

Asignatura: **Dinámica de los Gases 1**

Código: 10-09308

RTF

7

Semestre: 7

Carga Horaria

72 hs

Bloque: Tec. Básicas

Horas de Práctica

4 hs

Departamento: Ingeniería Aeronáutica

Correlativas:

- Mecánica de los Fluidos

Contenido Sintético:

- Conceptos básicos y ecuaciones fundamentales de los fluidos compresibles.
- Onda de choque recta y tratamiento unidimensional de la dinámica de los gases.
- Flujo compresible con simple cambio de área. Efusores y difusores.
- Flujo adiabático con fricción en conducto de área constante.
- Flujo en conductos con únicamente cambios en la temperatura de estancamiento.
- Análisis unidimensional de flujos más complejos.
- Elementos de la teoría de características
- Flujo unidimensional inestacionario.
- Soluciones del movimiento supersónico bidimensional estacionario.

Competencias Genéricas:

- CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- CG2: Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).
- CG3: Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos).
- CG7: Comunicarse con efectividad.

Aprobado por HCD: 918-HCD-2023

RES: Fecha: 8/11/2023

### Competencias Específicas:

CE1 C: Calcular, diseñar y proyectar aerodinámica de vehículos en flujo incompresible y compresible.

CE1 D: 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: Calcular, diseñar, proyectar y construir plantas de propulsión 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: Calcular y diseñar los diferentes sistemas mecánicos y elementos de máquinas aplicados a las aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

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

CE2 A: Proyectar, dirigir y controlar la construcción, operación y mantenimiento de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

CE3 A: Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado y aptitud para el vuelo de aeronaves, vehículos espaciales y toda máquina de vuelo.

## Presentación

Dinámica de los Gases 1 es una asignatura que pertenece al cuarto año (séptimo cuatrimestre) de la carrera de Ingeniería Aeronáutica y forma parte del bloque de Tecnologías Básicas. Esta es la última materia obligatoria que incluye temas requeridos relacionados con el estudio de la Mecánica de Fluidos. Para inscribirse, el estudiante debe haber aprobado previamente el curso de Mecánica de Fluidos, y también se recomienda haber cursado Análisis Matemático III.

El curso se compone de dos partes. La primera presenta los fundamentos físicos para el flujo de gases compresibles estacionarios unidimensionales y estacionarios, es decir, las ecuaciones resultantes dependen solo de una variable independiente. En esta etapa se consideran los efectos de la variación de área en la longitud de los conductos, la fricción y la inyección o extracción de calor. En la segunda parte, se desarrollan los conceptos para flujos compresibles más complejos, como el flujo unidimensional no estacionario y el flujo bidimensional estacionario. En estos flujos, las ecuaciones tienen dos variables independientes.

Ambas partes de este curso presentan aplicaciones a casos característicos como flujos de gas en conductos, túneles de viento, toberas, difusores y perfiles alares. También se lleva a cabo una actividad de laboratorio en el túnel de viento supersónico, que permite reforzar los conceptos teóricos aprendidos.

El objetivo de este curso es presentar los conceptos físicos fundamentales, la estructura teórica matemática y los métodos analíticos necesarios para describir el comportamiento de los gases en aplicaciones de flujo compresible interno y externo. El objetivo es capacitar a los estudiantes para resolver problemas prácticos en los que la compresibilidad del gas es decisiva para encontrar la solución. Por otro lado, se desea proporcionar al estudiante un nivel de formación que facilite su incorporación en grupos de trabajo dedicados a la investigación y aplicación industrial en áreas especializadas como el diseño de toberas, difusores, perfiles alares supersónicos, flujo en conductos, etc.

## Contenidos

### Unidad 1: CONCEPTOS BÁSICOS Y ECUACIONES DEL FLUIDO COMPRESIBLE.

Revisión de conceptos termodinámicos. Efectos de la compresibilidad del fluido. Naturaleza diferente del movimiento subsónico y supersónico. Cono de Mach. Ecuaciones Fundamentales. Consideraciones energéticas. Campo de movimiento isoentrópico. Relaciones entre condiciones estáticas y de estancamiento. Valores críticos. Ley de las áreas. Fórmulas del caudal másico. Aplicación al caudalímetro. Velocidades reducidas y diferentes conceptos del número de Mach.

### Unidad 2: ONDA DE CHOQUE RECTA.

Formación de ondas de choque. Relaciones entre los parámetros físicos a través del choque recto. Representación de la onda de choque en el diagrama (h,s). Curvas de Fanno y Rayleigh. Choques débiles y fuertes. La onda de choque con cambios de la temperatura de estancamiento.

### Unidad 3: FLUJO COMPRESIBLE CON SIMPLE CAMBIO DE ÁREA.

Funcionamiento de toberas convergentes y Laval ideales. Representación en el diagrama (h,s). Cálculo del empuje. Funcionamiento de toberas expandidas incorrectamente. Efecto sobre el empuje. Coeficientes de corrección aplicables al flujo de un fluido real. Flujo en difusores, Representación en el plano (h,s). Arranque de un difusor supersónico. Concepto de segunda garganta. Entrada de aire a los aerorreactores. Regímenes crítico, subcrítico y supercrítico.

### Unidad 4: FLUJO ADIABÁTICO CON FRICCIÓN EN CONDUCTO DE ÁREA CONSTANTE.

Ecuaciones y definiciones aplicables al movimiento de un gas perfecto en un conducto adiabático. Representación en el diagrama (h,s). Fórmulas de utilización práctica. El efecto de la fricción sobre los parámetros del fluido. Longitudes límites. Regímenes de funcionamiento en función de las condiciones de entrada al conducto y la presión de descarga.

### Unidad 5: FLUJO EN CONDUCTOS CON ÚNICAMENTE CAMBIOS EN LA TEMPERATURA DE ESTANCAMIENTO.

Ecuaciones y definiciones aplicables al movimiento de un gas perfecto. Representación en el diagrama (h,s). Fórmulas de utilización práctica. El efecto del cambio de la temperatura de estancamiento sobre las propiedades del fluido. Valores límites de calentamiento (o enfriamiento) de la corriente gaseosa. Factor de recuperación.

### Unidad 6: ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL DE FLUJOS MÁS COMPLEJOS.

Expresiones logarítmicas diferenciales de las leyes de conservación. Selección de variables independientes y dependientes. Solución formal del sistema de ecuaciones resultante. Determinación de los coeficientes de influencia. Simplificaciones derivadas de la suposición de calores específicos y peso molecular constantes. Aplicación de los coeficientes de influencia a la solución de flujos con efectos combinados.

### Unidad 7: ELEMENTOS DE LA TEORÍA DE LAS CARACTERÍSTICAS.

Definición y obtención de las ecuaciones características en sistemas de ecuaciones diferenciales a derivadas parciales. Ejemplos de aplicación. Propiedades de las curvas características: región determinada, de dependencia y de influencia. Correspondencia entre el plano físico y el de las funciones. Método numérico para la solución del movimiento de fluidos aplicando características.

### Unidad 8: SOLUCIONES DEL MOVIMIENTO SUPERSÓNICO BIDIMENSIONAL.

Diseño de difusores supersónicos. Choque oblicuo. Reflexión e interacción de ondas. Análisis de perfiles alares supersónicos. La descarga de un chorro supersónico. Descripción de los diversos regímenes.

### Unidad 9: FLUJO UNIDIMENSIONAL INESTACIONARIO.

Ecuaciones de conservación. Características y ondas continuas en el plano físico y su correspondencia en el plano de las funciones. Ondas continuas. Operaciones unitarias: intersección de ondas, reflexión desde un extremo cerrado o móvil de un conducto y desde un extremo abierto. Discontinuidades de contacto. Ondas de choque móviles. Reflexión del

choque desde un extremo cerrado y desde un ambiente de presión constante. Intersección de ondas de choque móviles. Interacción de discontinuidades con ondas continuas.

## Metodología de enseñanza

El desarrollo general de la materia se basa en clases teórico-prácticas. Por ello las estrategias de enseñanza que hemos seleccionado para llevar adelante nuestra propuesta son: exposición dialogada, resolución de problemas y estudio de casos.

Cada unidad se desarrollará a partir de un material bibliográfico que incluye los tres libros de la cátedra y artículos científicos producidos por los docentes en los últimos años. A su vez se ofrecerán trabajos prácticos que favorezcan el proceso de lectura y análisis del contenido. En la etapa final del curso se realizará una actividad de formación práctica en el Laboratorio de Aeronáutica de la FCEFyN orientado a analizar la performance y la operación en distintas condiciones de flujo de un túnel de viento supersónico.

## Evaluación

El sistema de evaluación está diseñado de tal manera que el estudiante demuestre haber adquirido los conocimientos básicos necesarios sobre todos los temas fundamentales de la asignatura. Este sistema consta de dos exámenes teórico-prácticos escritos a lo largo del semestre, una actividad práctica y un coloquio oral final.

Las evaluaciones teórico-prácticas escritas deben resolverse de forma individual. Cada una de ellas incluye al menos tres ejercicios prácticos y un conjunto de preguntas conceptuales. Para llevar a cabo la evaluación de la parte práctica, los estudiantes pueden utilizar libros, manuales, apuntes y el material didáctico de la asignatura. Solo se puede volver a realizar una de estas evaluaciones como examen sustitutorio.

Al final del semestre, se realizará un examen integrador sobre el contenido general del curso para aquellos estudiantes que no hayan tenido un desempeño sobresaliente en las dos evaluaciones escritas y la actividad práctica.

## Condiciones de aprobación

Requisitos para aprobar la materia por promoción:

- 80% de asistencia.
- Aprobación del 100% de las evaluaciones parciales, incluida la instancia de recuperación sobre una de ellas.
- Aprobación de la actividad práctica propuesta.
- Aprobación del examen integrador.

La calificación final se obtendrá a través del siguiente polinomio:

$$\text{CALIFICACIÓN} = (P1 + P2 + AP)/3 + EI$$

Donde:

P1: Es la calificación del primer parcial; P2: es la calificación del segundo parcial; AP: es la calificación de la actividad práctica; EI: es la calificación del examen integrador.

Requisitos para alcanzar la regularidad.

- 80% de asistencia.
- Aprobación del 100% de las evaluaciones parciales, incluida instancia de recuperación sobre una de ellas.
- Aprobación del 100% de las actividades prácticas propuestas.

## Actividades prácticas y de laboratorio

Ensayo de visualización de flujo supersónico en túnel de viento. El Laboratorio de Ingeniería Aeronáutica Teobaldo Luis Aguirre de la FCEFyN (UNC) cuenta con un túnel supersónico con sistema de visualización Schlieren. Este es un túnel de uso educativo que fue diseñado y construido por profesores y estudiantes del Departamento de Aeronáutica de la UNC. En este túnel es posible llevar a cabo visualizaciones de flujo supersónico, ya que cuenta con una cámara de prueba de 15 mm x 45 mm x 55 mm, pudiéndose alcanzar hasta Mach 1.9. Los estudiantes, luego de la visita al Laboratorio, presentarán un informe escrito sobre los experimentos desarrollados.

En caso de no poderse realizar el ensayo de túnel, la Cátedra dispondrá como alternativa de actividad práctica una presentación oral sobre un tema de interés en ingeniería aeroespacial. Esta será una actividad grupal donde cada grupo de trabajo, compuesto por un máximo de tres estudiantes, deberá realizar una presentación de 15 minutos ante sus compañeros y los docentes de la cátedra sobre un tema de su elección. El tema podrá ser basado en un paper publicado en revista científica o de divulgación, libros, vídeos o cualquier fuente de información que los estudiantes consideren pertinentes. Los docentes podrán ser consultados durante la preparación de la presentación oral.

## Desagregado de competencias y resultados de aprendizaje

La tendencia actual en la educación superior es brindar a los estudiantes habilidades que les permitan desarrollar la aplicación del conocimiento adquirido. El estudio de la dinámica de gases permite al estudiante calcular, diseñar, proyectar y analizar el rendimiento y la operación en diferentes condiciones de aeronaves y vehículos espaciales, así como plantas de propulsión a chorro, cámaras de combustión, compresores, motores de combustión interna, turbinas de gas y hélices en general.

### 1. COMPETENCIA PARA IDENTIFICAR, FORMULAR Y RESOLVER PROBLEMAS DE INGENIERÍA

- Ser capaz de evaluar el contexto particular del problema de dinámica de gases e incluirlo en el análisis.
- Ser capaz de delimitar el problema de dinámica de fluidos compresibles y formularlo de manera clara y precisa.
- Ser capaz de desarrollar criterios profesionales para la evaluación de las alternativas y seleccionar la más adecuada en el contexto particular de la mecánica de fluidos compresibles.
- Ser capaz de optimizar la selección y uso de los materiales y/o dispositivos tecnológicos disponibles en un problema de flujo compresible.
- Ser capaz de elaborar informes, planos, especificaciones y comunicar recomendaciones.
- Ser capaz de monitorear, evaluar y ajustar el proceso de resolución del problema.

## 2. COMPETENCIA PARA CONCEBIR, DISEÑAR Y DESARROLLAR PROYECTOS DE INGENIERÍA (SISTEMAS, COMPONENTES, PRODUCTOS O PROCESOS)

- Ser capaz de relevar las necesidades de un proyecto de dinámica de fluidos compresibles y traducirlas a entes mensurables.
- Ser capaz de seleccionar, especificar y usar los enfoques, técnicas, herramientas y procesos de diseño adecuados al proyecto que incluye la mecánica de fluidos, sus metas, requerimientos y restricciones.

## 3. COMPETENCIA PARA GESTIONAR -PLANIFICAR, EJECUTAR Y CONTROLAR- PROYECTOS DE INGENIERÍA (SISTEMAS, COMPONENTES, PRODUCTOS O PROCESOS)

- Ser capaz de operar, inspeccionar y evaluar la marcha de proyectos de ingeniería aeronáutica verificando el cumplimiento de objetivos y metas.

## 7. COMPETENCIA PARA COMUNICARSE CON EFECTIVIDAD

- Ser capaz de comunicar eficazmente problemáticas relacionadas al manejo de fluidos compresibles, a personas ajenas a la Ingeniería Aeronáutica.
- Capacidad para producir e interpretar textos técnicos (memorias, informes, etc.) y presentaciones públicas.

## Bibliografía

### Libros:

J. Tamagno, W. Schulz, S. Elaskar (2008), "Dinámica de los Gases. Flujo Unidimensional Estacionario." Topics in Applied and Computational Mechanics, Asociación Argentina de Mecánica Computacional (AMCA). Ed. Universitas, Córdoba.

J. Tamagno, G. Cid, S. Elaskar, W. Schulz (2013), "Aplicaciones de la Dinámica de los Gases a Flujos Inestacionarios y Supersónicos." Ed. Universitas, Córdoba.

G. Cid, W. Schulz, S. Elaskar (2022), "Libro de ejercicios prácticos de Dinámica de los Gases I" Serie Aeronáutica. Ed. Universitas, Córdoba.

### Papers:

D. Lorenzón, S. Elaskar (2015), "Simulación de flujos supersónicos bidimensionales y axialmente simétricos con OpenFOAM". Revista de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, vol. 2, no. 2, pp. 65-76.

L. Gutiérrez Marcantoni, J. Tamagno, S. Elaskar (2015), "Assessment of openFOAMsolvers in aerospace applications". First Pan American Congresses on Computational Mechanics - PANACM 2015, Buenos Aires, 27-29 April, 2015.

C. Paccioletti, A. Nasca, J. García, L. Gutiérrez Marcantoni (2017), "Diseño y construcción de un túnel de viento supersónico para aplicaciones didácticas". In Proceedings of the CATE - IX Congreso Argentino de Tecnología Espacial, Córdoba.

M. Dagaró, D. Lorenzón, J. García (2018), "Diseño y Construcción de un Túnel de Viento Supersónico Bidimensional". V Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica (CAIA 2018),



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC, Córdoba.

M. Dagaro, L. Peralta, G. Ludueña, D. Lorenzon, J. García, Á. Galeasso, J. Bustamante (2019), "Diseño y Construcción de un Túnel de Viento Supersónico Bidimensional con Sistema de Visualización Schlieren". Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 6, No. 2. pp. 35-40.

D. Lorenzón, S. Elaskar (2019) "Open FOAM simulations of the supersonic flow around cones at angles of attack". Journal of Mechanical and Civil Engineering. Vol 16, No. 5, pp. 66-80.

L. Gutiérrez Marcantoni, S. Elaskar, J. Tamagno, J. Saldía, D. Lorenzón (2020), "Estudio numérico de la generación, propagación e interacción con paredes de ondas explosivas". 2020 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2020, Resistencia, Septiembre 2020. Publicado en IEEE Xplore.

L. Monaldi, S. Elaskar (2020), "Análisis del flujo alrededor de un perfil diamante en régimen supersónico mediante ANSYS Fluent". 2020 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2020, 2020, Resistencia, Septiembre 2020. Publicado en IEEE Xplore.

M. Frías, S. Elaskar (2021), "Estudio sobre explosiones fuertes". Mecánica Computacional. Vol 38, pp. 83-92.

L. Marcantoni, S. Elaskar, J. Tamagno (2022), "Simulación mediante OpenFOAM de la reflexión de ondas de choque en superficies sólidas curvas". 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), San Juan, Septiembre 2022. Publicado en IEEE Xplore.

J. Tamagno, L. Monaldi, S. Elaskar, L. Marcantoni (2022), "Consideraciones sobre la variación de la entalpía en la dinámica de los gases estacionaria e inestacionaria." 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), San Juan, Septiembre 2022. Publicado en IEEE Xplore.

L. Monaldi, L. Gutiérrez, S. Elaskar (2022), "Shock wave reflection in unsteady flow". Symmetry, Vol. 14(10), 2048; <https://doi.org/10.3390/sym14102048>.