

Asignatura: **Mecánica de los Fluidos**Código: **10-09307**

RTF

8

Semestre: Séptimo

Carga Horaria

96

Bloque: Tecnologías Básicas

Horas de Práctica

48

Departamento: Aeronáutica

Correlativas:

- Termodinámica
- Mecánica Racional

Contenido Sintético:

- Unidad 1: Propiedades de los fluidos
- Unidad 2: Cinemática elemental del movimiento fluido
- Unidad 3: Ecuaciones de conservación aplicadas a volumen de control
- Unidad 4: Análisis diferencial del movimiento fluido
- Unidad 5: Análisis dimensional y semejanza
- Unidad 6: Flujo potencial
- Unidad 7: Flujo externo incompresible viscoso
- Unidad 8: Flujo interno incompresible viscoso

Competencias Genéricas:

- CG 1. Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- CG 2. Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).
- CG3. Competencia para gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).
- CG 7. Competencia para comunicarse con efectividad.

Aprobado por HCD: **1003-HCD-2023**RES: Fecha: **13/11/2023**

Competencias Específicas:

CE1 C Competencia para calcular, diseñar y proyectar aerodinámica de vehículos en flujo incompresible y compresible.

CE1 D Competencia para analizar la performance, la operación en distintas condiciones y todo lo referente a la mecánica de vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

CE1 E . Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir plantas de propulsoras principales y auxiliares motores alternativos, a reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

CE1 F Competencia para calcular y diseñar los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

CE1 I; Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos de aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE3A: Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

Presentación

El estado fluido de la materia prevalece en el medio que nos rodea, es entonces difícil concebir algún dispositivo, máquina o herramienta en la que no interactúe algún fluido, o que en alguna etapa de su diseño no requiera de los principios de la mecánica de los fluidos. En concordancia, tomando en consideración la actividad de los ingenieros de diseñar, crear y perfeccionar dispositivos que resulten útiles para la sociedad y la industria, es entonces evidente lo esencial de la mecánica de fluidos en la formación de un ingeniero. En particular, es difícil definir en forma cerrada las competencias generales a las que aporta esta asignatura, ya que la lista es vasta y alcanza entre otras a ramas a: la aerodinámica, la hidráulica, la dinámica de los gases, la hidrología, la combustión, los fenómenos de transferencia de calor y masa, y la dinámica de los plasmas. Asimismo, dispositivos como bombas, ventiladores, compresores, motores a reacción, turbinas de gas y los cohetes, son básicamente máquinas de fluidos; y los aviones, barcos, submarinos y automóviles se desplazan en medios fluidos. De igual manera es importante resaltar que la mecánica de fluidos gobierna la atmósfera y de ella derivan teorías como la de lubricación que es importante en cualquier campo en el que intervengan máquinas que necesiten lubricación periódica.

El perfil del ingeniero mecánico implica que desarrollará actividades reservadas en las que tendrá que contar con una sólida formación en mecánica de los fluidos puesto que deberá abordar diversos problemas y desafíos propios de actividades como: diseño, proyección cálculo y certificación de, máquinas y sus partes, estructuras, instalaciones y sistemas mecánicos, entre otros; en los que, en alguna etapa puede estar implicado algún flujo de fluido.

La mecánica de los fluidos puede subdividirse en estática y dinámica de fluidos, la primera se encarga de estudiar los fluidos en reposo; mientras que la segunda de los fluidos en movimiento, las causas que los provocan y cómo los flujos interactúan con el entorno produciendo diferentes efectos. Es evidente entonces el lugar notablemente importante que ocupa en la ciencia e ingeniería moderna, y como ya ha sido mencionado, es una ciencia fundamental en la formación de un ingeniero, dado que quien tenga correcto dominio de sus principios básicos tiene cubierto un amplio abanico de aplicaciones en diversas áreas de la ciencia y tecnología.

El laboratorio del Departamento Aeronáutica de la FCEFYN dispone de equipamiento especialmente desarrollado para la enseñanza de la mecánica de los fluidos. Este incluye varios túneles de viento, túneles para visualización de flujos, un túnel hidrodinámico, banco para ensayos de ventiladores, banco para análisis de pérdidas de carga e instrumental de medición. Usando dichos equipos se realizan las prácticas de laboratorio mediante la ejecución de experiencias básicas, visualizaciones de flujo y mediciones fluidas, a fin de que los alumnos adquieran competencias, habilidades y destrezas.

Contenidos

Unidad 1: Propiedades de los fluidos

1.1 Características físicas del estado fluido de la materia.

1.2 El modelo molecular y el modelo continuo de la materia.

1.3 Propiedades de los fluidos: densidad, tensión superficial, módulo volumétrico, compresibilidad en el movimiento de los fluidos.

1.4 La ley de Newton de la viscosidad, viscosidad dinámica y cinemática, influencia de la temperatura y la presión.

1.5 Tipos de fluidos, fluidos no newtonianos.

1.6 Clasificación de los movimientos fluidos, viscosos, no viscosos, laminares, turbulentos, compresible, incompresible, 1D, 2D y 3D

Unidad 2: Cinemática elemental del movimiento fluido

- 2.1 Campo de velocidades, flujo en una, dos y tres dimensiones.
- 2.2 Formas de representación de los movimientos fluidos, sus relaciones. Formulación Lagrangiana y Euleriana, derivada material.
- 2.3 Aceleración de una partícula fluida. Cinemática diferencial, divergencia y vorticidad, velocidad angular.
- 2.4 Definiciones cinemáticas, líneas de corriente, trayectoria y traza. Superficies de corriente y de traza, sus relaciones, movimiento estacionario, sistema de referencia y forma del movimiento.
- 2.4 Caudal en volumen, en masa y en peso.
- 2.5 Condiciones cinemáticas en el contorno

Unidad 3: Ecuaciones de conservación aplicadas a volumen de control

- 3.1 Sistema y volumen de control.
- 3.2 Teorema del transporte de Reynolds.
- 3.3 Propiedades extensivas e intensivas.
- 3.4 Forma integral del principio de conservación de la masa.
- 3.5 Forma integral del principio de conservación de la cantidad de movimiento, volumen de control inercial y no inercial.
- 3.6 Forma integral del principio de conservación del momento angular, volumen de control inercial y no inercial
- 3.7 Forma integral del principio de conservación de la energía, factor de corrección de energía cinética.
- 3.8 Expresiones particulares de la ecuación de la energía, movimiento estacionario. Aplicación a flujo incompresible, línea de nivel de energía y línea de gradiente hidráulico.

Unidad 4: Análisis diferencial del movimiento fluido

- 4.1 Principio de conservación de la masa, ecuación de la continuidad.
- 4.2 Equilibrio de tensiones en un volumen diferencial. Tensor de tensiones, propiedades.
- 4.3 Conservación de la cantidad de movimiento en forma diferencial.
- 4.4 Ecuación de variación del teorema del momento cinético.
- 4.5 Ecuaciones constitutivas, ley de Newton de la viscosidad.
- 4.6 Hipótesis de Stokes.
- 4.7 Ecuaciones de Navier-Stokes, de Euler y de Navier –Stokes bajo la forma de Helmholtz.
- 4.8 Solución de Hagen Poiseuille para flujo completamente desarrollado. Solución de Couette para flujo entre 2 placas.

Unidad 5: Análisis dimensional y semejanza

- 5.1 Naturaleza del análisis dimensional
- 5.2 Teorema π de Buckingham
- 5.3 Determinación de los grupos π
- 5.4 Grupos adimensionales de importancia en la Mecánica de los Fluidos.
- 5.5 Similitud de propiedades y de flujos, estudios de modelos.
- 5.5 Similitud completa e incompleta.

Unidad 6: Flujo potencial

- 6.1 Movimiento rotacional y vorticidad. Circulación. Teorema de Stokes aplicado a la circulación.
- 6.2 Movimiento irrotacional o potencial.
- 6.3 Condición de permanencia de la irrotacionalidad.
- 6.4 Integración de la ecuación de Euler a lo largo de una línea de corriente.
- 6.5 Energía en el movimiento de los flujos ideales, ecuación de Bernoulli, campo isoenergético.
- 6.6 Variación de la presión en dirección normal a la corriente.
- 6.7 Conceptos complementarios asociados con la ecuación de Bernoulli.
- 6.8 Función de corriente, propiedades.
- 6.9 Función potencial y función de corriente. Relación entre ambas para un flujo incompresible ideal.
- 6.10 Soluciones elementales: movimiento uniforme, fuente, pozo y doblete. Principio de superposición.
- 6.11 Métodos para la resolución de movimientos bidimensionales. Cuerpo semi-infinito de Rankine y óvalo de Rankine.
- 6.12 Cilindro circular en una corriente uniforme sin y con circulación.
- 6.13 Teorema de Kutta-Joukowski, paradoja de D'Alembert, condición de Joukowski
- 6.14 Aplicaciones de ingeniería

Unidad 7: Flujo externo incompresible viscoso

- 7.1 Concepto de capa límite, análisis de orden de magnitud.
- 7.2 Ecuaciones de movimiento en la capa límite, análisis de Prandtl. Ecuaciones de Prandtl de la capa límite
- 7.3 Parámetros característicos de capa límite, espesor geométrico, espesor de desplazamiento, espesor de cantidad de movimiento
- 7.4 Solución de Blasius de la capa límite laminar sin gradiente de presión.
- 7.5 Ecuación de Von Karman de balance de cantidad de movimiento, aplicaciones a una placa plana.
- 7.6 Resistencia de fricción en la capa límite laminar y turbulenta, coeficiente de fricción para la placa plana.
- 7.7 Efectos del gradiente de presión, transición y separación.
- 7.8 Origen de la resistencia fluidodinámica, resistencia de fricción y de presión.
- 7.9 Flujo real alrededor de un cilindro circular y de una esfera, regímenes de flujo, efecto de la turbulencia y la rugosidad sobre la transición y la separación, vórtices de Von Karman.
- 7.10 Resistencia de cuerpos bi y tridimensionales.
- 7.11 Control de la transición y separación, generadores de vórtices.

Unidad 8: Flujo interno incompresible viscoso

- 8.1 Experiencia de Reynolds, régimen de flujo laminar y turbulento.
- 8.2 Introducción a la turbulencia Ecuaciones de movimiento con promedio de Reynolds. Tensiones de Reynolds.
- 8.3 Perfiles turbulentos de velocidad. Longitud de mezcla. ley de pared
- 8.4 Movimiento cuasi unidimensional en conductos. Ecuación de la energía para flujo desarrollado
- 8.5 Pérdidas de energía, factor de fricción de Darcy. Diagrama de Moody
- 8.6 Movimiento laminar en conductos, parámetros característicos. Longitud de entrada. Flujo completamente desarrollado
- 8.7 Movimiento turbulento en conductos, parámetros característicos.
- 8.8 Solución de problemas de flujo en conductos. Pérdidas primarias y secundarias. Cálculo de accesorios.

Metodología de enseñanza

La asignatura parte del precepto de que el alumno es la parte activa en el proceso de aprendizaje, y que el rol del profesor es como facilitador de dicho proceso. Teniendo en cuenta lo anterior, el enfoque dado a la asignatura es el desarrollo de clases teórico-prácticas, desarrollo de casos de estudio o problemas de diseño, resolución de problemas y actividades de laboratorio.

Los alumnos abordarán de forma individual y grupal la resolución de diversos tipos de problemas, así como experiencias en laboratorio. La cátedra ofrece una guía de problemas con diferentes grados de complejidad y que a su vez involucran diversos contextos de interés. Se espera que, mediante la práctica continua, el alumno logre afianzar los diferentes conceptos introducidos a lo largo del curso. Además, se propone desarrollar un trabajo final de diseño o caso de estudio, el cual ofrece una instancia de aplicación, en un contexto más acorde a la realidad, de diversas técnicas y herramientas de análisis,

En forma complementaria al dictado de clases presenciales, en el campus virtual de la FCFEYN, la cátedra pone a disposición de los alumnos material escrito (cuestionarios, apuntes de clase, casos de estudio, problemas resueltos, guía de ejercicios, etc) y audiovisual (videos didácticos y clases grabadas) que le ayudarán a desarrollar los distintos contenidos del curso.

Se espera por parte del alumno una asistencia regular a clase y participación activa en las mismas, así la clase no será un espacio en el que el alumno sólo será un receptor pasivo de información, sino que existirá, en la medida de lo posible, una retroalimentación. No obstante, para que esto ocurra, el alumno deberá procurar una revisión exhaustiva del material recomendado y de ser necesario asistir a los horarios de consulta que la cátedra ofrecerá (bien sean presenciales o virtuales).

Evaluación

La asignatura posee un sistema de evaluación comprendido por evaluaciones parciales, trabajo grupal (Casos de Estudio), trabajo de Laboratorio y coloquio final integrador. Se realiza tanto la evaluación de contenidos conceptuales como actitudinales y procedimentales.

Evaluaciones parciales

Se tomarán evaluaciones parciales durante el dictado de la asignatura, las cuales consistirán en parciales del tipo teórico - prácticos cuyos contenidos se corresponderá con el contenido del programa analítico y con las actividades desarrolladas por la asignatura durante su dictado.

Las evaluaciones parciales se tomarán durante los horarios de clase, las fechas se fijarán dentro del período especificado en el calendario académico del respectivo semestre.

La nota mínima de aprobación de cada uno de los mismos es cuatro (4), lo cual se corresponde con el sesenta por ciento (60 %) del contenido de cada evaluación.

El alumno tendrá la posibilidad de recuperar una (1) evaluación parcial, cuya nota reemplazará al aplazo o inasistencia que dio origen a la recuperación.

Trabajo grupal de Casos de Estudio o de Diseño

Se conformarán grupos de trabajo (hasta 3 personas) para desarrollar un caso de estudio, que consiste en un problema de ingeniería real de mayor complejidad que los ejercicios de clase, que deberá ser modelizado matemáticamente y resuelto.

El trabajo grupal deberá ser presentado por escrito y defendido por sus integrantes en una presentación oral en el coloquio final. El informe técnico escrito deberá contemplar los siguientes ítems; marco teórico, metodología, resultados, conclusiones y bibliografía.

Coloquio final integrador

El coloquio final integrador consistirá en una evaluación individual de la asignatura mediante el diálogo entre los profesores y el alumno, en el marco teórico-práctico de los temas abordados en el desarrollo de las actividades programadas durante el dictado de la asignatura y además se hará una breve defensa del trabajo grupal.

Práctico de Laboratorio

Consiste en el desarrollo de experiencias en el Laboratorio de Aeronáutica donde se toman mediciones experimentales de diferentes sistemas fluidos, con el fin de determinar alguna característica de la instalación o variable del flujo. Luego los alumnos ya sea de forma individual o grupal, presentan un informe con los cálculos basados en las mediciones realizadas y las conclusiones obtenidas.

Condiciones de aprobación

La aprobación de la asignatura puede efectuarse por la vía de la promoción (sin examen final) o mediante examen final.

Aprobación por promoción

Las condiciones para aprobación por promoción de la asignatura son:

1. Asistir como mínimo al 80 % de las clases, tanto teóricas como prácticas.
2. Aprobar con nota no inferior a 4 (cuatro), todos y cada uno de los temas de los exámenes parciales.
3. Aprobar el práctico de Laboratorio.
4. Presentar y aprobar el trabajo grupal (caso de estudio), con nota no inferior a 4 (cuatro).
5. Aprobar el coloquio final integrador con nota no inferior a 4 (cuatro).

La nota final de la asignatura resultará de considerar las notas de las evaluaciones parciales, trabajos grupales y el coloquio final integrador.

La nota final (NF) se calculará como:

$$NF = 0.5 * NP + 0.25 * NIE + 0.25 * NC$$

donde NP: nota de los parciales; NIE: nota del informe escrito de la monografía del caso de estudio (de carácter grupal); NC: nota del coloquio oral, incluyendo la defensa del TIG de carácter individual.

Alumno Regular

Los alumnos que únicamente hayan cumplido con la aprobación del 50 % de las evaluaciones parciales, la aprobación del trabajo de Laboratorio y tengan una asistencia del 80 % a las clases quedarán en la condición de Alumno Regular.

Régimen de examen final

El examen final será de carácter público y sobre el programa vigente de la asignatura.

El examen en su faz metodológica consta de una parte teórica y una práctica, siendo cualquiera de las dos eliminatoria. Se tomará un examen práctico con dos (2) o tres (3) ejercicios similares a los de la guía de la cátedra y un examen teórico oral o escrito con preguntas a desarrollar.

Para el caso de alumnos libres, el examen final consta de dos (2) partes, una práctica y otra teórica, siendo eliminatoria cualquiera de ellas; la parte práctica será tomada de forma escrita y la teórica de forma oral.

El examen práctico consistirá esencialmente en la resolución de problemas de carácter teórico o práctico; durante el mismo los alumnos podrán hacer uso de cualquier bibliografía impresa autorizada por la cátedra.

Para el examen teórico, el tribunal examinador seleccionará tres (3) temas, de forma aleatoria, del programa oficial vigente para la evaluación del alumno.

Al comienzo del examen teórico los alumnos dispondrán de quince (15) minutos para consultar la bibliografía antes de comenzar el examen. Durante ese período podrán realizar anotaciones que consideren necesarias en una única hoja habilitada por el tribunal.

El alumno expondrá entre 20 (veinte) y 40 (cuarenta) minutos por tema y, luego de cada exposición, responderá a preguntas del Tribunal. No se permitirá la utilización de bibliografía durante el examen teórico.

Actividades prácticas y de laboratorio

El laboratorio de Aeronáutica cuenta con varios equipos por ejemplo; un banco de ensayo de pérdida de carga, túnel de viento de cámara abierta, túnel supersónico, etc. Dichas instalaciones permiten la realización de diversas experiencias didácticas de laboratorio, donde se toman mediciones de presión y caudal y con éstas se obtienen características del flujo, de cuerpos o de los componentes de la tubería. Las experiencias se desarrollan con los docentes guiando la operación de ensayo y los dispositivos involucrados. Posteriormente los alumnos y alumnas realizan un análisis de las mediciones y realizan cálculos de aplicación, para luego plasmarlos en un breve informe manuscrito.

El Trabajo Grupal de Caso de Estudio consiste en un problema similar a un caso real propuesto por la cátedra. Cada grupo deberá elegir un caso de estudio de una lista provista por la cátedra y luego deberá elegir y desarrollar un modelo matemático para resolverlo. Su solución podrá requerir además la búsqueda de información complementaria y el uso de herramientas numéricas para la solución de las ecuaciones de gobierno y la generación de gráficos de análisis.

Desagregado de competencias y resultados de aprendizaje

Los resultados del aprendizaje esperados concernientes a las capacidades para las cuales aporta la asignatura, con respecto a competencias genéricas:

CG 1. Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

RA1. Aplicar un modelo matemático o experimental dado para resolver un problema de mecánica de fluidos.

RA2. Identificar el alcance y limitaciones de los modelos físico-matemáticos elegidos para un problema dado.

RA3. Emplear soluciones numéricas para obtener soluciones a problemas de flujos internos y externos

RA4. Interpretar resultados numéricos asociados a procesos de flujos.

RA5. Interpretar ábacos y tablas de datos de accesorios y tuberías.

RA6. Interpretar ábacos y tablas de datos de coeficientes aerodinámicos.

CG 2. Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).

RA7. Aplicar las leyes de conservación que gobiernan los procesos de flujos en las aplicaciones de ingeniería.

RA8. Identificar las características de los distintos tipos de accesorios de tuberías para determinar su efecto en la pérdida de carga.

CG3. Competencia para gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).

RA7. Aplicar las leyes de conservación que gobiernan los procesos de flujos en las aplicaciones de ingeniería.

RA9. Controlar resultados y evaluar resultados de analíticos y experimentales empleando análisis dimensional.

RA10. Elaborar un informe técnico detallado de la resolución de un caso de análisis para que los resultados sean verificables y sus conclusiones aplicables a futuras mejoras.

CG 7. Competencia para comunicarse con efectividad.

RA10. Elaborar un informe técnico detallado de la resolución de un caso de análisis para que los resultados sean verificables y sus conclusiones aplicables a futuras mejoras

RA11. Exponer oralmente de manera efectiva el proceso de solución de un problema complejo.

RA12. Exponer de manera clara y concisa la solución de los ejercicios para que su resultado pueda ser verificado

Con respecto a competencias específicas:

CE1 C. Competencia para calcular, diseñar y proyectar aerodinámica de vehículos en flujo incompresible y compresible.

RAE1. Ser capaz de elegir y usar las leyes de conservación adecuadas para fundamentar el cálculo aerodinámico en flujo incompresible.

CE1 D. Competencia para analizar la performance, la operación en distintas condiciones y todo lo referente a la mecánica de vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

RAE2. Considerar los efectos de aerodinámicos en flujo incompresible en el análisis de performance, la operación en distintas condiciones y todo lo referente a la mecánica de vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

CE1 E. Competencia para calcular, diseñar, proyectar y construir plantas de propulsoras principales y auxiliares, motores alternativos, reacción, cohetes, compresores, cámaras de combustión, turbinas, hélices de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

RAE2. Capacidad de elegir y emplear las leyes de conservación adecuadas para el cálculo y diseño de plantas propulsoras, motores alternativos, hélices de aeronaves y vehículos que vuelen en régimen incompresible.

CE1 F. Competencia para calcular y diseñar los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

RAE3. Capacidad de interpretar y resolver cálculos en líneas de tuberías que transporten fluido incompresible incluidas en sistemas mecánicos de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE1 I. Competencia para diseñar, proyectar y ensayar los principales parámetros pertinentes a laboratorios de ensayos y calibraciones de equipos de aplicados a las aeronaves vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

RAE4. Capacidad de proponer formas de medición de fluidos para flujos incompresibles en laboratorios de ensayos para sistemas de aeronaves.

CE3A. Competencia para certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo

RAE5. Capacidad de reconocer la influencia de modificaciones superficiales en la estructura externa de una aeronave que pueda perjudicar la condición de uso o estado de forma irreversible. Considerando condiciones de flujo incompresible y subsónico bajo.

Bibliografía

Bibliografía obligatoria

- (1) White, Frank M. (2008). Mecánica de fluidos. 6a ed. Madrid: McGraw-Hill. ISBN 9788448166038.
- (2) Fox R., McDonald A. (1995). Introducción a la mecánica de fluidos. México: McGraw-Hill.
- (3) Munson B., Rothmayer A, Okiishi T., Huebsch W. (2013). Fundamentals of Fluid Mechanics . United States of America: 7 ed. John Wiley & Sons, Inc. .
- (4) Guía de ejercicios de la cátedra.
- (5) Potter M., Wiggert D. , Ramadan, Bassem H. (2015). Mecánica de Fluidos 4ta Ed. Thompson.
- (6) Schetz J. (2011). Boundary Layer Analysis, 2 Ed. AIAA Education Series. eISBN: 978-1-60086-824-5.
- (7) Schlichting H., Gersten H. (2017). Boundary-Layer Theory 2 Ed. Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-662-52917-1
- (8) Çengen Y., Cimbala J. (2014). Fluid Mechanics 3rd ed. McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-338032-2
- (9) National Committee for Fluid Mechanics Films. <http://web.mit.edu/hml/ncfmf.html>
- (10) Batchelor, George Keith (1970). An introduction to fluid dynamics, Cambridge, GB. University Press.