



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Simulación de flujos industriales

2024-2025

Grado en Ingeniería mecánica (E.P.S. Jaén)

Doble Grado en Ingeniería eléctrica e Ingeniería mecánica (E.P.S. Jaén)

Doble Grado en Ingeniería mecánica e Ingeniería electrónica industrial (E.P.S. Jaén)

Doble Grado en Ingeniería mecánica e Ingeniería de organización industrial (E.P.S. Jaén)



GRUPO



Acceso Mayores 40

Guías docentes UJA

Horarios de tutorías

Llamamientos PAU

Movilidad (Coordinador)

P.O.D.

Solicitud bilingüismo

Guía docente 2024-25 - 13412018 - Simulación de flujos industriales

[Volver](#)

TITULACIÓN:	Grado en Ingeniería mecánica (13412018)
CENTRO:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (JAÉN)
TITULACIÓN:	Doble Grado en Ingeniería mecánica e Ingeniería electrónica industrial (13912029)
CENTRO:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (JAÉN)
TITULACIÓN:	Doble Grado en Ingeniería eléctrica e Ingeniería mecánica (13612026)
CENTRO:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (JAÉN)
TITULACIÓN:	Doble Grado en Ingeniería mecánica e Ingeniería de organización industrial (13812028)
CENTRO:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR (JAÉN)
CURSO:	2024-25
ASIGNATURA:	Simulación de flujos industriales

GUÍA DOCENTE

1. DATOS BÁSICOS DE LA ASIGNATURA

NOMBRE: Simulación de flujos industriales

CÓDIGO: 13412018 (*)

CURSO ACADÉMICO: 2024-25

TIPO: Obligatoria

Créditos ECTS: 6.0

CURSO: 4

CUATRIMESTRE: PC

WEB: <https://platea.ujaen.es>

2. DATOS BÁSICOS DEL PROFESORADO

NOMBRE: MORAL PULIDO, FRANCISCO

IMPORTE: Teoría - Prácticas [Profesor responsable]

DEPARTAMENTO: U121 - INGENIERÍA MECÁNICA Y MINERA

ÁREA: 600 - MECÁNICA DE FLUIDOS

N. DESPACHO: A3 - 033

E-MAIL: fmoral@ujaen.es

TLF: 953212861

TUTORÍAS: <https://uvirtual.ujaen.es/pub/es/informacionacademica/tutorias/p/186892>URL WEB: <https://www.mefluife-ujagr.es/miembro/franciso-moral-pulido/>

ORCID: -

3. PRERREQUISITOS, CONTEXTO Y RECOMENDACIONES

PRERREQUISITOS:

-

CONTEXTO DENTRO DE LA TITULACIÓN:

Muchos de los problemas fluidomecánicos de interés industrial no se pueden tratar de forma analítica debido a su complejidad, por lo que la simulación numérica de los mismos se presenta como una alternativa de gran interés. El crecimiento exponencial de la potencia computacional de los ordenadores personales observado en los últimos años posibilita el uso de la Mecánica de Fluido Computacional en las etapas de diseño, cálculo y optimización de instalaciones industriales, turbomáquinas hidráulicas, elementos aerodinámicos, aerogeneradores y sistemas de inyección de combustible, entre otros numerosos ejemplos de aplicación. Completando esta asignatura, el alumno estará capacitado para enfrentarse a la resolución de problemas reales de interés industrial.

Así, Simulación de Flujos Industriales se presenta de manera pionera como una asignatura que permitirá al alumno adquirir los conocimientos básicos sobre los que se asienta la Mecánica de Fluidos Computacional y aprender a resolver problemas de interés industrial mediante el uso de software comercial empleado en las empresas más relevantes a nivel mundial. Esta asignatura complementa la titulación y presenta herramientas alternativas a las aprendidas en Mecánica de Fluidos, Máquinas e Instalaciones de Fluidos, Ingeniería Térmica y Máquinas Térmicas. Así mismo, las técnicas y metodologías presentadas serán de interés para las asignaturas Fluidomecánica Industrial y Energía Hidráulica y Eólica.

La asignatura se enmarca en el curso y cuatrimestre indicado en la sección 1. DATOS BÁSICOS DE LA ASIGNATURA de la guía docente (Materia Ingeniería Térmica y de Fluidos Avanzada).

RECOMENDACIONES Y ADAPTACIONES CURRICULARES:

El alumno debe tener conocimientos de álgebra lineal y resolución de sistemas de ecuaciones lineales. Otros conocimientos propios de un alumno de cuarto curso son los relacionados a cálculo vectorial y matricial. El alumno debe saber derivar, aplicar la regla de la cadena, integrar y aplicar estas técnicas a la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias así como de ecuaciones en derivadas parciales lineales. Además, se recomienda haber cursado con éxito las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Máquinas e Instalaciones de Fluidos.

El alumnado que presente necesidades específicas de apoyo educativo, lo ha de notificar personalmente al Servicio de Atención y Ayudas al Estudiante para proceder a realizar, en su caso, la adaptación curricular correspondiente.

4. COMPETENCIAS Y RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Código	Denominación de la competencia
CB1R	Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
CB2R	Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
CB3R	Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
CB4R	Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
CB5R	Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
CBB1R	Capacidad para la resolución de los problemas matemáticos que puedan plantearse en la ingeniería. Aptitud para aplicar los conocimientos sobre: álgebra lineal; geometría; geometría diferencial; cálculo diferencial e integral; ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales; métodos numéricos; algorítmica numérica; estadística y optimización.
CBB3R	Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.
CC2R	Conocimientos de los principios básicos de la mecánica de fluidos y su aplicación a la resolución de problemas en el campo de la ingeniería. Cálculo de tuberías, canales y sistemas de fluidos.
CEM6	Conocimiento aplicado de los fundamentos de los sistemas y máquinas fluidomecánicas.
CT4	Capacidad para aplicar nuevas tecnologías incluidas las tecnologías de la información y la comunicación.
CT6	Capacidad para la transmisión oral y escrita de información adaptada a la audiencia.

Resultados de aprendizaje

Resultado 44	Adquirir conocimientos básicos en simulación de flujos industriales
Resultado 45	Se adquirirán los conocimientos teóricos fundamentales en la discretización de las ecuaciones de Navier-Stokes
Resultado 46	Se aprenderán métodos de mallado computacional pensados exclusivamente para la simulación numérica de flujos industriales, así como conceptos básicos de mallas móviles
Resultado 47	El estudiante aprenderá técnicas concretas de simulación de flujos turbulentos
Resultado 48	Aprendizaje de uno de los software industriales que actualmente más se aplica en el I+D+I en la empresa a nivel mundial
Resultado 49	Tener capacidad para aplicar los conocimientos adquiridos en aplicaciones reales industriales. Se resolverán en clase problemas industriales reales

5. CONTENIDOS

Introducción: Motivación y ejemplos. Tratamiento matemático de los problemas termofluidodinámicos. Metodología de la simulación numérica de flujos industriales. Ecuaciones de la Mecánica de Fluidos: Repaso de las leyes de conservación en forma diferencial e integral. Flujo ideal y ecuaciones de la capa límite. Clasificación de las ecuaciones en derivadas parciales. Condiciones de contorno. Transformaciones de coordenadas específicas en mecánica de fluidos computacional. Técnicas de discretización: Mallas computacionales. Diferencias finitas. Discretización conservativa.

Volúmenes finitos. Elementos finitos y métodos espectrales.
 Esquemas numéricos para ecuaciones parabólicas. Error de truncamiento local y consistencia del esquema numérico. Estabilidad y convergencia de la solución.
 Técnicas de resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas: Caso concreto de aplicación a la ecuación de Navier Stokes. Introducción al manejo del programa comercial GAMBIT para la generación de mallas: Mallas estructuradas

<u>CONTENIDOS DESARROLLADOS</u>	
Sin pérdida de generalidad, se proponen los contenidos desarrollados descritos a continuación. Podrán reordenarse de manera apropiada para adaptarse al calendario que cambia de un curso a otro por motivos ajenos al Docente.	
BLOQUE TEMÁTICO I: INTRODUCCIÓN	
Resumen: En el primer bloque temático se exponen los contenidos de la guía docente de la asignatura Simulación de Flujos Industriales, su temario, bibliografía básica y recomendada, cronograma, sistema de evaluación y el horario de tutorías del profesor.	
Tema I.1	Clase de presentación (3T, 1TC)
T1	Descripción de la guía docente, bibliografía básica y otras lecturas recomendadas, sistema de evaluación, temario y cronograma.
T2 y T3	Introducción y motivación. Ejemplos visuales de simulaciones de flujos industriales. Proceso de simulación de problemas termofluidodinámicos (preprocesado, procesado y postprocesado), familias de métodos numéricos, ejemplos de mallas y software disponible.
TC1	Programación en Matlab de varias fórmulas en diferencias finitas para la aproximación de la derivada primera conocida el valor de la función. Cálculo del error numérico de la aproximación.
Referencias básicas . T2-T3: Fernández-Oro 1 (cap. 1); TC1: Leveque 2 (Introducción a cap. 1)	
Referencias complementarias . T2-T3: Tu, Yeoh & Liu 3 (cap. 1); Anderson 4 (cap. 1)	
BLOQUE TEMÁTICO II: DINÁMICA Y ECUACIONES GENERALES	
Resumen: En el segundo bloque temático se estudian las leyes de conservación en forma diferencial y se enuncia la ley constitutiva para fluidos newtonianos, o ley de Navier-Poisson. Se establecen las ecuaciones de conservación de la masa, cantidad de movimiento y de la energía en forma diferencial. Las dos horas prácticas de este bloque temático se invertirán en la resolución de problemas que hagan uso de las ecuaciones de conservación en forma diferencial (soluciones exactas de las ecuaciones de Navier-Stokes). El alumno debe darse cuenta que, en este punto del curso, ya cuenta con las ecuaciones necesarias para resolver cualquier problema que se le presente, si bien la resolución exacta de dichas ecuaciones de forma analítica es solo posible en casos muy sencillos, siendo de gran interés el uso de la simulación numérica para la obtención de una solución aproximada del problema. Es importante que el alumno se familiarice con las ecuaciones de conservación en distintos sistemas de coordenadas, y se adiestre en la simplificación de éstas haciendo uso de las hipótesis pertinentes al flujo en cuestión. En paralelo, se realizarán dos tutorías colectivas donde se introducirán diversos conceptos sobre el método en diferencias finitas.	
Tema II.1	Ecuación de continuidad (1T)
T4	Deducción de la ecuación de conservación de la masa a partir de la ecuación de conservación integral y de los teoremas de Gauss y Reynolds. Caso particular de

	líquido perfecto. Flujo bidimensional en coordenadas cartesianas.
Tema II.2	Ecuación de balance de la cantidad de movimiento (1T, 1P, 1TC)
T5	Deducción de la ecuación de balance de la cantidad de movimiento a partir de la ecuación de conservación integral y de los teoremas de Gauss y Reynolds. Caso particular de líquido perfecto. Flujo bidimensional en coordenadas cartesianas.
P1	Soluciones exactas (I): se derivarán las soluciones exactas para flujos estacionarios y unidimensionales dominados por la viscosidad en coordenadas cartesianas (ej. corriente de Couette y Poiseuille). También se introducirá el uso de coordenadas cilíndricas para el análisis de flujos en conductos circulares.
TC2	Haciendo uso de la serie de Taylor de una función de una sola variable independiente, se desea calcular la expresión analítica del error de las fórmulas en diferencias finitas empleadas en la tutoría colectiva 1. Se comparará el resultado analítico con el numérico obtenido anteriormente.
Tema II.3	Ecuación de la energía (1T)
T6	Deducción de la ecuación de la energía total, interna y mecánica.
Tema II.4	Síntesis (1T, 1P, 1TC)
T7	Resumen de las ecuaciones de conservación. Leyes de cierre: transporte de calor por conducción (ley de Fourier) y flujos Newtonianos (ley de Navier-Poisson).
P2	Soluciones exactas (II): se derivarán las soluciones exactas para flujos transitorios y unidimensionales dominados por la viscosidad en coordenadas cartesianas (ej. problema de Stokes y corriente de Stokes). También se introducirá el uso de coordenadas cilíndricas para el análisis de flujos en conductos circulares (ej. difusión de un torbellino potencial).
TC3	Se introduce al alumno al método en diferencias finitas para resolver un problema de contorno. Así, se emplearán las fórmulas vistas en las tutorías colectivas anteriores para ilustrar el proceso de formulación de un método numérico y de su implementación en Matlab para el caso concreto de un problema de contorno. Posteriormente, la metodología será formalizada en las sesiones teóricas.
Referencias básicas . T4-T7: Fernández-Feria 5 (parte III, cap. 6-8 y 10), Barrero-Ripoll y Pérez-Savorid 6 (cap. 5), Sánchez-Pérez y Martínez-Bazán 7 (cap. 3-6); P1-P2: Fernández-Feria 5 (parte V, cap. 14); TC2-TC3: Leveque 2 (sec. 1.1, 2.2 y 2.4).	
Referencias complementarias . T4-T7: Crespo-Martínez 8 (cap. 9, 11-12 y 14), Iglesias-Estradé y col. 9 (cap. 4-7 y apéndice A); P1-P2: Martínez-Bazán, Iglesias-Estradé y Sánchez-Pérez 10 (cap. 1) ; TC2-TC3: Anderson 4 (parte II, cap. 4).	
BLOQUE TEMÁTICO III: FLUJOS IDEALES Y TEORÍA DE LA CAPA LÍMITE	
Resumen: El tercer bloque temático se dedica al estudio de dos casos de especial relevancia en la mecánica de fluidos computacional. La solución de flujo ideal e irrotacional sirve para inicializar el campo de presión y velocidad lejos de los contornos sólidos, mientras que la teoría de capa límite puede ser empleada para parchear la solución ideal sobre los mismos. Así, en primer lugar, se estudian flujos donde los efectos de la viscosidad y de la conducción de calor son despreciables. Se comienzan	

estudiando las ecuaciones de Euler. Posteriormente se deduce la ecuación de Bernoulli para el caso de flujos incompresibles y estacionarios proyectando la ecuación de cantidad de movimiento de Euler sobre la línea de corriente. Como primera aplicación se plantean las ecuaciones de movimientos irrotacionales que son resueltos haciendo uso de la función potencial. Tras haberse introducido los movimientos de fluidos ideales, se entrena al alumno en el tratamiento de las capas delgadas cercanas a las paredes, donde dichos efectos deben retenerse, siendo además cruciales para entender la configuración general del flujo a altos números de Reynolds. Se centra el estudio en las capas límites laminares, dejando la consideración del caso turbulento para más adelante. Se pretende que el alumno se familiarice con el concepto de capa límite, sus propiedades y ecuaciones de conservación, fijando la atención en los conceptos físicos más que en el aparato matemático.

Tema III.1	Introducción a los flujos ideales (2T, 1TC)
T8	Ecuaciones de Euler. Condiciones iniciales y de contorno. Ecuación de Euler-Bernoulli.
T9	Movimiento irrotacional y bidimensional de un fluido incompresible. Movimientos potenciales elementales.
TC4	En esta tutoría colectiva se propondrán varios ejemplos de superposición de algunos de los flujos potenciales elementales que dan lugar a flujos potenciales también simples y de interés práctico (ej. semi-óvalo u óvalo de Rankine y cilindro potencial). El alumno deberá visualizar las líneas de corriente y campo de velocidad resultante del mismo, localizando (si existen) los puntos de remanso.
Tema III.2	Teoría de la capa límite (4T, 1TC)
T10	Concepto de capa límite. Ecuaciones de la capa límite bidimensional de un fluido incompresible: condiciones de contorno. Desprendimiento de la capa límite.
T11	Capa límite laminar sobre una placa plana: solución de Blasius. Espesor de desplazamiento, espesor de cantidad de movimiento y esfuerzo sobre la placa.
T12	Ecuación integral de Von Kármán.
T13	Resolución aproximada de la capa límite laminar sobre una placa plana usando la ecuación integral de Von Karman y distintos perfiles de velocidad en la capa límite. Verificación con la solución de Blasius.
TC5	Se plantea al alumno un problema de la colección de exámenes, en la temática de capa límite. Usando Foros y Aclaración de Dudas se asistirá al alumno en la resolución del problema propuesto.
Referencias básicas . T8-T9: Fernández-Feria 5 (parte VI, sec. 19.1-19.3, 21.1-21.3 y 21.6); Gordillo y Riboux 11 (cap. 1-2); T10-T13: Crespo-Martínez 8 (sec. 30.1-30.7), Martínez-Bazán, Iglesias-Estradé y Sánchez-Pérez 10 (cap. 5); TC4: Fernández-Feria 5 (parte VI, sec. 21.6).	
Referencias complementarias . T8-T13: Barrero-Ripoll y Pérez-Savorid 6 (cap. 10, 13 y 14).	
BLOQUE TEMÁTICO IV: ECUACIONES EN DERIVADAS PARCIALES DE SEGUNDO ORDEN	
Resumen: En este cuarto bloque temático se reduce una ecuación en derivadas parciales de segundo orden lineal a su forma canónica y se clasifica en función de la existencia de curvas características reales. La naturaleza parabólica, elíptica o hiperbólica de la ecuación juega un papel crucial a la hora	

de diseñar un método numérico, así como imponer condiciones de contorno. Por ello, se aplicará la metodología de clasificación a las ecuaciones vistas en los bloques temáticos anteriores. De manera general, el método presentado sirve para deducir el cambio de coordenadas requerido para reducir la ecuación en derivadas parciales a su forma canónica.

Tema IV.1	Generalidades sobre ecuaciones de segundo orden (2T, 1P)
T14	Clasificación de las E.D.P.s lineales de segundo orden.
T15	Condiciones iniciales y de contorno. Transformaciones de coordenadas específicas en mecánica de fluidos computacional.
P3	Se clasificarán algunas de las ecuaciones en derivadas parciales vistas en los bloques temáticos II y III. Cuando sea posible, se procederá al cálculo analítico de las curvas características.

Referencias básicas . T14: Puig-Adam 12 (lec. 26, sec. 3); T15: Fernández-Oro 1 (sec. 3.6), Chung 13 (cap. 17), Ferziger y Peric 14 (sec. 8.5).

Referencias complementarias . T14: Fernández-Oro 1 (sec. 3.5); T15: Anderson 4 (cap. 5) .

BLOQUE TEMÁTICO V: MÉTODO EN DIFERENCIAS FINITAS PARA E.D.O. Y E.D.P.

Resumen: La familia de métodos numéricos en diferencias finitas se caracterizan, frente a otras formulaciones presentadas en los bloques temáticos VI y VII, por su sencillez. Esta virtud le confiere su potencial didáctico. Por defecto, se adopta el método didáctico y los contenidos básicos descritos con todo detalle en el libro de LeVeque 2 , que se acompañan de diversos programas en Matlab que codifican los algoritmos numéricos. De esta manera, se comienza construyendo fórmulas en diferencias finitas para la aproximación numérica de derivadas en una molécula computacional de tamaño prefijado. Se estudia tanto el método de Vandermonde como Fornberg. Posteriormente, se resuelve un sencillo problema de contorno de segundo orden y se introducen conceptos fundamentales como son convergencia, consistencia y estabilidad. Seguidamente, se extiende la formulación para problemas canónicos de tipo parabólico, hiperbólico y elíptico. Los fenómenos de dispersión y difusión numérica son ilustrados con simulaciones numéricas de problemas de relevancia. Por motivos de tiempo, hay otros conceptos más sofisticados (por ejemplo, positividad, método bien balanceado, preservación de la monotonidad y conservación de la energía discreta) que no pueden ser formalizados en detalle, por lo que se dan referencias bibliográficas adicionales que pueden ser consultadas por el alumno interesado.

Tema V.1	Aproximación en diferencias finitas (2T)
T16	Error de truncación. Derivación de una fórmula en diferencias finitas por el método de Vandermonde.
T17	Derivada segunda y de orden superior. Método de Fornberg.
Tema V.2	Estado estacionario y problema de contorno (2T)
T18	Flujo difusivo unidimensional. Condiciones de contorno tipo Dirichlet, Neumann y Robin. Formulación de un método sencillo en diferencias finitas. Algoritmo de Thomas para la resolución de sistemas lineales tridiagonales.
T19	Error de truncamiento local y global. Estabilidad, convergencia y consistencia. Teorema de equivalencia de Lax.

Tema V.3	Problemas parabólicos (1T, 1P)
T20	Método de Euler explícito, Euler implícito y Crank-Nicolson.
P4	Cálculo del error de truncación local y orden de consistencia del método de Euler explícito, implícito y Crank-Nicolson.
Tema V.4	Problemas hiperbólicos (2T, 1P)
T21	La ecuación de ondas de primer orden lineal: solución analítica. Método centrado, Lax-Friedrichs y Lax-Wendroff.
T22	Otros métodos numéricos: método upwind y Beam-Warming. Estabilidad de Von Neumann y consistencia.
P5	Ej. Cálculo del error de truncación local del método centrado, Lax-Friedrichs y Lax-Wendroff.
Tema V.5	Ecuaciones elípticas (1T, 1P)
T23	La ecuación de flujo potencial en dos dimensiones. Molécula computacional de 5 y 9 puntos. Operador biarmónico. Aplicación a la resolución de movimientos potenciales elementales.
P6	Clase de resolución de problemas en diferencias finitas de la colección de exámenes de cursos anteriores. En esta clase se incentivará al alumno a resolver motu proprio los problemas más representativos.
<p>Referencias básicas . Por defecto, en este bloque se adopta LeVeque 2 tanto para teoría como problemas. En concreto: sec. 1.1-1.2 en T16, sec. 1.3-1.5 en T17, sec. 2.1-2.4 en T18, sec. 2.5-2.9 en T19, intro lec. 9 en T20, sec. 9.1 en P4, sec. 10.10-1.3 en T21, sec. 10.4-10.5 en T22 y sec. 3.1-3.5 en T23.</p>	
<p>Referencias complementarias . Adicionalmente, se recomienda la lectura de Anderson 4 (cap. 4) para los temas V.1.-V.3, Hirsch (cap. 4 15 y sec. 20.1 16) y Chung 13 (sec. 6.2.6) para el tema V.4 y Chung 13 (sec. 4.1) para el tema V.5.</p>	
BLOQUE TEMÁTICO VI: MÉTODO DE VOLÚMENES FINITOS	
<p>Resumen: Frente a la sencillez de la formulación en diferencias finitas, el método de volúmenes finitos se caracteriza por conferir un mayor grado de libertad respecto al tipo de celda computacional que se puede emplear en la simulación numérica. La simulación numérica de problemas ingenieriles no está limitada en este caso a geometrías puramente cartesianas ni requiere el uso de sofisticadas transformaciones de coordenadas. Así, en el primer tema, se formaliza el método de volúmenes finitos para mallas arbitrarias y se aplica el mismo a la ecuación de transporte escalar lineal en forma conservativa. Se presenta una formulación general para mallas colocadas, que está implementada actualmente en los programas de simulación líderes del mercado. El primer tema concluye presentando la equivalencia del método en diferencias finitas y volúmenes finitos en mallas estructuradas. La aplicación de la formulación lineal vista en el primer tema a la resolución de las ecuaciones no lineales de Navier-Stokes (Tema 2) se introduce explotando la analogía existente entre las ecuaciones de conservación de flujos monofásicos y la ecuación de transporte escalar. El reto que representa la resolución acoplada del campo de presión-velocidad se solventa haciendo uso del complemento de Schur para la resolución del problema de punto de silla. Finalmente, se presenta un</p>	

análisis práctico de la convergencia de los métodos segregados frente a los acoplados, que permite la introducción al alumno del manejo del software Ansys Fluent.

Tema VI.1	Formulación general para leyes de conservación (4T, 1P)
T24	Fundamentos del Método de Volúmenes Finitos. Discretización conservativa de la ecuación de transporte escalar convectiva en formato vectorial.
T25	Esquemas de discretización temporal e interpolación espacial. Evaluación del flujo convectivo.
T26	Evaluación del flujo difusivo en mallas estructuradas y no estructuradas.
T27	Equivalencia del método de volúmenes finitos y diferencias finitas en mallas estructuradas.
P7	Se desea obtener la ecuación algebraica que proporciona el valor de la incógnita en el centroide de una celdilla computacional no estructurada asumiendo conocido el valor en las celdas vecinas. Partiendo de la ecuación general deducida en T24, se seleccionará un esquema de discretización espacio-temporal para la evaluación de la misma haciendo uso de operaciones básicas de álgebra vectorial.
Tema VI.2	Aplicación a las ecuaciones de Navier-Stokes (1T, 1P)
T28	Deducción de esquemas segregados a partir del complemento de Schur: resolución del problema de punto de silla en el caso de flujo monofásico e incompresible (esquemas SIMPLE y PISO).
P8	Análisis de la convergencia de los métodos acoplados frente a los segregados mediante Ansys Fluent: simulación de la estela laminar y estacionaria de un cilindro.
Referencias básicas . T24-T26: Jasak 17 (lec. 6); T27: Chung 13 (cap. 7); T28: Patankar 18 (sec. 6.7-6.8), Turek 19 (sec. 2.3-2.5); P8: Mazhar 20 (cap. 8), Ansys Inc. 21 (<i>Training Material</i>).	
Referencias complementarias . T24-T26: Ferziger y Peric 14 (lec. 4); T26: LeVeque 22 (cap. 4, 6 y 20); T28: Jasak 17 (lec. 10-11), Ferziger y Peric 14 (lec. 7).	
BLOQUE TEMÁTICO VII: OTROS MÉTODOS NUMÉRICOS	
Resumen: En este tema se introducirán brevemente las particularidades del método de elementos finitos, en particular, los fundamentos de la formulación débil de Galerkin. Aunque su aplicación a la simulación de flujos industriales está menos extendida por el mal condicionamiento del sistema de ecuaciones lineales resultante del mismo, se presentarán algunas simulaciones ilustrativas resultantes de la estabilización de las ecuaciones linealizadas. Finalmente, el método espectral se introduce como caso particular del método de diferencias finitas de alto orden en mallas no uniformes, con una distribución de nodos de Chebyshev.	
Tema VII.1	Fundamentos del método de elementos finitos y método espectral (1T)
T29	Elementos finitos y métodos espectrales. Implementación y convergencia numérica del método espectral de Chebyshev usando fdcoeffv.

Referencias básicas . T29: Zienkiewicz y col. 23 (sec. 1.5); LeVeque 2 (sec. 2.21).	
Referencias complementarias . T29: Trefethen 24 (cap. 6); Deville y col. 25 (apéndice B); Trefethen y col. 26 (cap. 5); Canuto y col. 27 (cap. 3 y 4).	
BLOQUE TEMÁTICO VIII: FLUJOS TURBULENTOS	
Resumen: Se comienza recordando al alumno tanto la transición a flujo turbulento en conductos como las características generales de los flujos turbulentos. Se continúa proyectando vídeos didácticos de la capa límite turbulenta sobre una placa plana. Tras introducir los conceptos de irregularidad y aleatoriedad, difusividad, tridimensionalidad y rotacionalidad, disipación y medio continuo, se deduce la microescala de Kolmogorov. La descripción matemática de los flujos turbulentos se realiza mediante las ecuaciones de Reynolds que da lugar a la familia de modelos de turbulencia R.A.N.S. (<i>Reynolds-averaged Navier-Stokes</i>) más empleada en aplicaciones industriales de CFD. Se concluye este bloque temático resolviendo por regiones la capa límite turbulenta sobre una placa plana. La descripción matemática de la subcapa viscosa, subcapa logarítmica y la región exterior da pie a la clasificación del flujo turbulento en régimen hidráulico liso y rugoso.	
Tema VII.1	Introducción a la turbulencia (6T)
T30	Propiedades de los flujos turbulentos. Escalas de la turbulencia. Microescala de Kolmogorov.
T31 y T32	Descripción matemática de los flujos turbulentos. Movimiento medio y fluctuaciones. Ecuaciones de Reynolds.
T33 y T34	Turbulencia en presencia de paredes. Capa límite turbulenta, bidimensional e incompresible sobre una placa plana.
T35	Modelos de turbulencia para las ecuaciones RANS.
Referencias básicas . T30-T32: Davidson y col. 28 , Fernández-Feria 5 (parte IX, cap. 29 y 31); T33-T34: Fernández-Feria 5 (parte IX, cap. 32); T35: Fernández-Oro 1 (sec. 10.6) .	
Referencias complementarias . T30-34: Barrero-Ripoll y Pérez-Savorid 6 (cap. 16); T35: Ansys Inc. 21 (<i>Theory Guide v. 14.0, cap. 4</i>).	
BLOQUE TEMÁTICO IX: GENERALIDADES DE LAS TÉCNICAS DE MALLADO	
Resumen: Siendo el mallado el primer cuello de botella que se presenta en la simulación numérica del campo fluido sobre (o dentro) de una geometría compleja, se presentará la evolución que han sufrido los malladores desde sus primeras versiones (mallador manual paso a paso) a las actuales tendencias (mallador automático de elementos hexaédricos o poliédricos), permitiendo reducir los tiempos de mallado de meses a cuestión de minutos. También se describirán los tipos de movimientos de mallas que se pueden conferir cuando el volumen de control sufre deformación a lo largo de la simulación.	
Tema VII.1	Generación de mallas con software comercial y libre (2T)
T36	Clasificación y topología de mallas. Mallas estructuradas y no estructuradas, multibloque, overset y chimera. Mallas fijas y móviles. Modos de refinamiento de malla.

T37	Programas comerciales y open source para la generación de mallas. Evolución de malladores manuales (Gambit) a automáticos (poliédricos y hexaédricos).
Referencias básicas. El docente realizará varias mallas de ejemplo <i>in situ</i> usando el mallador manual Pointwise y los malladores hexaédricos y poliédricos automáticos simFlow y p-Mesh, respectivamente.	

Independientemente del carácter básico o complementario de la entrada bibliográfica, los libros seleccionados por el docente son los siguientes:

- Fernández-Oro, J. M. Técnicas Numéricas en Ingeniería de Fluidos. (Editorial Reverte, 2012).
- LeVeque, R. J. Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations: Steady State and Time Dependent Problems. (Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2007).
- Tu, J., Yeoh, G.-H. & Liu, C. Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach. (Butterworth-Heinemann, 2013).
- Anderson, J. D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. (McGraw-Hill Education, 1995).
- Fernández-Feria, R. Mecánica de Fluidos. (Universidad de Málaga, 2011).
- Barrero-Ripoll, A. & Pérez-Saborid, M. Fundamentos y Aplicaciones de la Mecánica de Fluidos. (McGraw-Hill Education, 2005).
- Sánchez-Pérez, A. L. & Martínez-Bazán, C. Mecánica de Fluidos: Parte I. (2005).
- Crespo-Martínez, A. Mecánica de Fluidos. (Thomson, 2006).
- Iglesias-Estradé, I., Martínez-Bazán, C., Sánchez-Pérez, A. L. & Vera-Coello, M. Ingeniería Fluidomecánica. (Paraninfo, 2012).
- Martínez-Bazán, C., Iglesias-Estrade, I. & Sánchez-Pérez, A. L. Mecánica de Fluidos: Parte II. (2005).
- Gordillo-Arias-de-Saavedra, J. M. & Riboux-Acher, G. Introducción a la Aerodinámica Potencial. (Editorial Paraninfo, 2012).
- Puig-Adam, P. Curso Teórico Práctico de Ecuaciones Diferenciales Aplicado a la Física y Técnica. 2, (Nuevas Gráficas. Madrid, 1978).
- Chung, T. J. Computational Fluid Dynamics. (Cambridge University Press, 2010).
- Ferziger, J. H. & Peric, M. Computational Methods for Fluid Dynamics. (Springer-Verlag, 2002).
- Hirsch, C. Numerical Computation of Internal and External Flows: Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows. 2, (John Wiley & Sons, 1990).
- Hirsch, C. Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. 1, (Butterworth-Heinemann, 2007).
- Jasak, H. Numerical Solution Algorithms for Compressible Flows. (Wikki Ltd., 2006).
- Patankar, S. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. (Taylor & Francis, 1980).
- Turek, S. Efficient Solvers for Incompressible Flow Problems: An Algorithm Approach in View of Computational Aspects. (Springer, 1999).
- Mazhar, Z. Fully Implicit, Coupled Procedures in Computational Fluid Dynamics: An Engineer Resource Book. (Springer, 2016).
- ANSYS Inc. ANSYS Fluent 14.5 Tutorial Guide. (ANSYS Inc., 2011).
- LeVeque, R. J. Finite-Volume Methods for Hyperbolic Problems. (Cambridge University Press, 2002).
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L. & Nithiarasu, P. The finite element method for fluid dynamics. (Butterworth-Heinemann, 2013).
- Trefethen, L. N. Spectral Methods in MATLAB. (Society for Industrial and Applied Mathematics, 2000).
- Deville, M. O., Fischer, P. F. & Mund, E. H. High-order methods for incompressible fluid flow. (Cambridge University Press).
- Trefethen, L. N., Birkisson, Á. & Driscoll, T. A. Exploring ODEs. (Society for Industrial and Applied Mathematics, 2018).
- Canuto, C., Hussaini, M. Y., Quarteroni, A. & Zang, T. A. Spectral methods: Evolution to complex geometries and applications to fluid dynamics. (Springer, 2007).
- Davidson, P. A., Kaneda, Y., Moffatt, K. & Sreenivasan, K. R. A voyage through turbulence. (Cambridge University Press, 2011).
- Durbin, P. A. & Medic, G. Fluid Dynamics with a Computational Perspective. (Cambridge University Press, 2007).
- Griebel, M., Dornsheifer, T. & Neunhoffer, T. Numerical Simulation in Fluid Dynamics: A Practical Introduction. (SIAM Monographs on Mathematical Modeling and Computation, 1998).
- Biringen, S. & Chow, C.-Y. An Introduction to Computational Fluid Mechanics by Example. (John Wiley & Sons, Inc., 2011).

6. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	HORAS PRESENCIALES	HORAS TRABAJO AUTÓNOMO	TOTAL HORAS	CRÉDITOS ECTS	COMPETENCIAS (códigos)
A1 - Clases expositivas en gran grupo <ul style="list-style-type: none"> ▪ M1 - Clases magistrales ▪ M2 - Exposición de teoría y ejemplos generales 	45.0	67.5	112.5	4.5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CB1R ▪ CB2R ▪ CB3R ▪ CB4R ▪ CB5R ▪ CBB1R ▪ CBB3R ▪ CC2R ▪ CEM6

ACTIVIDADES	HORAS PRESENCIALES	HORAS TRABAJO AUTÓNOMO	TOTAL HORAS	CRÉDITOS ECTS	COMPETENCIAS (códigos)
					<ul style="list-style-type: none"> ▪ CT4 ▪ CT6
A2R - Clases en pequeño grupo <ul style="list-style-type: none"> ▪ M10R - Aulas de informática ▪ M11R - Resolución de ejercicios ▪ M12R - Presentaciones/exposiciones ▪ M6R - Actividades practicas ▪ M7R - Seminarios ▪ M9R - Laboratorios 	10.0	15.0	25.0	1.0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CB3R ▪ CEM6 ▪ CT4
A3R - Tutorías colectivas <ul style="list-style-type: none"> ▪ M17R - Aclaración de dudas 	0.0	12.5	12.5	0.5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CEM6 ▪ CT4 ▪ CT6
TOTALES:	55.0	95.0	150.0	6.0	

INFORMACIÓN DETALLADA:

El alumno recibirá información detallada en Docencia Virtual o la plataforma virtual que corresponda sobre las Metodologías y Actividades Docentes que constituyen la base del método o estilo educativo del docente. Por este motivo, en esta sección simplemente se enumerarán de manera breve las mismas.

Clases expositivas en gran grupo.

Se trata de la exposición teórica de los conceptos de la asignatura, así como la realización de ejemplos para una mejor comprensión de la teoría. Esta actividad se realiza a través de: clases magistrales y resolución de ejemplos canónicos. Las 45 horas disponibles para clases expositivas en gran grupo se han distribuido idealmente en 37 horas teóricas y 8 horas de resolución de problemas. El recurso principal empleado para las clases en gran grupo es la pizarra. En ocasiones, se adereza con presentaciones multimedia o con la ejecución *in situ* de códigos numéricos o la proyección de resultados de la simulación.

Para cada tema se desarrolla una descripción detallada con los contenidos teóricos y las soluciones a casos simplificados de interés práctico. En los temas más densos, se crea una presentación que da soporte a alumnos y profesor con un resumen de los principales contenidos, con gráficos, animaciones y los enunciados de los ejemplos.

Tal y como se expondrá posteriormente, las 5 horas destinadas a tutorías colectivas también se centran en la resolución de problemas guiados. De esta manera, el cómputo total de horas destinadas a contenidos teóricos es aproximadamente 37, mientras que se dedican a aplicaciones del orden de 13 horas. Grosso modo, la resolución de problemas equivale a 1/3 de las clases teóricas.

Los alumnos pueden acceder al contenido digital usado por el docente a través de la plataforma educativa Ilias empleada por la Universidad de Jaén. Durante las clases expositivas, los alumnos deben tomar apuntes que pueden ser completados con las referencias bibliográficas correspondientes a cada tema. Como bien conoce el lector, los libros de texto y apuntes en castellano seleccionados en los bloques temáticos I-IV, VIII y IX (estos son: Crespo-Martínez 8 , Fernández-Feria 5 , Barrero-Ripoll y Pérez-Savorid 6 , Sánchez-Pérez y Martínez-Bazán 7 , Gordillo y Riboux 11 , Martínez-Bazán, Iglesias-Estradé y Sánchez-Pérez 10 , Puig-Adam 12 y Fernández-Oro 1) incluyen mucha más información de aquella que se puede presentar en las horas disponibles, por lo que se motiva al alumno a la consulta de los mismos.

Tutorías colectivas.

En el programa detallado de la asignatura se han propuesto tutorías colectivas al finalizar los Temas I.1, II.2, II.4, III.1 y III.2. Éstas versan sobre la resolución de problemas sencillos que son enunciados en Docencia Virtual, dando indicaciones paso a paso de cómo han de ser resueltos. Las dudas que le surjan al alumno podrán ser resueltas mediante la aclaración en Foros o bien asistiendo a Tutorías presenciales. El uso del Foro facilitará las consultas entre compañeros, la realización de comentarios y consultas al profesor.

En esta actividad se evalúan las contribuciones del alumno al Foro, en forma de respuestas o comentarios, la resolución correcta del problema propuesto y la participación en la tutoría presencial.

Tutorías individuales.

Cada semana dispone de 6 horas para la atención individualizada del alumno. Durante las sesiones de tutorías se responden dudas y se da apoyo al estudio del estudiante. Por otro lado, es interesante registrar el número alumnos que utilizan estas sesiones, los tipos de preguntas, y su distribución temporal. Esta información debe tenerse en cuenta para mejorar la planificación docente y las metodologías docentes curso a curso.

Clases en pequeño grupo.

En la asignatura Simulación de Flujos Industriales, por su carácter tecnológico, las diez sesiones en el aula de informática cobran un papel fundamental para reforzar las descripciones y conceptos desarrollados en las sesiones teóricas. Para ello, se han programado cinco sesiones de 1 hora en el bloque V para la elaboración de un código *in-house* basado en el método en diferencias finitas que resuelva un problema fluidomecánico unidimensional y otras cinco sesiones de 1 hora para la simulación de cinco casos de estudio bidimensionales que abarcan tanto flujos laminares (casos de estudio L6-L8) como flujos turbulentos (casos de estudio L9-L10). El trabajo a realizar se programará en Matlab mientras que las simulaciones de flujos incompresibles/compresibles en régimen laminar/turbulento se efectúan con Ansys Fluent.

La realización de las prácticas en el aula de informática favorece la disponibilidad de equipos para todos los alumnos. En caso de requerir el uso de Matlab o Ansys Fluent desde la casa, el alumno puede recurrir a la conexión VPN de su equipo a la red de la UJA. La versión de estudiante de Ansys Fluent permite, de cualquier manera, la ejecución de simulaciones en los ordenadores personales del alumno por un periodo de seis meses de manera gratuita.

Las prácticas en aula de informática se basan en la utilización de software para reforzar la asimilación de los conocimientos teóricos vistos en las sesiones magistrales y entrenar las competencias del alumno. La ejecución satisfactoria del trabajo y prácticas propuesto servirá para evaluar la correcta adquisición de varias de las competencias requeridas. Por tanto, aparte de entrenar al alumno en la aplicación práctica de los contenidos teóricos, se les prepara para manejar programas de simulación iguales o similares a los que manejarán en su futuro puesto de trabajo.

De acuerdo a la planificación temporal de la asignatura, se comenzará presentando la metodología seguida en el aula de informática para la elaboración del trabajo individual del alumno:

- En la primera sesión, se hará una lectura del enunciado para aclarar las posibles dudas que surjan sobre los contenidos y la evaluación del trabajo.
- Posteriormente, en la misma sesión, se procederá al análisis de la solución exacta del flujo estacionario objeto de la primera parte del estudio. Se propondrá la generación de las gráficas necesarias para la visualización e interpretación del flujo. Dichas gráficas servirán, a posteriori, para la verificación del código numérico programado.
- En la segunda sesión, se reutilizará el desarrollo teórico del método numérico para problemas de contorno visto en clase para formular un método apropiado para el problema en cuestión. De igual manera, el alumno se podrá apoyar en el código de Matlab proporcionado por el docente para adaptarlo a la resolución numérica del régimen estacionario.
- En la tercera sesión, haciendo uso de la expansión en serie de Taylor en una variable, el alumno deducirá el error de truncación local (LTE) del método en diferencias finitas propuesto. Continuará evaluando el error de la solución numérica en función del tamaño de la celdilla computacional, de la cual podrá inferir el orden de convergencia del método numérico desde un punto de vista práctico. Dicho orden de convergencia deberá ser comparado con el error de consistencia teórico.
- En la cuarta y quinta sesión se procederá de manera análoga a las sesiones dos y tres. En este caso, el objetivo será la programación del código numérico para el análisis del estado transitorio, la verificación con la solución exacta (o aproximada), y el cálculo del orden de consistencia (convergencia) teórico (numérico). El alumno deberá valorar entre la elección de un método explícito o implícito para la integración temporal del método. El docente revisará las ventajas e inconvenientes de cada uno de las formulaciones e indicará la ventaja de escoger un método implícito. Así, el alumno puede reutilizar el código del problema de contorno sin más que añadir un bucle externo temporal al código ya existente, introduciendo ligeras modificaciones adicionales.

En el caso de las prácticas en laboratorio, se prepara al alumno en la utilización de Ansys Fluent para la simulación numérica de flujos monofásicos (ya sean incompresible o compresibles) tanto en régimen laminar como turbulento. Además de lo anterior, se persigue que el alumno trabaje en equipo con otros compañeros dado que las prácticas son comunes.

La metodología seguida durante las cinco sesiones de prácticas es la siguiente:

- Se leerá el enunciado de cada práctica y se recalcarán los objetivos principales siguiendo como base el guion de la práctica. En ocasiones, para los alumnos más aventajados, se proponen tareas adicionales que también serán mencionadas.
- Durante los siguientes 5-10 minutos, el docente configurará una simulación de ejemplo y destacará cuales son las opciones de posprocesado más oportunas. En caso de requerir la exportación de resultados para el tratamiento de la solución numérica con un programa externo, el docente también mostrará como proceder.
- El tiempo remanente de la clase será dedicado a la ejecución de la configuración, simulación y posprocesado de la simulación del alumno por parte del alumno.
- Antes de concluir la clase, se repasarán las soluciones analíticas disponibles, datos de laboratorio y otras soluciones numéricas existentes que han de ser empleadas en la etapa de verificación.

Cada alumno emplea el programa Matlab/Ansys Fluent para resolver el trabajo/práctica, y el profesor recorre los puestos de trabajo atendiendo las dudas que surjan. Antes de la convocatoria ordinaria, se deberá entregar en un solo fichero pdf el conjunto de las memorias solución del trabajo y de las prácticas.

7. SISTEMA DE EVALUACIÓN

ASPECTO	CRITERIOS	INSTRUMENTO	PESO
Asistencia y/o participación en actividades presenciales y/o virtuales	Correcta intervención del estudiante en clase	Observación y notas del profesor	5.0%
Conceptos teóricos de la materia	Dominio del contenido teórico y práctico	Prueba escrita y/o computerizada	70.0%
Realización de trabajos, casos o ejercicios	Correcta resolución de los trabajos propuestos. Claridad de la presentación y exposición de los mismos	Memoria del trabajo a realizar	12.5%
Prácticas de laboratorio/campo/uso de herramientas TIC	Asistencia y realización de las sesiones de prácticas en el aula de informática	Asistencia y evaluación de las prácticas realizadas	12.5%

El sistema de calificación se regirá por lo establecido en el RD 1125/2003 de 5 de septiembre por el que se establece el sistema europeo de créditos y el sistema de calificaciones en la titulaciones universitarias de carácter oficial

INFORMACIÓN DETALLADA:

Para superar la asignatura es imprescindible obtener una nota igual o superior a 5 sobre 10 en la Prueba escrita y/o computerizada. En ella se evaluarán, entre otras competencias, CBB1R, CBB3R, CC2R, CT6 y CEM6, así como los resultados del aprendizaje 44, 45, 47, 48 y 49. La asistencia y evaluación de las prácticas realizadas se realizará mediante control de asistencia y entrega de una memoria con la solución de los problemas planteados (competencias CBB3R, CT4, CT6 y CEM6; resultados del aprendizaje 46 y 48). Se planteará un trabajo a resolver de manera individual del que se deberá entregar la solución detallada y bien presentada (competencias CBB3R, CT4, CT6, CEM6 y CB1R-CB5R; resultados del aprendizaje 46 y 48). El resto de la calificación corresponde a la asistencia y participación del alumnado (CC2R, CT4, entre otras). Se debe atender a las sesiones prácticas.

8. DOCUMENTACIÓN / BIBLIOGRAFÍA [f6 WWWXY U UVV c f UZ U f Uj fg XY XYgW Vf jXcf XY U6 JV jchWUk](#)

ESPECÍFICA O BÁSICA:

- Computational fluid dynamics [Recurso electrónico] : a practical approach. Edición: 2nd ed. Autor: Tu, Jiyuan. Editorial: Waltham, Mass. : Butterworth-Heinemann, 2013 (C. Biblioteca)
- Fundamentos y aplicaciones de la mecánica de fluidos [Recurso electrónico]. Edición: -. Autor: Barrero Ripoll, Antonio. Editorial: Madrid : McGraw-Hill Interamericana de España, [2005] (C. Biblioteca)
- Fluid Dynamics with a Computational Perspective. Edición: -. Autor: Paul A. Durbin, Gozard Medic. Editorial: Cambridge University Press (C. Biblioteca)
- Análisis numérico. Edición: 9ª ed. Autor: Burden, Richard L.. Editorial: México: International Thomson Editores, 2011 (C. Biblioteca)
- Análisis numérico Las matemáticas del cálculo científico. Edición: -. Autor: Kincaid, David. Editorial: Argentina [etc.]: Addison-Wesley Iberoamericana, cop. 1994 (C. Biblioteca)
- Computational fluid dynamics: the basics with applications. Edición: -. Autor: Anderson, John David. Editorial: New York [etc.]: McGraw-Hill, cop. 1995 (C. Biblioteca)
- Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: steady-state and time-dep. Edición: -. Autor: LeVeque, Randall J.. Editorial: Philadelphia, PA : Society for Industrial and Applied Mathematics, c2007 (C. Biblioteca)
- Computational methods for fluid dynamics. Edición: 3rd, rev. ed. Autor: Ferziger, Joel H.. Editorial: Berlin [etc.]: Springer, cop. 2002 (C. Biblioteca)
- An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method . Edición: -. Autor: Versteeg, Henk Kaarle. Editorial: Harlow [etc.] : Pearson-Prentice Hall, 2007. (C. Biblioteca)
- Computational fluid dynamics. Edición: -. Autor: Chung, T. J.. Editorial: Cambridge [etc.]: Cambridge University Press, 2006 (C. Biblioteca)
- Numerical simulation in fluid dynamics: a prectical introduction . Edición: -. Autor: Griebel, Michael. Editorial: Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics, 1998 (C. Biblioteca)
- Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos . Edición: -. Autor: Fernández Oro, Jesús Manuel. Editorial: Barcelona : Reverté, cop. 2012 (C. Biblioteca)
- Mecánica de fluidos. Edición: 2ª ed.. Autor: Fernández Fera, Ramón. Editorial: Málaga : Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, D.L. 2005 (C. Biblioteca)
- Mecánica de fluidos. Edición: -. Autor: Crespo Martínez, Antonio. Editorial: Madrid: Thomson, 2006 (C. Biblioteca)

GENERAL Y COMPLEMENTARIA:

- Numerical computation of internal and external flows [Recurso electrónico] : introduction to the fun. Edición: New ed.. Autor: Hirsch, Ch. Editorial: Oxford : Butterworth-Heinemann, 2007. (C. Biblioteca)
- Efficient Solvers for Incompressible Flow Problems. Edición: -. Autor: Stefan Turek. Editorial: Springer (C. Biblioteca)

- The finite element method for fluid dynamics [Recurso electrónico]. Edición: Seventh edition. Autor: Zienkiewicz, O. C., author. Editorial: Oxford : Butterworth-Heinemann, 2014 (C. Biblioteca)
- Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Edición: -. Autor: Randall J. LeVeque. Editorial: Cambridge University Press (C. Biblioteca)
- Spectral Methods in MATLAB. Edición: -. Autor: Lloyd N. Trefethen. Editorial: Society for Industrial and Applied Mathematics (C. Biblioteca)
- High-order methods for incompressible fluid flow [Recurso electrónico]. Edición: -. Autor: Deville, M. O. (Michel O.). Editorial: Cambridge, UK ; New York : Cambridge University Press, 2002 (C. Biblioteca)
- Spectral Methods [Recurso electrónico] Evolution to Complex Geometries and Applications to Fluid D. Edición: -. Autor: Canuto, C.G.. Editorial: Berlin Heidelberg : Springer-Verlag GmbH., 2007 (C. Biblioteca)
- An Introduction to Computational Fluid Mechanics by Example, 2nd Edition. Edición: Wiley. Autor: Sedat Biringen, Chuen-Yen Chow (C. Biblioteca)
- Introducción al método de volúmenes finitos. Edición: -. Autor: Vázquez Cendón, María Elena. Editorial: Santiago de Compostela : Universidade, 2008 (C. Biblioteca)
- Numerical heat transfer and fluid flow . Edición: -. Autor: Patankar, Suhas V.. Editorial: Washington ; London : Taylor & Francis, 2009 (C. Biblioteca)
- Principles of computational fluid dynamics . Edición: -. Autor: Wesseling, P.. Editorial: Berlin [etc.] : Springer, 2001 (C. Biblioteca)

9. CRONOGRAMA (primer cuatrimestre)

Semana	A1 - Clases expositivas en gran grupo	A2R - Clases en pequeño grupo	A3R - Tutorías colectivas	Trabajo autónomo	Observaciones
Nº 1 9 - 15 sept. 2024	3.0	0.0	1.0	6.0	Cronograma orientativo. T1, T2, T3, TC1
Nº 2 16 - 22 sept. 2024	3.0	1.0	1.0	6.0	T4, T5, P1, TC2
Nº 3 23 - 29 sept. 2024	3.0	1.0	1.0	6.0	T6, T7, P2, TC3
Nº 4 30 sept. - 6 oct. 2024	3.0	1.0	1.0	6.0	T8, T9, T10, TC4
Nº 5 7 - 13 oct. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T11, T12, T13, L1
Nº 6 14 - 20 oct. 2024	3.0	0.0	0.0	6.0	T14, T15, P3, L2 Viernes festivo: día de San Lucas
Nº 7 21 - 27 oct. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T16, T17, T18, L3
Nº 8 28 oct. - 3 nov. 2024	3.0	0.0	0.0	6.0	T19, T20, P4, L4 Viernes festivo: día de Todos los Santos
Nº 9 4 - 10 nov. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T21, T22, P5, L5
Nº 10 11 - 17 nov. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T23, P6, T24, L6
Nº 11 18 - 24 nov. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T25, T26, T27, L7
Nº 12 25 nov. - 1 dic. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	P7, T28, P8, L8
Nº 13 2 - 8 dic. 2024	3.0	0.0	1.0	6.0	T29, T30, T31, TC5 Viernes festivo: día de la Constitución
Nº 14 9 - 15 dic. 2024	3.0	1.0	0.0	6.0	T32, T33, T34, L9 Lunes festivo: día de la Inmaculada (domingo)
Nº 15 16 - 22 dic. 2024	3.0	0.0	0.0	6.0	T35, T36, T37, L10

Semana	A1 - Clases expositivas en gran grupo	A2R - Clases en pequeño grupo	A3R - Tutorías colectivas	Trabajo autónomo	Observaciones
Total Horas	45.0	10.0	5.0	90.0	

10. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Educación de calidad

Agua limpia y saneamiento

Energía asequible y no contaminante

Industria, innovación e infraestructura

INFORMACIÓN DETALLADA:

Objetivo 4: Educación de calidad. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos

4.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento

4.7 De aquí a 2030, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible, entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible.

Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.

7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo

Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructuras. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos

9.2 Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados

11. ESCENARIO MIXTO

CONTENIDOS Y/O COMPETENCIAS

Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).

METODOLOGÍA DOCENTE Y/O ACTIVIDADES FORMATIVAS

Actividades Formativas	Formato	Metodología docente
A1 - Clases expositivas en gran grupo	Presencial 100% (*)	Clase a todos los estudiantes del grupo en el horario y aula asignados. Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).
A2 - Clases en pequeño grupo	Presencial 100% (**)	Clase a todos los estudiantes del grupo en el horario y aula asignados.

		Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).
A3 - Tutorías colectivas	Presencial 100% (**)	Clase a todos los estudiantes del grupo en el horario y aula asignados. Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).
Tutorías	Presencial + Online	Se realizarán preferentemente en formato online de forma síncrona usando los Recursos descritos posteriormente.

(*) El Centro podrá establecer un porcentaje de presencialidad distinto dependiendo del número de estudiantes y aforo del aula/laboratorio.

(**) El Centro podrá establecer presencialidad rotativa dependiendo del número de estudiantes y aforo del aula/laboratorio (clase en el horario y aula/laboratorio asignados a una parte del grupo y retransmisión por videoconferencia al resto, con rotación periódica de estudiantes, según determine el Centro).

SISTEMA DE EVALUACIÓN

Se establece un marco de evaluación común y homogéneo, siendo éste el descrito en la guía docente original (escenario presencial), facilitando así la transición entre los tres escenarios posibles y evitando posibles discrepancias entre las diferentes metodologías, instrumentos de evaluación, ponderación y/o violaciones del principio de igualdad entre el alumnado. Cuando no sea posible realizar la prueba de evaluación de manera presencial, se llevará a cabo en modalidad online.

Convocatoria ordinaria y extraordinaria

Prueba de evaluación	Formato	Descripción	Porcentaje
Correcta intervención del estudiante en clase	Presencial u online	Observación y notas del profesor	5.0%
Prueba escrita y/o computerizada	Presencial u online síncrona	Dominio del contenido teórico y práctico	70.0%
Memoria del trabajo a realizar	Presencial u online	Correcta resolución de los trabajos propuestos. Claridad de la presentación y exposición de los mismos	12.5%
Asistencia y evaluación de las prácticas realizadas	Presencial u online	Asistencia y realización de las sesiones de prácticas de informática	12.5%

TEMPORALIZACIÓN

Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial) con un mismo número de horas presenciales.

RECURSOS (INCLUYENDO RECURSOS ELECTRÓNICOS)

Se requiere la instalación de SimFlow y GNU Octave (ambos softwares gratuitos), o la ejecución de Ansys y Matlab, en el ordenador del estudiante.

Para las tutorías, se recomienda el uso de la plataforma ILIAS o similar, Google Meet u otros recursos que ponga a disposición la UJA, con la ayuda del correo electrónico.

En el escenario multimodal, cuando proceda, el personal docente implicado en la impartición de la docencia se reserva el derecho de no dar el consentimiento para la captación, publicación, retransmisión o reproducción de su discurso, imagen, voz y explicaciones de cátedra, en el ejercicio de sus funciones docentes, en el ámbito de la Universidad de Jaén.

12. ESCENARIO NO PRESENCIAL

CONTENIDOS Y/O COMPETENCIAS

Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).

METODOLOGÍA DOCENTE Y/O ACTIVIDADES FORMATIVAS

Actividades Formativas	Formato	Metodología docente
A1 - Clases expositivas en gran grupo	No presencial	Se mantiene respecto de la guía docente original, excepto por su modo de ejecución online durante el periodo de suspensión de la actividad docente presencial. Se usarán los Recursos descritos posteriormente.
A2 - Clases en pequeño grupo	No presencial	Se mantiene respecto de la guía docente original, excepto por su modo de ejecución online durante el periodo de suspensión de la actividad docente presencial. Se usarán los Recursos descritos posteriormente.
A3 - Tutorías colectivas	No presencial	Se mantiene respecto de la guía docente original, excepto por su modo de ejecución online durante el periodo de suspensión de la actividad docente presencial. Se usarán los Recursos descritos posteriormente.
Tutorías	No presencial	Se realizarán en formato online de forma síncrona usando los Recursos descritos posteriormente.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

Se establece un marco de evaluación común y homogéneo, siendo éste el descrito en la guía docente original (escenario presencial), facilitando así la transición entre los tres escenarios posibles y evitando posibles discrepancias entre las diferentes metodologías, instrumentos de evaluación, ponderación y/o violaciones del principio de igualdad entre el alumnado. En caso de confinamiento, las pruebas de evaluación se llevarán a cabo en modalidad online.

Convocatoria ordinaria y extraordinaria

Prueba de evaluación	Formato	Descripción	Porcentaje
Correcta intervención del estudiante en clase	Online	Observación y notas del profesor	5.0%
Prueba escrita y/o computerizada	Online síncrona	Dominio del contenido teórico y práctico	70.0%
Memoria del trabajo a realizar	Online	Correcta resolución de los trabajos propuestos. Claridad de la presentación y exposición de los mismos	12.5%
Asistencia y evaluación de las prácticas realizadas	Online	Asistencia y realización de las sesiones de prácticas de informática	12.5%

TEMPORALIZACIÓN (INDICANDO EL NÚMERO DE HORAS PRESENCIALES EN EL ESCENARIO MIXTO)

Sin cambios respecto a la guía docente original (escenario presencial).

RECURSOS (INCLUYENDO RECURSOS ELECTRÓNICOS)

Uso de la plataforma ILIAS o similar, Google Meet u otros recursos que ponga a disposición la UJA para establecer las comunicaciones con el alumnado, con la ayuda adicional del correo electrónico para las tutorías.

Se requiere la instalación de SimFlow y GNU Octave (ambos softwares gratuitos), o la ejecución de Ansys y Matlab, en el ordenador del estudiante.

En el escenario no presencial, cuando proceda, el personal docente implicado en la impartición de la docencia se reserva el derecho de no dar el consentimiento para la captación, publicación, retransmisión o reproducción de su discurso, imagen, voz y explicaciones de cátedra, en el ejercicio de sus funciones docentes, en el ámbito de la Universidad de Jaén.

CLÁUSULA DE PROTECCIÓN DE DATOS (evaluación on-line)

Responsable del tratamiento: Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas, s/n, 23071 Jaén

Delegado de Protección de Datos: dpo@ujaen.es

Finalidad: Conforme a la Ley de Universidades y demás legislación estatal y autonómica vigente, realizar los exámenes correspondientes a las asignaturas en las que el alumno o alumna se encuentre matriculado. Con el fin de evitar fraudes en la realización del mismo, el examen se realizará en la modalidad de video llamada, pudiendo el personal de la Universidad de Jaén contrastar la imagen de la persona que está realizando la prueba de evaluación con los archivos fotográficos del alumno en el momento de la matrícula. Igualmente, con la finalidad de dotar a la prueba de evaluación de contenido probatorio de cara a revisiones o impugnaciones de la misma, de acuerdo con la normativa vigente, la prueba de evaluación será grabada.

Legitimación: cumplimiento de obligaciones legales (Ley de Universidades) y demás normativa estatal y autonómica vigente.

Destinatarios: prestadores de servicios titulares de las plataformas en las que se realicen las pruebas con los que la Universidad de Jaén tiene suscritos los correspondientes contratos de acceso a datos.

Plazos de conservación: los establecidos en la normativa aplicable. En el supuesto en concreto de las grabaciones de los exámenes, mientras no estén cerradas las actas definitivas y la prueba de evaluación pueda ser revisada o impugnada.

Derechos: puede ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, supresión, limitación y portabilidad remitiendo un escrito a la dirección postal o electrónica indicada anteriormente. En el supuesto que considere que sus derechos han sido vulnerados, puede presentar una reclamación ante el Consejo de Transparencia y Protección de Datos de Andalucía www.ctpdandalucia.es

Cláusula grabación de clases PROTECCIÓN DE DATOS DE CARÁCTER PERSONAL

Responsable del tratamiento: Universidad de Jaén, Paraje Las Lagunillas, s/n; Tel.953 212121; www.ujaen.es

Delegado de Protección de Datos (DPO): TELEFÓNICA, S.A.U. ; Email: dpo@ujaen.es

Finalidad del tratamiento: Gestionar la adecuada grabación de las sesiones docentes con el objetivo de hacer posible la enseñanza en un escenario de docencia multimodal y/o no presencial.

Plazo de conservación: Las imágenes serán conservadas durante los plazos legalmente previstos en la normativa vigente.

Legitimación: Los datos son tratados en base al cumplimiento de obligaciones legales (Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades) y el consentimiento otorgado mediante la marcación de la casilla habilitada a tal efecto.

Destinatarios de los datos (cesiones o transferencias): Toda aquella persona que vaya a acceder a las diferentes modalidades de enseñanza.

Derechos: Ud. podrá ejercitar los derechos de Acceso, Rectificación, Cancelación, Portabilidad, Limitación del tratamiento, Supresión o, en su caso, Oposición. Para ejercitar los derechos deberá presentar un escrito en la dirección arriba señalada dirigido al Servicio de Información, Registro y Administración Electrónica de la Universidad de Jaén, o bien, mediante correo electrónico a la dirección de correo electrónico. Deberá especificar cuál de estos derechos solicita sea satisfecho y, a su vez, deberá acompañarse de la fotocopia del DNI o documento identificativo equivalente. En caso de que actuara mediante representante, legal o voluntario, deberá aportar también documento que acredite la representación y documento identificativo del mismo. Asimismo, en caso de considerar vulnerado su derecho a la protección de datos personales, podrá interponer una reclamación ante el Consejo de Transparencia y Protección de Datos de Andalucía www.ctpdandalucia.es