



## DATOS IDENTIFICATIVOS

### Mecánica de fluídos II e CFD

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |        |       |              |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|--------------|
| Materia               | Mecánica de fluídos II e CFD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |        |       |              |
| Código                | O07G410V01922                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |        |       |              |
| Titulación            | Grao en Enxeñaría Aeroespacial                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |       |              |
| Descritores           | Creditos ECTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Sinale | Curso | Cuadrimestre |
|                       | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | OP     | 3     | 1c           |
| Lingua de impartición | Castelán                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |        |       |              |
| Departamento          | Enxeñaría mecánica, máquinas e motores térmicos e fluídos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |       |              |
| Coordinador/a         | Martín Ortega, Elena Beatriz<br>Rodríguez Pérez, Luis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |        |       |              |
| Profesorado           | Martín Ortega, Elena Beatriz<br>Rodríguez Pérez, Luis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |        |       |              |
| Correo-e              | emortega@uvigo.es<br>lurodriguez@uvigo.es                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |        |       |              |
| Web                   | <a href="http://aero.uvigo.es">http://aero.uvigo.es</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |        |       |              |
| Descrición xeral      | Coñecemento, compresión e aplicación de conceptos e técnicas da Mecánica de Fluídos de Enxeñaría Aeroespacial<br>Parte do curso presentase como unha introdución a dinámica de fluidos computacional que, partindo de un coñecemento de las ecuaciones de conservación de los fluidos (xa adquiridos por estudantes en materias anteriores) permita al alumno realizar simulacións sinxelas que involucren un fluído como medio de traballo. |        |       |              |

## Competencias

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Código |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| A2     | Que os estudantes saiban aplicar os seus coñecementos ao seu traballo ou vocación dunha forma profesional e posúan as competencias que adoitan demostrarse por medio da elaboración e defensa de argumentos e a resolución de problemas dentro da súa área de estudo                                                                                                                                                                                      |
| A3     | Que os estudantes teñan a capacidade de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro da súa área de estudo) para emitir xuízos que inclúan unha reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica ou ética                                                                                                                                                                                                                       |
| A5     | Que os estudantes desenvolvesen aquelas habilidades de aprendizaxe necesarias para emprender estudos posteriores cun alto grao de autonomía                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| C16    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: Os conceptos e as leis que gobernan os procesos de transferencia de enerxía, o movemento dos fluídos, os mecanismos de transmisión de calor e o cambio de materia e o seu papel na análise dos principais sistemas de propulsión aeroespaciais.                                                                                                                                                           |
| C18    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: Os fundamentos da mecánica de fluídos; os principios básicos do control e a automatización do voo; as principais características e propiedades físicas e mecánicas dos materiais.                                                                                                                                                                                                                         |
| C19    | Coñecemento aplicado de: a ciencia e tecnoloxía dos materiais; mecánica e termodinámica; mecánica de fluídos; aerodinámica e mecánica do voo; sistemas de navegación e circulación aérea; tecnoloxía aeroespacial; teoría de estruturas; transporte aéreo; economía e produción; proxectos; impacto ambiental.                                                                                                                                            |
| C20    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: A mecánica de fractura do medio continuo e as formulacións dinámicas, de fatiga de inestabilidade estrutural e de aeroelasticidad.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| C22    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: Os fundamentos da mecánica de fluídos que describen o fluxo en todos os réximes, para determinar as distribucións de presións e as forzas sobre as aeronaves.                                                                                                                                                                                                                                             |
| C25    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: os métodos de cálculo de deseño e proxecto aeronáutico; o uso da experimentación aerodinámica e dos parámetros máis significativos na aplicación teórica; o manexo das técnicas experimentais, equipamento e instrumentos de medida propios da disciplina; a simulación, deseño, análise e interpretación de experimentación e operacións en voo; os sistemas de mantemento e certificación de aeronaves. |
| C26    | Coñecemento aplicado de: aerodinámica; mecánica e termodinámica, mecánica do voo, enxeñaría de aeronaves (á fixa e ás rotatorias), teoría de estruturas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| C28    | Coñecemento adecuado e aplicado á Enxeñaría de: Os fundamentos da mecánica de fluídos que describen o fluxo en calquera réxime e determinan as distribucións de presións e as forzas aerodinámicas.                                                                                                                                                                                                                                                       |

|     |                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| D3  | Capacidade de comunicación oral e escrita na lingua nativa                        |
| D4  | Capacidade de aprendizaxe autónoma e xestión da información                       |
| D5  | Capacidade de resolución de problemas e toma de decisións                         |
| D6  | Capacidade de comunicación interpersoal                                           |
| D8  | Capacidade de razoamento crítico e autocrítico                                    |
| D11 | Ter motivación pola calidade con sensibilidade cara a temas do ámbito dos estudos |

### Resultados de aprendizaxe

| Resultados previstos na materia                                                                            | Resultados de Formación e Aprendizaxe |                                                      |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Coñecemento e comprensión dos principais conceptos e técnicas da Mecánica de Fluídos                       | A3                                    | C16<br>C18<br>C19<br>C22<br>C28                      | D4<br>D5<br>D8<br>D11             |
| Capacidade para aplicar os principais conceptos e técnicas da Mecánica de Fluídos ás Ciencias da Enxeñaría | A2<br>A3<br>A5                        | C16<br>C18<br>C19<br>C20<br>C22<br>C25<br>C26<br>C28 | D3<br>D4<br>D5<br>D6<br>D8<br>D11 |
| Comprensión dos procedementos básicos da dinámica de fluídos computacional                                 | A5                                    | C16<br>C18<br>C19<br>C22<br>C25<br>C26<br>C28        | D4<br>D5<br>D8<br>D11             |

### Contidos

#### Tema

CFD. Ecuacións xerais e fenómenos de transporte Tema 1: Resumo das ecuacións xerais.

Notación integral  
Notación diferencial  
Forma conservativa.  
Notación compacta  
Modelos límite máis comúns  
Condicións de contorno máis comúns

#### CFD. Turbulencia

Tema 2: Introducción á turbulencia

Introdución

Escala de Kolmogorov

Inviabilidade da simulación numérica directa

Modelos de turbulencia:

Modelos RANS:

- Medias de Reynolds e de Favre
- Ecuacións promediadas. Esforzos aparentes de Reynolds. Problema do peche
- Hipótese de Boussinesq: modelos algebraicos, dunha ecuación e de dúas ecuacións
- Leis de parede. Modelos de alto e baixo número de Reynolds
- Modelos de transporte de esforzos aparentes de Reynolds

Modelos LLES: Descrición

Métodos de Volumes Finitos (FVM):

- Introducción
- Discretización do dominio computacional
- Discretización das ecuacións de fluídos
- Ecuacións discretizadas en FVM
- Discretización das condicións de contorno

Fluxos incompresibles. Ecuación de presión

- Métodos de compresibilidad artificial
- Axustes presión-velocidade
- Métodos de aceleración da resolución numérica máis comúns

Tema 4: Introducción ao uso de distintos software (OpenFoam e Fluent) de simulación numérica de fluídos. Prácticas en aula informática.

\*O uso deste software quedará condicionado á dispoñibilidade de licenzas de uso por parte do centro así como á correcta instalación dos mesmos na aula informática asignada

Aplicacións:

- Fluxo laminar no interior dunha cavidade
- Fluxo nun dispositivo mesturador de correntes
- Forzas aerodinámicas sobre corpos:  
Fluxo ao redor dun obstáculo. Fluxo laminar e fluxo turbulento  
Cálculo da rúa de Kármán tras un corpo romo  
Fluxo incompresible sobre perfil aerodinámico  
Fluxo transónico sobre perfil aerodinámico

-Exercicios/Proxectos propostos de simulación numérica para ser resoltos de forma máis independente polos alumnos.

---

Mecánica de Fluídos II. Fluxo de fluídos ideais. Movementos irrotacionais

Tema 1: Movementos irrotacionais.  
Condicións de irrotacionalidade  
Ecuacións do movemento irrotacional  
Condicións iniciais e de contorno  
Movemento irrotacional de líquidos  
Principio de superposición  
Potencial de velocidades a grandes distancias dun obstáculo  
Movemento plano irrotacional de líquidos: Solucións elementais. Corrente en recunchos e esquinas. Corrente ao redor dun cilindro con circulación  
Movemento irrotacional bidimensional de gases  
Expansión de Prandtl-Meyer

Tema 2: Movementos con superficies de discontinuidade  
Ecuacións do salto das magnitudes fluídas nunha discontinuidade  
Discontinuidades normais e tangenciais  
Ondas de choque normais  
Ondas de choque oblicuas

Aplicación: Movemento case unidimensional de fluídos ideais: Área crítica. Movemento en toberas. Carga e descarga en depósitos. Ondas de choque. Relación de Hugoniot.

---

Mecánica de Fluídos II. Movementos unidimensionais non estacionarios de fluídos ideais

Tema 3: Movemento unidimensional non estacionario de fluídos ideais. Efecto de compresibilidade na líquidos  
Apertura e peche de válvulas. Golpe de ariete

Ecuacións do movemento unidireccional non estacionario en gases. Ondas simples

---

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mecánica de Fluídos II. Movemento a baixos números de Reynolds | Tema 4: Movemento a baixos números de Reynolds<br>Ecuacións. Condicións iniciais e de contorno<br>Aplicación a fluídos incompresibles. Movementsos ao redor dun cilindro e unha esfera<br>Lubrificación: Ecuación de Reynolds da lubricación 3D.<br>Aplicacións. cojinete cilíndrico, lubricación con gases, patín rectangular, ... |
| Mecánica de Fluídos II. Capa límite                            | Tema 5: Capa límite laminar<br><br>Capa límite laminar incompresible.<br>Solucións de semellanza. Capa límite sobre placa plana. Solución de Blasius<br><br>Capa límite laminar compresible<br><br>Capa límite térmica a baixas velocidades                                                                                         |
| Mecánica de Fluídos II. Prácticas de laboratorio               | - Ensaio en banco de aerodinámica:<br>Medición capa límite<br><br>- Ensaio en túnel de vento de baixa velocidade<br>Distribución de presións sobre corpo romo<br><br>- Distribución de presións en toberas converxentes e converxentes-diverxentes. Magnitudes críticas. Ondas de choque. Bloqueo sónico.                           |

| Planificación                                                                                                            |               |                    |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------|
|                                                                                                                          | Horas na aula | Horas fóra da aula | Horas totais |
| Prácticas de laboratorio                                                                                                 | 4             | 5                  | 9            |
| Lección maxistral                                                                                                        | 33            | 35                 | 68           |
| Aprendizaxe baseado en proxectos                                                                                         | 8             | 19.5               | 27.5         |
| Prácticas con apoio das TIC                                                                                              | 8             | 0                  | 8            |
| Resolución de problemas                                                                                                  | 22            | 73                 | 95           |
| Proxecto                                                                                                                 | 0             | 15                 | 15           |
| Exame de preguntas de desenvolvemento                                                                                    | 2.5           | 0                  | 2.5          |
| *Os datos que aparecen na táboa de planificación son de carácter orientador, considerando a heteroxeneidade do alumnado. |               |                    |              |

| Metodoloxía docente              |                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | Descrición                                                                                                                                                                         |
| Prácticas de laboratorio         | Realización das prácticas de laboratorio                                                                                                                                           |
| Lección maxistral                | Exposición da teoría                                                                                                                                                               |
| Aprendizaxe baseado en proxectos | Translación de problemas de fluídos a modelos matemáticos para ser resoltos numericamente                                                                                          |
| Prácticas con apoio das TIC      | Formulación e resolución numérica de problemas propostos aplicados a fluxos de fluídos                                                                                             |
| Resolución de problemas          | Formulación e resolución de modelos aplicados a fluxos de fluídos                                                                                                                  |
| Resolución de problemas          | Resolución de problemas e/ou exercicios de forma autónoma por parte do alumno para comprender e caracterizar os distintos tipos de movementos de fluídos e os seus simplificacións |

| Atención personalizada      |                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metodoloxías                | Descrición                                                                                                                                                                                            |
| Prácticas de laboratorio    | Atenderase persoalmente a todas as dúbidas que xurdan ao longo do desenvolvemento das prácticas                                                                                                       |
| Resolución de problemas     | Atenderase, na medida do posible, a todas as dúbidas que xurdan ao longo da resolución dos problemas                                                                                                  |
| Prácticas con apoio das TIC | Nas prácticas tentarase na medida do posible organizar ao grupo de estudantes en distintas prácticas. Atenderase persoalmente a todas as dúbidas que xurdan ao longo do desenvolvemento das prácticas |
| Probos                      | Descrición                                                                                                                                                                                            |
| Proxecto                    | Atenderase en tutorías as dúbidas que xurdan ao longo do desenvolvemento do proxecto                                                                                                                  |

| Avaliación |
|------------|
|------------|

| Descrición                            |                                                                                    | Cualificación |    | Resultados de Formación e Aprendizaxe |     |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----|---------------------------------------|-----|
| Aprendizaxe baseado en proxectos      | Realización e entrega de informe das simulacións propostas ao alumno               | 20            | A2 | C16                                   | D3  |
|                                       |                                                                                    |               | A3 | C18                                   | D4  |
|                                       |                                                                                    |               | A5 | C19                                   | D5  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C20                                   | D6  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C22                                   | D8  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C25                                   | D11 |
|                                       |                                                                                    |               |    | C26                                   |     |
| Prácticas con apoio das TIC           | Asistencia e participación activa nas prácticas                                    | 1.5           | A2 | C16                                   | D3  |
|                                       |                                                                                    |               | A3 | C18                                   | D4  |
|                                       |                                                                                    |               | A5 | C19                                   | D5  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C20                                   | D6  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C22                                   | D8  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C25                                   | D11 |
|                                       |                                                                                    |               |    | C26                                   |     |
| Resolución de problemas               | Asistencia ás sesións de resolución de problemas e entrega dos problemas propostos | 3.5           | A2 | C16                                   | D3  |
|                                       |                                                                                    |               | A3 | C18                                   | D4  |
|                                       |                                                                                    |               | A5 | C19                                   | D5  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C20                                   | D6  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C22                                   | D8  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C25                                   | D11 |
|                                       |                                                                                    |               |    | C26                                   |     |
| Exame de preguntas de desenvolvemento | Realización de probas escritas, incluíndo o exame final da materia                 | 75            |    | C28                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C16                                   | D3  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C18                                   | D5  |
|                                       |                                                                                    |               |    | C19                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C20                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C22                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C25                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C26                                   |     |
|                                       |                                                                                    |               |    | C28                                   |     |

### Outros comentarios sobre a Avaliación

Primeira edición da acta:

A avaliación da materia realizarase mediante:

- Proba ou probas escritas, incluída o exame escrito final (75% da nota final).
- Entrega do Proxecto/s (de simulación numérica) propostos ao alumnado polo profesorado (20% da nota final na materia). Esta entrega forma parte da avaliación continua da materia
- terase en conta a asistencia e participación activa nas clases prácticas e informáticas así como a entrega de problemas propostos polo profesorado nas clases prácticas e/ou teóricas si así o indica (5% da nota final na materia). Esta porcentaxe forma parte da avaliación continua

Os estudantes que non cursen a materia pola modalidade de avaliación continua, realizarán un exame final de 5h de duración (con descanso no medio) que suporá o 100% da súa nota

Segunda edición da acta:

- A nota do proxecto de simulación numérica gardarase para a segunda edición da acta.
- A nota de avaliación continua asociada á asistencia e participación activa e entrega de problemas propostos polo profesorado (si así o indica) gardarase para a segunda edición da acta.
- O resto da nota será un exame escrito.
- No caso dos estudantes que non teñan nota na avaliación continua na primeira convocatoria este exame final da segunda edición da acta representará o 100% da súa nota e contará con preguntas relacionadas con todo o temario da materia

## **Bibliografía. Fontes de información**

### **Bibliografía Básica**

White, F.M, **Viscous fluid flow**, 3rd ed., McGraw-Hill, 2006

Panton, R. L., **Incompressible Flow**, 4th Edition, Wiley, 2013

Anderson, **Modern Compressible Flow**, 3rd Ed., Mc Graw Hill, 1992

BARRERO & PÉREZ-SABORID, **Fundamentos y aplicaciones de la Mecánica de Fluidos**, Mc Graw Hill, 2005

BLAZEK, J., **Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications**, Elsevier, 2001

H K Versteeg and W Malalasekera, **An Introduction to Computational Fluid Dynamics THE FINITE VOLUME METHOD**, 2nd Ed., Prentice Hall, 2007

### **Bibliografía Complementaria**

Kundu , C., **Fluid Mechanics**, 4th Edition,, Academic Press, 2010

SCHLICHTING, H, **Boundary Layer Theory**, Mc Graw Hill, 1987

FERZIGER, J., MILOVAN, P., **Computational Methods for fluid Dynamics**, Springer, 1999

F. Moukalled L. Mangani M. Darwish, **The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics An Advanced Introduction with OpenFOAM® and Matlab®**, Springer, 2016

WILCOX, **Turbulence Modeling**, DCW Industries, 2004

www.openfoam.com,

## **Recomendacións**

### **Materias que se recomenda ter cursado previamente**

Matemáticas: Métodos matemáticos/O07G410V01301

Mecánica de fluídos/O07G410V01402

## **Plan de Continxencias**

### **Descrición**

=== MEDIDAS EXCEPCIONAIS PLANIFICADAS ===

Ante a incerta e imprevisible evolución da alerta sanitaria provocada polo \*COVID-19, a Universidade de Vigo establece unha planificación extraordinaria que se activará no momento en que as administracións e a propia institución determinen atendendo a criterios de seguridade, saúde e responsabilidade, e garantindo a docencia nun escenario non presencial ou parcialmente presencial. Estas medidas xa planificadas garanten, no momento que sexa preceptivo, o desenvolvemento da docencia dun modo máis áxil e eficaz ao ser coñecido de antemán (ou cunha ampla antelación) polo alumnado e o profesorado a través da ferramenta normalizada e institucionalizada das guías docentes.

=== ADAPTACIÓN DAS METODOLOXÍAS ===

\* Metodoloxías docentes que se manteñen: Todas excepto Prácticas en laboratorio docente de Mecánica de Fluídos, sempre que as circunstancias excepcionais obriguen a iso

\* Metodoloxías docentes que se modifican: Prácticas en laboratorio. En caso de no ser posible realízasas presencialmente, substituírasen pola resolución de problemas relacionados coas mesmas

\* Mecanismo non presencial de atención ao alumnado (titorías): Mediante aula virtual en Campus remoto ou sistema similar previa solicitude de cita por parte do alumno mediante email. Poderán ser individuais ou en grupos pequenos

\* Modificacións (si proceden) dos contidos a impartir: Non procede

\* Bibliografía adicional para facilitar o auto-aprendizaxe: Non procede

\* Outras modificacións

...

\* Probas que se modifican: As probas en si non se modificarán. Si o poderá facer a presencialidade das mesmas. De ser necesario pola situación de emerxencia realizaríanse telemáticamente usando preferentemente as ferramentas dispoñibles en Fatic.

\* Novas probas

\* Información adicional