

21-22

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## MÉTODOS COMPUTACIONALES EN INGENIERÍA DE FLUIDOS

CÓDIGO 28806428

Ambito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA22719F4D19B3D1ED7D96677077360

uned

21-22

MÉTODOS COMPUTACIONALES EN  
INGENIERÍA DE FLUIDOS  
CÓDIGO 28806428

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN  
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA  
EQUIPO DOCENTE  
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE  
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE  
RESULTADOS DE APRENDIZAJE  
CONTENIDOS  
METODOLOGÍA  
SISTEMA DE EVALUACIÓN  
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA  
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA  
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA22719F4D19B3D1ED7D96677077360

Nombre de la asignatura	MÉTODOS COMPUTACIONALES EN INGENIERÍA DE FLUIDOS
Código	28806428
Curso académico	2021/2022
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	5
Horas	125.0
Periodo	SEMESTRE 1
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La asignatura “**Métodos computacionales en ingeniería de fluidos**” es una asignatura optativa de la especialidad Ingeniería Mecánica del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, que se imparte desde el Área de Mecánica de Fluidos ([www.mecanica.uned.es/fluidos](http://www.mecanica.uned.es/fluidos)) del Departamento de Mecánica. Se cursa en el tercer semestre y tiene 5 créditos ECTS. Cada crédito ECTS corresponde aproximadamente 25 horas de trabajo del alumno.

En la asignatura se lleva a cabo un estudio introductorio de la dinámica de fluidos computacional (CFD) y su aplicación a flujos de fluidos de interés en ingeniería. La dinámica de fluidos computacional permite obtener soluciones aproximadas de problemas en los que intervienen flujos de fluidos y procesos de transferencia de calor y masa, mediante la resolución de las ecuaciones de conservación utilizando métodos numéricos. El desarrollo de potentes ordenadores con gran capacidad de cálculo y el avance en las técnicas numéricas han determinado que la dinámica de fluidos computacional sea en la actualidad una herramienta muy útil y eficiente, y que se aplique habitualmente a la resolución de innumerables problemas en muy diversos campos de la ingeniería industrial, aeronáutica, naval o civil, entre otros.

Esta asignatura completa y amplía los conocimientos adquiridos por los estudiantes durante sus estudios de grado y en la asignatura *Ingeniería de Fluidos* de este máster, sobre mecánica de fluidos y sus diversas aplicaciones, así como sobre métodos numéricos de simulación utilizados en ingeniería. La utilización de códigos de dinámica de fluidos computacional está muy ampliamente extendida en gran número de empresas industriales, por lo que la asignatura tiene una orientación principalmente aplicada.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para iniciar el estudio de la asignatura son necesarios conocimientos previos de mecánica de fluidos. Puede resultar conveniente repasar algunos temas estudiados en la asignatura *Ingeniería de Fluidos*.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA2Z719F4D19B3D1ED7D9067707360

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	JULIO HERNANDEZ RODRIGUEZ (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	jhernandez@ind.uned.es
Teléfono	6424/5007
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

Nombre y Apellidos	CLAUDIO ZANZI -
Correo Electrónico	czanzi@ind.uned.es
Teléfono	91398-8913
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización y el seguimiento del aprendizaje se realizará a través del curso virtual. También pueden realizarse consultas telefónicas y presenciales a los profesores del equipo docente preferentemente en el siguiente horario:

### D. Julio Hernández Rodríguez

Lunes, de 16 a 20 h.

Depto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales, Despacho 1.45

Tel.: 91 398 64 24

Correo electrónico: jhernandez@ind.uned.es

### D. Claudio Zanzi

Lunes, de 16 a 20 h.

Dpto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales. Despacho 1.36

Tel.: 91 398 89 13

Correo electrónico: czanzi@ind.uned.es

Dirección postal:

Dpto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales

C/ Juan del Rosal 12

28040 Madrid

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### COMPETENCIAS BÁSICAS

CB6 - 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

CB7 - Que los estudiantes sepan 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

CB8 - Que los estudiantes sean capaces 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

Ámbito: GÜI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA2Z719F4D19B3D1ED7D96677077360

de sus conocimientos y juicios

CB9 - Que los estudiantes sepan 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

CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### **COMPETENCIAS GENERALES**

CG1 - Iniciativa y motivación

CG2 - Planificación y organización

CG3 - Manejo adecuado del tiempo

CG4 - Análisis y síntesis

CG5 - Aplicación de los conocimientos a la práctica

CG6 - Resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos

CG7 - Pensamiento creativo

CG8 - Razonamiento crítico

CG9 - Toma de decisiones

CG10 - Seguimiento, monitorización y evaluación del trabajo propio o de otros

CG11 - Aplicación de medidas de mejora

CG12 - Innovación

CG13 - Comunicación y expresión escrita

CG14 - Comunicación y expresión oral

CG15 - Comunicación y expresión en otras lenguas

CG16 - Comunicación y expresión matemática, científica y tecnológica

CG17 - Competencia en el uso de las TIC

CG18 - Competencia en la búsqueda de la información relevante

CG19 - Competencia en la gestión y organización de la información

CG20 - Competencia en la recolección de datos, el manejo de bases de datos y su presentación

CG21 - Habilidad para coordinarse con el trabajo de otros

CG22 - Habilidad para negociar de forma eficaz

CG23 - Habilidad para la mediación y resolución de conflictos

CG24 - Habilidad para coordinar grupos de trabajo

CG25 - Liderazgo

CG26 - Conocimiento y práctica de las reglas del trabajo académico

CG27 - Compromiso ético y ética profesional

CG28 - Conocimiento, respeto y fomento de los valores fundamentales de las sociedades democráticas

CG29 - Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, mecánica de fluidos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.

CG33 - Realizar la planificación estratégica y aplicarla a sistemas tanto constructivos como

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA22719F4D19B3D1ED7D9677077360

de producción, de calidad y de gestión medioambiental.

CG34 - Gestionar técnica y económicamente proyectos, instalaciones, plantas, empresas y centros tecnológicos.

CG35 - Poder ejercer funciones de dirección general, dirección técnica y dirección de proyectos I+D+i en plantas, empresas y centros tecnológicos.

CG36 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

### COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

CE5 - Conocimientos y capacidades para el diseño y análisis de máquinas y motores térmicos, máquinas hidráulicas e instalaciones de calor y frío industrial

CE6 - Conocimientos y capacidades que permitan comprender, analizar, explotar y gestionar las distintas fuentes de energía.

CE16 - Capacidad para la gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica.

CE20 - Conocimiento y capacidades para el proyectar y diseñar instalaciones eléctricas y de fluidos, iluminación, climatización y ventilación, ahorro y eficiencia energética, acústica, comunicaciones, domótica y edificios inteligentes e instalaciones de Seguridad.

CE22 - Conocimientos y capacidades para realizar verificación y control de instalaciones, procesos y productos.

CE23 - Conocimientos y capacidades para realizar certificaciones, auditorías, verificaciones, ensayos e informes.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Tal como se ha indicado, el objetivo principal del curso es el estudio introductorio de conceptos fundamentales que intervienen en la resolución numérica de los modelos matemáticos que describen distintos tipos de flujos de fluidos, orientado principalmente a aprender a utilizar códigos de propósito general en la resolución de problemas industriales. El campo de aplicación de la dinámica de fluidos computacional es extraordinariamente amplio, y las técnicas numéricas utilizadas en el estudio de distintos tipos de flujos de fluidos son muy diversas, por lo que obviamente sólo es posible adoptar en este curso un enfoque de tipo introductorio, abordando en primer lugar contenidos de carácter general, y centrandose posteriormente el estudio en determinados tipos de flujos o métodos numéricos más específicos.

Los resultados del aprendizaje que se espera que alcancen los alumnos son los siguientes:

1. Conocimiento de las ecuaciones generales que describen los distintos tipos de flujos de fluidos, de forma que se adquiriera la destreza necesaria para identificar los parámetros relevantes en cada problema, el modelo matemático más adecuado para su descripción y las condiciones de contorno apropiadas.
2. Conocimiento de los distintos tipos de formas simplificadas de las ecuaciones generales que pueden describir la gran variedad de flujos de fluidos de interés en ingeniería y, para cada uno de ellos, las técnicas disponibles para abordar su discretización y resolución

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA2Z719F4D19B3D1ED7D9067707360

numérica.

3. Capacidad para saber elegir las técnicas numéricas más adecuadas para resolver distintos tipos de problemas.
4. Familiarización con la sintaxis de los lenguajes de programación más utilizados para el desarrollo de códigos numéricos.
5. Capacidad para desarrollar códigos propios para simular flujos relativamente sencillos y representar gráficamente los resultados obtenidos.
6. Capacidad para utilizar códigos numéricos de propósito general para el estudio de problemas de cierta complejidad en ingeniería.

## CONTENIDOS

### Tema 1. Introducción a los métodos numéricos en ingeniería de fluidos

- Definición y aplicaciones de la dinámica de fluidos computacional.
- Utilización de códigos CFD en la resolución de problemas fluidomecánicos.

### Tema 2. Ecuaciones de conservación que describen el movimiento de los fluidos y condiciones de contorno

- Deducción de las ecuaciones de conservación.
- Forma conservativa de las ecuaciones de conservación.
- Clasificación de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.
- Condiciones de contorno.

### Tema 3. Flujos turbulentos. Modelización

- Turbulencia.
- Transición de flujo laminar a turbulento.
- Características de los flujos turbulentos.
- Efectos de las fluctuaciones turbulentas en el flujo medio.
- Métodos utilizados para tener en cuenta los efectos de la turbulencia.
- Ecuaciones de Reynolds.
- Métodos basados en la simulación de los torbellinos de grandes escalas (LES).
- Simulación numérica directa (DNS).



## Tema 4. Métodos de volúmenes finitos en problemas estacionarios

### 4.1. Problemas de difusión.

- Discretización basada en volúmenes finitos.
- Modelización de un problema de difusión estacionario y unidimensional.
- Problemas de difusión bidimensionales y tridimensionales.

### 4.2. Problemas de convección-difusión.

- Problemas de convección-difusión estacionarios y unidimensionales.
- Esquemas de diferencias centradas.
- Esquemas de tipo 'upwind'.
- Esquemas de tipo híbrido.
- Esquemas de alto orden.

### 4.3. Acoplamiento velocidad-presión.

- Problema del acoplamiento velocidad-presión.
- Malla desplazada.
- Discretización de la ecuación de cantidad de movimiento.
- Algoritmo SIMPLE.
- Algoritmos SIMPLER, SIMPLEC y PISO.

### 4.4. Métodos de solución de las ecuaciones discretizadas.

- Algoritmo TDMA.
- Métodos iterativos.
- Técnicas multimalla.

## Tema 5. Métodos de volúmenes finitos en problemas no estacionarios

- Problemas no estacionarios unidimensionales de conducción de calor.
- Esquemas explícitos.
- Esquema de Crank-Nicolson.
- Esquema totalmente implícito.
- Problemas no estacionarios de convección-difusión.

## Tema 6. Implementación de métodos computacionales

### 6.1. Condiciones de contorno.

- Condiciones de entrada y salida.
- Condiciones de pared.
- Condición de presión constante.
- Condiciones de simetría y condiciones periódicas.



6.2. Errores e incertidumbres en la modelización numérica.

- Errores numéricos.
- Fuentes de incertidumbre.
- Verificación y validación.
- Buenas prácticas en la selección y utilización de métodos numéricos.

6.3. Modelizado en problemas con geometrías complejas.

- Condiciones de contorno utilizadas para modelizar cuerpos inmersos en el flujo de un fluido en mallas cartesianas.
- Mallas adaptadas al cuerpo.
- Mallas estructuradas por bloques.
- Mallas no estructuradas.

## METODOLOGÍA

La metodología se basa en el modelo metodológico de educación a distancia de la UNED. Las actividades formativas están basadas principalmente en la interacción con el equipo docente y el trabajo autónomo de los estudiantes. El equipo docente proporcionará orientaciones y material de apoyo para el estudio de la asignatura y atenderá las consultas que planteen los alumnos. El trabajo autónomo estará marcado por una serie de actividades de aprendizaje, tales como el estudio de contenidos teóricos y la realización de pruebas de evaluación continua y pruebas presenciales.

El marco principal en el que se desarrolla el curso es el curso virtual, que constituye la herramienta más importante de comunicación entre los estudiantes y el equipo docente y de los estudiantes entre sí. A través de esta plataforma virtual el estudiante tendrá acceso principalmente a los siguientes elementos de apoyo:

1. El módulo de contenidos, en el que se pondrán a disposición de los estudiantes unos apuntes complementarios sobre mecánica de fluidos y unas orientaciones en las que se recogerán recomendaciones sobre el estudio de la asignatura y toda la información necesaria actualizada.
2. Prueba de evaluación continua, que permitirá al estudiante hacer un seguimiento de su progreso en la adquisición y asimilación de conocimientos y servir de medio de evaluación junto con la prueba presencial.
3. Los foros de debate, en los que el estudiante podrá ir planteando las dudas que le vayan surgiendo en el estudio de los contenidos de la asignatura, y en los que recibirá las correspondientes aclaraciones por parte del equipo docente. Los estudiantes también podrán participar en los foros contestando cuestiones formuladas por sus compañeros.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA2Z719F4D19B3D1ED7D9667707360

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	
Duración del examen	120 (minutos)
Material permitido en el examen	

Se permite utilizar calculadora programable y cualquier tipo de material de consulta impreso.

#### Criterios de evaluación

Se valorará el rigor en las respuestas y el grado de asimilación de la materia que se demuestre, tanto en las cuestiones teóricas como en los ejercicios prácticos.

% del examen sobre la nota final 60

Nota del examen para aprobar sin PEC

Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC

Nota mínima en el examen para sumar la PEC

#### Comentarios y observaciones

Para aprobar la asignatura será necesario obtener una calificación mínima de 3,5 puntos sobre 10 en la prueba presencial y 5 puntos sobre 10 en la calificación global.

### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad Si

#### Descripción

La prueba presencial consistirá en la resolución de cuestiones teóricas y uno o dos ejercicios prácticos. La puntuación máxima de cada cuestión y ejercicio se indicará en el enunciado.

#### Criterios de evaluación

Se valorará el rigor en las respuestas y el grado de asimilación de la materia que se demuestre, tanto en las cuestiones teóricas como en los ejercicios prácticos.

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final El peso de la prueba presencial en la nota final será del 60%.

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

### PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC? Si, PEC no presencial

Descripción

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA22719F4D19B3D1ED7D9067707360

La prueba de evaluación continua, de carácter voluntario, consistirá en responder de forma telemática, a través del curso virtual, una serie de preguntas en forma de test sobre los contenidos de la asignatura. Una vez iniciado, para contestar el test se dispondrá de un tiempo limitado. El test podrá iniciarse en cualquier momento en el periodo de tiempo que se fijará en el curso virtual, dentro del mes de enero y antes de la prueba presencial ordinaria.

**Alternativamente, el estudiante podrá optar por realizar, en lugar de la prueba anterior, un trabajo consistente en la implementación de un modelo numérico para la simulación de un flujo sencillo, o bien en la simulación de un flujo más complejo mediante un código de propósito general. El trabajo debe ser entregado a través del curso virtual, dentro de los plazos que en este se establezcan, antes de la prueba presencial de las convocatorias de febrero o septiembre.**

#### Criterios de evaluación

En la prueba en forma de test, cada pregunta tendrá 4 opciones de respuesta, siendo sólo una de ellas correcta. Cada respuesta correcta sumará 1 punto. Las respuestas contestadas de forma incorrecta restarán 0,25 puntos.

**En el caso de que se opte por realizar el trabajo final, se valorará el rigor del planteamiento del problema fluidomecánico elegido, la adecuación del procedimiento de resolución numérica utilizado, el análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo.**

#### Ponderación de la PEC en la nota final

La calificación de la prueba tendrá un peso del 40% en la calificación final de la asignatura. En el caso de que no se realice la prueba de evaluación continua en forma de test antes de la prueba presencial de febrero (en el plazo que se establezca en el curso virtual), ni el trabajo final alternativo en ninguno de los dos plazos previstos, la nota de la prueba presencial (independientemente de que ésta se realice en la convocatoria de febrero o en la de septiembre) será la calificación final de la asignatura. La calificación de la prueba (en cualquiera de las dos modalidades de test o trabajo final) solo se tendrá en cuenta cuando sea superior a la calificación de la prueba presencial.

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

#### OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?

No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA22719F4D19B3D1ED7D90677077360

## ¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La nota final será la media ponderada entre la nota de la prueba presencial (60%) y la nota de la prueba de evaluación continua (40%). Para aprobar la asignatura será necesario obtener una calificación mínima de 3,5 puntos sobre 10 en la prueba presencial y 5 puntos sobre 10 en la calificación global.

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9780131274983

Título:AN INTRODUCTION TO COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS: THE FINITE VOLUME METHOD (Segunda)

Autor/es:Versteeg, H.K. ; Malalasekera, W. ;

Editorial:Pearson Education Limited

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

El principal medio de apoyo lo constituye el curso virtual, en el que se incluyen foros de debate, anuncios, orientaciones adicionales para el estudio, recursos didácticos disponibles en Internet, material didáctico complementario en línea e información actualizada.

---

## IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.

Ámbito: GUI - La autenticidad, validez e integridad de este documento puede ser verificada mediante el "Código Seguro de Verificación (CSV)" en la dirección <https://sede.uned.es/valida/>



CBA2Z719F4D19B3D1ED7D9067707360