

# Trabajo Práctico N°2.

## Problemas de flujo incompresible

### a. Flujo en tuberías

Con el objetivo de aplicar los conceptos teóricos previamente presentados sobre las ecuaciones de Navier-Stokes con restricción de incompresibilidad se propone resolver un caso de flujo en tuberías. Tomando las ecuaciones de Navier-Stokes y para el caso de densidad y viscosidad constantes es posible llegar a lo indicado en la Eqn. (1)

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\frac{\vec{\nabla} p}{\rho} + \vec{\nabla} \cdot (\nu \vec{\nabla} \vec{v}) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ahora bien, definiendo una presión modificada  $p'$  como  $p' = p/\rho$  se tiene la Eqn. (2)

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\vec{\nabla} p' + \vec{\nabla} \cdot (\nu \vec{\nabla} \vec{v}) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

que es el sistema de ecuaciones resuelto en OpenFOAM® para el caso de Navier-Stokes incompresible sin modelación de la turbulencia y que da lugar al solver `iCoFoam`. Este sistema de ecuaciones posee un solo parámetro físico, la viscosidad cinemática  $\nu$ . En este caso al no haber una ecuación de evolución para la presión la ecuación de conservación de la masa [segunda expresión en la Eqn. (2)] se convierte en una restricción para la ecuación de momento [primera expresión en la Eqn. (2)]. El cumplimiento de ambas igualdades se logra por medio del método iterativo PISO.

El problema a resolver consiste en un conjunto codo-válvula desarrollado a lo largo de una tubería de diámetro  $D = 0,0254$  m, según se indica en la Figura 1. El fluido transportado posee una viscosidad cinemática  $\nu = 1 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$  siendo aproximadamente 10 veces mayor a la del agua. La diferencia de presión estática entre la entrada (zona superior) y la salida (zona derecha) de la tubería es  $p_i - p_o = 0,5 \frac{\text{m}^2}{\text{sec}^2}$ . A los efectos de simplificar la simulación se considera un geometría 2D, con lo cual el problema representa más precisamente el flujo entre placas.

Así pues las tareas a desarrollar son las siguientes:

- i) Mallar la geometría indicada en la Figura 1 utilizando el mallador de su preferencia, se sugiere el uso de `blockMesh` o `gmsH`. El paso de malla propuesto es aproximadamente 1 elemento/1 mm. Las fronteras se dividirán en entrada, salida y paredes;
- ii) Resolver el flujo indicando las condiciones de borde utilizadas para la presión y la velocidad. Seleccione e indique los parámetros numéricos adicionales necesarios tales como paso de tiempo, número de Courant, iteraciones no-ortogonales, correcciones de PISO,

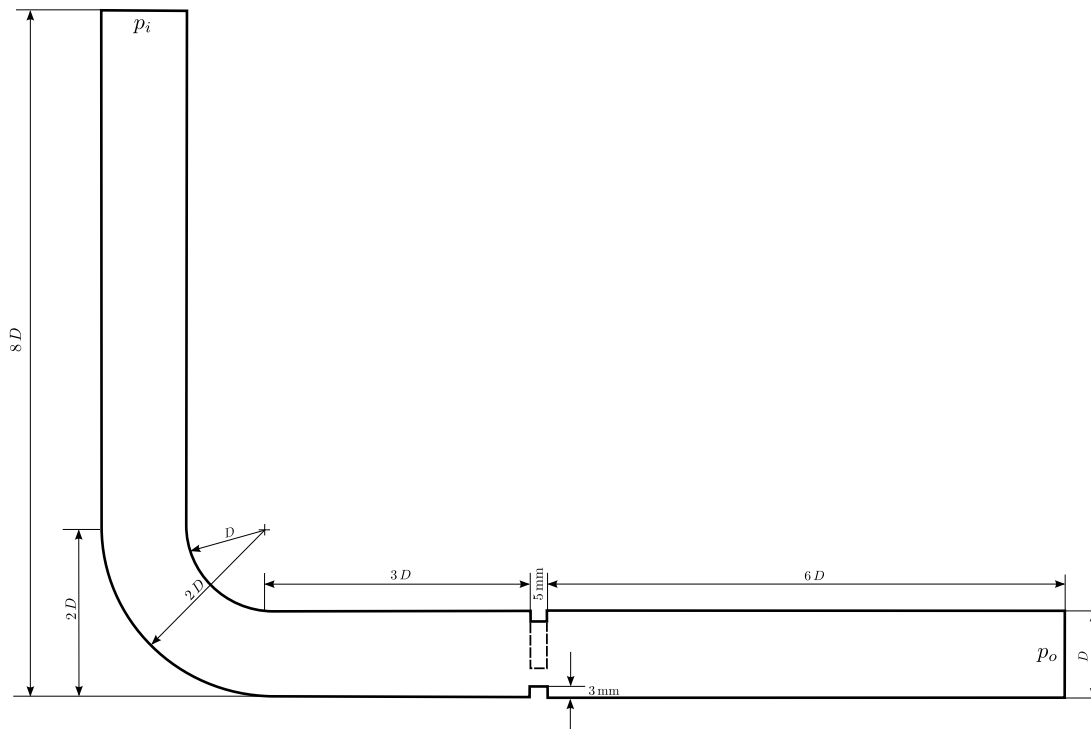


Figura 1: Conjunto curva-válvula. La línea de trazos indica un posición alternativa para la exclusiva de la válvula.

esquemas de advección, gradiente y laplaciano, tipos de solvers lineales y sus requerimientos de convergencia. Evalúe la convergencia del acoplamiento presión/velocidad y describa bajo que condiciones considera convergida la solución. ¿Es el grado de convergencia alcanzado en cada paso de tiempo suficiente para lograr una buena solución estacionaria o también lo es para cada paso de tiempo?. Se sugiere correr el problema hasta  $t \geq 4$  sec con el fin de no observar mayores cambios en la solución entre un paso de tiempo y el siguiente;

- iii) Describa la solución obtenida y presente sendas figuras para el campo de presión y la magnitud de la velocidad. ¿Qué observa en la zona de la curva? ¿Cómo se altera el flujo debido a la contracción dada por los asientos de la válvula?;
- iv) A los efectos de evaluar el comportamiento de la válvula corra el presente caso para 10 posiciones diferentes de la exclusiva. La posición 1 corresponde a la geometría original y la número 10 a la válvula completamente cerrada. Para agilizar el proceso de corrida puede utilizar los datos de la primera solución como corrida *precursora* y mapearlos sobre la geometría de la válvula en la segunda posición. Para ello copie el caso de la corrida precursora en otro directorio, malle para la nueva posición y luego posicionado dentro del nuevo directorio invoque el comando `mapFields` de la siguiente forma:

```
mapFields <directorio-origen> -consistent -sourceTime <time>
```

con esto logrará que la solución para el tiempo `<time>` del directorio de origen `<directorio-origen>` sea mapeada sobre el directorio 0 de la nueva corrida. Para ello es necesario que ambos casos tengan nombradas las fronteras de la misma forma. La solución mapeada no responderá a la nueva geometría, por lo tanto será necesario correr el solver hasta obtener una solución razonablemente estacionaria. No obstante se ahorra tiempo

al partir de una condición inicial más aproximada a la solución. Presente gráficos de presión y magnitud de la velocidad para distintos grados de apertura de la válvula.

- v) Presente una curva de caudal volumétrico vs. grado de apertura. ¿Es lineal esta curva? ¿A qué atribuye los resultados obtenidos? Explique en términos de los campos de flujo obtenidos.
- vi) Describa la solución en presión y magnitud de velocidad obtenida para el cierre completo de la válvula. Presente las figuras correspondientes.
- vii) Verifique el cierre de la ecuación de continuidad evaluando caudales volumétricos a la entrada y salida del dominio. ¿Qué otro parámetro puede cotejar para hacer esta verificación? Desarrolle.
- viii) Evalúe la pérdida de presión en el tramo de ingreso antes de la curva. Evalúe la pérdida de presión en la curva. ¿Cuál es la pérdida de presión en la curva utilizando el concepto de *longitud equivalente*? Compare con datos extraídos de la bibliografía.

## b. Comandos de utilidad

Los siguientes comandos de terminal de texto pueden ser de utilidad a la hora de correr un caso con OpenFOAM® :

- `foamJob <solver>`: lanza el solver `<solver>` en *background* redireccionando la salida de pantalla al archivo `log`. Este archivo puede ser procesado mediante el comando `foamLog log` el cual devuelve en el directorio `logs` una serie de archivos con información sobre la evolución de los residuos, etc.;
- `tail -f log`: corre el comando `tail` con la opción *follow* el cual refresca en forma constante el contenido del archivo `log`;
- `plot '<file>' u 1:2 w l`: comando de `gnuplot` que permite graficar el contenido de las columnas 1 y 2 del archivo `<file>`;
- `gnuplot residuals -:` grafica con `gnuplot` refrescando en forma constante lo indicado en el script `residuals` (adjunto con esta práctica). Este script permite ver la evolución de los residuos de presión y continuidad a lo largo del tiempo;
- `tail -f log | grep "Solving for p" | cut -d ' ' -f 9 | tr -d ",":` corre el comando `tail` con la opción *follow* siguiendo luego una tubería (*pipe*) de redirección a través de los comandos `grep`, `cut` y `tr`. Así pues la salida del archivo `log` es seguida (*follow*) con el comando `tail`, luego se busca la ocurrencia de la cadena `"Solving for p"` mediante `grep`, cortando (*cut*) en campos delimitados por el caracter espacio y tomando el noveno campo. Finalmente se elimina con el comando `tr` el caracter `", "`. De esta forma es posible extraer del archivo `log` los residuos iniciales de cada paso de PISO y cada iteración no-ortogonal en tiempo de corrida;
- `tail -f log | grep "^Time\\|Courant":` permite seguir la salida del archivo `log` mostrando solamente las líneas donde se indica el paso de tiempo y el número de Courant. Esta combinación de comandos es útil para ver solo una parte de toda la salida dada por las corridas de OpenFOAM® . Combinaciones similares pueden generarse para ver otros parámetros que puedan ser de interés.

- `man <command>`: invoca las páginas `man` (manual) del comando `<command>`. Se recomienda repasar las páginas `man` de los comandos presentados, así como de `sed`, `paste`, `xargs`, `find`, `less`, `head`, `cat`, etc.