

Curso de Posgrado FLUIDODINAMICA COMPUTACIONAL APLICADA

Docente a cargo: Dr. Santiago A. Urquiza

Carga horaria: 52 hs.

Objetivos de la asignatura.

La Fluidodinámica Computacional tiene cada vez más aplicaciones en la ingeniería y en las ciencias, favoreciendo el rápido prototipaje de componentes, la predicción de fenómenos que muchas veces resultan de difícil concreción experimental y la optimización del diseño en un número cada vez mayor de aplicaciones. Consecuentemente, se gana tiempo en el ciclo de diseño y desarrollo de componentes y/o ensayos experimentales, lo que impacta de manera decisiva en la productividad, tanto de los ingenieros como de los científicos. Innumerables son los ejemplos de aplicaciones de estas técnicas, entre otros pueden mencionarse aplicaciones al diseño de intercambiadores de calor, de extrusoras, de llenado de moldes en procesos de fundición de metales y moldeo de plásticos, al diseño de bombas, turbinas, hélices, motores, carrocerías, barcos, modelado de flujos en sistemas biológicos, microfluídica, etc. De tal manera, el modelado computacional de fluidos se ha ido instalando como una herramienta necesaria tanto en el contexto de la industria como de la investigación y desarrollo.

Es así que se propone esta asignatura, que le permitirá al alumno comprender los pasos necesarios para el adecuado modelado computacional de problemas fluidodinámicos, seleccionando las técnicas adecuadas y teniendo seguridad en el rango de validez y aplicabilidad de las mismas. Además del sólido manejo de los conceptos fundamentales y de las teorías que los sustentan, se articulará el modelado numérico con el análisis experimental y dimensional, como así también con las habilidades prácticas para la implementación concreta de modelos fluidodinámicos computacionales. Estos requieren consubstanciación con las técnicas de CAD, de discretización y mallado de geometrías, con el establecimiento de condiciones de borde y de las propiedades de los materiales, con la selección de algoritmos de resolución, de visualización y con la interpretación y validación de los resultados numéricos obtenidos. Además se pretende contribuir a formar en el alumno una visión criteriosa de las dificultades numéricas propias y distintivas del modelado computacional en fluidos. A su vez se pretende desarrollar en el alumno *criterios y capacidad de decisión*, que no sólo tengan en cuenta la complejidad del fenómeno a resolver y las herramientas computacionales disponibles, sino también el nivel de detalle y precisión requerido de los resultados, de acuerdo con requerimientos de eficiencia y economía de recursos, considerando a tal efecto la relación costo beneficio entre exactitud-detalle y horas de ingeniería-equipamiento necesarios para alcanzarlos. Se pretende que el alumno pueda obtener respuestas concretas adquiriendo entrenamiento en la formulación y resolución de problemas de Fluidodinámica Computacional, prestando especial atención a las Ecuaciones Diferenciales de Conservación, su discretización por los métodos de aproximación de Diferencias Finitas y de los Elementos Finitos con sus formulaciones variacionales asociadas. El alumno deberá saber resolver problemas que involucren cálculo y diseño por computadora, planteando las ecuaciones de gobierno de los fenómenos involucrados y las técnicas apropiadas de resolución computacional, partiendo de las leyes de conservación fundamentales de la mecánica (conservación de la masa, de la cantidad de movimiento, de la energía,...). Se espera aportar al estudiante hábitos de rigor conceptual, expositivo y operativo, tanto teóricos como prácticos, obviamente en la temática específica de la Modelado Computacional de sistemas Fluidodinámicos, aspirando además a que dichos aspectos redunden de manera global en las capacidades del alumno como profesional cualificado con nivel de excelencia. En esta perspectiva, se propone incentivar a los alumnos para que desarrollen una actitud activa evidenciando iniciativa, con flexibilidad y capacidad de resolución autónoma de problemas, que conlleve un buen nivel de adaptación a los vertiginosos cambios provocados por los nuevos estilos de

desarrollo socioeconómico que ejercen su influencia en los procesos de desarrollo científico tecnológico.

En resumen, son objetivos de esta asignatura: desarrollar conceptos básicos claros para la comprensión de los problemas de Modelado Computacional Fluidodinámico, manejo de las técnicas involucradas y su aplicación a situaciones realistas.

Al aprobar el alumno deberá:

- Poseer conocimientos teóricos y prácticos en los temas enunciados en el programa
- Adquirir el lenguaje técnico y específico de la asignatura
- Saber aplicar los conocimientos a la resolución de problemas actuando tanto de manera autónoma como colaborando en grupo, con el adecuado manejo de las bases documentales pertinentes.
- Tener la capacidad de diseño y de análisis en el campo del Modelado Fluidodinámico asistido por computadora con adecuado manejo y comprensión de las técnicas tanto numérico-computacionales como de los aspectos fluidodinámicos en cuestiones de movimiento de fluidos y de balances térmicos y energéticos.
- Saber determinar el tipo de resolución más adecuado dentro de las posibles formulaciones de acuerdo con el nivel de detalle-precisión requerido.
- Estar capacitado para articular los conocimientos adquiridos en problemáticas tanto tradicionales como innovadoras.
- Ser capaz de aplicar el método científico y las herramientas computacionales y sus técnicas asociadas a problemas de fluidodinámica derivados tanto de la industria como de la investigación científica.

TEMARIO:

UNIDAD 1: CINEMÁTICA DE LOS MEDIOS FLUIDOS

Descripción Euleriana y Lagrangiana. Derivada material. Líneas de flujo, trayectoria y filetes.

UNIDAD 2: DINÁMICA DE LOS MEDIOS FLUIDOS

Teorema del transporte de Reynolds. Volúmenes de control - Balances integrales: Conservación de la masa, balance del impulso, balance del momento angular, conservación de la energía.

Expresiones diferenciales para una partícula del fluido. Ecuaciones diferenciales de conservación. Adimensionalización de las ecuaciones diferenciales, casos particulares. Función de corriente. Vorticidad. Fluidos ideales irrotacionales. Flujo potencial. Ecuaciones de Navier-Stokes. Condiciones de borde. Incompresibilidad. Transporte y difusión. Efectos térmicos. Flujo de Couette y de Poiseuille. Flujo en medios porosos. Turbulencia. Convección natural. Capa límite.

UNIDAD 4: CONVECCIÓN - DIFUSIÓN EN REGIMEN NO ESTACIONARIO Y SU DISCRETIZACIÓN NUMÉRICA.

Difusión vs. Transporte.

Ecuación de Advección Pura: Aproximaciones numéricas por diferencias finitas: Asimetría por transporte. Esquema centrado, inestabilidades. Esquemas de Courant y de Esquema de Lax-Wendroff. Método de las características. Nro de Courant. Ponderación a contracorriente. Condición de C-F-L. Dispersión y disipación numéricas. Errores de aproximación. Estabilidad: Métodos de Von Neumann y de la ecuación diferencial modificada. Ecuaciones con advección no lineal: ecuación de Burgers.

Ecuación de advección-difusión estacionaria. Esquema centrado: inestabilidades, influencia del número de Peclet. Esquema descentrado a contracorriente. Formulación variacional. Elementos Finitos ponderados a contracorriente. Estabilización basada en cuadrados mínimos. Resolución de problemas relacionados.

UNIDAD 5: FLUJOS MULTIDIMENSIONALES

Flujo potencial: formulación variacional. Solución por el método de los elementos finitos (FEM). Flujo alrededor de un cilindro. Flujo de aguas subterráneas.

El problema de Stokes. Su formulación variacional y extremal. Tratamiento de la incompresibilidad. Condiciones de contorno. Aproximación por el MEF: matrices de difusión y de divergencia. Penalización. Modos espurios de presión, bloqueo. Métodos directos e iterativos.

Ecuaciones de Navier - Stokes: formulación variacional. Tratamiento numérico de los términos convectivos, discretización por el MEF del término convectivo, matriz de transporte. Algoritmos de Picard y de Newton. *Casos particulares*: fluidos viscoplásticos, de Bingham. Ecuaciones de Boussinesq, convección natural en un compartimento cerrado. Advección de sustancias.

UNIDAD 6: PROBLEMAS CON FRONTERA MÓVIL Y LLENADO DE MOLDES

Dominios móviles y descripción Arbitrariamente Euleriana-Lagrangeana. Métodos de seguimiento y captura de interfaces y/o fronteras libres. Técnicas de Pseudo-concentraciones, Función de nivel (level set), y fracción de volumen (VOF). Ecuaciones de Navier-Stokes con porosidad agregada. Ecuaciones de Darcy. Acoplamiento mecánico y térmico. Formulaciones numéricas, métodos de discretización. Ejemplos prácticos.

BIBLIOGRAFÍA:

Básica:

- AN INTRODUCCION TO FLUID DYNAMICS, Batchelor G.K., Cambridge at the University Press, 1970.
- FINITE ELEMENT METHODS FOR FLOW PROBLEMS. Donea, Jean and Huerta, Antonio. Wiley.
- THE FINITE ELEMENT METHOD. O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, fourth ed., McGraw-Hill, UK, 1991.
- COMPUTATIONAL TECHNIQUES FOR FLUID DYNAMICS 1 Y 2. C.J.A. Fletcher, Springer Verlag, N.Y. 1988.
- COMPUTATIONAL FLUID MECHANICS AND HEAT TRANSFER, Anderson D, Tannehill J., Pletcher R. Hemisphere Publishing Corp. N.Y., 1984.
- FINITE ELEMENT METHODS FOR VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLOWS. A guide to theory, practice and algorithms. Gunzburger, Max., Academic Press, 1989.
- FLOW ANALYSIS USING A PC. Ninomiya H. and Onishi K. Computational Mechanics Pub. CRC Press Inc., Boca Raton 1991.

Complementaria, de Consulta y Ampliatoria:

- TURBULENCE MODELING FOR CFD. Wilcox David. DCW Industries.
- NOTAS INTRODUCTORIAS AL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS. Basombrío Fernando, Vénere Marcelo. Instituto Balseiro.
- INTRODUCCION TO FLUID MECHANICS, Whitaker Stephen, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs NJ, 1969.
- NUMERICAL APPROXIMATION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS. Alfio Quarteroni · Alberto Valli. Springer
- NUMERICAL MATHEMATICS. Quarteroni A., Sacco R., Saleri F. 2ed., Springer, 2007
- Numerical Methods for Partial Differential Equations, W.F. Ames, Academic Press, N.Y. 1977.
- Difference Methods for Initial Value Problems. Richtmyer R. and Morton K.W., Interscience Publishers, N.Y., 1967.

Sistema de Evaluación

Los criterios generales de evaluación serán los siguientes:

- .Asimilación de los contenidos
- .Comprensión de los esquemas conceptuales y operatorios, nivel de manejo y relación de los contenidos.
- .Capacidad de establecer jerarquías y ordenamientos lógicos y prácticos en los pasos a seguir para resolver los problemas
- .Capacidad de extracción de conclusiones a partir de los resultados numéricos de un problema. Tanto de resultados correctos como de aquellos que muestran ser inconsistentes y/o inadecuados.
- .Capacidad de aprender de los propios errores a partir de su puesta en evidencia
- .Manejo de unidades y magnitudes, homogeneidad dimensional
- .Rigor expositivo y lenguaje específico
- .Claridad en la presentación de informes y resultados escritos
- .Participación y predisposición al trabajo

Se utilizará un sistema de evaluación continua para las ejercitaciones de los prácticos donde se exigirá la entrega de las guías resueltas y se observará el desarrollo individual y grupal de las actividades en los horarios de clase.

Para la aprobación los alumnos realizarán un examen con cuestionario acerca de los temas vistos en clase y la entrega de un Trabajo Final con un Informe relativo a la resolución computacional de un problema adecuadamente seleccionado y consensuado con la cátedra.

En todas las instancias de evaluación con nota, esta se registrará con una escala de 0 a 10 puntos. Se considerará aprobado el alumno con nota mayor o igual a 6 puntos.

La nota final será el promedio aritmético de la evaluación de los trabajos prácticos, el examen cuestionario, más la entrega de Informe sobre el Trabajo Final integrador. El Trabajo Final integrador podrá ser propuesto por el alumno, realizado en grupo de no mas de dos personas y deberá incluir el uso de las herramientas conceptuales desarrolladas en la materia a nivel de integración.

APROBACIÓN de la materia: todo aquel alumno con nota final mayor o igual a seis puntos.

DESAPROBACIÓN de la materia: todo aquel alumno con nota final menor que seis puntos.

CONTENIDOS MÍNIMOS: Principios fundamentales de la Mecánica de los fluidos. Ecuaciones de advección. Método de las características. Métodos numéricos para las ecuaciones de convección-difusión unidimensionales: Diferencias Finitas, esquemas de Lax-Wendroff, esquemas ponderados a contracorriente. Difusividad artificial. Errores de aproximación: Métodos de Von Neumann y de la ecuación diferencial modificada. Ecuaciones con advección no lineal: ecuación de Burgers. Elementos Finitos ponderados a contracorriente. Ecuaciones de convección difusión multidimensionales y su resolución numérico-computacional. Ecuaciones de Navier-Stokes y su resolución computacional. Flujo en medios porosos. Llenado de moldes.