



UNIVERSIDAD PERUANA  
CAYETANO HEREDIA

FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFÍA  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

MECÁNICA Y TRANSPORTE DE FLUIDOS

**Nombres y apellidos:** Abiel Camacho Arbieto

**Código:** 20153219

## PRIMER INFORME DE SESIONES DEMOSTRATIVAS

### *CFD FOR BEGGINERS; USO DE LOS SOLVERS: ICOFOAM Y SIMPLEFOAM*

**COMPETENCIA:** Desarrollar competencias básicas en el manejo de simulaciones de fluidos en computadora mediante OpenFoam (librería de código escrito en C++).

El presente formato deberá ser desarrollado según lo indicado; recuerde citar la bibliografía consultada.

## I. INTRODUCCIÓN

Para realizar la simulación de fluidos por computadora contienen dos etapas las cuales son preprocesamiento, lo cual implica la generación del mallado, límites, condiciones iniciales y propiedades físicas de la aplicación. Y el post procesamiento el cual implica la visualización de paraFoam, contrastar las superficies, recorte de plano, contornos y gráficos vectoriales. Las mayores ventajas del utilizar la discretización con volúmenes finitos son: mayor eficiencia computacional, se consumen menos recursos de memoria y la complejidad geométrica disminuye.

El uso de los solvers como IcoFoam y SimpleFoam poseen sus propias características como:

- IcoFoam resuelve las ecuaciones incompresibles laminares de Navier-Stokes usando el algoritmo PISO. Se requiere una condición inicial (como la velocidad cero) y condiciones de límite.
- SimpleFoam es un solver de estado estacionario para flujos incompresibles y turbulentos, usando el algoritmo SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations).

## II. OBJETIVO

- Ejecutar simulaciones de OpenFoam en diferentes modelos evidenciando los campos de velocidades y campos de presiones.

## III. TEORÍA Y CONCEPTOS BÁSICOS

Desarrolle los conceptos y teorías que se presentan a continuación

**a. Preliminares:**

- Campos de velocidades

Es la representación vectorial de la velocidad de un fluido con respecto a su posición y el tiempo, el método usado Euleriano ya que es más preciso para las mediciones de fluidos.

- Campos de presión.

Es la representación vectorial de la presión de un fluido con respecto a su posición y el tiempo, el método usado es el método Euleriano que usa los 3 ejes y la posición.

- Líneas de corriente

Es una línea curva que, en todas partes, es tangente al vector de velocidad local instantánea. Las líneas de corriente no se pueden conocer experimentalmente, excepto en condición de flujo estacionario en los cuales coinciden con las líneas de trayectoria y las líneas de traza.

- Condiciones iniciales.

Son los valores vectoriales de presión y velocidades en el tiempo 0 del análisis. Estas condiciones determinan el comportamiento del fluido en todo el tiempo.

- Condiciones de borde

Las ecuaciones tienen un rol importante en las aplicaciones físicas. Las ecuaciones que gobiernan las características físicas, como presión y velocidad, están definidas por ecuaciones diferenciales parciales. Para calcular estas ecuaciones es necesario conocer datos iniciales, como el campo de velocidades en el campo de los fluidos. Estos datos son conocidos como condiciones de contorno o borde. Por esta condición la velocidad en el punto de contacto del fluido y la pared es 0.

- Estabilidad numérica

La estabilidad numérica es una propiedad de los algoritmos numéricos que describe cómo los errores de entrada se propagan a través del algoritmo. En un método estable, los errores se atenúan mediante la computación. Por otro lado, si es inestable el error puede generar anomalías invalidando el procesamiento numérico.

- Convergencia

Sucesión de sumas parciales que tiene un límite en el espacio considerado. La convergencia del cálculo (simulaciones) es la suma de series finitas numéricas o vectoriales y tienden a una solución.

- Discretización numérica

La discretización numérica es el proceso de transferir funciones continuas, modelos, variables y ecuaciones a una serie de valores discretos. vectores y matrices. es importante para la evaluación numérica y la implementación y procesamiento computacional.

- Malla computacional:

Una malla es una representación de un dominio geométrico más grande representado por celdas discretas más pequeñas. Las mallas se utilizan comúnmente para calcular soluciones de ecuaciones diferenciales parciales y representar gráficos por computadora, y para analizar datos geográficos y cartográficos. Una malla divide el espacio en elementos (o celdas o zonas) sobre los que se pueden resolver las ecuaciones, lo que luego se aproxima a la solución sobre el dominio mayor.

**b. Tipos de flujo: definición y caracterización:**

- Flujo laminar:

El flujo laminar del fluido puede definirse como el flujo del fluido en el que no hay distorsión y las capas de los fluidos no se cruzan entre sí por lo que, la velocidad del fluido permanece constante. Además, puede ser estimado por el número de Reynolds que es un valor adimensional.

- Flujo\_turbulento:

El flujo turbulento se caracteriza por el movimiento irregular o “caótico” de las partículas del fluido. A diferencia del flujo laminar, el fluido no fluye en capas paralelas, la mezcla lateral es muy alta y hay una interrupción entre las capas. Asimismo, se caracteriza por la recirculación, los remolinos y la aleatoriedad aparente y esto genera que la velocidad el fluido no sea constante.

- Flujo incompresible

Es aquel donde las consideraciones físicas no cambian la densidad del fluido, es decir, la densidad es constante a lo largo del tiempo y el flujo, a pesar de todas las variaciones del medio. Por lo tanto, el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalteradas sobre todo el curso de este.

- Flujo transitorio

Es cuando la velocidad en un punto dado no es constante en el tiempo. Las partículas que pasen por ese punto tendrán velocidades diferentes.

- Flujo estacionario

Es cuando la velocidad en un punto dado es constante en el tiempo. Todas las partículas que pasen por ese punto lo harán con la misma velocidad y la trayectoria de una partícula del fluido corresponde a una línea de corriente que es tangente en cada punto al vector velocidad

**c. Ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos:**

- Ecuación de energía:

La ecuación de energía representa la razón de acumulación de energía en un volumen control (VC), expresada en la sumatoria de razón de energía transferida a través del mismo VC, la razón de trabajo realizado en el VC y la razón de producción de energía a lo largo del VC. la energía debe conservarse, para cumplir con las reglas físicas. Esta es expresada en funciones de la temperatura, flujo, trabajo, densidad y velocidad.

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + \dot{Q}_p + \dot{W}$$

where  $\rho$  is density,  $C_p$  is heat capacity at constant pressure,  $T$  is temperature,  $\mathbf{V}$  is velocity,  $k$  is thermal conductivity,  $\dot{W}$  is rate of other work in system after subtracting the work for fluid flow and  $\dot{Q}_p$  is summation of rate of heat production and viscous dissipation.

- Ecuación de la conservación de la masa:

Representa la conservación de masa a lo largo de todo un volumen control. Es decir, expresa la razón de masa acumulada en el VC, denotado como la diferencia el flujo de masa que ingresa al VC, y del que sale. Donde ambos deben ser de igual magnitud, para que la conservación se cumpla. Entonces, la ecuación denota la variación de la densidad a lo largo del tiempo, así como la variación de la velocidad en este.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1.32)$$

where  $\rho$  is density,  $t$  is time and  $\mathbf{V}$  is fluid velocity. The term  $(\rho \mathbf{V})$  is the mass flux through the control volume. Eq. (1.32) is called the continuity equation.

- Ecuación de la cantidad de movimiento:

Se obtiene por las leyes fundamentales de la física clásica. El principio denota que el momento total de un sistema cerrado no cambiará a menos que una fuerza externa actúe sobre él.

$$\rho \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \rho \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} = -\nabla P + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} \quad (1.34)$$

where  $\rho$  is density,  $t$  is time,  $\mathbf{V}$  is fluid velocity,  $P$  is normal pressure on fluid element surfaces,  $\boldsymbol{\tau}$  is stress tensor and  $\mathbf{g}$  is gravity.

#### d. Teoría y explicación por término de la ecuación de Navier-Stokes

Las ecuaciones de Navier-Stokes describen el movimiento tridimensional de fluidos viscosos. Consisten en una ecuación de continuidad dependiente del tiempo para la conservación de la masa, tres ecuaciones de conservación del momento dependientes del tiempo y una ecuación de conservación de la energía dependiente del tiempo. Hay cuatro variables independientes en el problema, las coordenadas espaciales  $x$ ,  $y$  y  $z$  de algún dominio, y el tiempo  $t$ .

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \rho \mathbf{k} - \nabla P + \mu \left( \frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \nabla^2 \mathbf{u} \right)$$

#### IV. RECURSOS

Detalle las características de cada recurso empleado en el desarrollo de la práctica.

- Materiales: Geometría y malla del tutorial de OpenFOAM
- Equipos: Computadora de escritorio o laptop
- Instrumentos o herramientas: OpenFOAM con solvers IcoFoam y SimpleFoam

#### V. DESARROLLO

Escriba las instrucciones en la terminal que utilizaría para correr los modelos Elbow y Airfol2d. Tome como referencia el ejemplo presentado para Cavity.

##### *a. Modelo Cavity*

```
$ cd cavity  
$ blockMesh  
$ icoFoam  
$ icoFoam > info  
$ paraFoam
```

##### *b. Modelo Elbow*

```
$ cd elbow  
$ fluentMeshToFoam  
  elbow.msh  
$ icoFoam  
$ paraFoam
```

##### *c. Modelo Airfol2d*

```
$ cd airfol2d  
$ simpleFoam  
$ paraFoam
```

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

- Se pudo observar en las 3 simulaciones como el flujo presentaba variaciones en zonas con alta diferencia de presión. Asimismo, la variación de sus parámetros confirmaba que estos cambios eran inherentes al diseño de la simulación.
- Otro punto importante es como se puede mejorar diseños propuestos para minimizar las probabilidades de que el sistema no sufra roturas por una mala distribución de la potencia del caudal.

## VII. CUESTIONARIO

Responda las siguientes preguntas:

- a. Desde la óptica biomédica ¿En qué casos prácticos ejecutaría usted la simulación de fluidos con IcoFoam? Desarrolle un ejemplo.
  - En la simulación del flujo sanguíneo para el desarrollo de vasos sanguíneos artificiales y marcapasos cardíacos temporales o permanentes son sensibles a la salpicadura de sangre ya que esta última es importante para entender la turbulencia del ritmo cardíaco, el daño puede causar en las paredes de los vasos y los ataques al corazón.
- b. ¿Cuál es la relación entre la pérdida de velocidad y el diámetro de la sección?
  - Por el principio de la conservación de la masa, se sabe que la masa ingresante es igual a la masa de salida. Entonces, considerando al fluido incompresible nos quedamos con la gradiente de la velocidad igual a cero. Esto llega a representar la ecuación de continuidad, es decir, la sumatoria de las velocidades multiplicados con su respectiva área de entrada o salida, debe resultar cero, para cumplir con el principio de conservación de masa. De esta forma, ya que existe una razón inversamente proporcional entre el área y la velocidad del fluido, mientras mayor sea el área, menor será su velocidad. Además, se sabe que el área de un círculo depende de su diámetro; por lo tanto, mientras mayor sea el diámetro de una entrada o salida, menor será la velocidad del fluido que corre a través de esta.
- c. ¿Cuáles son los puntos críticos donde conviene estudiar estas geometrías?  
¿Por qué estudiar las zonas críticas?
  - Las zonas críticas, dependiendo del modelo, del modelo son las zonas alrededor de intersecciones de flujos, en las curvas presentes en el recorrido y en zonas con una variación de presión significativa. Es importante estudiar estas zonas ya que allí es donde podrán ocurrir los fallos, cavitaciones o fugas por demasiada presión.
- d. ¿Qué es la cavitación y cuando ocurre?
  - La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando se crean cavidades de vapor dentro del agua o cualquier otro fluido líquido que se

encuentra bajo una presión significativa. Esto puede suceder cuando el fluido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli.

#### **VIII. BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA**

- OpenFoam User Guide – Version 7. Disponible en:  
<http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). An introduction to computational fluid dynamics. Finite Volume Method, Essex, Longman Scientific & Technical.
- Julio Gratton.(2012). Introducción a la mecánica de fluidos.
- Hugo Darío Pasinato. Fundamentos de mecánica de fluidos. Regional Academica Confluencia. Universidad Tecnológica Nacional
- Cavitación. (2020, 18 de febrero). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 14:29, junio 29, 2020 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cavitaci%C3%B3n&oldid=123623792>.
- Ecuaciones de Navier-Stokes. (2020, 12 de mayo). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 14:30, junio 29, 2020 desde [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ecuaciones\\_de\\_Navier-Stokes&oldid=126004605](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ecuaciones_de_Navier-Stokes&oldid=126004605).