



GUÍA DE APRENDIZAJE

CURSO 2016/17

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA
2. CONOCIMIENTOS PREVIOS
3. COMPETENCIAS
4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE
5. PROFESORADO
6. PROGRAMA
7. PLAN DE TRABAJO
8. SISTEMA DE EVALUACIÓN
9. RECURSOS DIDÁCTICOS
10. OTRA INFORMACIÓN

PLAN 14IA – GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL

Código 145007512

Asignatura Dinámica de Fluidos Computacional

Nombre en Inglés Computational Fluid Dynamics

Materia Mecánica de Fluidos

Especialidad Ciencia y Tecnología Aeroespacial

Idiomas Castellano

Curso 4

Semestre 7

Carácter Obligatoria
de elección

Créditos 3

1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

La Dinámica de fluidos computacional (DFC) es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza el análisis numérico para resolver y analizar problemas definidos por el movimiento de fluidos mediante el uso de ordenadores. Dada la complejidad de las ecuaciones a resolver, la dependencia de la solución con la geometría del problema, condiciones de contorno etc., y el elevado número de grados de libertad presente en este tipo de problemas, hace que esta rama sea en muchos casos una alternativa razonable a la hora de obtener soluciones en problemas fluido-dinámicos. Es por ello que la DFC ha ido adquiriendo mayor relevancia en los últimos tiempos conforme las capacidades computacionales de los ordenadores han ido creciendo. El objetivo fundamental de la asignatura consiste en realizar una aproximación a los métodos de resolución más comúnmente utilizados en el mundo académico e industrial, y familiarizar a los alumnos con los conceptos y procedimientos inherentes a la DFC.

2. CONOCIMIENTOS PREVIOS

a) CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.

Asignaturas superadas:

Las legalmente establecidas para el acceso al tercer curso, incluyendo Matemáticas I y II, Informática y Mecánica de Fluidos – I

Otros requisitos:

Mecánica de Fluidos, Cálculo Diferencial y Álgebra.

Lenguajes de programación de alto nivel (informática)

Matlab y/o Fortran

b) CONOCIMIENTOS PREVIOS RECOMENDADOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.

Se recomienda tener superadas las Asignaturas:

Los mismos que los descritos en el apartado homónimo anterior

Otros Conocimientos:

Los mismos que los descritos en el apartado homónimo anterior

3. COMPETENCIAS

OA.1.- Objetivos Generales: La asignatura de DFC se debe fundamentar en principios adquiridos en las asignaturas de Matemáticas I y II, Informática, Mecánica de Fluidos y Mecánica de Fluidos II. Se trata de conocer la particularización de métodos numéricos para la resolución de ecuaciones en derivadas parciales que se utilizan en la Mecánica de Fluidos con el fin de capacitar al estudiante para obtener soluciones numéricas a distintos regímenes de velocidad, comprender la validez éstas e interpretar correctamente los resultados adquiridos mediante el uso de códigos comerciales de aplicación industrial.

OA.2.- Competencias Genéricas: El objetivo general consiste en que los estudiantes comprendan la distinta naturaleza matemática de las Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDPs) que rigen movimiento fluido en distintos regímenes de velocidad (incompresible, transónico, supersónico, hipersónico), así como las metodologías elementales que pueden emplearse para solucionar problemas de DFC, adquiriendo las competencias suficientes tanto para resolver ellos mismos ecuaciones sencillas, utilizando un lenguaje de programación, como para interpretar correctamente soluciones proporcionadas por software empleado en la industria; como se espera que lo encuentren en su futuro profesional. Así mismo se trata de formar al estudiante en el conocimiento de los fundamentos de solución de EDPs mediante métodos numéricos, de

modo que empleen el adecuado a cada uno de los diversos problemas que se le pueden presentar en su futuro empleo. Un interés especial está enfocado en que el estudiante comprenda el sentido físico del problema que se plantea y qué subyace bajo el fundamento matemático que lo sustenta.

OA.3.- Competencias Específicas:

OA. 3.1 Desarrollar algoritmos para la resolución de ecuaciones tipo de cada uno de los tres problemas matemáticos que se pueden presentar en Mecánica de Fluidos Computacional: hiperbólico, parabólico y elíptico.

OA. 3.2 Obtener mediante programación durante el tiempo EPD soluciones en cada uno de los problemas tipo. Elaborar informes científicos para presentar dichos resultados, de manera que el alumno aprenda a observar, comprender, describir y analizar los fenómenos físicos que se pueden obtener de las soluciones numéricas.

OA. 3.2 Aprender a manejar el software libre de Mecánica Computacional OpenFOAM (OF) y/o FreeFem++ (FF), y su particularización en la solución de problemas de Mecánica de Fluidos Computacional. Aprender construir mallas sencillas, obtener soluciones mediante empleo de OF y/o FF, visualizarlas mediante ParaView, extraer datos de la solución obtenida mediante herramientas proporcionadas por OF u otras integradas en ParaView. Resolver (en tiempo EPD) un problema incompresible y uno transónico. Analizar y elaborar informes con los resultados obtenidos.

4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

- RA1.** – Planificar y organizar el tiempo de aprendizaje en general y el tiempo EPD en particular, considerando tanto el trabajo individual como el trabajo en grupo
- RA2.** – Comprender las capacidades y las limitaciones del empleo de DFC para la resolución de problemas fluido-dinámicos
- RA3.** – Conocer los diferentes tipos de ecuaciones; hiperbólica, parabólica y elíptica, que rigen el comportamiento de los fluidos según el número de Mach de estos..
- RA4.** – Conocer a nivel elemental la arquitectura de ordenadores utilizados para la resolución numérica de problemas fluido-dinámicos
- RA5.** – Manejar con soltura esquemas elementales de discretización temporal de las ecuaciones fluidas
- RA6.** – Manejar con soltura esquemas elementales de discretización espacial de las ecuaciones fluidas
- RA7.** – Manejar con soltura el empleo de esquemas de discretización temporal y espacial para la resolución de particularizaciones de las ecuaciones de dinámica de fluidos en una dimensión espacial, para los tres modelos de ecuación: hiperbólica, parabólica y elíptica
- RA8.** – Analizar, interpretar y presentar razonadamente los resultados obtenidos con el software libre OpenFOAM y/o FreeFem++
- RA9.** – Elaborar informes a partir de los resultados de los problemas resueltos, incluyendo bibliografía relevante de la cual se extraigan datos de comparación con los resultados propios

5. PROFESORADO

Departamento: "MECÁNICA DE FLUIDOS Y PROPULSIÓN AEROESPACIAL"

Coordinador de la Asignatura: José Miguel Pérez Pérez

Profesorado	Correo electrónico	Despacho
Vassilis Theofilis	vassilios.theofilis@upm.es	Fluidos 8 (edf. ETSIA)
José Miguel Pérez Pérez (C)	josemiguel.perez@upm.es	Fluidos 9 (edf. ETSIA)

Los horarios de tutorías estarán publicados en el tablón de anuncios del Departamento de Mecánica de Fluidos y Propulsión Aeroespacial y/o la plataforma informática Moodle.

6. TEMARIO

BLOQUE TEMÁTICO 1. TÍTULO DEL BLOQUE TEMÁTICO UNO

Tema 1. Introducción al D.F.C.

1.1 Breve historia de DFC. 1.2 Campos de aplicación: éxitos y limitaciones. 1.3 Perspectivas futuras

Tema 2. Trabajando con el ordenador

2.1 Representación aritmética: precisión sencilla y doble. 2.2 Arquitectura del ordenador: Procesador, memoria compartida y distribuida, disco duro, redes. 2.3 Introducción a lenguajes de programación

Tema 3. Ecuaciones de la Mecánica de Fluidos. Resumen de:

3.1 Revisión matemática: Introducción a Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDPs). Clasificación de EDPs: Hiperbólicas, Parabólicas, Elípticas. 3.2 Ejemplos: Ecuación de ondas (hiperbólica), Ecuación de capa límite (parabólica), Ecuación de Poisson (Elíptica) 3.3 Las ecuaciones de Navier-Stokes. 3.4 Formulación de las ecuaciones en coordenadas cartesianas y curvilíneas generalizadas. 3.5 Métodos de proyección aplicados en las ecuaciones Navier-Stokes: SIMPLE y PISO. Conservación de masa. 3.6. Casos límite de las ecuaciones generales: Flujo compresible, incompresible, no viscoso (Euler), flujo potencial (BEM), capa límite. 3.7 Flujo laminar y turbulento, modelización de la turbulencia. 3.8 DNS, LES, DES, URANS y RANS. 3.9 Sistemas conservativos. 3.9.1 Tratamiento de las discontinuidades del flujo. 3.9.2 Shock fitting vs. Shock capturing. 3.9.3 viscosidad artificial. 3.9.4 TVD, ENO, WENO.

Tema 4. Discretización temporal

4.1 Repaso esquemas explícitos, implícitos y multipaso y su estabilidad.

Tema 5. Mallado

5.1 Mallas regulares, no-estructuradas, híbridas. 5.2 Mallas regulares: transformación de coordenadas.

Tema 6. Desratización espacial

6.1 Diferencias finitas: 6.1.1 Bajo orden. 6.1.2 Alto orden (estándar, Pade, DRP). 6.1.3 Estabilidad Von Neumann. 6.1.4 Errores de dispersión y disipación: Onda modificada. 6.1.5 Solución del sistema algebraico: tridiagonal, penetadiagonal.

6.2 Métodos espectrales en colocación: 6.2.1 Interpolación de Lagrange en malla arbitraria y uniforme. Fenómeno de Runge. 6.2.2 Condiciones de contorno. Colocación Fourier, Chebyshev, Legendre. 6.2.3 Solución del sistema algebraico denso: métodos directos e iterativos.

6.3 Método espectrales espacio de coeficientes. 6.3.1 Transformada rápida de Fourier (FFT). 6.3.2 pseudo-espectral. 6.3.3 Aliasing y dealiasing.

6.4 Elementos finitos: 6.4.1 Introducción a FEM. 6.4.2 Introducción a elementos espectrales.

6.5 Volúmenes finitos: 6.5.1 Teorema del transporte de Reynolds: Formulación integral de las ecuaciones Navier-Stokes. 6.5.2. Definición de la variable computacional: aproximaciones de bajo y alto orden. 6.5.3

Reconstrucción de los flujos a través de superficies. 6.5.4 Cuadraturas de las integrales espaciales. 6.5.5 Solución del sistema algebraico resultante de la discretización espacio-temporal de las ecuaciones.

6.6 Integradores de Riemann. 6.6.1 Solución del problema de Riemann en sistemas lineales y no lineales. 6.6.2 Integradores exactos (Godunov). 6.6.3. Integradores aproximados (Roe/HLLC). 6.6.4 Fix entrópico.

6.7 Algoritmos numéricos para la solución de sistemas lineales: Denso vs. "sparse" (esparcido). LU, Thomas, Gauss-Seidel, Jacobi, GC, GMRES

6.8 Métodos aerodinámicos rápidos: método de paneles y/o Lattice Boltzmann y/o Lattice vortex.

Tema 7. Aplicaciones

7.1 Ecuaciones hiperbólicas: Ecuación de onda. Ecuaciones parabólicas: ecuación del calor, ecuación de capa límite estacionaria. Ecuaciones elípticas: ecuación de Poisson

7.2 Ecuación de convección-difusión. Ecuación de Burgers no viscoso y viscoso. Ecuación de Euler no estacionarias. Ecuaciones de Navier-Stokes estacionarias.

Tema 8. Introducción a OpenFoam y/o FreeFem++

8.1 Herramientas de mallado. 8.2 Integradores incompresibles y compresibles. 8.3 Visualización y utilidades de post-proceso. 8.4 Ejemplos de flujo incompresible y compresible

7. PLAN DE TRABAJO

a) Cronograma.

Semana N°	Actividad presencial en Aula	Actividad presencial en Laboratorio	Otra actividad	Actividad de Evaluación
1	Tema 1 LM Duración Tema 1: 1h Tema 2 LM Duración Tema 2: 1h			
2	Tema 3 LM Duración: 2h			
3	Tema 3 LM Duración: 2h			
4	Tema 4 LM Duración Tema 4: 1h Tema 5 LM Duración Tema 5: 1h			
5	Tema 6 - DF LM Duración DF: 2h			

Semana N°	Actividad presencial en Aula	Actividad presencial en Laboratorio	Otra actividad	Actividad de Evaluación
6	Tema 6 - ME LM Duración ME: 2h			
7	Tema 6 – EF LM Duración ME: 1h Tema 6 – VF LM Duración VF: 1h			
8				Examen Parcial MEF POPF: Prueba objetiva parcial Duración Examen: 2h
9	Tema 6 – VF LM Duración VF: 2h			
10	Tema 6 – VF LM Duración VF: 2h			
11	Tema 6 – IR LM Duración IR: 2h			
12	Tema 6 – MAR LM Duración AN: 2h			
13	Tema 6 – AN LM Duración AN: 1h Tema 7 LM Duración AN: 1h			
14	Tema 7 LM Duración AN: 2h			
15	Tema 8 LM Duración Tema 8: 2h			
16				Examen Parcial II DFC POPF: Prueba objetiva parcial Duración: 2h

b) Metodologías Docentes.

Métodos Docentes	EPD	LM	PL	RPA	TP	Otros*
ECTS		4.3	0.2			

EPD: ESTUDIO PERSONAL DIRIGIDO
LM: LECCIÓN MAGISTRAL
PBL: APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS
PL: PRÁCTICAS DE LABORATORIO
RPA: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL AULA
TP: TUTORÍAS PROGRAMADAS
***Otros** (especificar):

8. SISTEMA DE EVALUACIÓN

a) Tribunal de Evaluación.

Presidente:	Vassilis Theofilis
Vocal:	Leo González Gutiérrez
Secretario:	José Miguel Pérez Pérez
Suplente:	José Manuel Tizón Pulido

b) Actividades de Evaluación.

Semana N°	Descripción	Tipo Evaluación	Técnica Evaluativa	Duración	Peso	Nota mínima	Competencias
8	Temas 1 – 6 (hasta Volúmenes finitos sin incluirlos)	EC	EAL	2	100%	3	OA.1 - OA.2
12	Temas 6 (desde volúmenes finitos) - 8	EC	EAL	2	50%	3	OA.2 - OA.3
16	Temas 12 (mitad) – 14	EC	EAL	2	50%	3	CE37-EB05

c) Criterios de Evaluación.

La asignatura se divide en dos partes (a) y (b). La parte (a) se corresponde con la materia dada hasta volúmenes finitos (sin contar volúmenes finitos). La parte (b) va desde volúmenes finitos (inclusive) hasta el final.

La evaluación continua se realizará mediante exámenes presenciales de la parte teórica ((a) y (b)) las cuales se corresponden con el 100% de la nota total.

Para hacer media de los dos parciales se exigirá unos criterios mínimos en cada una de las partes ((a) y (b)). No se realizará media si la nota de cualquier parcial es inferior al 30% de la nota máxima de dicho parcial. El alumno deberá presentarse al examen ordinario y/o extraordinario en caso de que suceda lo anterior, se le guardara la nota del parcial aprobado para el examen ordinario y extraordinario y verá truncada su nota a cero en el parcial que no alcanza los criterios mínimos mientras no apruebe dicha parte.

El alumno aprobará la asignatura por parciales si la promedia de estos es mayor o igual que 5.

Los alumnos que hayan aprobado por parciales pueden presentarse al examen ordinario y/o extraordinario para subir nota. Si un alumno aprobado se presenta al examen ordinario, la nota de éste prevalecerá sobre la nota media obtenida por parciales. Lo anterior se aplica también al examen extraordinario.

Opcionalmente los alumnos podrán presentar trabajos para subir nota, hasta un máximo de dos puntos a añadir a la nota final. Los alumnos con nota superior a 10 verán truncada su nota a 10, utilizándose los puntos extra a la hora de decidir las posibles matriculas de honor.

9. RECURSOS DIDÁCTICOS

Descripción	Tipo	Observaciones
1. "Computational Fluid Dynamics", J. D. Anderson Jr., McGraw Hill.	Bibliografía	
2. "Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems", R. J. Leveque, Cambridge Texts in Applied Mathematics	Bibliografía	
3. "Fundamentals of Numerical Analysis", P. Moin, Cambridge University Press.	Bibliografía	
4. "Fundamentos de los métodos numéricos en Aerodinámica". Gandía, F.; Gonzalo, J.; Margot, X. y Meseguer, J. Garceta	Bibliografía	
5. J. C. Tannehill, D. A. Anderson, R. H. Pletcher "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", Taylor & Francis	Bibliografía	
www.cfd-online.com ,	Web	
www.openfoam.com ,	Web	
openfoamwiki.net ,	Web	
www.paraview.org	Web	
www.spec.org	Web	
Biblioteca de la EIAE	Equipamiento	
Salas de informática de la EIAE	Equipamiento	
OpenFoam & ParaView	software preinstalado	

10. OTRA INFORMACIÓN

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS MODALIDADES ORGANIZATIVAS UTILIZADAS Y MÉTODOS DE ENSEÑANZA EMPLEADOS

1. Clases de teoría: En las clases de exposición teórica el profesor proporcionará una visión general del tema correspondiente, haciendo hincapié en los conceptos más importantes y en los desarrollos que permitan a los estudiantes un mejor conocimiento de los temas y las técnicas del estudio, así como de las conclusiones fundamentales. Se utilizarán los materiales didácticos apropiados para cada modulo, tales como soporte de pizarra, transparencias, medios audiovisuales, videos, ordenador, etc. Se hará mención especial a las fuentes bibliográficas y los recursos web gracias a los cuales el alumno podrá profundizar en los temas expuestos.

2. Clases de problemas: En las clases de resolución de problemas se propondrán, una vez explicada y conocida la parte teórica, una serie de problemas afines que permitan reforzar y aplicar los conceptos adquiridos a la resolución numérica de problemas, con el fin que el estudiante aprenda a identificar los aspectos fundamentales que le capaciten abordar el planteamiento y la resolución de problemas similares durante su tiempo EPD.

3. Prácticas: Las prácticas se realizarán por grupos de alumnos promoviendo el trabajo en equipo y teniendo durante la sesión de las prácticas al profesor que velará tanto por la ayuda que se precise para realizar los cálculos como para la extracción y visualización de los resultados. Una vez concluido el trabajo, los alumnos deberán elaborar un informe que recojan las soluciones obtenidas y las conclusiones que se pueden extraer de las mismas.

4. Trabajos autónomos: Los trabajos prácticos unipersonales consistirán en la obtención de resultados en problemas concretos que se propondrán al alumno, el cual deberá realizar el trabajo bajo la supervisión del profesor y presentar un informe completo de la actividad realizada.

5. Tutorías: Los profesores estarán disponibles durante las horas de tutorías para atender las consultas de los alumnos. Al inicio de cada parte del curso se especificará el horario y lugar de las tutorías.