



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
Av. Bolivia 5150 - 4400 - Salta  
Tel. 0387/425-5408 - Fax 0387/425-5449  
República Argentina

SALTA, 20 de marzo de 2018

EXP-EXA: 8831/2017

RESCD-EXA: 091/2018

VISTO la Nota-exa N° 2434/17 presentada por el Dr. Luis CARDÓN, por la cual solicita autorización para el dictado del Curso "El método de los volúmenes de control en transferencia de calor y flujo de fluidos" como materia optativa para la carrera de Maestría en Matemática Aplicada.

CONSIDERANDO:

Que se cuenta con visto bueno del Departamento de Física (fs. 20) y despachos favorables del Comité Académico de la Maestría en Matemática Aplicada (fs. 20 vta.) y de la Comisión de Docencia e Investigación (fs. 21).

Por ello, y en uso de las atribuciones que le son propias.

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
(en sesión Ordinaria del día 14/03/2018)

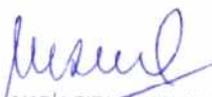
RESUELVE

ARTICULO 1º: Autorizar el dictado del curso "El método de los volúmenes de control en transferencia de calor y flujo de fluidos" como Materia Optativa para la carrera de Maestría en Matemática Aplicada – Plan 2006, bajo la dirección del Dr. Luis CARDÓN.

ARTICULO 2º: Aprobar el programa analítico y el sistema de evaluación del curso, de acuerdo al detalle que se explicita en el Anexo I de la presente resolución.

ARTICULO 3º: Hágase saber al Dr. Luis CARDÓN, al cuerpo docente del curso, al Comité Académico de Maestría en Matemática Aplicada y al Departamento Administrativo de Posgrado. Cumplido, resérvese.

mxs  
rer

  
Dra. MARÍA RITA MARTEARENA  
SECRETARÍA ACADÉMICA Y DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa.



  
Dr. JORGE FERNANDO YAZLLE  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa.



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

Av. Bolivia 5150 - 4400 - Salta

Tel. (0387)425-5408 - Fax (0387)425-5449

Republica Argentina

## ANEXO I de la RESCD-EXA: 091/2018 - EXP-EXA: 8831/2017

Materia Optativa: “El método de los volúmenes de control en transferencia de calor y flujo de fluidos”

**Carrera:** Maestría en Matemática Aplicada – Plan 2006

**Director del curso:** Dr. Luis CARDÓN (U.N.Sa.)

**Cuerpo docente:** Dr. Luis CARDÓN, Dra. Ester Sonia ESTEBAN, Dra. Ana María ARAMAYO.

### Fines y objetivos

El curso está destinado a dar una sólida base en las técnicas y métodos numéricos para la solución de problemas de transporte de momento, calor y especies. El estudio en profundidad se limitará al de los métodos de discretización de tipo volúmenes de control y al de los algoritmos segregados, tipo corrección de presión y pasos fraccionales. Estos métodos son de uso común en la resolución de problemas de la dinámica de fluidos y se implementan en códigos comerciales de uso cada vez más frecuente en aplicaciones industriales sumamente complejas.

El curso está destinado fundamentalmente a quienes, interesados en los métodos de la Mecánica de Fluidos Computacional, tengan en vista involucrarse en el desarrollo y/o modificación de códigos o programas que los implementen. Proporcionará también, en consecuencia, una excelente base para quienes quieran aplicar códigos, comerciales o no, basados en estas técnicas.

Además de la presentación de técnicas y métodos numéricos específicos para la resolución de ecuaciones de tipo convección-difusión, tales como las ecuaciones de transporte de calor u especies químicas en fluidos en movimiento (convección forzada) y de algoritmos para la resolución de la ecuación de Navier Stokes, el curso permitirá una familiarización con los distintos problemas numéricos que aparecen en la aplicación de las técnicas, métodos y algoritmos mencionados.

### Metodología

Se prevé llevar adelante distintas actividades: clases teóricas, seminarios, trabajos prácticos y mini-proyectos computacionales. De estos últimos, uno de ellos deberá ser el planteo, resolución computacional de un problema sencillo utilizando recursos propios, y otro será la implementación de un problema de mayor envergadura utilizando el programa MULTIMOD, OpenFOAM, u otros.

El contenido del curso se dictará mediante clases teóricas a cargo del profesor y seminarios a cargo de los participantes. En las clases teóricas se presentarán y analizarán los conceptos fundamentales y los métodos, técnicas y algoritmos básicos. En los seminarios se requerirá que los participantes analicen artículos de la bibliografía internacional en los que se introducen mejoras o modificaciones a los algoritmos básicos o en los que se discuta y/o compare los resultados de distintos métodos sobre problemas clásicos de prueba. Estos seminarios serán llevados a cabo por pequeños grupos trabajando bajo el esquema de grupos cooperativos. En los seminarios se discutirán también los resultados de experimentos numéricos llevados a cabo por los participantes.

En los trabajos prácticos se resolverán problemas que impliquen la aplicación de los contenidos teóricos. Algunos de estos prácticos requerirán la realización de pequeños programas, la modificación o ampliación de programas, o el uso de programas ya elaborados.

Por último se elaborarán dos mini-proyectos en los cuales los participantes deberán resolver un problema substancial, la derivación y/o programación de un algoritmo, la prueba de distintas alternativas, etc. Los resultados de los mini-proyectos deberán ser presentados por escrito en un formato estándar (tipo presentación a congreso). Una lista de sugerencias para estos mini-proyectos se presentará al inicio del curso.

*Muscul*  
4



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
Av. Bolivia 5150 - 4400 - Salta  
Tel. (0387)425-5408 - Fax (0387)425-5449  
Republica Argentina

.../// - 2-

### ANEXO I de la RESCD-EXA: 091/2018 - EXP-EXA: 8831/2017

#### Conocimientos previos necesarios:

Es recomendable poseer conocimientos de Mecánica de Fluidos, Transferencia de Calor y Análisis Numérico, en su defecto será imprescindible conocer por lo menos las ecuaciones diferenciales a derivadas parciales de la física (Laplace, Poisson, etc.). Será necesario conocimiento práctico de un lenguaje de programación (Fortran, Basic, Pascal, C). Será requisito indispensable leer en inglés, ya que toda la bibliografía está en este idioma.

**Cantidad de horas y Distribución horaria:** 60 horas distribuidas en 15 semanas. Esfuerzo total requerido: seis horas a la semana.

**Distribución de actividades:** 2hrs. de exposición teórica, 2 hrs. de práctica de laboratorio guiada, 2hrs. de trabajo individual.

**Sistema de evaluación:** La evaluación del curso se realizará de manera de incentivar una participación continua e intensiva de las actividades del curso. La calificación final se otorgará en base al rendimiento en: trabajos prácticos 20%, cada mini proyecto (dos) 40%, seminarios 40%. Se aprobará con un mínimo del 70% de los puntos.

**Lugar y fecha de realización:** Edificio de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNSa. Complejo Universitario San Martín. Castañares, desde el 13 de abril al 29 de junio de 2018

**Inscripciones:** Mesa de Entrada de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Salta, en horario de atención al público (Lunes a Viernes de 10:00 a 13:00 y de 15:00 a 17:00 hs.)

**Contenidos:** Discretización de ecuaciones elípticas y parabólicas con el método de volúmenes de control: difusión estacionaria unidimensional. Generalización a dos y tres dimensiones. Resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas. Discretización de la ecuación de convección difusión. Formulación entálpica para problemas de cambio de fase. Métodos segregados para la resolución de la ecuación de Navier Stokes para flujo incompresible. El método de volúmenes de control en redes no ortogonales y redes no estructuradas.

#### Programa Tentativo:

**1) La ecuación general de transporte.** Ecuaciones diferenciales a derivadas parciales. Clasificación. Propiedades. Punto de vista físico y matemático. La ecuación general de transporte. Condiciones de borde.

**2) Difusión estacionaria unidimensional.** La ecuación de conducción de calor con generación interna como prototipo de ecuación de difusión. Condiciones de borde. Otros problemas gobernados por la ecuación de difusión. Métodos de discretización de tipo diferencias finitas en una dimensión: diferencias finitas y volúmenes de control. Volúmenes de control: tratamiento del término fuente, tratamiento de las condiciones de borde. Coeficiente difusivo con variación espacial. Solución del sistema de ecuaciones: el algoritmo de Thomas. Implementación y programación. Redes no uniformes. Problemas no lineales. Propiedades deseables de un método de discretización: realismo físico y balance global. Implementación de las ecuaciones de discretización en coordenadas polares.

///...

*Handwritten signature and initials*



**ANEXO I de la RESCD-EXA: 091/2018 - EXP-EXA: 8831/2017**

**3) Difusión no estacionaria unidimensional.** Ecuación de discretización general. Esquema explícito, de Crank-Nicolson y totalmente implícito. Propiedades de los métodos de discretización: consistencia, convergencia, estabilidad. Implementación.

**4) Generalización a dos y tres dimensiones.** Generalización del método de volúmenes de control a dos y tres dimensiones. Técnicas para el tratamiento de geometrías y condiciones de borde de mediana complejidad con redes cartesianas estructuradas. Implementación computacional.

**5) Resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas.** Métodos directos: Eliminación de Gauss, descomposición LU, sistemas tridiagonales, reducción cíclica. Métodos iterativos de resolución de los sistemas de ecuaciones algebraicas: Gauss-Seidel, Gauss-Seidel por líneas, ADI, otros métodos de separación. Métodos de gradientes conjugados y bi-conjugados. Preacondicionamiento. Técnicas de aceleración de convergencia: multigrillas.

**6) Convección Difusión.** La ecuación de convección difusión en una dimensión. Características de la solución analítica. Esquemas de discretización: diferencias centradas, upwind, exponencial, híbrido, otros. Formulación generalizada. Diferencias de tercer orden, el esquema QUICK. El diagrama de variable normalizada. Otros esquemas SMART, NOTABLE. Problemas de prueba típicos en dos dimensiones.

**7) Resolución de la ecuación de Navier Stokes.** Revisión de algoritmos para la ecuación de Navier Stokes en flujo incompresible. Métodos de tipo corrección de presión implícita: SIMPLE, SIMPRER, SIMPLEC, PISO. Métodos de pasos fraccionales. Métodos de compresibilidad artificial. Corrección de presión con redes decaladas y redes colocadas. Condiciones de contorno. Problemas de prueba: longitud de entrada en un conducto, análisis de las condiciones de borde a la salida, recirculación, el problema de la cavidad cuadrada con pared móvil. Separación de capas límite, expansión súbita en un conducto. La aproximación de Boussineq para el tratamiento de la convección natural. Modelos de turbulencia y métodos de resolución.

**8) Redes no ortogonales. Redes no estructuradas.** El método de volúmenes de control en redes estructuradas no ortogonales. Generación de la red de discretización. Cálculo de los coeficientes. El método de volúmenes de control en redes no estructuradas. Representación de redes no estructuradas mediante matrices ralas. Operaciones con matrices ralas. Implementación.

**9) Formulación entálpica para problemas de cambio de fase.** La ecuación de la energía en su formulación entálpica. Implementación computacional.

**Bibliografía:**

- Ferziger y Peric. Computational Methods for Fluid Dynamics. Springer, 3era. Ed., 2001
- Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Taylor and Francis, 1980.
- Tannehill, Anderson y Pletcher, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, 4era. Ed. CRC Press, 2011.
- Versteeg y Malalasekera. An introduction to Computational Fluid Dynamics: the Control Volume Method, 2da Ed. Pearson, 2007.
- Moukalled F., I. Mangani, y M. Darwish. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM® and Matlab (Fluid Mechanics and Its Applications), 1ra. Ed. 2015.



Universidad Nacional de Salta

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
Av. Bolivia 5150 - 4400 - Salta  
Tel. (0387)425-5408 - Fax (0387)425-5449  
Republica Argentina

...!!! - 4-

**ANEXO I de la RESCD-EXA: 091/2018 - EXP-EXA: 8831/2017**

- Davidson, P. Turbulence: An Introduction for Scientists and Engineers 2nd Edition, Oxford University Press, 2015.
- Hirsch, C. Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, 2007.
- Zikanov, O. Essential Computational Fluid Dynamics 1st Edition. Wiley, 2010.
- Lomax, H., Thomas H. Pulliam, David W. Zingg Fundamentals of Computational Fluid Dynamics.. Springer, 2004.
- Lomax, H., Thomas H. Pulliam, David W. Zingg. Fundamental Algorithms in Computational Fluid Dynamics. Springer, 2014.
- Date. Introduction to computational fluid dynamics. Cambridge University Press, 2005.
- Morton y Mayers. Numerical solutions of partial differential equations. 2da. Ed. Cambridge University Press, 2005.
- Voller, V.R. An overview of numerical methods for solving phase change problems. Advances in numerical heat transfer. 1996.
- Alexiades, V. Mathematical Modeling Of Melting And Freezing Processes. 1st Edition. CRC Press. 1992.
- Mazumder, S. Numerical Methods for Partial Differential Equations: Finite Difference and Finite Volume Methods. Academic Press, 2016.
- Kowalewsky y Gobineditores. Phase Change with convection: modelling and validation. Springer-Verlag. 2004.

\*\*\*\*\*

  
Dra. MARÍA RITA MARTEARENA  
SECRETARÍA ACADÉMICA Y DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa.



  
Dr. JORGE FERNANDO YAZLLE  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa.