prueba Objetiva Final	EX: Técnica del tipo	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CT5 CT6 CG14 CG3 CE-SP-2 CE-SP-3 CT2 CT4 CE-VA-2 CG1 CG4 CG5

		Examen Escrito					CG6 CG7 CG8 CG11 CG13 CT3 CT7 CG15 CG16 CT1 CG12
--	--	-------------------	--	--	--	--	--

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Prueba Objetiva Extraordinaria	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CG14 CG3 CE-SP-2 CE-SP-3 CT2 CT4 CT5 CT6 CE-VA-2 CG1 CG4 CG5 CG6 CG7 CG8 CG11 CG13 CT3 CT7 CG15 CG16 CT1 CG12

7.2. Criterios de evaluación

La evaluación ordinaria de la asignatura se llevará a cabo mediante una prueba objetiva intermedia y otra final.

La prueba objetiva intermedia evaluará el aprendizaje de los Temas 1 a 3, y puede incluir ejercicios tanto de parte teórica como de aplicación práctica.

- La evaluación de la parte teórica puede incluir ejercicios tipo test, ejercicios de preguntas de respuesta abierta o ejercicios de desarrollo de algún tema de la asignatura. Para la parte teórica no podrán consultarse libros ni apuntes durante el desarrollo del examen.
- La evaluación de la parte de aplicación práctica puede incluir ejercicios de problemas relativos a los contenidos de la asignatura. Para la parte práctica, y para ciertos ejercicios específicamente anunciados durante el desarrollo del examen, se podrá habilitar la consulta de los apuntes de la asignatura, tanto los publicados por el Servicio de Publicaciones de la ETSIAE como los manuscritos de puño y letra por el alumno durante el seguimiento de las lecciones magistrales, así como los contenidos adicionales subidos a la página Moodle de la asignatura y los ejercicios resueltos en clase durante el curso 2025-2026.

La prueba objetiva final puede incluir ejercicios teóricos y prácticos similares a los de la prueba intermedia, así como ejercicios teóricos y prácticos adicionales de evaluación de los Temas 4 a 8, siguiendo las mismas pautas de acceso a material de consulta que los especificados en la prueba de evaluación intermedia. La superación de esta última (obtención de más del 50% de la máxima calificación de la prueba) puede eximir en la prueba objetiva final de la realización de los ejercicios asociados a los Temas 1 a 3.

La nota final de la asignatura se compondrá de una suma ponderada de la calificación obtenida en los distintos ejercicios incluidos en las partes teórica y práctica del examen, con pesos similares en cada uno de ellos. Como dato meramente orientativo, los ejercicios asociados a los Temas 1 a 3 tendrán un peso no superior al 50% de la nota final, mientras que los asociados a los Temas 4 a 8 tendrán un peso no inferior al 50% de la nota final.

La evaluación extraordinaria de la asignatura se llevará a cabo mediante una prueba objetiva extraordinaria, que puede incluir ejercicios teórico-prácticos y prácticos similares a los de de la prueba objetiva final. Los ejercicios incluirán la evaluación de los Temas 1-8 de la asignatura, en principio independientemente de los resultados obtenidos en las pruebas objetiva intermedia y final. Para la prueba objetiva extraordinaria se mantendrán las pautas de acceso a material de consulta descritas más arriba.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Higuera, F.; Liñán, A.; Rodríguez, M. Movimiento a Altos Números de Reynolds (2014).	Bibliografía	Apuntes de la asignatura disponibles en el Servicio de Publicaciones de la ETSIAE
Lázaro, B. Capa Límite Laminar Compresible (2025).	Bibliografía	Monografía disponible en el espacio Moodle de la asignatura
Lázaro, B. Introduction to Turbulence and RANS Modeling (2016).	Bibliografía	Monografía disponible en el espacio Moodle de la asignatura
Batchelor, G.K. An Introduction to Fluid Mechanics. Cambridge University Press (2000).	Bibliografía	
Landau, L. Lifschitz, E. Fluid Mechanics. Course in Theoretical Physics, vol. 6. Pergamon Press (1986).	Bibliografía	
White, F. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill (2011).	Bibliografía	
Rosenhead, L. Laminar Boundary Layers. Dover (1988).	Bibliografía	
Schlichting, H.; Gersten, K. Boundary Layer Theory. Springer (1999).	Bibliografía	
Tennekes, H.; Lumley, J.L. A First Course in Turbulence. MIT Press (2001).	Bibliografía	
Pope, S.B. Turbulent Flows. Cambridge University Press (2001).	Bibliografía	

Hinze, J.O. Turbulence. McGraw-Hill (1975).	Bibliografía	
Townsend, A. A. The Structure of Turbulent Shear Flows. Cambridge University Press (1980).	Bibliografía	
Libby, P.A. Introduction to Turbulence. Taylor&Francis (1996).	Bibliografía	
Wilcox, D. C. Turbulence Modelling for CFD. DCW Industries (1994).	Bibliografía	

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

En el apartado de bibliografía cabe la posibilidad de que se añadan publicaciones adicionales del Servicio de Publicaciones de la ETSIAE ó que se incluyan referencias adicionales durante el curso. En caso de producirse, dichas ampliaciones del material bibliográfico relevante serán explícitamente informadas a través del foro incluido en el espacio Moodle de la asignatura.