

23-24

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE FLUJOS DE FLUIDOS DE INTERÉS INDUSTRIAL

CÓDIGO 28801335

UNED

23-24

SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE  
FLUJOS DE FLUIDOS DE INTERÉS  
INDUSTRIAL  
CÓDIGO 28801335

# 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  
PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Nombre de la asignatura	SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE FLUJOS DE FLUIDOS DE INTERÉS INDUSTRIAL
Código	28801335
Curso académico	2023/2024
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
Tipo	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
Nº ETCS	15
Horas	375.0
Periodo	ANUAL
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La línea de investigación *Simulación computacional de flujos de fluidos de interés industrial* en la que se encuadra el Trabajo Fin de Máster es una de las que lleva a cabo el grupo de investigación de Mecánica de Fluidos Computacional del Departamento de Mecánica ([mecanicafluidos.uned.es](http://mecanicafluidos.uned.es)). La línea se ha centrado principalmente en el estudio de la fluidodinámica de flujos interfaciales. Concretamente, los estudios llevados a cabo por el grupo investigador se enmarcan en los siguientes campos:

- Proceso de llenado del molde en los procesos de fundición por inyección a alta presión,
- Impacto de gotas sobre superficies sólidas que tiene lugar en procesos de recubrimiento.

En ambos casos se trata de flujos de gran complejidad, debido entre otros factores a la forma que adopta la superficie de separación de los dos fluidos y al salto brusco de propiedades (relación de densidades del orden de 1000) que se produce a través de dicha superficie. Parte de la actividad se ha centrado en el desarrollo de métodos numéricos avanzados para la simulación de flujos interfaciales. Concretamente, se han desarrollado métodos de tipo 'VOF' y 'level set' que se encuentran entre los más precisos de su categoría publicados recientemente.

A título de ejemplo, a continuación se presentan algunos de los proyectos de investigación y publicaciones en las que ha participado el grupo de investigación en esta línea:

Proyectos (datos actualizados: [www.mecanica.uned.es/fluidos](http://www.mecanica.uned.es/fluidos)):

- Título:* Métodos avanzados de simulación numérica del impacto de gotas sobre superficies en problemas de recubrimiento. *Entidad financiadora:* Ministerio de Educación y Ciencia, DPI2007-63275. *Duración:* 2007-2010.
- Título:* Desarrollo de modelos de simulación de flujos interfaciales en procesos de fundición. *Entidad financiadora:* Ministerio de Educación y Ciencia, DPI2004-08198. *Duración:* 2004-2007.

Publicaciones (datos actualizados: [www.mecanica.uned.es/fluidos](http://www.mecanica.uned.es/fluidos)):

- J. López, C. Zanzi, P. Gómez, R. Zamora, F. Faura, J. Hernández, An improved height function technique for computing interface curvature from volume fractions, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 198, Issues 33-36, pp. 2555-2564, 2009,

doi: doi:10.1016/j.cma.2009.03.007.

- J. López, J. Hernández, "Analytical and Geometrical Tools for 3D Volume of Fluid Methods in General Grids, *Journal of Computational Physics*, 227(12), pp. 5939-5948, 2008, doi: DOI:10.1016/j.jcp.2008.03.010.
- J. López, C. Zanzi, P. Gómez, F. Faura, J. Hernández, A new volume of fluid method in three dimensions - Part II: Piecewise-planar interface reconstruction with cubic-Bézier fit, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 2008, doi: 10.1002/flid.1775
- J. Hernández, J. López, P. Gómez, C. Zanzi, F. Faura, A new volume of fluid method in three dimensions - Part I: Multidimensional advection method with face-matched flux polyhedra, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 2008, 10.1002/flid.1776
- Hernández, J., López, J., Gómez, P., Zanzi, C., "Simulation of three-dimensional incompressible two-phase flows using an improving PLIC-VOF method", *Euromech Colloquium 479 - Numerical Simulation of Multiphase Flow with Deformable Interfaces*, Scheveningen, Países Bajos, 14-16 de agosto de 2006.
- Zanzi, C., Gómez, P., Palacios, J., López, J., Hernández, J., "Influence of the wave shape on the impact of shallow-water wave on vertical walls", *ASME 2006 Joint U.S.-European Fluids Engineering Summer Meeting*, ISBN 0-7918-3783-1, Miami (Florida), USA, 17-20 de julio de 2006.
- J. López, J. Hernández, P. Gómez, F. Faura, "An Improved PLIC-VOF Method for Tracking Thin Fluid Structures in Incompressible Two-Phase Flows", *Journal of Computational Physics*, 208(1), pp. 51-74, 2005.
- P. Gómez, J. Hernández, J. López, "On the reinitialization procedure in a -band locally-refined level set method for interfacial flows", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 63(10), pp. 1478-1512, 2005.
- J. Hernández, B. Zamora, "Effects of variable properties and nonuniform heating on natural convection flows in vertical channels", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(3-4), pp. 793-807, 2005.
- Gómez, P., Zanzi, C., López, J., Hernández, J., "Visualization and numerical simulation of the impact of shallow-water waves on walls", *2005 ASME Fluids Engineering Summer Meeting and Exhibition*, ISBN: 0-7918-3760-2, Houston (Texas), USA, 19-23 de junio de 2005.
- J. López, J. Hernández, F. Faura, P. Gómez, "A 3D Multidimensional VOF Advection Algorithm based on Edge-Matched Flux Polyhedrons", *The 8th ESAFORM Conference on Material Forming*, Cluj-Napoca, Romania, April 27-29, 2005.
- R. Zamora, J. Hernández, J. López, F. Faura, P. Gómez, "Numerical and Experimental Study of Interface Dynamics and Air Entrapment in Diecasting Injection Chambers", *The 8th ESAFORM Conference on Material Forming*, Cluj-Napoca, Romania, April 27-29, 2005.

- J. López, J. Hernández, P. Gómez, F. Faura, "A Volume of Fluid Method Based on Multidimensional Advection and Spline Interface Reconstruction", *Journal of Computational Physics*, 195(2), pp. 718-742, 2004.
- P. Gómez, J. Hernández, J. López, "Simulación Numérica de la Inestabilidad de Rayleigh-Taylor Mediante un Método 'Level Set' de Banda Estrecha con Refinamiento Local", *VI Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería*, Lisboa, Portugal, 2004.

La línea de investigación Simulación computacional de flujos de fluidos de interés industrial, dentro de la que se puede realizar el Trabajo Fin de Máster, es una de las cinco líneas ofertadas desde el Departamento de Mecánica dentro del Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales.

La realización del Trabajo Fin de Máster en esta la línea de investigación permitirá consolidar los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el estudio de las asignaturas del itinerario en Ingeniería Mecánica. También permitirá a los estudiantes profundizar en los conocimientos más específicos relacionados con la simulación numérica y la mecánica de fluidos adquiridos en los estudios de grado y en las asignaturas *Métodos computacionales en ingeniería* y *Simulación numérica de flujos de fluidos en ingeniería* en los Módulos I y II del Máster, respectivamente. Por otro lado, la elaboración de este trabajo permitirá al estudiante adquirir las habilidades y conocimientos necesarios para alcanzar la suficiencia investigadora.

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para poder realizar el Trabajo Fin de Máster en la línea de investigación sobre *Simulación computacional de flujos de fluidos de interés industrial*, el estudiante ha de seleccionar las asignaturas a cursar de acuerdo a las siguientes directrices:

1. MODULO I (4 asignaturas).

OBLIGATORIAS: Las 4 asignaturas del Módulo.

2. MODULO II del Itinerario en Ingeniería Mecánica (3 asignaturas).

OBLIGATORIAS: Las 3 asignaturas del Módulo.

3. MODULO III del Itinerario en Ingeniería Mecánica (10 asignaturas)

OBLIGATORIAS: Biodinámica y biomateriales

OPTATIVAS: Dos de las 9 asignaturas restantes.

Para iniciar el Trabajo no es condición necesaria haber aprobado previamente ninguna de las asignaturas del máster, pero sí es necesario en la práctica que se dominen diferentes conceptos impartidos en algunas de las asignaturas asignadas a la línea de investigación, y fundamentalmente de la asignatura *Simulación numérica de flujos de fluidos en ingeniería* del MODULO II del Itinerario en Ingeniería Mecánica. Además, es necesario tener

conocimientos suficientes de inglés técnico.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	CLAUDIO ZANZI (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	czanzi@ind.uned.es
Teléfono	91398-8913
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA
Nombre y Apellidos	JULIO HERNANDEZ RODRIGUEZ
Correo Electrónico	jhernandez@ind.uned.es
Teléfono	91398-6424
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA
Nombre y Apellidos	PABLO JOAQUIN GOMEZ DEL PINO
Correo Electrónico	pgomez@ind.uned.es
Teléfono	91398-7987
Facultad	ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
Departamento	MECÁNICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

La tutorización y el seguimiento de los aprendizajes se realizarán a través del curso virtual. También se pueden realizar consultas presenciales a los profesores del Equipo Docente 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. Pablo Gómez del Pino**

Miércoles, de 10 a 14 h.

Dpto. de Mecánica, ETS de Ingenieros Industriales. Despacho 1.38

Tel.: 91 398 79 87

Correo electrónico: pgomez@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

## 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 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:

CG01 - Desarrollar capacidad de análisis y síntesis de la información científico-técnica

CG02 - Adquirir el conocimiento de los métodos y técnicas de investigación

CG03 - Adquirir destrezas en la búsqueda y gestión bibliográfica y documental

CG04 - Desarrollar capacidad de razonamiento crítico

CG05 - Desarrollar habilidades técnicas, de análisis y síntesis: resolución de problemas, toma de decisiones y comunicación de avances científicos.

CG06 - Desarrollar habilidades sistémicas (metodológicas): aplicación de conocimientos; habilidades en investigación; y creatividad

### Competencias Específicas:

CE3 - Elaborar y tratar modelos matemáticos que representen el comportamiento de los sistemas industriales

CE4 - Planificar las actividades de investigación

CE5 - Adquirir destrezas en la aplicación de técnicas de simulación computacional

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Con la realización del Trabajo de investigación se persiguen los siguientes objetivos:

- Consolidar los conocimientos adquiridos y profundizar en el estudio de la simulación numérica de flujos de fluidos en ingeniería.
- Conocer y aplicar las metodologías de investigación tecnológica en este campo de la ingeniería.
- Familiarizarse con las técnicas de simulación y experimentación empleadas en la investigación.

- Conocer y aplicar las técnicas de interpretación y validación de los resultados de la actividad investigadora.

## CONTENIDOS

### Desarrollo del Trabajo Fin de Máster

En el desarrollo del trabajo fin de máster en la línea de investigación en "Simulación computacional de flujos de fluidos de interés industrial" se abordarán los siguientes aspectos:

1. Selección del tema y alcance del trabajo que se pretende realizar.
2. Estudio del estado del arte correspondiente al campo de investigación elegido, mediante el análisis de la bibliografía científica relacionada.
3. Elección de la metodología de trabajo.
4. Aplicación de la metodología. Obtención y análisis de los resultados. Elaboración de conclusiones.
5. Elaboración de la memoria del trabajo.
6. Defensa del trabajo en sesión pública.

## METODOLOGÍA

El marco en el que se desarrollará el curso será el Curso Virtual, que constituirá la herramienta principal de comunicación entre los estudiantes y el equipo docente y de los estudiantes entre sí. A través de la plataforma virtual, el alumno tendrá acceso a los diferentes elementos de apoyo habituales. No obstante, dado el carácter de la presente asignatura, para fijar el tema del TFM y los distintos aspectos que habrán de abordarse, y recibir las orientaciones iniciales concretas sobre su desarrollo, se programarán una serie de sesiones telemáticas con cada alumno, y se podrá acordar con el equipo docente la realización de seminarios y tutorías en línea o presenciales. Posteriormente, se llevará a cabo el seguimiento del trabajo de cada alumno de forma individualizada por uno de los miembros del equipo docente, mediante correo electrónico, consultas telefónicas u otros medios telemáticos (o, en su caso, presencialmente).

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRIMERA PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen

No hay prueba presencial

### TIPO DE SEGUNDA PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen2

No hay prueba presencial



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

Requiere Presencialidad

Si

Descripción

La evaluación del TFM se realizará mediante defensa pública, tal y como se recoge en la normativa de la UNED relativa al trabajo fin de máster.

**Como paso previo a la defensa del TFM, y una vez entregado el trabajo a través de la plataforma informática, el tutor lo evaluará y dará, si procede, el visto bueno para que pueda ser defendido.**

**La defensa del TFM será realizada por el estudiante en sesión pública, mediante la exposición de su contenido y de sus líneas principales, durante el tiempo máximo especificado en la citación para la defensa. A continuación, el estudiante contestará a las preguntas y aclaraciones que planteen los miembros de la comisión evaluadora.**

Criterios de evaluación

La comisión evaluadora calificará el TFM teniendo en cuenta la calidad académica, científica y técnica del trabajo, la presentación del material entregado y la claridad expositiva. También se valorará la capacidad de debate y defensa argumental.

**En la calificación final la comisión tendrá en cuenta la valoración realizada previamente por el tutor.**

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)**

¿Hay PEC?

No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación de la PEC en la nota final

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

### ¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La nota final será asignada por la comisión evaluadora teniendo en cuenta los criterios arriba indicados.

## 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

ISBN(13):9780070016859

Título:COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS: THE BASICS WITH APPLICATIONS (1995)

Autor/es:John D., Anderson, Jr. ;

Editorial:McGraw Hill

- Aris, R., Vectors, Tensors, and the Basic Equations of Fluid Mechanics, Dover, 1962.
- Baker, A.J., Finite Element Computational Fluid Dynamics, Hemisphere, 1983.
- Batchelor, G.K., An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, 1967.
- Crespo, A., Mecánica de fluidos, Sección de Publicaciones de la ETS de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 1997.
- Cuvelier, C., Segal, A. y Van Steenhoven, A.A., Finite Element Methods and Navier-Stokes Equations, Reidel, 1986.
- Ferziger, J.H., y Peric, M., Computational Methods for Fluid Dynamics, Segunda edición, Springer-Verlag, 1999.
- Fletcher, C.A.J., Computational Techniques for Fluid Dynamics, Vols. I y II, Springer-Verlag, 1991.
- Gresho, Ph.M., The Finite Element Method in Viscous Incompressible Flows, Lecture Notes in Engineering, Vol. 43, pp. 148-190, Springer, 1989.
- Hirsch, C., Numerical Computation of Internal and External Flows, John Wiley and Sons, Vols. 1 y 2, 1988.
- Hoffmann, K.A., y Chiang, S.T., Computational Fluid Dynamics, 4a Edición, Vols. I a III, Engineering Education Systems, 2000.
- Liñán, A., Mecánica de Fluidos, Publicaciones de la ETS de Ingenieros Aeronáuticos, 1967.
- Peyret, R., and Taylor, T.D., Computational Methods in Fluid Flow, Springer-Verlag, 1983.
- Pironneau, O., Finite Element Methods for Fluids, John Wiley and Sons, 1989.

- Wendt, J.F. (Editor), Computational Fluid Dynamics. An Introduction, Springer- Verlag, 1992.
- Wilcox, D.C., Turbulence Modeling for CFD, CDW Industries, Inc., La Cañada, California, 1994.

A continuación se presenta un listado de revistas científicas, dentro de las que se puede acceder desde la UNED, que el estudiante puede consultar:

- Annual review of fluid mechanics.
- Computers & fluids.
- Journal of computational physics.
- Journal of fluid Mechanics.
- Journal of fluids engineering.
- International journal for numerical methods in fluids.
- International Journal of Computational Fluid Dynamics.
- International journal of heat and fluid flow.
- International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow.
- Physics of Fluids.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

En el Departamento de Mecánica se dispone de códigos computacionales y medios de cálculo que pueden utilizarse para llevar a cabo simulaciones numéricas, para lo que deberá contactarse con el equipo docente.

## PRÁCTICAS DE LABORATORIO

**¿Hay prácticas en esta asignatura de cualquier tipo (en el Centro Asociado de la Uned, en la Sede Central, Remotas, Online,..)?**

Si/No

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Presencial:

Obligatoria:

Es necesario aprobar el examen para realizarlas:

Fechas aproximadas de realización:

Se guarda la nota en cursos posteriores si no se aprueba el examen:

(Si es así, durante cuántos cursos)

Cómo se determina la nota de las prácticas:

### REALIZACIÓN

Lugar de realización (Centro Asociado/ Sede central/ Remotas/ Online):

N.º de sesiones:

Actividades a realizar:

**OTRAS INDICACIONES:**

---

## **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.