Universidad de Navarra

Técnicas de Modelización y Simulación A (MECAN) (Ing.Gr.)

Guía docente 2026-27

PRESENTACIÓN

En esta asignatura, los estudiantes profundizarán en los conocimientos adquiridos en las asignaturas Mecánica de Fluidos y Resistencia de Materiales y se introducirán en los conceptos básicos sobre dinámica de fluidos computacional (CFD) y mecánica de sólidos computacional (CSM). Al mismo tiempo 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)
- Sánchez Larraona, Gorka/Profesor Titular (gsanchez@tecnun.es)
- Aramburu Montenegro, Jorge/Profesor Titular (jaramburu@unav.es)
- Gil-Negrete Laborda, Nere/Profesora Catedrática (ngilnegrete@tecnun.es)
- Ruiz de Galarreta Moriones, Sergio/Profesor Titular (sruiz@tecnun.es)
- López Barberena, Asier / Colaborador docente

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (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: DINÁMICA 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 SOLIDOS 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

- Definition of CFD. Fields of application. Mathematical model of a fluid flow. Domain, unknows 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. Prepocessing, solving, and postprocessing.

Universidad de Navarra

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 hexaedral elements. Applied forces. Thermal effects. Boundary conditions. Meshing. Discretization and interpolation errors. Calculation and smoothing of stresses. Axysimetrical 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** se dedica al estudio de la *Dinámica de Fluidos Computacional* (CFD). Los estudiantes disponen de material impreso y audiovisual para preparar tanto las **Clases Expositivas** (*clases expositivas*) como para llevar a cabo las **Prácticas Guiadas** (*clases en salas de informática*) empleando en estas últimas el software **ANSYS Fluent**. Mediante las *Clases Expositivas* y las *Prácticas Guiadas* se profundiza o se aclaran las dudas sobre los conceptos de cada bloque y se presentan los conocimientos y herramientas necesarios para llevar a cabo las **Prácticas Evaluadas** (*trabajo individual o en grupo, resolución de problemas e informes de laboratorio*). En las *Prácticas Evaluadas* los estudiantes **en parejas** resuelven casos prácticos relacionados con el bloque. Cada estudiante realiza tres **Evaluaciones Parciales** mediante un examen tipo test de

los conceptos de cada bloque y un **Examen Final** sobre la modelación y simulación de un problema de CFD empleando *Ansys Fluent* (*realización de pruebas evaluadas*). Los profesores están a disposición de los estudiantes para resolver dudas (*Entrevista personal con el profesor de una asignatura*).

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 o la guía interactiva.

DISPOSICIONES GENERALES

La asignatura consta de **dos partes**. Cada una de las partes de la asignatura posee **el mismo peso en la calificación final** y **es necesario aprobar cada una de ellas**. Si la media total es superior a 5/10 pero se ha se ha suspendido alguna de las partes, la calificación numérica final será de 4,5/10. La calificación de la parte aprobada se guardará en futuras convocatorias.

CONVOCATORIA ORDINARIA

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

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%** del total)

- Evaluaciones parciales (**30%**): Supondrá un 30% de esta parte de la asignatura. Serán exámenes de tipo test y se realizarán en clase. Los test de los temas 1, 2 y 3 supondrán respectivamente un **15%, 7,5%, 7,5%** de esta parte de la asignatura.
- 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%**): Supondrá un 30% de esta parte de la asignatura. Los estudiantes realizarán, por parejas, tres prácticas evaluadas empleando Ansys-Fluent. Cada una de ellas valdrá un 10%.
- Examen final (**30%**): Supondrá un 30% de esta parte de la asignatura. Los estudiantes realizarán a mitad de semestre el examen final de esta parte de la asignatura que consistirá en resolver empleando Ansys-Fluent un caso práctico similar a los vistos en las prácticas evaluadas .

Parte 2: Mecánica de Sólidos Computacional (**50%** del total)

- 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.

MÍNIMOS

Parte 1: Mecánica de Fluidos Computacional

Además de obtener una calificación numérica media de esta parte igual o superior a 5/10, para aprobarla es necesario:

- Obtener una calificación media ponderada en el conjunto de las evaluaciones parciales igual o mayor que un 3/10.
- Obtener una calificación en el examen final mayor o igual que un 3/10.

Parte 2: Mecánica de Solidos Computacional

Además de obtener una calificación numérica media de esta parte igual o superior a 5/10, para aprobarla es necesario:

- Obtener una calificación en el examen final mayor o igual que un 3/10.

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:

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

INTEGRIDAD ACADÉMICA

La evaluación de la asignatura tal y como se describe en este documento, está condicionada al cumplimiento de la normativa de evaluación de la UNAV y de la política sobre integridad académica de la asignatura. En particular, todas las actividades evaluables deberán haberse realizado de acuerdo a dichas normas para que puedan ser tenidas en consideración en el proceso de evaluación.

HORARIOS DE ATENCIÓN

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

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**.]
- J. T. Celigüeta, *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra, San Sebastián, 2010. [Para **CSM**.] Localízalo en la biblioteca (online)
- 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. Ferzinger & M. Peric, *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2002. [Para **CFD**.] Localízalo en la biblioteca
- David C. Wilcox, *Turbulence Modeling for CFD*, DCW Industries Inc., 1993. [Para **CFD**.] Localízalo en la biblioteca

Universidad de Navarra

- E. Oñate, *Cálculo de Estructuras por el Método de los Elementos Finitos*, CIMNE, Barcelona, 1992. [Para **CSM**.] Localízalo en la biblioteca
- O. C. Zienkiewicz & R. L. Taylor, *The Finite Element Method. Vol 1. The Basis*, 5th Edition, Butherworth-Heinemann, 2000. [Para **CSM**.] Localízalo en la biblioteca (online 7a. ed.)