

# Software basado en FEniCS para la evaluación de flujos turbulentos con el modelo $k$ - $\epsilon$ estándar

Jorge Maidana  
Facultad Politécnica  
Programación de Computadoras  
Universidad Nacional de Asunción  
San Lorenzo, Paraguay  
Email: jmaidana18@gmail.com

Hyun Ho Shin  
Facultad Politécnica  
LCCA  
Universidad Nacional de Asunción  
San Lorenzo, Paraguay

Christian Schaerer  
Facultad Politécnica  
LCCA  
Universidad Nacional de Asunción  
San Lorenzo, Paraguay

**Resumen**—Existen en el mercado frameworks de programación de modelos de flujos que envuelven Ecuaciones Diferenciales Parciales, tanto privativas como open source. Un software open source que ayuda a resolver dichas ecuaciones es FEniCS, con el cual se pueden escribir programas en lenguaje Python con una notación cercana a las matemáticas de problemas variacionales. Dicha notación genera un código compacto que además es eficiente cuando se lo ejecuta. OASIS es una librería del proyecto FEniCS que incorpora facilidades para el modelado de flujos incompresibles, y en particular es fácil elaborar programas que modelen flujos con la ecuación de Navier-Stokes. Este trabajo pretende integrar a OASIS el modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  estándar de manera a simplificar la evaluación de aplicaciones de turbulencia en flujos que utilicen dicho modelo para la simulación numérica. Se ejemplificará el uso de este modelo con dos aplicaciones.

## I. INTRODUCCIÓN

Los flujos turbulentos son comunes en la naturaleza como en los cauces de ríos, el movimiento del aire en la atmósfera y en aplicaciones industriales como en el transporte de combustible en ductos, la tobera de cohetes, en el aire alrededor de un vehículo en movimiento, entre otras. [1], [2]

Una técnica para representar la simulación numérica de los flujos turbulentos es la denominada Direct Numerical Simulation (DNS). El DNS tiene la ventaja que no requiere de modelos de turbulencia para obtener los detalles de la física del fenómeno envuelto resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes, sin embargo, es computacionalmente costoso y, por consiguiente, su uso es impracticable para las aplicaciones industriales y ambientales. [3]

Una alternativa ampliamente usada en las aplicaciones para simular flujos turbulentos es la denominada Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS). En la simulación RANS, se resuelve la versión promediada de las ecuaciones de Navier-Stokes con modelos de turbulencia [3]

Las ecuaciones que modelan el flujo necesitan ser traducidas a un computador de manera que éste entienda, y para ello se utilizan métodos numéricos de discretización, como el Método de Elementos Finitos (FEM).

FEniCS es una herramienta de software libre que ayuda a modelar flujos utilizando el FEM, para aproximar Ecuaciones Diferenciales Parciales (PDE) que están presentes en las ecuaciones de Navier-Stokes.

FEniCS se compone de librerías que ofrecen facilidades como constructores de mallas de geometrías complejas, ensambladores de matrices y solvers de sistemas lineales y no lineales de ecuaciones. Además, permite representar la formulación variacional de un problema determinado en una notación cercana a la utilizada en las matemáticas, en lenguaje Python. [4], [5]

Oasis (Optimized And Stripped Solver) es un solver de alto rendimiento de las ecuaciones de Navier-Stokes, escrito enteramente en la interfaz Python que posee FEniCS. El solver se utiliza con mallas no estructuradas, puede trabajar con la librería MPI, PETSc y Trilinos a través de FEniCS. Para trabajar con Oasis, un usuario debería poseer habilidades básicas de como resolver Ecuaciones Diferenciales Parciales (PDE) a través de FEniCS y a su vez habilidades en lenguaje Python. [6]

En este trabajo será implementado el modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  estándar integrándolo a Oasis.

## II. OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar el software para el modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  estándar que trabaje en conjunto con la librería Oasis de FEniCS.

### II-A. Objetivos Específicos

- Diseñar el algoritmo  $k$ - $\epsilon$  estándar e implementarlo en software.
- Probar la eficacia de la herramienta diseñada en aplicaciones de flujos turbulentos.

## III. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las aplicaciones comerciales de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) contienen un número limitado de modelos de turbulencia, pero permite a los usuarios agregar “subrutinas de usuario” que son llamadas en el momento de su uso en una simulación. La implementación de dichas subrutinas puede ser dificultosa, y los nuevos modelos podrían no encajar fácilmente con las restricciones impuestas por el diseño del paquete y la interfaz de subrutina del usuario. El resultado es que un paquete específico puede soportar sólo una parte de los modelos a los que un ingeniero desearía acceder. [6]

Se pretende satisfacer la necesidad de un software flexible, en donde las PDE puedan ser programadas e integradas a las librerías existentes.

Este trabajo plantea una implementación del modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  estándar, en cooperación con la herramienta Oasis de FEniCS.

#### REFERENCIAS

- [1] P.K. Kundu, I.M. Cohen, and D.R. Dowling. *Fluid Mechanics*. Academic Press. Academic Press, 2012.
- [2] Stephen B. Pope. *Turbulent Flows*. Cambridge University Press, 2000.
- [3] Paul Bates, Stuart Lane, and Robert Ferguson. *Computational Fluid Dynamics Applications in Environmental Hydraulics*. John Wiley & Sons , Ltd, 2005.
- [4] FEniCS. Documentación oficial de fenics. <http://fenicsproject.org/documentation/>.
- [5] FEniCS. Proyecto fenics. <http://fenicsproject.org/about/>.
- [6] Mikael Mortensen, Hans Petter Langtangen, and Garth N. Wells. A fenics-based programming framework for modeling turbulent flow by the reynolds-averaged navier-stokes equations. *CoRR*, abs/1102.2933, 2011.