



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

145006204 - Mef y Cfd

### 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.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
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>	145006204 - Mef y Cfd
<b>No de créditos</b>	4.5 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>
Jose Maria Benitez Baena	C114	josemaria.benitez@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00
Miguel Angel Sanz Gomez (Coordinador/a)	C114	miguelangel.sanz@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00
Jose Miguel Perez Perez	Fluidos	josemiguel.perez@upm.es	X - 15:00 - 21:00

Roque Corral Garcia	Fluidos	roque.corral@upm.es	X - 15:00 - 21:00
Francisco Javier Montans Leal	C.113	fco.montans@upm.es	L - 15:00 - 18:00 X - 15:00 - 18:00

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

## 2.2. Personal investigador en formación o similar

Nombre	Correo electrónico	Profesor responsable
Saucedo Mora, Luis	luis.saucedo@upm.es	Benitez Baena, Jose Maria

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Física II
- Resistencia De Materiales Y Elasticidad
- Matematicas II
- Informatica
- Mecanica De Solidos
- Matematicas I
- Mecanica De Fluidos
- Fisica I

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

El plan de estudios Grado en Ingeniería Aeroespacial no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE33 - 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.

CE34 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: los métodos de cálculo y de desarrollo de instalaciones de los sistemas propulsivos; la regulación y control de instalaciones de los sistemas propulsivos; el manejo de las técnicas experimentales, equipamiento e instrumentos de medida propios de la disciplina; los combustibles y lubricantes empleados en los motores de aviación y automoción; la simulación numérica de los procesos físico-matemáticos más significativos; los sistemas de mantenimiento y certificación de los motores aeroespaciales.

CE37 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los fundamentos de la mecánica de fluidos que describen el flujo conducido y determinan las distribuciones de presiones y las fuerzas en la aerodinámica interna.

CG3 - Capacidad para identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

CG4 - Capacidad para integrarse y formar parte activa de equipos de trabajo. Trabajo en equipo

CG6 - Uso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones

CG9 - Razonamiento crítico y capacidad de asociación que posibiliten el aprendizaje continuo

### 4.2. Resultados del aprendizaje

RA38 - Resolución de problemas relativamente complejos en mecánica de medios continuos mediante la selección del modelo de comportamiento y de la formulación adecuada para el mismo.

RA47 - Comprensión de los procedimientos básicos de la dinámica de fluidos computacional.

RA37 - Comprensión del método de los elementos finitos.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

#### BLOQUE 1

##### Tema 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Introducción a la mecánica computacional en medios continuos y estructuras.

##### Tema 2. RELACIONES ENTRE EL CÁLCULO MATRICIAL Y EL M.E.F.

2.1. Conceptos de repaso del cálculo matricial de estructuras. 2.2. Grados de libertad del cálculo matricial-fuerzas y desplazamientos. 2.3. Concepto de rigidez: matriz de rigidez de elementos estructurales.

##### Tema 3. IDEAS DETRÁS DEL M.E.F. ELEMENTOS UNIDIMENSIONALES

3.1. Aplicación para distintas ecuaciones diferenciales. 3.2. Formulaciones de uso común. 3.3 Elementos unidimensionales barra. 3.3 Elementos unidimensionales tipo viga (de Bernoulli y de Timoshenko). 3.4. Multipoint Constraints (MPCs).

##### Tema 4. ELEMENTOS DEL MEDIO CONTINUO. ELEMENTOS SÓLIDOS.

4.1. Elementos Sólidos y Formulación Isoparamétrica 2D/3D. 4.3. Elementos: lagrangianos y serendípticos.

##### Tema 5. ELEMENTOS ESTRUCTURALES PLANOS.

5.1. Problemas de placas y de membranas. 5.2. Problemas de láminas.

##### Tema 6. PRACTICAS COMPUTACIONALES EN MEF

6.1. Aplicaciones del MEF en códigos comerciales de cálculo.

## BLOQUE 2

### Tema 8. INTRODUCCIÓN AL C.F.D.

8.1. Breve historia de CFD. 8.2. Campos de aplicación: éxitos y limitaciones. 8.3. Perspectivas futuras.

### Tema 9. TRABAJANDO CON EL ORDENADOR.

9.1. Representación aritmética: precisión sencilla y doble. 9.2. Arquitectura del ordenador: Procesador, memoria compartida y distribuida, disco duro, redes. 9.3. Introducción a lenguajes de programación.

### Tema 10. ECUACIONES DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS.

10.1. Revisión matemática: Introducción a Ecuaciones en Derivadas Parciales. Clasificación de EDPs: Hiperbólicas, Parabólicas, Elípticas. 10.2. Las ecuaciones de Navier-Stokes compresibles en coordenadas cartesianas; en coordenadas curvilíneas ortogonales. 10.3. Casos límite de las ecuaciones generales: Flujo incompresible, flujo potencial, capa límite. 10.4. Flujo laminar y turbulento, Modelización de la Turbulencia.

### Tema 11. DISCRETIZACIÓN TEMPORAL.

11.1 Esquemas explícitos, implícitos y multipaso. 11.2 Estabilidad de esquemas de discretización.

### Tema 12. DISCRETIZACIÓN ESPACIAL.

12.1. Mallas regulares, no-estructuradas, híbridas. 12.2. Mallas regulares: transformación de coordenadas. 12.3. Esquemas de diferencias finitas, volúmenes finitos y elementos finitos. 12.4. Método de paneles.

### Tema 13. APLICACIONES.

13.1. Ecuaciones hiperbólicas, parabólicas y elípticas. 13.2. La ecuación de Burgers viscosa.

### Tema 14. INTRODUCCIÓN A OPENFOAM.

14.1. Herramientas de mallado. 14.2. Solvers incompresibles y compresibles. 14.3. Visualización y utilidades de postproceso. 14.4. Ejemplos de flujo incompresible y compresible.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. INTRODUCCIÓN
2. RELACIONES ENTRE EL CÁLCULO MATRICIAL Y EL M.E.F.
3. IDEAS DETRÁS DEL M.E.F. (Elementos Unidimensionales: barra y viga)
4. ELEMENTOS DEL MEDIO CONTINUO (Elementos Sólidos)
5. ELEMENTOS ESTRUCTURALES PLANOS (Elementos Placa)
6. PRACTICAS COMPUTACIONALES EN M.E.F.
7. INTRODUCCIÓN AL D.F.C.
8. TRABAJANDO CON EL ORDENADOR
9. ECUACIONES DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS
10. DISCRETIZACIÓN TEMPORAL
11. DISCRETIZACIÓN ESPACIAL
12. APLICACIONES
13. INTRODUCCIÓN A OPENFOAM



## 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>Tema 1</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Tema 2. Prácticas computacionales de introducción al cálculo de estructuras.</b> Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		
2	<b>Tema 3 .</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Prácticas computacionales del tema 3. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 2</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
3	<b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Prácticas computacionales del tema 3. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 3</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
4	<b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Prácticas computacionales del tema 3. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 3</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
5	<b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Prácticas computacionales del tema 4. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 3</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
6	<b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	<b>Prácticas computacionales del tema 3. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 4</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
7	<b>Tema 6.</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Prácticas computacionales del tema 5. Aula de Informática</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de Tema 5</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00
8		<b>Prácticas computacionales</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Entrega de tema 6.</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Duración: 01:00  <b>Exámen parcial/final del bloque MEF</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00

9	<b>Tema 8</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	<b>Tema 9.</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	<b>Tema 10</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	<b>Tema 11</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	<b>Tema 12</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	<b>Tema 13</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15				<b>Examen parcial/final bloque DFC</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00
16				
17				<b>Examen del bloque de MEF, y examen del bloque de DFC</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 04:00

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
2	Entrega de Tema 2	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG4 CG6
3	Entrega de Tema 3	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG4 CG6
4	Entrega de Tema 3	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG3 CG4 CG6
5	Entrega de Tema 3	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG3 CG4 CG6
6	Entrega de Tema 4	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG3 CG4 CG6
7	Entrega de Tema 5	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	2.5%	3 / 10	CG3 CG4 CG6
8	Entrega de tema 6.	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	No Presencial	01:00	5%	3 / 10	CG3 CG4 CG6
8	Exámen parcial/final del bloque MEF	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	30%	3 / 10	CG4 CG6 CE33 CE34 CG9 CG3

15	Examen parcial/final bloque DFC	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	CG3 CG4 CG6 CE33 CE34 CE37 CG9
----	---------------------------------	-------------------------------------	------------	-------	-----	--------	--

### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen del bloque de MEF, y examen del bloque de DFC	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CG3 CG4 CG6 CE33 CE34 CE37 CG9

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

### Evaluación MEF (Temas 8-14)

Temas 1-7.

Evaluación Continua

- 1. Asistencia a clase:  $\geq 70\%$ .
- 2. Trabajo personal (40% de la evaluación): es necesario obtener en cada prueba una nota superior a 5.
- 3. Exámenes parciales y final presenciales (60% de la evaluación):
  - 3.a. Durante el curso se realizarán pruebas parciales no eliminatorias en horario de clase. El objetivo es promover la motivación, la atención y la participación del alumno en clase.
  - 3.b. Al final del cuatrimestre se realizará una prueba final de toda la materia (no es el examen ordinario).

- 3.c. En cada prueba de evaluación continua la nota no puede de ser inferior a 3 puntos sobre 10 para su consideración como evaluación continua.
- 4. En caso de que alguno de los tres puntos anteriores no se cumpla, al alumno tendrá una nueva oportunidad para superar la asignatura en la convocatoria ordinaria. En este caso el alumno podrá seguir asistiendo a clase y realizando los trabajos como parte de su aprendizaje.

Evaluación Final: Examen presencial (100%):

- 1. Para superar la asignatura por esta vía es necesario que el alumno obtenga una calificación igual o superior a 5 puntos sobre 10 en el examen ordinario o extraordinario. Este calendario ya está fijado y disponible en la página web de la escuela.
- 2. En este caso el alumno podrá realizar los trabajos y asistir a clase, si bien no se le tendrán en cuenta en los exámenes ordinario y extraordinario.

### **Evaluación DFC (Temas 8-14)**

Temas 8-13. Examen presencial: obtener una nota mayor o igual a 5.0 en el examen (aprobado)

Evaluación final:

La nota final del curso (NF) se compone de los siguientes grupos de actividades:

- Parcial MEF (P1mef) coincidente con el examen final.
- Final ordinario (E1mef) convocatoria ordinaria oficial de la asignatura.
- Parcial DFC (P2dfc) coincidente con el examen final.
- Final ordinario (E2dfc) convocatoria ordinaria oficial de la asignatura.
- Todos los exámenes se superan con una nota mayor o igual a 5.0.

La nota final de la asignatura (NF) se calcula de acuerdo a una regla proporcional al peso de cada parte de la asignatura (mef, dfc), y según los parciales previamente liberados (P1mef, P2cfd):

$$NF = O(P1mef, E1mef) \cdot 0.5 + O(P2cfd, E2cfd) \cdot 0.5$$

Para aprobar la asignatura es necesario que la nota final ponderada al 50% entre los bloques 1 (mef) y 2 (dfc) sea 5.0, es necesario una nota mayor o igual a 5.0 en cada una de las partes

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
K. J. BATHE. Finite Element Procedures. Ed. Prentice Hall, 2006.	Bibliografía	
T. J. R. HUGHES. The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Analysis. Ed. Dover, 2005.	Bibliografía	
O. C. ZIENKIEWICZ Y R. TAYLOR. The Finite Element Method. Varios editores y volúmenes.	Bibliografía	
E. ALARCÓN, R. ÁLVAREZ, M.S. GÓMEZ. Cálculo Matricial de Estructuras. Ed. Reverte, 1990.	Bibliografía	
E. OÑATE. Cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos. CIMNE, 1995.	Bibliografía	
PRZEMIENIECKI. Theory of Matrix Structures Analysis. Ed. Dover, 1985.	Bibliografía	

R.D. COOK. Finite Element Modelling for Stress-Analysis. Wiley, 1995.	Bibliografía	
R.D. COOK, D.S. MALKUS Y PLESHA. Concepts and applications of Finite Element Analysis. Ed. Wiley, 2001.	Bibliografía	
J. C. TANNEHILL, D. A. ANDERSON Y R. H. PLETCHER. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. Ed. Taylor & Francis.	Bibliografía	
J. D. ANDERSON JR. Computational Fluid Dynamics. Ed. McGraw Hill.	Bibliografía	
R. J. LEVEQUE. Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Ed. Cambridge Texts in Applied Mathematics.	Bibliografía	
P. MOIN. Fundamentals of Numerical Analysis. Ed. Cambridge University Press.	Bibliografía	
ADINA y Patran-Nastran SE (software preinstalado).	Equipamiento	Aula de informática