21-22

GRADO EN FÍSICA
CUARTO CURSO

GUÍA DE ESTUDIO COMPLETA

FÍSICA DE FLUIDOS

CÓDIGO 61044052

UNED

21-22

FÍSICA DE FLUIDOS

CÓDIGO 61044052

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA
EQUIPO DOCENTE
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE
TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE
RESULTADOS DE APRENDIZAJE
CONTENIDOS
METODOLOGÍA
PLAN DE TRABAJO
SISTEMA DE EVALUACIÓN
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA
GLOSARIO

Nombre de la asignatura	FÍSICA DE FLUIDOS
Código	61044052
Curso académico	2021/2022
Departamento	FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUÍDOS
Título en que se imparte	GRADO EN FÍSICA
Curso	CUARTO CURSO
Periodo	SEMESTRE 1
Tipo	OBLIGATORIAS
Nº ETCS	6
Horas	150.0
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Física de Fluidos es una asignatura de carácter obligatorio dentro de la materia de Mecánica y Ondas del Grado en Física, que se imparte durante el primer semestre del cuarto curso. Tiene asociados 6 créditos ECTS (de 25 horas cada uno) y no tiene prácticas de laboratorio.
La Física de Fluidos estudia el comportamiento a nivel macroscópico del tipo de medios continuos conocidos como *fluidos* (típicamente *líquidos* y *gases*). Al contrario que los sólidos, los fluidos no presentan resistencia a la deformación (no tienen forma definida), sino a la velocidad de deformación. Esto hace que la presencia de cualquier esfuerzo cortante aplicado se traduzca en el movimiento macroscópico de unas regiones de fluido respecto a otras, lo cual distingue a los medios fluidos de los sólidos. Dependiendo de las condiciones en que tiene lugar este movimiento, o flujo, se observan distintos regímenes, cuyo estudio es el objeto fundamental de la Física de Fluidos.
El tipo de sistemas estudiados en Física de Fluidos incluye a los gases y los líquidos habituales, esto hace que la aplicabilidad de esta materia sea muy amplia. En particular la Física de Fluidos es un ingrediente fundamental en áreas como meteorología, medicina o ingeniería. Desde el punto de vista teórico la Física de Fluidos es una de las teorías de campos fundamentales de la física.
La física de fluidos se basa en la *aproximación del continuo* y en la hipótesis de *equilibrio local*. Cuando estas aproximaciones son aplicables las variables físicas relevantes del sistema (presión, velocidad, densidad, etc.) pueden describirse por medio de funciones del espacio y el tiempo, es decir, campos. Las ecuaciones de conservación que describen la evolución de los sistemas fluidos se obtienen formulando en términos de estos campos los principios básicos de conservación habituales en física (conservación de la masa, del momento y de la energía) y tienen la forma de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.
Concretamente, en este curso aplicaremos los principios fundamentales de conservación (de la masa, momento, energía y especies en el caso de una mezcla) a una partícula fluida para deducir las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos (ecuaciones de continuidad, de Navier-Stokes y de transferencia de calor y masa, respectivamente). Tras deducir las ecuaciones de conservación, se muestra que pueden formularse en términos de ciertos *números adimensionales*, definidos como cocientes de las escalas y parámetros características del problema (p. ej. los números de Mach, de Reynolds, de Prandtl, etc.). Se

estudia el significado físico de cada uno de estos números y los distintos regímenes de flujo que pueden encontrarse en función de los valores de algunos de ellos (p. ej. flujo compresible o incompresible dependiendo del número de Mach, flujo laminar o turbulento dependiendo del número de Reynolds, etc.). Para ello se analizan las configuraciones de flujo sencillas más representativas de cada caso.
Las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que gobiernan el comportamiento de los fluidos son matemáticamente tan complicadas que, en la mayoría de los casos, es imposible encontrar soluciones exactas. A esto contribuye especialmente el carácter no lineal de estas ecuaciones y también el número de variables independientes (3 variables espaciales 1 variable temporal). De hecho, las ecuaciones de Navier-Stokes constituyen uno de los problemas abiertos más activos en el campo de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.
La Física de Fluidos es una de las teorías de campos más fundamentales en física, tiene aplicaciones en multitud de campos, tanto de física teórica como aplicada. Por su propia estructura esta asignatura se apoya en todas las asignaturas de matemáticas estudiadas en el grado. En cuanto a los contenidos físicos esta asignatura se apoya directamente en las asignaturas de mecánica y termodinámica, y sirve de base a otras teorías de campos, como por ejemplo relatividad general.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR LA ASIGNATURA

Para el estudio con aprovechamiento de esta asignatura es imprescindible dominar al menos las nociones básicas de ecuaciones diferenciales ordinarias, y es más que recomendable tener un buen dominio de ecuaciones diferenciales, tanto ordinarias como en derivadas parciales, ya que las ecuaciones diferenciales son el lenguaje que estaremos empleando durante todo el curso. Aunque en menor medida, también es conveniente haber estudiado cálculo tensorial y geometría diferencial, ya que dichos conceptos se emplean en este curso. Aparte de los anteriores requisitos sobre herramientas matemáticas, el contenido de esta asignatura también se apoya en diversos conceptos de física estudiados en otras asignaturas, principalmente en mecánica clásica y termodinámica.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos	MANUEL ARIAS ZUGASTI (Coordinador de asignatura)
Correo Electrónico	maz@ccia.uned.es
Teléfono	91398-7127
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUIDOS

Nombre y Apellidos	JOSE LUIS CASTILLO GIMENO
Correo Electrónico	jcastillo@ccia.uned.es
Teléfono	91398-7122
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUIDOS

Nombre y Apellidos	PABLO MARTINEZ-LEGAZPI AGUILO
Correo Electrónico	legazpi.pablo@ccia.uned.es
Teléfono	913989851
Facultad	FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento	FÍSICA MATEMÁTICA Y DE FLUIDOS

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

El Equipo Docente ofrecerá una completa tutorización de la asignatura a través de su Curso Virtual. Este curso virtual será la principal plataforma de comunicación entre el Equipo Docente y el alumno. A través del mismo, el Equipo Docente realizará el seguimiento del aprendizaje de los estudiantes e informará de los cambios, novedades, así como de cualquier otro aspecto sobre la asignatura que el Equipo Docente estime oportuno. Del mismo modo, el estudiante encontrará en el curso las herramientas necesarias para plantear al Equipo Docente cualquier duda relacionada con la asignatura.

El horario de atención al alumno por parte del Equipo Docente de la Sede Central será: lunes (excepto en vacaciones académicas) de 11:00 a 13:00 y de 16:00 a 18:00 horas. En caso de que el lunes sea día festivo, la guardia pasará al siguiente día lectivo.
Para cualquier tipo de consulta general se recomienda utilizar los foros de debate habilitados en el Curso Virtual de la asignatura. Estos foros son revisados continuamente por el Equipo Docente y permiten una comunicación rápida y directa entre profesores, alumnos y tutores.
Para otras cuestiones más particulares, los estudiantes pueden contactar con el coordinador de la asignatura:
Manuel Arias Zugasti, maz@ccia.uned.es
Tel. 913987127
Facultad de Ciencias - UNED (despacho 0.07)
Urbanización Monte Rozas.
Avda. Esparta, s/n, Ctra, Las Rozas a El Escorial km. 5
28232 Las Rozas - Madrid

TUTORIZACIÓN EN CENTROS ASOCIADOS

En el enlace que aparece a continuación se muestran los centros asociados y extensiones en las que se imparten tutorías de la asignatura. Estas pueden ser:

•**Tutorías de centro o presenciales**: se puede asistir físicamente en un aula o despacho del centro asociado.

•**Tutorías campus/intercampus**: se puede acceder vía internet.

Consultar horarios de tutorización de la asignatura 61044052

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

En esta asignatura el estudiante adquirirá las siguientes **competencias específicas** del Grado en Física:

CE01 Tener una buena comprensión de las teorías físicas más importantes: su estructura lógica y matemática, su soporte experimental y los fenómenos que describen; en especial, tener un buen conocimiento de los fundamentos de la física moderna
CE03 Tener una idea de cómo surgieron las ideas y los descubrimientos físicos más importantes, cómo han evolucionado y cómo han influido en el pensamiento y en el entorno natural y social de las personas
CE05 Ser capaz de entender y dominar el uso de los métodos matemáticos y numéricos más comúnmente utilizados, y de realizar cálculos de forma independiente, incluyendo cálculos numéricos que requieran el uso de un ordenador y el desarrollo de programas de software
CE07 Ser capaz de identificar los principios físicos esenciales que intervienen en un fenómeno y hacer un modelo matemático del mismo; ser capaz de hacer estimaciones de órdenes de magnitud y, en consecuencia, hacer aproximaciones razonables que permitan simplificar el modelo sin perder los aspectos esenciales del mismo
CE08 Ser capaz de adaptar modelos ya conocidos a nuevos datos experimentales
CE09 Adquirir una comprensión de la naturaleza y de los modos de la investigación física y de cómo ésta es aplicable a muchos campos no pertenecientes a la física, tanto para la comprensión de los fenómenos como para el diseño de experimentos para poner a prueba las soluciones o las mejoras propuestas
CE10 Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía sobre física y demás literatura técnica, así como cualesquiera otras fuentes de información relevantes para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos

En esta asignatura el estudiante desarrollará, además, las siguientes **competencias generales** del Grado:
CG01 Capacidad de análisis y síntesis
CG04 Conocimiento de inglés científico en el ámbito de estudio
CG03 Comunicación oral y escrita en la lengua nativa
CG09 Razonamiento crítico
CG10 Aprendizaje autónomo

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los principales resultados de aprendizaje de esta asignatura son:

•Hipótesis del continuo, partícula fluida.

•Formulaciones euleriana y lagrangiana en mecánica de fluidos.

•Cinemática del campo fluido, tensor de velocidad de deformación.

•Vorticidad y conservación de la vorticidad.

•Relaciones constitutivas elementales en medios isótropos.

•Ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes.

•Conocer los números adimensionales más importantes (Kn, Ma, Re, Pr, etc.).

•Entender los efectos de la viscosidad en el comportamiento de los fluidos.

•Conocer las características fundamentales del flujo turbulento.
•Conocer el concepto de capa límite.
•Transferencia de calor y masa en fluidos.
•Conocer los efectos de la tensión superficial en interfases fluidas.

Por ello, en esta asignatura nos familiarizaremos con las variables físicas y lenguaje empleados en Física de Fluidos. Aprenderemos a aplicar los conceptos de conservación básicos de la física a sistemas fluidos, lo que nos permitirá deducir las ecuaciones de conservación básicas de la Física de Fluidos. Aprenderemos a realizar análisis de órdenes de magnitud basados en las escalas relevantes del problema para cada una de las variables físicas, esto nos permitirá deducir qué términos de las anteriores ecuaciones de conservación son los relevantes en cada caso en función de los números adimensionales relevantes del problema (como p. ej. el número de Mach, el de Reynolds, etc.).
Aprenderemos a resolver estas ecuaciones en los casos de configuraciones sencillas en los que resulta posible llegar a una solución analítica.
En este sentido veremos diversos resultados analíticos importantes como el teorema de conservación de la circulación de Kelvin o la ecuación de Bernoulli o los importantes flujos de Couette y de Poiseuille. También veremos una introducción a casos de configuraciones de flujo más complicadas, incluyendo capa límite y flujos turbulentos, transferencia térmica en fluidos, mezclas fluidas (fenómenos de difusión de masa en fluidos) y flujos multifásicos (fenómenos superficiales).

CONTENIDOS

Propiedades físicas de los fluidos

Estados de agregación de la materia, sólidos, líquidos, gases.
Respuesta a tensiones cortantes aplicadas, sólidos elásticos, fluidos newtonianos, comportamiento viscoelástico y número de Deborah, números adimensionales.
Hipótesis del continuo, número de Knudsen.
La partícula fluida, hipótesis de equilibrio local.
Principios de conservación y ecuaciones de la Mecánica de Fluidos.
Breve repaso de termodinámica, potenciales termodinámicos, ecuaciones de estado.
Fenómenos de transporte en líquidos y gases.

Cinemática

Especificación del campo fluido, descripciones Lagrangiana y Euleriana, líneas de corriente.
Aceleración del campo fluido.
Flujo convectivo de magnitudes escalares (masa, energía) y vectoriales (contidad de movimiento).
Velocidad normal de avance de superficies, superficies fluidas, flujo convectivo a través de superficies móviles.
Teorema del transporte de Reynolds, volúmenes de control fijos y fluidos.
Análisis del movimiento relativo en torno a un punto, conceptos de vorticidad y tensor de velocidad de deformación.
Campo de velocidades con divergencia y vorticidad dadas.

Transporte de masa

Vector de densidad de flujo de masa.
Ecuación de continuidad.
Compresibilidad y dilatación térmica.
Flujos incompresibles, número de Mach.
Función de corriente.

Transporte de momento lineal: introducción y resultados para fluidos ideales

Tensor de densidad de flujo de impulso.
Fuerzas de largo y de corto alcance, tensor de tensiones.
Fuerzas ejercidas sobre superficies fijas y móviles, condiciones de contorno en superficies.
Ecuaciones de Navier-Stokes.
Fuerzas de presión, inercia y viscosas, número de Reynolds.
Flujos estacionarios e inestacionarios, número de Strouhal.
Fuerzas másicas externas, número de Froude.
Ecuación de la energía cinética.
Fluidos ideales, ecuación de Euler.
Ecuación de Bernoulli, ecuación de Crocco.
Vorticidad, ecuación de evolución de la vorticidad.
Teorema de Bjerknes-Kelvin, teoremas de conservación de la vorticidad.
Circulación, flujos irrotacionales, potencial de velocidades.

Ondas de gravedad.

Fluidos viscosos, ecuaciones de Navier-Stokes

Configuraciones de flujo sencillas: flujos incompresibles unidireccionales.
Flujos de Couette y de Poiseuille.
Ejemplos de flujos estacionarios, caudal, velocidad máxima y media, fuerzas de presión y viscosas ejercidas sobre paredes.
Ejemplos de flujos con números de Knudsen de orden unidad, deslizamiento.
Fuerzas de arrastre y de sustentación sobre partículas (fluidas y rígidas) en fluidos viscosas, fórmula de Stokes.
Flujos con superficies libres.
Flujos incompresibles cuasi-unidireccionales: ejemplos sencillos de lubricación fluidodinámica.
Flujos inestacionarios, métodos de solución por separación de variables. Ejemplos sencillos con configuraciones incompresibles monodireccionales, comportamiento en el límite de tiempos cortos y largos.
Flujos inestacionarios, variable de similaridad, concepto de capa límite inestacionaria.
Semejanza física.

Turbulencia

Estabilidad de flujos, transición a la turbulencia, número de Reynolds crítico.
Fenomenología de la turbulencia, transporte de momento, calor y masa en flujos turbulentos.
Descripción estadística de flujos turbulentos, velocidad media, fluctuaciones, tensor de tensiones de Reynolds.
Teoría de Kolmogorov de la turbulencia homogénea isótropa totalmente desarrollada, disipación de energía cinética turbulenta, rango inercial, cascada de energía, velocidades características de cada escala en el rango inercial, longitud de Kolmogorov.

Capa límite

Flujos a Reynolds elevados en torno a obstáculos sólidos, resultados de la ecuación de Euler, paradoja de D'Alembert.
Concepto de capa límite, espesor de la capa límite.

Ecuaciones de Prandtl de la capa límite.
Capa límite laminar en ausencia de gradientes de presión externos, ecuación de Blasius.
Capa límite turbulenta, perfil logarítmico de velocidades.
Crisis de arrastre.

Conservación de la energía y transporte de calor

Ecuación de conservación de la energía.
Disipación de energía cinética, función de disipación de Rayleigh.
Ecuaciones de la energía interna y la entalpía, ecuación de conservación de la energía en términos de la temperatura, número de Prandtl.
Ecuación del calor, fenomenología de la difusión, escalas características y soluciones en configuraciones sencillas. Solución de Fourier.
Ecuación de Laplace.
Transporte convectivo de calor, números de Peclet, flujo de calor a través de superficies fijas, número de Nusselt.
Ejemplos de transferencia térmica en configuraciones sencillas, número de Eckert.
Transferencia térmica en flujos a Reynolds elevados, espesor de la capa límite de transferencia térmica en función del número de Prandtl.
Convección libre, aproximación de Boussinesq, número de Grashof, número de Rayleigh.

Mezclas y difusión de especies químicas

Descripción de mezclas fluidas, fracciones molares y fracciones de masa.
Velocidad baricéntrica.
Vector de flujo de masa para mezclas fluidas, flujos difusivos.
Ecuación de conservación de las especies químicas, número de Peclet másico.
Expresión del vector de flujo difusivo, ley de Fick, número de Schmidt, barodifusión, efecto Soret, número de Lewis.
Repaso de termodinámica de mezclas.
Aplicación del primer principio de la termodinámica en mezclas fluidas, potencial químico, ecuación de conservación de la energía para mezclas fluidas.

Fenómenos superficiales

Condiciones de contorno en superficies fijas y fluidas en ausencia de tensión superficial.
Tensión superficial, origen físico, fuerzas de tensión superficial.
Condiciones de contorno para tensiones tangenciales y normales sobre interfases fluidas en presencia de tensión superficial.
Repaso del concepto de curvatura de superficies, ejemplos de cálculo.
Superficie de líquidos en reposo, fórmula de Laplace, longitud de capilaridad.
Flujos inducidos por gradientes de tensión superficial, ejemplos sencillos de flujos termocapilares.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta asignatura es la de la docencia a distancia propia de la UNED, basada en el uso de un curso virtual y de un texto base que se apoyará con documentación y ejercicios resueltos y propuestos por el equipo docente.
Para el estudio de esta asignatura recomendamos el libro de texto mencionado en la bibliografía básica, complementado con la colección de problemas resueltos disponible en la página virtual de la asignatura.

PRUEBAS DE AUTOEVALUACION

Como ejercicios de autoevaluación proponemos que realicen de manera detallada los siguientes problemas especialmente representativos del temario, cuya solución se indica en el libro de texto:

Capítulo I. Fluidos ideales
- Problema 1 (pág. 27), problema 5 (pág. 30), problema 7 (pág. 31), problema 8 (pág. 32), problema 1 (pág. 44).

Capítulo II. Fluidos Viscosos
- Problema 5 (pág. 66), problema 2 (pág. 77), problema 3 (pág. 78), problema 1 (pág. 103), problema 6 (pág. 106).

Capítulo III. Turbulencia
- Problema (pág. 138).

Capítulo IV. Capas Límites
- Problema 1 (pág. 169), problema (pág. 176), problema 1 (pág. 189).

Capítulo V. Conducción térmica en fluidos
- Problema (pág. 231), problema 1 (pág. 235).

Capítulo VI. Difusión
- Problema 1 (pág. 260), problema 2 (pág. 261).

Capítulo VII. Fenómenos superficiales
- Problema 2 (pág. 269), problema 3 (pág. 269), problema 1 (pág. 275), problema 2 (pág. 275).

Asimismo se recomienda que intenten realizar los exámenes de años anteriores que puede encontrar en la página virtual de la asignatura.

PLAN DE TRABAJO

En el cómputo de horas se incluyen el tiempo dedicado a las horas lectivas, horas de estudio, tutorías, seminarios, trabajos, prácticas o proyectos, así como las exigidas para la preparación y realización de exámenes y evaluaciones.

TEMA: 1. Propiedades físicas de los fluidos - 6 Horas

•**Bibliografía básica:**

•tema 1 de los apuntes disponibles en el curso virtual.

•**Cronograma:**

•semana 1 primera mitad.

•Estados de agregación de la materia, sólidos, líquidos, gases.

•Respuesta a tensiones cortantes aplicadas, sólidos elásticos, fluidos newtonianos, comportamiento viscoelástico y número de Deborah, números adimensionales.

•Hipótesis del continuo, número de Knudsen.

•La partícula fluida, hipótesis de equilibrio local.

•Principios de conservación y ecuaciones de la Mecánica de Fluidos.

•Breve repaso de termodinámica, potenciales termodinámicos, ecuaciones de estado.

•Fenómenos de transporte en líquidos y gases.

TEMA: 2. Cinemática. - 11,9 Horas

•**Bibliografía básica:**

•tema 2 de los apuntes disponibles en el curso virtual.

•**Cronograma:**

•semana 1 segunda mitad

•semana 2 primera mitad.
•Especificación del campo fluido, descripciones Lagrangiana y Euleriana, líneas de corriente.
•Aceleración del campo fluido.
•Flujo convectivo de escalares (masa, energía) y vectores (contidad de movimiento).
•Velocidad normal de avance de superficies, superficies fluidas, flujo convectivo a través de superficies móviles.
•Teorema del transporte de Reynolds, volúmenes de contros fijos y fluidos.
•Análisis del movimiento relativo en torno a un punto, conceptos de vorticidad y tensor de velocidad de deformación.
•Campo de velocidades con divergencia y vorticidad dadas.

TEMA: 3. Conservación de la masa. - 6 Horas

•**Bibliografía básica:**
•tema 3 de los apuntes disponibles en el curso virtual
•tema 1 del libro de Landau y Lifshitz.
•**Cronograma:**
•semana 2 segunda mitad.
•Vector de densidad de flujo de masa.
•Ecuación de continuidad.
•Flujos incompresibles, número de Mach, coeficiente de expansión térmica.
•Función de corriente.

TEMA: 4. Conservación del momento: introducción y resultados para fluidos ideales. - 19 Horas

•**Bibliografía básica:**
•tema 4 de los apuntes disponibles en el curso virtual
•tema 1 del libro de Landau y Lifshitz.
•**Cronograma:**
•semana 3
•semana 4
•Tensor de densidad de flujo de impulso.
•Fuerzas de largo y de corto alcance, estado de tensiones en el seno de un fluido, tensor de tensiones, fuerzas de presión y tensor de tensiones viscosas.
•Fuerzas ejercidas sobre superficies fijas y móviles, condiciones de contorno en superficies (casos de fluidos con y sin viscosidad).
•Ecuaciones de Navier-Stokes.
•Fuerzas de presión, inercia y viscosas, número de Reynolds.

•Flujos estacionarios e inestacionarios, número de Strouhal.
•Fuerzas másicas aplicadas, número de Froude.
•Ecuación de la energía cinética.
•Fluidos ideales, ecuación de Euler.
•Ecuación de Bernoulli, caso de flujos incompresibles y con variaciones de densidad apreciables, ecuación de Crocco.
•Vorticidad, líneas, tubos, filamentos y láminas de vorticidad, ecuación de evolución de la vorticidad.
•Teorema de Bjerknes-Kelvin, teoremas de conservación de la vorticidad (Helmholtz, Kelvin), generación de vorticidad.
•Circulación, flujos irrotacionales, potencial de velocidades.
•Ondas de gravedad.

TEMA: 5. Fluidos viscosos, ecuaciones de Navier-Stokes. - 19 Horas

•**Bibliografía básica:**
•tema 5 de los apuntes disponibles en el curso virtual
•tema 2 del libro de Landau y Lifshitz.
•**Cronograma:**
•semana 5
•semana 6
•Configuraciones de flujo sencillas: flujos incompresibles unidireccionales.
•Flujos de Couette y de Poiseuille.
•Ejemplos de flujos estacionarios, caudal, velocidad máxima y media, fuerzas de presión y viscosas ejercidas sobre paredes.
•Ejemplos de flujos con números de Knudsen de orden unidad, deslizamiento.
•Arrastre de partículas (fluidas y rígidas) en fluidos viscosas, fórmula de Stokes.
•Flujos con superficies libres.
•Flujos incompresibles cuasi-unidireccionales: ejemplos sencillos de lubricación fluidodinámica.
•Flujos inestacionarios, métodos de solución por separación de variables. Ejemplos sencillos con configuraciones incompresibles monodireccionales, comportamiento en el límite de tiempos cortos y largos.
•Flujos inestacionarios, variable de similaridad, concepto de capa límite.
•Semejanza física.

TEMA: 6. Turbulencia - 18 Horas

•**Bibliografía básica:**

•tema 6 de los apuntes disponibles en el curso virtual

•tema 3 del libro de Landau y Lifshitz.

•**Cronograma:**

•semana 7

•semana 8 primera mitad.

•Estabilidad de flujos, transición a la turbulencia, número de Reynolds crítico.

•Fenomenología de la turbulencia, transporte de momento, calor y masa en flujos turbulentos.

•Descripción estadística de flujos turbulentos, velocidad media, fluctuaciones, tensor de tensiones de Reynolds.

•Teoría de Kolmogorov de la turbulencia homogénea isótropa totalmente desarrollada, disipación de energía cinética turbulenta, rango inercial, cascada de energía, velocidades características de cada escala en el rango inercial, longitud de Kolmogorov.

TEMA: 7. Capa límite - 18 Horas

•**Bibliografía básica:**

•tema 7 de los apuntes disponibles en el curso virtual

•tema 4 del libro de Landau y Lifshitz.

•**Cronograma:**

•semana 8 segunda mitad

•semana 9

•Flujos a Reynolds elevados en torno a obstáculos sólidos, resultados de la ecuación de Euler, paradoja de D'Alembert.

•Concepto de capa límite, espesor de la capa límite.

•Ecuaciones de Prandtl de la capa límite.

•Capa límite laminar en ausencia de gradientes de presión externos, ecuación de Blasius.

•Capa límite turbulenta, perfil logarítmico de velocidades.

•Crisis de arrastre.

TEMA: 8. Conservación de la Energía y transferencia de calor - 18 Horas

•**Bibliografía básica:**

•tema 8 de los apuntes disponibles en el curso virtual

•tema 5 del libro de Landau y Lifshitz.

•**Cronograma:**

•semana 10

•semana 11 primera mitad
•Ecuación de conservación de la energía.
•Disipación de energía cinética, función de disipación de Rayleigh.
•Ecuaciones de la energía interna y la entalpía, ecuación de conservación de la energía en términos de la temperatura, número de Prandtl.
•Ecuación del calor, fenomenología de la difusión, escalas características y soluciones en configuraciones sencillas.
•Ecuación de Laplace.
•Transporte convectivo de calor, números de Peclet, flujo de calor a través de superficies fijas, número de Nusselt.
•Ejemplos de transferencia térmica en configuraciones sencillas, número de Eckert.
•Transferencia térmica en flujos a Reynolds elevados, espesor de la capa límite de transferencia térmica en función del número de Prandtl.
•Convección libre, análisis de Boussinesq, número de Grashof, número de Rayleigh.

TEMA: 9. Mezclas y difusión de especies químicas - 10 Horas
•Bibliografía básica:
•tema 9 de los apuntes disponibles en el curso virtual
•tema 6 del libro de Landau y Lifshitz.
•Cronograma:
•semana 11 segunda mitad.
•Descripción de mezclas fluidas, fracciones molares y fracciones de masa.
•Velocidad baricéntrica.
•Vector de flujo de masa para mezclas fluidas, flujos difusivos.
•Ecuación de conservación de las especies químicas, número de Peclet másico.
•Expresión del vector de flujo difusivo, ley de Fick, número de Schmidt, barodifusión, efecto Soret, número de Lewis.
•Repaso de termodinámica de mezclas.
•Aplicación del primer principio en mezclas fluidas, ecuación de conservación de la energía para mezclas fluidas.

TEMA: 10. Fenómenos superficiales - 16 Horas
•**Bibliografía básica:**
•tema 10 de los apuntes disponibles en el curso virtual
•tema 7 del libro de Landau y Lifshitz.
•**Cronograma:**
•semana 12

•Revisión de condiciones de contorno aplicables en superficies fijas y fluidas en ausencia de tensión superficial.
•Tensión superficial, origen físico, fuerzas de tensión superficial.
•Condiciones de contorno para tensiones tangenciales y normales sobre interfases fluidas en presencia de tensión superficial.
•Repaso del concepto de curvatura de superficies, ejemplos de cálculo.
•Superficie de líquidos en reposo, fórmula de Laplace, longitud de capilaridad.
•Flujos inducidos por gradientes de tensión superficial, ejemplos sencillos de flujos termocapilares.

PEC: Pruebas de Evaluación Continua - 6 Horas

OTRAS ACTIVIDADES: Comentarios adicionales - 0,1 Horas

BIBLIOGRAFIA Y TEMARIO

El temario de esta asignatura se basa, principalmente, en el libro de texto: Mecánica de Fluidos de L. D. Landau y E. M. Lifshitz, publicado por la Editorial Reverté (Barcelona 1991). La elección del Landau Lifshitz como texto básico se debe a dos motivos: por un lado la indiscutible calidad del texto y por otro su orientación, que tiende a hacer más énfasis en los aspectos relacionados con la Física Teórica que en las innumerables aplicaciones de la Mecánica de Fluidos en Ingeniería.

El texto de Landau y Lifshitz es conocido por desarrollar con gran precisión y profundidad los conceptos fundamentales de la Mecánica de Fluidos, desde sus aspectos más básicos partiendo de primeros principios, hasta un nivel bastante avanzado, llegando a mencionar cuestiones que aún hoy en día siguen siendo objeto de investigación por universidades y centros de investigación de todo el mundo. En general el estilo del texto es bastante condensado, por tanto es importante tomarse cierto tiempo para ir reproduciendo todos los cálculos y asimilando los conceptos.

Para facilitar el estudio de la asignatura hemos clasificado los apartados del texto recomendado en cuatro categorías, de mayor a menor importancia, de acuerdo al siguiente esquema:

•B: Apartados básicos, cuyo contenido es totalmente fundamental
•G: Apartados generales y de aplicación inmediata de los contenidos fundamentales
•E: Ejemplos particulares de gran interés
•L: Apartados de lectura obligada.

I Fluidos ideales

1 Ecuación de continuidad (B)
2 Ecuación de Euler (B)
3 Hidrostática (G)
4 Caso en que la convección está ausente (G)
5 Ecuación de Bernoulli (G)
6 Flujo de energía (B)
7 Flujo del impulso (B)
8 Conservación de la circulación (G)
9 Flujo potencial (G)
10 Fluidos incompresibles (G)
11 Fuerza de arrastre en un flujo potencial que rodea un cuerpo (E)
12 Ondas de gravedad (E)
13 Ondas de gravedad largas (E)
14 Ondas en un fluido incompresible (E)

II Fluidos viscosos

15 Ecuación del movimiento de un fluido viscoso (B)
16 Disipación de energía en un fluido incompresible (G)
17 Flujo en una tubería (E)
18 Flujo entre cilindros en rotación
19 Ley de semejanza (B)
20 Fórmula de Stokes (G)
21 Estela laminar (E)
22 La viscosidad de las suspensiones (E)
23 Soluciones exactas de las ecuaciones del movimiento en el caso de un fluido viscoso
24 Movimiento oscilante en un fluido viscoso (G)
25 Amortiguamiento de las ondas de gravedad (E)

III Turbulencia

26 Estabilidad del flujo estacionario (B sólo páginas 115 y 116)
27 Establecimiento de la turbulencia (B sólo páginas 115 y 116)
28 Estabilidad del flujo entre cilindros en rotación
29 Estabilidad del flujo en una tubería (L)
30 Inestabilidad de las discontinuidades tangenciales (L)
31 Turbulencia totalmente desarrollada (B)
32 Turbulencia local (B)
33 Correlación de velocidades (G)
34 Región de turbulencia y el fenómeno de separación (G)
35 Chorro turbulento
36 Estela turbulenta (E)

37 Teorema de Joukowski (E)
38 Turbulencia isótropa (B)

IV Capas límites

39 Capa límite laminar (B)
40 Flujo cerca de la línea de separación (E)
41 Estabilidad del flujo en una capa límite laminar (L)
42 Perfil logarítmico de velocidades (G)
43 Flujo turbulento en tuberías (L)
44 Capa límite turbulenta (E)
45 Crisis de arrastre o resistencia (L)
46 Flujo que rodea a cuerpos con forma aerodinámica (L)
47 Arrastre inducido
48 La sustentación de un ala delgada

V Conducción térmica en los fluidos

49 Ecuación general de la transferencia de calor (B)
50 Conducción térmica en un fluido incompresible (B)
51 Conducción térmica en un medio infinito (E)
52 Conducción térmica en un medio finito (E)
53 Ley de semejanza para la transferencia térmica (B)
54 Transferencia térmica en una capa límite (G)
55 Calentamiento de un cuerpo en un fluido móvil (L)
56 Convección libre (L)

VI Difusión

57 Ecuaciones de la dinámica de fluidos para una mezcla (B)
58 Coeficientes de transferencia de masa y de difusión térmica (B)
59 Difusión de partículas suspendidas en un fluido (G)

VII Fenómenos superficiales

60 Fórmula de Laplace (B)
61 Ondas de capilaridad (E)
62 Influencia de películas adsorbidas sobre el movimiento de un líquido (L)

ORIENTACIONES PARA EL ESTUDIO DE LOS CONTENIDOS

En la página de la asignatura puede encontrar una extensa colección de problemas (prácticamente todos ellos resueltos), ordenados de acuerdo al índice del texto básico del curso. El objetivo de esta colección de problemas es ilustrar los conceptos teóricos explicados en la bibliografía básica de la asignatura mediante su aplicación para la solución de problemas concretos. En algunos casos también se pretende complementar algunas

cuestiones teóricas básicas, cuya explicación en el texto básico encierra cierta dificultad.

La metodología de estudio que recomendamos para todos los temas del curso se basa en 3 partes: En primer lugar estudio del tema según el texto recomendado en la bibliografía básica. A continuación el estudiante deberá intentar resolver los problemas correspondientes propuestos en la colección de problemas del curso, consultando el texto básico si es necesario pero sin consultar las soluciones. Una vez finalizada esta fase se recomienda consultar las soluciones de los problemas propuestos, de forma que se resuelvan las dudas que hayan podido surgir. Finalizado el trabajo con los problemas propuestos recomendamos estudiar nuevamente el tema en el texto de la bibliografía básica, ya que la perspectiva adquirida al trabajar con los problemas le permitirá alcanzar una comprensión más profunda de cada tema en este segundo repaso.

De manera adicional a la clasificación del temario mostrada en el apartado precedente, se relacionan a continuación las fórmulas y conceptos del libro de texto que los alumnos deben conocer para una correcta realización del examen:

•Ecuación de continuidad, (1.2).

•Ecuación de Euler, (2.4).

•Ecuación de Bernoulli, (5.4).

•Densidad de flujo de energía, (6.3).

•Función de corriente, (10.9).

•Tensor densidad de flujo de impulso y tensor de tensiones, (15.1), (15.2) y (15.3).

•Ecuación de Navier-Stokes, (15.7).

•Fuerza sobre una superficie elemental, (15.12).

•Número de Reynolds, (19.1).

•Fórmula de Stokes, (20.14).

•Ecuaciones de la capa límite laminar, (39.6) y (39.7).

•Perfil logarítmico de velocidades, (42.7).

•Densidad de flujo térmico por conducción, (49.1).

•Ecuaciones de transferencia térmica en un fluido incompresible, (50.1) y (50.2).

•Número de Prandtl, (53.4).

•Número de Nusselt, (53.7).

•Ecuación de conservación de masa, para cada componente de una mezcla fluida, (57.3).

•Flujos de calor y masa, (58.11) y (58.12).

•Coeficiente de difusión, (59.8) y (59.9).

•Fórmula de Laplace, (60.3).

El conocimiento de las anteriores fórmulas y conceptos relacionados (incluyendo su deducción, su significado físico y su utilización) es imprescindible para la realización del examen, dado que no se permitirá el uso de apuntes ni de ningún tipo de bibliografía. Cualquier otra fórmula que se necesitara y que no se obtenga directamente de las anteriores se incluirá como parte del enunciado.

PRUEBA PRESENCIAL: 2 horas

Total Horas ECTS introducidas aquí : 150

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	7
Duración del examen	120 (minutos)

Material permitido en el examen

Generalmente ningún tipo de material.

Criterios de evaluación

El examen presencial de la asignatura está puntuado sobre un total de 10 puntos, generalmente repartidos en:
cuatro preguntas cortas (con una puntuación de 0,5 puntos cada una)
dos cuestiones (2 puntos cada una)
y un problema (4 puntos)
aunque la anterior división del examen y las respectivas valoraciones de cada pregunta son solo orientativas, pudiendo haber variaciones entre distintas convocatorias.
Para la valoración del examen es muy importante tener en cuenta que no basta con aplicar las fórmulas correctas y llegar a la solución sin más, sino que es imprescindible explicar de manera breve, pero clara, cuáles son los pasos que se están dando, qué principios generales se están aplicando, qué aproximaciones se están haciendo justificando su validez, etc. También se valorará de manera negativa la presencia de errores inadmisibles, como por ejemplo resultados dimensionalmente incorrectos o con órdenes de magnitud claramente fuera de rango. Por otra parte, para obtener la calificación de apto deberá alcanzarse una calificación mínima en el problema de un punto de los cuatro asignados.

El objetivo del examen es valorar el grado de asimilación de los conceptos de Física de Fluidos incluidos en el temario de la asignatura, por este motivo en el desarrollo matemático del examen no será determinante que haya pequeños errores de cálculo, siempre y cuando las ideas físicas sean correctas y estén bien explicadas. En este sentido un poco de reflexión después de terminar los cálculos puede ayudar mucho a detectar este tipo de errores. Por ejemplo, una vez finalizado un cálculo de una velocidad o de una tensión nos podemos preguntar: en el resultado obtenido ¿las dimensiones son correctas?, ¿tiene el signo que se esperaba?, ¿el orden de magnitud está justificado?

% del examen sobre la nota final	100
Nota del examen para aprobar sin PEC	5
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	10
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	4

Comentarios y observaciones

El número de preguntas de desarrollo del examen es sólo orientativo y corresponde con la estructura descrita en el apartado de criterios de evaluación.

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?	Si

Descripción

En la convocatoria de junio (con examen en febrero para asignaturas del primer semestre) se podrá realizar una evaluación continua calificable de manera voluntaria, que consistirá en unas pruebas objetivas en el curso virtual. La fecha de dichas pruebas así como sus detalles específicos se anunciarán en el curso virtual. La resolución correcta de estas pruebas de evaluación continua podrá incrementar la nota final hasta un máximo de un punto. No hay pruebas de evaluación continua para la convocatoria de septiembre.

Criterios de evaluación

En caso de que el estudiante decida no realizar la evaluación continua su nota final será la que obtenga en la Prueba Presencial, que se realiza en los Centros Asociados y en las fechas fijadas por la UNED. La mayor parte de la puntuación de dicho examen presencial dependerá de la resolución de uno, o varios, problemas concretos, en los que se aplican los conceptos expuestos en el curso.

Ponderación de la PEC en la nota final	Desde 0% si el estudiante decide no presentarla (o está incorrecta) hasta un máximo que puede oscilar entre un 10% y un 20%, dependiendo de la extensión y dificultad de la PEC propuesta cada curso.
Fecha aproximada de entrega	Fecha de celebración de los exámenes presenciales
Comentarios y observaciones	

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?	No
Descripción	
Criterios de evaluación	
Ponderación en la nota final	0
Fecha aproximada de entrega	
Comentarios y observaciones	

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

La calificación final es la del examen presencial más la obtenida en la PEC siempre y cuando la calificación del examen presencial sea igual o superior a 4.

La calificación de la PEC sólo será tenida en cuenta, en principio, en la convocatoria ordinaria.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9788429140873
Título:MECÁNICA DE FLUIDOS. VOL. VI (1ª)
Autor/es:Lifshitz, Eugeny M. ; Landau, Levi D. ;
Editorial:REVERTÉ

La bibliografía básica está formada por el texto de Landau y Lifshitz complementado por los apuntes de Física de Fluidos y la extensa colección de problemas resueltos, elaborados por el equipo docente, disponibles en la plataforma virtual de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Aparte del libro de Landau y Lifshitz existe un número considerable de textos muy recomendables, en particular el libro de Batchelor:

•Batchelor, G. K.: An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press 2000

es un clásico sobre esta materia. Otro texto muy recomendable es el libro de Tritton

•Tritton, D. J.: Physical Fluid Dynamics, Van Nostran Reinhold 1977

Por último, aunque con una orientación más enfocada hacia las aplicaciones prácticas, también son muy recomendables los Apuntes de Cátedra de las escuelas de ingeniería, en particular:

•Liñán, A. y cols.: Mecánica de Fluidos, Sec. de publicaciones E.T.S.I. Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid 2002

•Crespo, A.: Mecánica de Fluidos. Sec. de publicaciones E.T.S.I. Industriales, Universidad Politécnica de Madrid 1987

En esta misma línea también se puede destacar el texto de White

•White, F. M.: Mecánica de Fluidos, McGraw-Hill 2003

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Aparte de las Bibliografías Básica y Complementaria recomendadas, el principal recurso de apoyo al estudio será el Curso Virtual de la asignatura en la plataforma ALF. En él se podrá encontrar todo el material para la planificación (calendario, noticias, ...) y para el estudio de la asignatura no incluido en la bibliografía (apuntes, ejemplos, ejercicios, ...) así como las herramientas de comunicación, en forma de Foros, para que el alumno pueda consultar al Equipo Docente las dudas que se le vayan planteando así como otras cuestiones relacionadas con el funcionamiento de la asignatura.

Estos foros serán la principal herramienta de comunicación entre el Equipo Docente y el estudiante. Por consiguiente, se insta a que el estudiante siga de un modo regular el curso virtual ya sea mediante visitas periódicas al mismo, ya sea a través de las herramientas de notificaciones automáticas.

El estudiante también tendrá a su disposición el conjunto de facilidades que la Universidad ofrece a sus alumnos (equipos informáticos, bibliotecas, ...), tanto en los Centros Asociados de la Uned como en la Sede Central.

GLOSARIO

Esta asignatura no dispone de glosario.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.