

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE

FACULTAD DE INGENIERÍA
Secretaría de Posgrado

Doctorado en Ingeniería

Denominación del Curso: Fluidodinámica Computacional

Docentes a cargo*: Ricardo A. Prado 1972

* Adjuntar Curriculum Vitae del profesor coordinador

Modalidad: Presencial

Carga Horaria Total: 90

(Horas netas en el aula)

Régimen: (cuatrimestral, intensivo, encuentros periódicos)

cuatrimestral

Fecha tentativa de dictado:

entre el 15 marzo 2023 y el 30 de junio de 2023

Apoyo técnico requerido para el dictado del curso:

Laptop y proyector.

Condiciones de admisibilidad:

Dirigido a: Graduados de Ingeniería que hayan aprobado en sus carreras cursos de Mecánica de los fluidos (o materias afines) y manejen algún programa o lenguaje de cómputo (Scilab, Matlab, Mathematica, etc.).

- **Fundamentación:**

La formación en técnicas numéricas de resolución de las ecuaciones diferenciales del movimiento de fluidos es relevante, entre otros aspectos, para comprender el funcionamiento de los programas comerciales y no comerciales, abiertos o cerrados, que actualmente se encuentran disponibles para la resolución computacional de problemas fluidodinámicos.

La utilización de técnicas numéricas para la predicción de flujos internos y externos ha crecido dramáticamente en las últimas décadas, tanto en el ámbito académico y de investigación como en el de la industria, acompañado por el uso de programas de cómputo tanto comerciales como no, en esos diferentes ámbitos. Si bien estos programas son extremadamente útiles, requieren también de un grado de capacidad y entendimiento por parte de los usuarios con el fin de obtener resultados realistas, en especial si se trata de casos que involucran flujos complejos.

Con el fin de alcanzar estos objetivos se intenta proveer de los fundamentos bajo los cuales son diseñados los algoritmos con los cuales se construyen los códigos computacionales y finalmente se basan las soluciones calculadas mediante el uso de las técnicas numéricas.

Por lo expuesto, se propone el presente curso basado en la resolución numérica de problemas fluidodinámicos, orientado a graduados de Ingeniería con conocimientos básicos de mecánica de los fluidos (o de materias equivalentes).

- **Objetivos**

El objetivo es la formación conceptual del estudiante en aspectos formales de la formulación de modelos discretos en problemas de la mecánica de los fluidos, empleando diferencias finitas y volúmenes finitos. Se intenta proveer los fundamentos teóricos requeridos para el uso efectivo de los códigos computacionales. Se pretende asimismo presentar el análisis físico de los problemas a resolver, a fin de diferenciar los aspectos numéricos obtenidos de los inherentes al comportamiento físico de la solución. Se hace hincapié en cuestiones de verificación y validación de los resultados computacionales obtenidos. Para ello, en aquellos casos que presentan soluciones exactas, se compararán los resultados numéricos con los obtenidos analíticamente.

- **Programa Analítico:**

UNIDAD N°1: CONCEPTOS BÁSICOS DEL MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS FINITAS

Fundamentación. Ventajas y desventajas de los métodos numéricos. Problemas típicos en CFD.

Clasificación matemática y física de las ecuaciones diferenciales parciales.

Clasificación de las condiciones auxiliares.

Clasificación de sistemas de ecuaciones diferenciales parciales.

Formulación en diferencias finitas.

Métodos para obtener expresiones en diferencias finitas:

- Series de Taylor.

- Ajuste por polinomios.

Errores de truncamiento.

Representación de una EDP mediante diferencias finitas.

Esquemas explícitos. Esquemas implícitos y semi-implícitos. Crank-Nicolson.

Algoritmo de Thomas para matrices tridiagonales.

Estabilidad, consistencia y convergencia de una formulación numérica.

Errores de redondeo y discretización.

Estabilidad de un esquema en diferencias finitas:

- Análisis de Fourier (o de von Neumann).

- Método de la estabilidad matricial. Teoremas del círculo.

- Análisis de estabilidad para sistemas de ecuaciones diferenciales parciales.

Ecuación modificada. Difusión y dispersión numéricas.

Ecuación de Burgers estacionaria y no estacionaria. Números de Péclet y Reynolds de malla.

Esquemas Upwind, FTCS, de Leonard.

UNIDAD N°2: GENERACIÓN DE MALLAS

Dominios físicos y dominios computacionales.

Transformaciones generales.

Mallas generadas por métodos algebraicos.

Mallas generadas por métodos elípticos: Ecuaciones de Laplace y Poisson.

Métodos para la resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas:

Métodos directos y métodos iterativos. Operadores de sobre-relajación. Análisis de convergencia.

Nociones de aceleración multigrilla y de refinamiento adaptativo.

Extrapolación de Richardson.

UNIDAD N°3: RESOLUCIÓN NUMÉRICA DE PROBLEMAS FLUIDODINÁMICOS

Problemas tipo involucrando ecuaciones de tipo elíptico, parabólico e hiperbólico.

Ejemplos fluidodinámicos estacionarios:

- Flujo en capas límites.
- Flujo estacionario laminar en tuberías de un fluido no-newtoniano (ley de la potencia).
- Flujo estacionario laminar en conductos de sección rectangular de un fluido newtoniano.
- Flujo de Euler en canales bidimensionales con presencia de obstáculos.
- Flujo en medios porosos saturados. Ley de Darcy.

Ejemplos de flujo no estacionario:

- Segundo problemas de Stokes.
- Establecimiento de la corriente bidimensional de Couette.
- Establecimiento de la corriente de Poiseuille en canales 2D y tuberías.
- Flujo laminar tubular en presencia de trenes de ondas de presión (Golpe de ariete).

Ecuaciones de Navier-Stokes: Resolución de problemas 2D de flujos viscosos incompresibles

- En variables función de corriente - vorticidad.
- Flujo que ingresa a un canal bidimensional.

En variables primitivas.

- Método de Chorin (de compresibilidad artificial)
- Con ecuación de Poisson para la distribución de presiones
- Simple (Patankar y Spalding). Simpler (Patankar).

Comparación con resultados analíticos y/o experimentales.

UNIDAD N°4: EL MÉTODO DE LOS VOLÚMENES FINITOS

Conceptos básicos del método. Formulación integral conservativa de las ecuaciones de gobierno.

Aproximación de las integrales de superficie y de volumen.

Aproximación de los flujos convectivos y difusivos.

Interpolaciones: exponencial, lineal, upwind, híbrido, QUICK (Leonard).

Implementación de las condiciones de contorno.

Ecuaciones de Navier-Stokes estacionarias, 2D: Mallas desfasadas. Acoplamiento presión-velocidad. Algoritmo SIMPLE. Algoritmo SIMPLER. Algoritmo SIMPLEC. Otros algoritmos.

Problemas no estacionarios. Coeficiente de ponderación: explícito, implícito y C-N.

UNIDAD N°5: VERIFICACION Y VALIDACIÓN:

Conceptos de verificación y validación.

Papers referidos simulaciones de *benchmarks* mediante códigos comerciales.

Journal of Fluids Engineering Editorial Policy. - ASME V&V 20-2009. - AIAA-G-077-1998 (2002).

- **Modalidad de Evaluación:**

- a. Aprobación de un parcial de trabajos prácticos. El parcial tiene un (1) recuperatorio.
 - b. Presentación de los trabajos computacionales del curso, los cuales deberán incluir la discusión de los problemas, tanto en lo que concierne a los aspectos fluidodinámicos como a los numéricos.
 - c. Al finalizar el curso, el estudiante desarrollará un trabajo especial de características integradoras.
- La nota final de aprobación de la materia es el promedio resultante de los puntajes obtenidos en cada etapa.

- **Bibliografía**

- [1] Smith G.D.: "Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods", Oxford Applied Mathematics and Computing Science Series, Third Edition, Clarendon Press, Oxford University Press; 1987.
- [2] Anderson D.A., Tannehill J.C & Pletcher R.H.: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", Hemisphere Publishing Corporation, McGraw-Hill Book Company; 1984.
- [3] Tannehill J.C., Anderson D.A. & Pletcher R.H.: "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer", Second Edition, Taylor & Francis; 1997.
- [4] Fletcher C.A.J.: "Computational Techniques for Fluid Dynamics", Springer Series in Computational Physics, Vol. I & II, Second Edition, Springer-Verlag; 1991.
- [5] Thompson J.F., Warsi Z.U.A. & Mastin C.W.: "Numerical Grid Generation – Foundations and Applications", North Holland – Elsevier Science Publishing Co., Inc.; 1985.
- [6] Patankar S.V.: "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill, New York; 1980.
- [7] Versteeg H.K. & Malalasekera W.: "An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method", Longman Group Limited; 1995.
- [8] Hirsch C.: "Numerical computation of internal and external flows", Vol. I & II, John Wiley & Sons, 1989.
- [9] Peaceman D.W.: "Fundamentals of Numerical Reservoir Simulation", Developments in Petroleum Science 6, Elsevier, 1977.
- [10] Freitas C. J.: "Perspective: Selected Benchmarks from Commercial CFD Codes", Journal of Fluids Engineering, Transaction of the ASME, Vol. 117, pp.208-218, June 1995.

- [11] Iaccarino G.: "Predictions of a Turbulent Separated Flow Using Commercial CFD Codes", Journal of Fluids Engineering, Transaction of the ASME, Vol. 123, pp.819-828, Dec. 2001.
- [12] Oberkampf W.L., Trucano T.G. & Hirsch C.: "Verification, Validation, and Predictive Capability in Computational Engineering and Physics", Foundations for Verification and Validation in the 21st Century Workshop, October 22-23, 2002.
- [13] Baysal O. (editor): "Recent Advances and Applications in Computational Fluid Dynamics", FED-Vol.103, The American Society of Mechanical Engineers; 1990.
- [14] Celik I. & Freitas C.J. (editores): "Benchmark Test Cases for Computational Fluid Dynamics", FED-Vol.93, The American Society of Mechanical Engineers; 1990.
- [15] Marini, Martino: "An elliptic Technique to Generate Orthogonal Grids Along Boundaries", FED-Vol. 119, Fluid Machinery Forum, ASME; 1991.
- [16] Bugada Castellfort, Gabriel: Tesis Doctoral, Universidad Politecnica de Catalunya, Capítulo 3.3: Técnicas de generación de mallas estructuradas.
- [17] Shih T.I-P., Bailey R.T., Nguyen H.L. & Roelke R.J.: "Algebraic Grid Generation for Complex Geometries", International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol.13, pp.1-31; 1991.
- [18] Jeng Y.N. & Kuo W.J.: "Two-dimensional Elliptic Grid Solver Using Boundary Grid Control and Curvature Correction", AIAA Journal, Vol. 38, No. 2 pp. 217-223, February 2000.
- [19] ASME V&V 20-2009 "Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer", The American Society of Mechanical Engineers; 2009.
- [20] AIAA, "Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations", American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA-G-077-1998 (2002).

- **Correo electrónico del profesor Coordinador:**

ricardo.prado.cfd@gmail.com

ricardo.prado@fain.uncoma.edu.ar