



## PRESENTACIÓN

### Breve descripción:

En esta asignatura, los estudiantes profundizarán en los conocimientos adquiridos en las asignaturas Mecánica de Fluidos y Resistencia de Materiales. Los estudiantes estudiarán los conceptos básicos sobre dinámica de fluidos computacional (CFD) y mecánica de sólidos computacional (CSM), y aprenderán a utilizar el software ANSYS, con el que resolverán casos prácticos tanto de CFD como de CSM.

### Titulación (Módulo/Materia):

- Ingeniería en Tecnologías Industriales (Bloque Especializado de Tecnologías Industriales/Mecánica)
- Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de productos (Conocimientos Científicos Aplicados/Conocimientos Científicos Aplicados)

### Detalles:

- **ECTS:** 4 ECTS
- **Curso, semestre:** 4.º curso, 1.º semestre
- **Carácter:** Obligatorio
- **Idioma:** Castellano

### Profesores de la asignatura:

- Rivas Nieto, Alejandro/Profesor Catedrático (arivas@tecnun.es)
- Aramburu Montenegro, Jorge/Profesor Contratado doctor (jaramburu@tecnun.es)
- Gil-Negrete Laborda, Nere/Profesora Catedrática (ngilnegrete@tecnun.es)
- Ruiz de Galarreta Moriones, Sergio/Profesor Contratado Doctor (sruiz@tecnun.es)
- Sánchez Larraona, Gorka/Profesor Titular (gsanchez@tecnun.es)

## COMPETENCIAS

### INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

CG11 - Habilitar al egresado de destrezas técnicas y de una sensibilización que le permita impulsar, organizar y llevar a cabo mejoras e innovaciones tanto en procesos, bienes y servicios.

CE21 - Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos de la elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales.

CE30 - Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas.

### INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

CE22 - Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos de la elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales.



## PROGRAMA

### PARTE 1: DIMÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

#### Tema 1: Introducción a la CFD

--Campos de aplicación. Ventajas e inconvenientes. --Modelo matemático del flujo de un fluido. Dominio, incógnitas y ecuaciones, condiciones de contorno y condiciones iniciales. --Modelo matemático discreto del flujo de un fluido en régimen laminar. Mallado. Método de los volúmenes finitos. Esquemas numéricos. Resolución. --Simulación de un flujo en régimen laminar. Preproceso, resolución y postproceso.

#### Tema 2: Modelación de la turbulencia

--Conceptos fundamentales de la turbulencia. --Aproximaciones en la simulación de flujos turbulentos. Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), Large Eddy Simulation (LES) y Simulación Numérica Directa (DNS). --Modelos de turbulencia. Hipótesis de Boussinesq y modelos de tensiones de Reynolds. --Simulación de un flujo en régimen turbulento. Preproceso, resolución y postproceso.

#### Tema 3: Verificación y validación

--Errores e incertidumbres en CFD. --Error de convergencia. Criterios de convergencia. Error de redondeo. --Verificación. Estimación del error de discretización. Método de extrapolación de Richardson. Grid convergence index (GCI). --Validación. Fuentes de incertidumbre.

### PARTE 2: MECÁNICA DE SÓLIDOS COMPUTACIONAL (CSM)

#### Tema 1: El método de los elementos finitos (MEF) para problemas de elasticidad bidimensional.

--Introducción. Hipótesis de discretización. Interpolación de deformaciones. Estados de tensión y deformación. Fuerzas aplicadas. Efectos térmicos. --Ecuaciones de equilibrio. Condiciones de contorno. Convergencia de la solución. Elementos de 3 y 4 lados. Mallado. --Errores de discretización e interpolación. Cálculo y alisado de tensiones. Estimación del error. --Resolución práctica de casos reales. Validación.

#### Tema 2: Problemas de elasticidad tridimensional

--Definición. Estados de tensión y deformación. Elementos tetraédricos y hexaédricos. Fuerzas aplicadas. Efectos térmicos. --Condiciones de contorno. Mallado. --Errores de discretización e interpolación. Alisado de tensiones. Problemas axisimétricos. --Resolución práctica de casos reales. Validación.

#### Tema 3: Introducción al estudio de la transmisión de calor por el MEF

--Ecuaciones generales de la transmisión de calor transitoria en el MEF. --Hipótesis de interpolación. Representación del flujo térmico en el MEF. --Condiciones de contorno térmicas en el MEF. --Resolución práctica de casos reales. Validación.

## CONTENTS OF THE COURSE

### PART 1: COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

#### Unit 1: Introduction to CFD



# Universidad de Navarra

--Definition of CFD. Fields of application. --Mathematical model of a fluid flow. Domain, unknowns and equations, boundary conditions and initial conditions. --Discrete mathematical model of a fluid flow. Meshing. Finite volume method. Numerical schemes and solving. --Mathematical modelling of a laminar fluid flow. Preprocessing, solving and postprocessing.

## Unit 2: Turbulence modelling

--Basic Concepts of turbulence. --Approaches in turbulent flows modelling. Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), Large Eddy Simulation (LES), and Direct Numerical Simulation (DNS). --Turbulence models. Boussinesq hypothesis and Reynolds stress transport models. --Mathematical modelling of a turbulent fluid flow. Preprocessing, solving, and postprocessing.

## Unit 3: Verification and validation

--Errors and uncertainties in CFD. --Iteration Error. Convergence criteria. Round-off error. --Verification. Estimation of the discretization error. Richardson extrapolation method. Grid Convergence Index (GCI). --Validation. Sources of uncertainties.

## PART 2: COMPUTATIONAL SOLID MECHANICS

### Unit 1: Finite element method (FEM) in bidimensional elasticity problems

--Introduction. Discretization hypothesis. Strain interpolation. States of stress and strain. Applied forces. Thermal effects. --Equilibrium equations. Boundary conditions. Convergence. Elements with 3 and 4 edges. Meshing. --Discretization and interpolation errors. Calculation and smoothing of stresses. Error estimation.--Practical solution of real cases. Validation.

### Unit 2: Finite element method in tridimensional elasticity problems

--Definitions. Stress and strain states. Tetrahedral and hexahedral elements. Applied forces. Thermal effects. --Boundary conditions. Meshing. --Discretization and interpolation errors. Calculation and smoothing of stresses. Axisymmetrical problems. --Practical solution of real cases. Validation.

### Unit 3: Introduction to the study of heat transfer by FEM

--General equations of transient heat transfer in FEM. --Interpolation hypotheses. Representation of heat flow in FEM. --Thermal boundary conditions in FEM. --Practical solution of real cases. Validation.

## ACTIVIDADES FORMATIVAS

La dedicación de **100-120 horas** (4 ECTS) a la asignatura Técnicas de Modelización y Simulación se divide en las siguientes actividades formativas:

- Clases presenciales teóricas: 16 h.
- Clases presenciales prácticas: 24 h.
- Trabajos dirigidos: 35 h.
- Tutorías: 3 h.
- Estudio personal: 25 h.
- Evaluación: 5 h.
- Elaboración y defensa del PFG: 0 h.



## METODOLOGÍAS DOCENTES

- Clases expositivas
- Clases en salas de informática
- Trabajo individual o en grupo, resolución de problemas e informes de laboratorio
- Entrevista personal con el profesor de una asignatura
- Realización de pruebas evaluadas

La asignatura se divide en dos partes: la Parte 1 y la Parte 2. La Parte 1 se dedica al estudio de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). En cada tema de esta parte y antes de la clase teórica, los estudiantes visualizan un vídeo donde se explican los conceptos fundamentales de ese tema. Ya en clase, se profundiza o se aclaran dudas sobre los conceptos mediante una clase teórica (*clases expositivas*). Después, resuelven, en equipos de dos estudiantes, casos prácticos relacionados con ese tema (*trabajo individual o en grupo, resolución de problemas e informes de laboratorio*) mediante el software ANSYS Fluent en las salas de ordenadores (*clases en salas de informática*). Además, antes de las clases teóricas, los estudiantes realizan un test sobre los conceptos estudiados en los vídeos (*realización de pruebas evaluadas*), para analizar si se han comprendido los conceptos de manera adecuada.

En la Parte 2, los estudiantes dedican cerca de 7 horas para obtener los fundamentos teóricos del Método de los Elementos Finitos en *clases expositivas*. Durante el curso se van combinando estas clases teóricas con clases prácticas (12 horas), haciendo uso del software de elementos finitos ANSYS (*clases en salas de informática*). Después de estas clases los estudiantes deben rellenar de forma individual los informes de la práctica correspondiente (*trabajo individual e informes de laboratorio*).

Para obtener información más detallada de las actividades formativas, consulte el documento de Actividades formativas de la web de la asignatura.

## EVALUACIÓN

### CONVOCATORIA ORDINARIA

- **Intervención en clases, seminarios y clases prácticas:** 5%.
- **Evaluaciones parciales y finales:** 72,5%.
- **Trabajos individuales y/o en equipo:** 22,5%.

Comentarios:

La máxima calificación que puede obtener un estudiante es 10/10. La calificación se distribuye de la siguiente manera.

#### *Parte 1: Mecánica de Fluidos Computacional (50%)*

- **Evaluaciones parciales (20%):** serán de tipo test y se realizarán en clase. Los test de los temas 1, 2 y 3 supondrán un 10%, 5%, 5% de esta parte de la asignatura, respectivamente.
- **Trabajo personal (10%):** supondrá un 10% de esta parte de la asignatura y se considerarán la asistencia a las sesiones presenciales y el trabajo en las prácticas en clase.
- **Prácticas evaluadas (30%):** los estudiantes realizarán, por parejas, tres prácticas evaluadas, donde cada una valdrá un 10% de esta parte.



# Universidad de Navarra

- Examen final (40%): los estudiantes, a mitad de semestre, realizarán el examen final de esta parte de la asignatura, que valdrá un 40% de esta parte y consistirá en resolver un caso práctico similar a los vistos en las prácticas evaluadas.

## Parte 2: Mecánica de Sólidos Computacional (50%)

- Prácticas guiadas parciales (15%): los estudiantes realizarán cinco prácticas evaluadas, por parejas, durante las clases y cada una valdrá un 3% de esta parte.
- Práctica evaluada final (45%): durante la última semana de clases, los estudiantes realizarán, de manera individual, una práctica que supondrá un 45% de esta parte.
- Examen final (40%): el examen consistirá en una serie de preguntas sobre los fundamentos vistos en esta parte de la asignatura, y supondrá un 40% de esta parte.

## Para aprobar la asignatura,

- la calificación final, después de la suma de la calificación relativa a cada parte, tiene que ser mayor o igual que 5/10, Y
- los estudiantes deberán obtener una calificación mayor o igual que 3/10 en el examen final de la Parte 1, Y
- los estudiantes deberán obtener una calificación mayor o igual que 3/10 en el examen final de la Parte 2.

## CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

- Intervención en clases, seminarios y clases prácticas: 5%.
- Evaluaciones parciales y finales: 72,5%.
- Trabajos individuales y/o en equipo: 22,5%.

## Comentarios:

- Tanto en la Parte 1 como en la Parte 2, un estudiante que haya suspendido la asignatura tiene que volver a realizar aquellas partes que tienes suspendidas.
- El cálculo de la calificación y las condiciones necesarias para aprobar la asignatura son las mismas que en la Convocatoria Ordinaria.

Para información más detallada sobre la Evaluación, consulte el documento de la web de la asignatura, que es el documento donde se explica la Evaluación con todo detalle.

## HORARIOS DE ATENCIÓN

Los estudiantes podrán acudir a los profesores para resolver las dudas que hayan podido surgir en relación a la asignatura, en cualquier momento, previa cita.

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía básica

- H. K. Versteeg & W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Methods*, 2nd Edition, Ed. Longman, 2007. [Localízalo en la biblioteca](#) [Para CFD.]
- Yunus A. Çengel & John M. Cimbala, *Fluid Mechanics. Fundamentals and Applications*, 4th Edition, Ed. McGraw-Hill, 2020. [Localízalo en la biblioteca](#) [Para CFD.]



# Universidad de Navarra

- J. T. Celigüeta, *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra, San Sebastián, 2010. [Para **CSM**.]
- B. J. Mac Donald, *Practical Stress Analysis with Finite Elements*, 4th Edition, Glasnevin Pub., 2011. [Localízalo en la biblioteca](#) [Para **CSM**.]

## Bibliografía complementaria

- J.H. Ferziger & M. Peric, *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2002. [Para **CFD**.]
- David C. Wilcox, *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries Inc., 1993. [Para **CFD**.]
- E. Oñate, *Cálculo de Estructuras por el Método de los Elementos Finitos*, CIMNE, Barcelona, 1992. [Para **CSM**.]
- O. C. Zienkiewicz & R. L. Taylor, *The Finite Element Method. Vol 1. The Basis*, 5th Edition, Butherworth-Heinemann, 2000. [Para **CSM**.]