

## **Manual de laboratorio de simulación computacional**

### **Práctica N°1: Distribución de velocidades**

**Fuente del recurso:** Tutorial “WaterChannel” de OpenFOAM (NSIV OpenFOAM & Ansys, 2022), adaptado por Eliel David Malaver Nieto, estudiante UIS en el desarrollo de su trabajo de grado

#### **1. Objetivos de la simulación**

- ✓ Profundizar en los conceptos de la distribución de velocidades de flujo en canales abiertos mediante la implementación de una simulación en la herramienta OpenFOAM.
- ✓ Analizar las características de la distribución de velocidades mediante la solución de preguntas orientadoras.
- ✓ Desarrollar habilidades para la utilización apropiada de herramientas tecnológicas aplicadas a la ingeniería civil, en particular la herramienta OpenFOAM, fortaleciendo el conocimiento teórico-práctico de la mecánica de fluidos.

#### **2. Requerimientos para la simulación**

- ✓ Sistema operativo Windows, Linux o MacOS
- ✓ Seguir el manual de instrucciones para descargar e instalar el programa OpenFOAM
- ✓ Preferiblemente poseer la versión 8 del programa OpenFOAM el cual es presentado en la guía número 3
- ✓ Poseer un computador con un nivel de requerimientos medio, para esto por favor lea la sección “5.1 Importante” de este documento, la cual hace referencia a estos aspectos

### 3. Introducción

La primera práctica de simulación computacional del laboratorio de hidráulica tiene como objetivo la profundización en conocimientos referentes a la distribución de velocidades, en las distintas secciones transversales de un canal abierto. Esta distribución puede ser influenciada por diversos factores, tales como la forma de la sección y la rugosidad de la misma; la presencia de curvas en el canal, así como el aporte de corrientes secundarias que se puedan presentar en la unión entre dos o más canales (Chow, 1994).

Para lograr este objetivo, en esta guía se presenta un proceso de simulación computacional en un software ampliamente utilizado en el mundo de las simulaciones, el cual se caracteriza por su facilidad de adquisición y practicidad al momento de generar escenarios en fluidos compresibles y no compresibles. Con el desarrollo de esta guía, se evidenciará la distribución de velocidades en una sección del canal y se analizará conceptualmente su comportamiento. También, se explicarán las formas que se presentan a modo de "curvas de nivel", que exponen la magnitud de la velocidad en cada parte de la sección transversal.

Finalmente, a través de una serie de preguntas de análisis, el estudiante podrá consolidar su comprensión de los conceptos abordados en la asignatura y el uso de un nuevo programa computacional, permitiéndole relacionarlos de manera efectiva.

### 4. Marco teórico

Para iniciar, es importante tener en cuenta que los análisis teóricos de la hidráulica de canales abiertos se basan en el estudio del ciclo hidrológico. Este ciclo se refiere a los procesos que ocurren con el agua en la hidrosfera y que permiten su circulación en diferentes estados. En un momento de este ciclo, el agua entra en contacto con la superficie terrestre y es allí donde se inician los estudios de los fenómenos hidráulicos (Marbello, 2005).

Específicamente, nos enfocaremos en la escorrentía superficial, la cual requiere ser medida y analizada en diferentes estudios. En esta sesión de la práctica, abordaremos las técnicas para la medición de la escorrentía superficial.

#### 4.1 Definiciones de conceptos básicos

- ✓ **Hidrometría:** es la parte de la hidrodinámica que se encarga de los métodos de medición de la velocidad, el caudal y las fuerzas de los líquidos en movimiento.
- ✓ **Batimetría:** es una actividad hidrométrica cuya finalidad es el levantamiento alti-planimétrico del fondo de corrientes y cuerpos de agua, tales como lagos, lagunas, embalses, bahías, ciénagas, estuarios, mares y océanos.
- ✓ **Perfil de velocidades:** El perfil de velocidades es una representación gráfica que muestra cómo varía la velocidad del fluido en una sección transversal del canal o conducto. Este análisis es fundamental en la hidráulica de canales abiertos y conductos cerrados, ya que permite determinar el caudal y la pérdida de energía del fluido en movimiento. Además, el perfil de velocidades es

esencial en proyectos de ingeniería, tanto para el aprovechamiento humano como para el control del flujo (Marbello, 2005). En la *Figura 1* se presenta un ejemplo de perfil de velocidades, el cual incluye la velocidad media en una vertical de aforo.

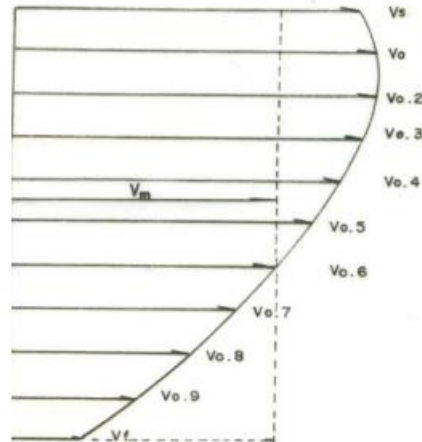


Figura 1. Distribución de velocidades (Marbello, 2005)

- ✓ **Aforo:** es el conjunto de actividades hidrométricas conducentes a la determinación del caudal de una corriente de agua.
- ✓ **Sección de aforo:** también llamada estación de aforo es la sección transversal del cauce de la corriente de agua que se desea aforar. Antes de realizar las mediciones necesarias para llevar a cabo un aforo, es necesario realizar un levantamiento altimétrico de la sección transversal.

#### 4.2 Distribución de velocidades en una sección rectangular

Debido a distintos factores, como la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales abiertos, a menudo se encuentra por debajo de la superficie libre a una distancia de 0.05 a 0.25 de la profundidad (Chow, 1994)

En la *Figura 2* se presenta el modelo general de distribución de velocidades para un canal rectangular. Este perfil tiende a generar una serie de “curvas de nivel” que precisan la ubicación y magnitud de la velocidad en cada punto de la sección transversal. A medida que se avanza en la profundidad del canal, estas curvas van variando gradualmente. En teoría, el perfil de velocidad debería tener una forma logarítmica en la vertical, sin embargo, en la práctica se ha observado que se asemeja más a un arco de parábola.

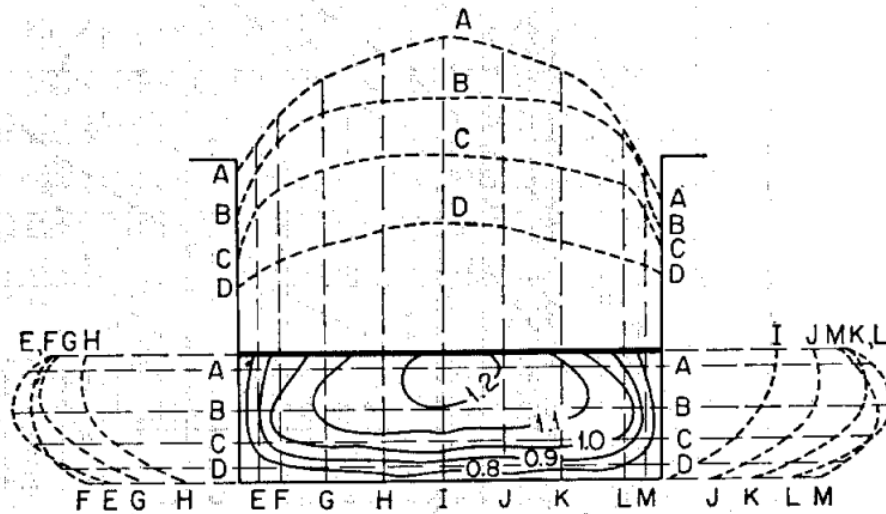


Figura 2. Distribución de velocidades en la sección transversal (Chow, 1994)

## 5. Implementación de la simulación

### 5.1 Importante

Para llevar a cabo esta práctica es necesario cumplir con los siguientes requerimientos técnicos mínimos:

- ✓ **Espacio en disco:** se necesita de 7 GB libres.
- ✓ **Procesador:** Intel Core i3 o AMD Ryzen 3, de tercera generación.
- ✓ **Memoria RAM:** 6 GB, inicialmente, para lograr correr el simulador llamado *Paraview*. Si al momento de efectuar la simulación en *Paraview* el programa no funciona o el computador se congela, es un aviso de que el computador no cumple a cabalidad con este requerimiento.

Estos aspectos son abordados en profundidad en el **video** que acompaña a esta guía de laboratorio.

### 5.2 Descripción del problema

Para la simulación propuesta en la primera práctica, se seguirá un ejemplo propuesto dentro de los tutoriales del programa OpenFOAM (NSIV OpenFOAM & Ansys, 2022), el cual será modificado para obtener una variación de problema original.

El problema consta de un canal trapecoidal con tres tramos, por los cuales fluirá un caudal de 60 [m<sup>3</sup>/s]. Cada tramo presenta una pendiente diferente, lo que genera una aceleración en el flujo y curvas en los tramos del canal. Además de esto, se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ En este problema se supone un régimen transitorio<sup>1</sup>.
- ✓ El canal empleado tendrá superficie libre.
- ✓ Las dimensiones del canal son de 6 [m] de base, 6 [m] de altura y un talud de 6/1
- ✓ Para el agua, la viscosidad cinemática será de  $1\text{e-}06$  [m<sup>2</sup>/s] y la densidad será de  $1\text{e}+03$  [Kg/m<sup>3</sup>]
- ✓ Para el aire, la viscosidad cinemática será de  $1.48\text{e-}05$  [m<sup>2</sup>/s] y la densidad será de 1 [Kg/m<sup>3</sup>]

En la *Figura 3* se presenta una visualización del canal de tal manera que el estudiante conozca de antemano el resultado que se obtendrá con el desarrollo de la presente guía de simulación.

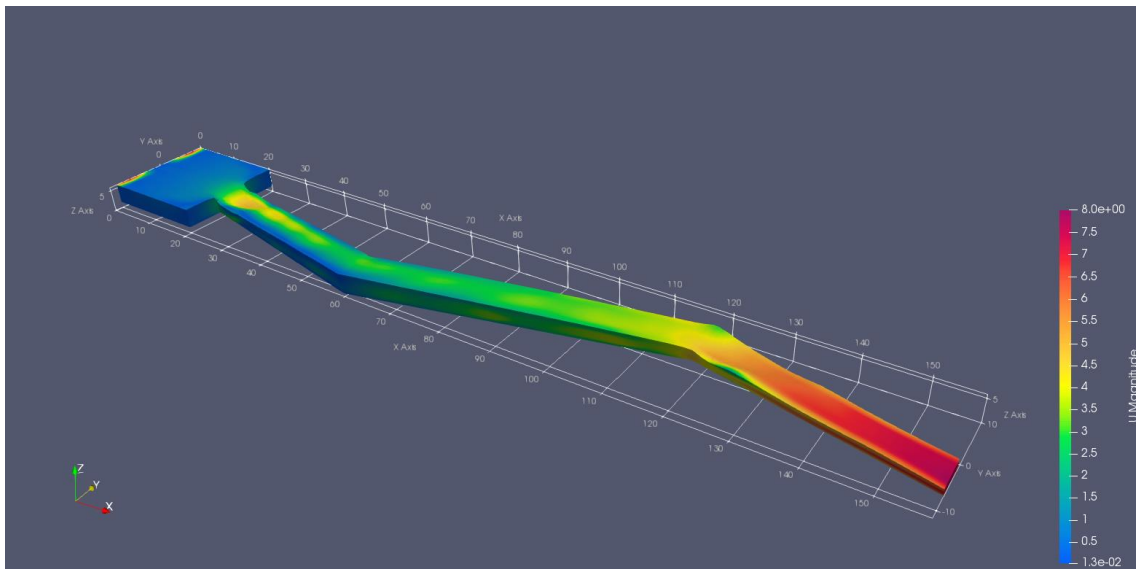


Figura 3. Ventana de simulación

### 5.3 Proceso de simulación

#### *Pasos preliminares*

El primer paso que debe realizar es el del guardado de la carpeta *WaterChannel* de tal manera que no se alteren los archivos originales del programa OpenFOAM, para esto desarrolle el siguiente procedimiento:

- ✓ De los archivos que se presentan en el escritorio haga clic en el archivo llamado *BlueCFD-Core 2020 (Start Menu)* (*Figura 4*)

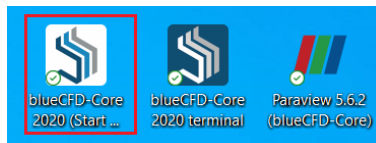


Figura 4 Ventana de programas de BlueCFD-Core

<sup>1</sup> Definición de régimen transitorio: [Régimen Estacionario vs Transitorio \(CFD\) - NSIV.IO](http://NSIV.IO)

- ✓ En la carpeta que se abre, haga clic en *blueCFD-Core folder* y luego en *ofuser-of8* (Figura 5 y Figura 6)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
GUI	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>blueCFD-Core folder</b>	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo	2 KB
blueCFD-Core terminal	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo	2 KB
Extended Start Menu	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo	2 KB

Figura 5 Carpeta blueCFD-Core folder

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
AddOns	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
docs	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
msys64	6/03/2023 4:39 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>ofuser-of8</b>	11/03/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
OpenFOAM-8	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
shortcuts	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
Start Menu	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
ThirdParty-8	6/03/2023 4:43 p. m.	Carpeta de archivos	
uninstall	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
blueCFD-Core_MSys2_mingw64	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	3 KB
blueCFD-Core-Portable	13/04/2021 12:27 p. m.	Aplicación	391 KB
DOS_Mode_OF8	15/10/2020 6:41 p. m.	Archivo por lotes ...	2 KB
LocalDrive_OFF	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
LocalDrive_ON	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
README	27/08/2020 9:47 a. m.	Documento de tex...	1 KB
setvars_OF8	15/10/2020 6:42 p. m.	Archivo por lotes ...	5 KB

Figura 6 Carpeta ofuser-of8

- ✓ En la carpeta de *ofuser-of8* cree una nueva carpeta que llamada *run* (Figura 7)

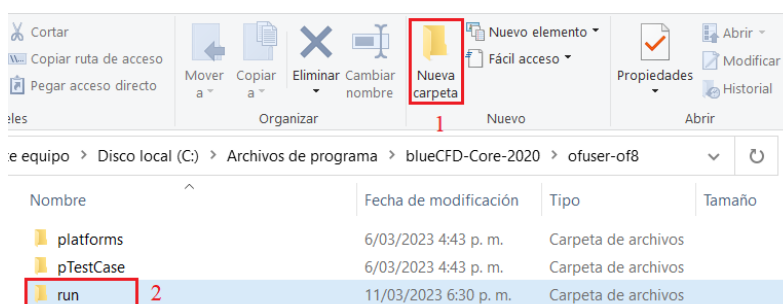


Figura 7 Ventana de creación de la carpeta run

- ✓ Vuelva a la carpeta *BlueCFD-Core folder* e ingrese en la carpeta llamada *OpenFOAM-8* (Figura 8)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
AddOns	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
docs	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
msys64	6/03/2023 4:39 p. m.	Carpeta de archivos	
ofuser-of8	11/03/2023 6:30 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>OpenFOAM-8</b>	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
shortcuts	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
Start Menu	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
ThirdParty-8	6/03/2023 4:43 p. m.	Carpeta de archivos	
uninstall	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
blueCFD-Core_MSys2_mingw64	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	3 KB
blueCFD-Core-Portable	13/04/2021 12:27 p. m.	Aplicación	391 KB
DOS_Mode_OF8	15/10/2020 6:41 p. m.	Archivo por lotes ...	2 KB
LocalDrive_OFF	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
LocalDrive_ON	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
README	27/08/2020 9:47 a. m.	Documento de tex...	1 KB
setvars_OF8	15/10/2020 6:42 p. m.	Archivo por lotes ...	5 KB

Figura 8 Ventana de la carpeta OpenFOAM-8

- ✓ Copie la carpeta *tutorials* en la carpeta *run* (creada anteriormente) (Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
.git	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
applications	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
bin	6/03/2023 4:40 p. m.	Carpeta de archivos	
doc	6/03/2023 4:42 p. m.	Carpeta de archivos	
etc	6/03/2023 4:42 p. m.	Carpeta de archivos	
platforms	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
src	6/03/2023 4:42 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>tutorials</b>	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
wmake	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
.build	23/10/2020 10:55 a. m.	Archivo BUILD	1 KB
.gitignore	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo GITIGNORE	2 KB
Allwmake	16/09/2020 6:55 p. m.	Archivo	2 KB
COPYING	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	35 KB
multiBuilder	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	4 KB
README.OpenFOAM.org	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo ORG	2 KB
README.org	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo ORG	3 KB

Figura 9 Ventana de la carpeta tutoriales

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
AddOms	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
docs	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
msys64	6/03/2023 4:39 p. m.	Carpeta de archivos	
ofuser-of8	11/03/2023 3:56 p. m.	Carpeta de archivos	
OpenFOAM-8	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
shortcuts	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
Start Menu	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos	
ThirdParty-8	6/03/2023 4:43 p. m.	Carpeta de archivos	
uninstall	6/03/2023 4:34 p. m.	Carpeta de archivos	
blueCFD-Core_MSys2_mingw64	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	3 KB
blueCFD-Core-Portable	13/04/2021 12:27 p. m.	Aplicación	391 KB
DOS_Mode_OF8	15/10/2020 6:41 p. m.	Archivo por lotes ...	2 KB
LocalDrive_OFF	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
LocalDrive_ON	27/08/2020 9:47 a. m.	Archivo por lotes ...	1 KB
README	27/08/2020 9:47 a. m.	Documento de tex...	1 KB
setvars_OF8	15/10/2020 6:42 p. m.	Archivo por lotes ...	5 KB

Figura 10 Ventana de la carpeta ofuser-of8

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
platforms	6/03/2023 4:43 p. m.	Carpeta de archivos
pTestCase	6/03/2023 4:43 p. m.	Carpeta de archivos
run	11/03/2023 6:30 p. m.	Carpeta de archivos

Figura 11 Ventana de la carpeta run

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
tutorials	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos

Figura 12 Ventana de la carpeta tutorials

- ✓ Estando en *run*, ingrese a la carpeta *tutorials*, luego en *multiphase*, luego entre en la carpeta *interFoam*, seguido a esto entre en la carpeta *RAS* y finalmente encontrará una carpeta llamada *waterChannel* (Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16)



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
basic	6/03/2023 4:40 p. m.	Carpeta de archivos	
combustion	6/03/2023 4:40 p. m.	Carpeta de archivos	
compressible	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
discreteMethods	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
DNS	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
electromagnetics	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
financial	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
heatTransfer	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
incompressible	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
IO	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
lagrangian	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
mesh	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>multiphase</b>	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
resources	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
stressAnalysis	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos	
Allclean	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
Allrun	29/09/2020 11:42 a. m.	Archivo	4 KB
Alltest	28/09/2020 6:12 p. m.	Archivo	9 KB
Allwclean	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
Allwmake	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB

Figura 13 Ventana carpeta multiphase

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
cavitatingFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
compressibleInterFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
compressibleMultiphaseInterFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
driftFluxFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
<b>interFoam</b>	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
interMixingFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
interPhaseChangeFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
multiphaseEulerFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
multiphaseInterFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
potentialFreeSurfaceFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos
twoLiquidMixingFoam	6/03/2023 4:41 p. m.	Carpeta de archivos

Figura 14 Ventana carpeta interFoam

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
laminar	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos	
LES	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos	
<b>RAS</b>	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura 15 Ventana carpeta RAS

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
angledDuct	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
damBreak	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
damBreakPorousBaffle	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
DTCHull	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
DTCHullMoving	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
DTCHullWave	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
floatingObject	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
mixerVesselAMI	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
planingHullW3	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
waterChannel	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
weirOverflow	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos

Figura 16 Ventna carpeta waterChannel

- ✓ Copie la carpeta *waterChannel* y péguela en la carpeta *run* (Figura 17)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
tutorials	11/03/2023 6:38 p. m.	Carpeta de archivos
waterChannel	11/03/2023 6:41 p. m.	Carpeta de archivos

Figura 17 Ventana copiado de la carpeta waterChannel

- ✓ Vuelva a la carpeta *run* y luego abra la carpeta *waterChannel* que recién ha copiado
- ✓ En *waterChannel*, encontrará las carpetas: *0*, *constant* y *system* (Figura 18)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
0	11/03/2023 6:41 p. m.	Carpeta de archivos	
constant	11/03/2023 6:41 p. m.	Carpeta de archivos	
system	11/03/2023 6:41 p. m.	Carpeta de archivos	
Allclean	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
Allmesh	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
Allrun	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 18 Ventana carpeta waterChannel

### 5.3.2 Simulación

Para el proceso de simulación, procederá a trabajar con la carpeta *waterChannel* que se encuentra en la carpeta *run* de tal manera que se tengan archivos de respaldo de la carpeta *waterChannel* original. Para llevar a cabo la simulación desarrollará el siguiente procedimiento:

- ✓ Estando en *waterChannel*, ingrese en la carpeta *0* y luego haga clic derecho sobre el archivo llamado *U* (Figura 19 y Figura 20)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
0	11/03/2023 8:04 p. m.	Carpeta de archivos	
constant	11/03/2023 8:04 p. m.	Carpeta de archivos	
system	11/03/2023 8:04 p. m.	Carpeta de archivos	
Allclean	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
Allmesh	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
Allrun	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 19 Ventana de la carpeta 0

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
alpha.water.orig	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo ORIG	2 KB
k	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
nut	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
omega	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
p_rgh	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
U	11/03/2023 8:04 p. m.	Archivo	2 KB

Figura 20 Ventana del archivo U

- ✓ Se desplegará un menú en el cual debe hacer clic en *Open with Notepad2* (Notepad2 se instala automáticamente con el programa BlueCFD-Core) (Figura 21)

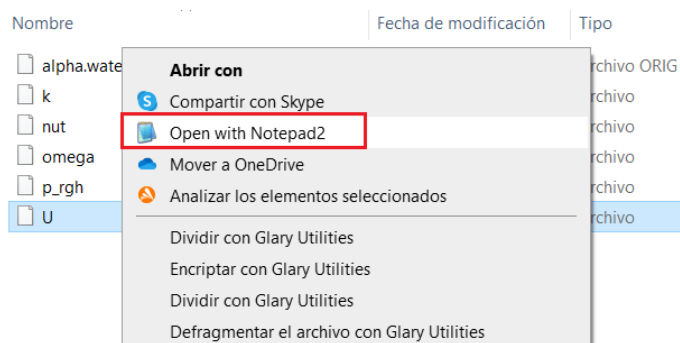


Figura 21 Ventana de Notepad2

- ✓ Este archivo contiene el código que hace referencia a las condiciones de velocidad que se presentarán en la simulación, ubique la sección que dice *volumetricFlowRate constant* y cambie el valor que de 50 por 60 (Figura 22 y Figura 23)

```

1 /*----- C++ -----*/
2
3 \ F i e l d
4 \ O p e r a t i o n
5 \ A n d
6 \ M a n i p u l a t i o n
7
8 FoamFile
9 {
10     version      2.0;
11     format       ascii;
12     class        volVectorField;
13     object       U;
14 }
15 // *****
16
17 dimensions      [0 1 -1 0 0 0];
18
19 internalField    uniform (1 0 0);
20
21 boundaryField
22 {
23     inlet
24     {
25         type      flowRateInletVelocity;
26         volumetricFlowRate constant 50;
27     }
28
29     walls
30     {
31         type      noSlip;
32     }
33
34     atmosphere
35     {
36         type      pressureInletOutletVelocity;
37         value      uniform (0 0 0);
38     }
39
40     outlet
41     {
42         type      inletOutlet;
43         inletValue  uniform (0 0 0);
44     }
45 }

```

Figura 22 Ventana código del archivo U con  $Q = 50$  [m<sup>3</sup>/s]

```

1 /*----- C++ -----*/
2
3 \ F i e l d
4 \ O p e r a t i o n
5 \ A n d
6 \ M a n i p u l a t i o n
7
8 FoamFile
9 {
10     version      2.0;
11     format       ascii;
12     class        volVectorField;
13     object       U;
14 }
15 // *****
16
17 dimensions      [0 1 -1 0 0 0];
18
19 internalField    uniform (1 0 0);
20
21 boundaryField
22 {
23     inlet
24     {
25         type      flowRateInletVelocity;
26         volumetricFlowRate constant 60;
27     }
28
29     walls
30     {
31         type      noSlip;
32     }
33
34     atmosphere
35     {
36         type      pressureInletOutletVelocity;
37         value      uniform (0 0 0);
38     }
39
40     outlet
41     {
42         type      inletOutlet;
43         inletValue  uniform (0 0 0);
44     }
45 }

```

Figura 23 Ventana código del archivo U con  $Q = 60$  [m<sup>3</sup>/s]

- ✓ Esto hace referencia a cambiar el caudal de 50 [m<sup>3</sup>/s] a 60 [m<sup>3</sup>/s]
- ✓ Ahora, haga clic en *file* y luego en *Save* (Figura 24)

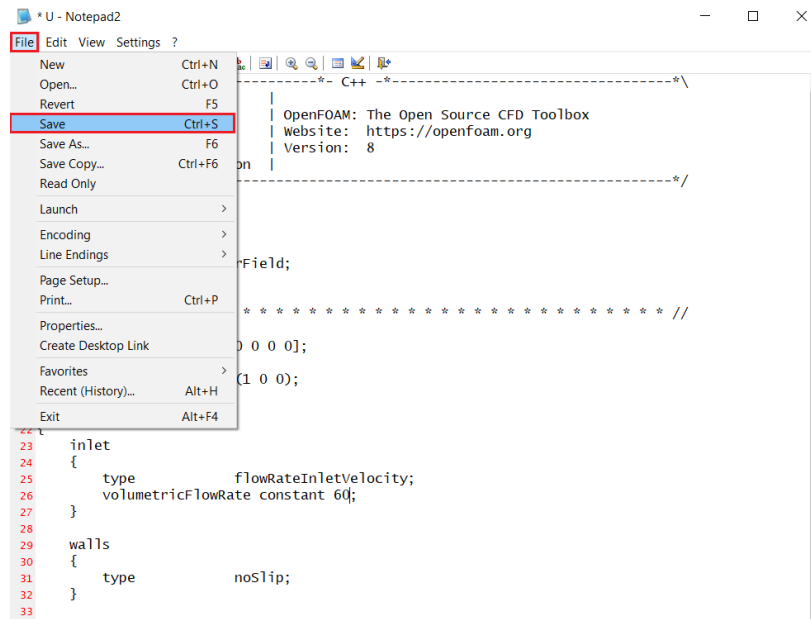


Figura 24 Ventana Guardando del archivo U

- ✓ Ingrese a la carpeta *system* y manténgala abierta (Figura 25)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
extrudeMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
extrudeMeshDict.1	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 25 Ventana de la carpeta system

- ✓ Vuelva al escritorio y haga doble clic en el archivo llamado *BlueCFD-Core 2020 (Start Menu)* (Figura 26)

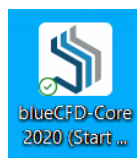


Figura 26 Icono de BlueCFD-Core 2020 (Start Menu)

- ✓ Abra el acceso directo de *BlueCFD-Core terminal* (Figura 27)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
GUI	6/03/2023 4:44 p. m.	Carpeta de archivos
blueCFD-Core folder	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo
blueCFD-Core terminal	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo
Extended Start Menu	6/03/2023 4:44 p. m.	Acceso directo

Figura 27 Icono de BlueCFD-Core terminal

- ✓ Al abrir el programa *BlueCFD-Core terminal*, chequee que la interfaz del programa se vea como se muestra en la *Figura 28*

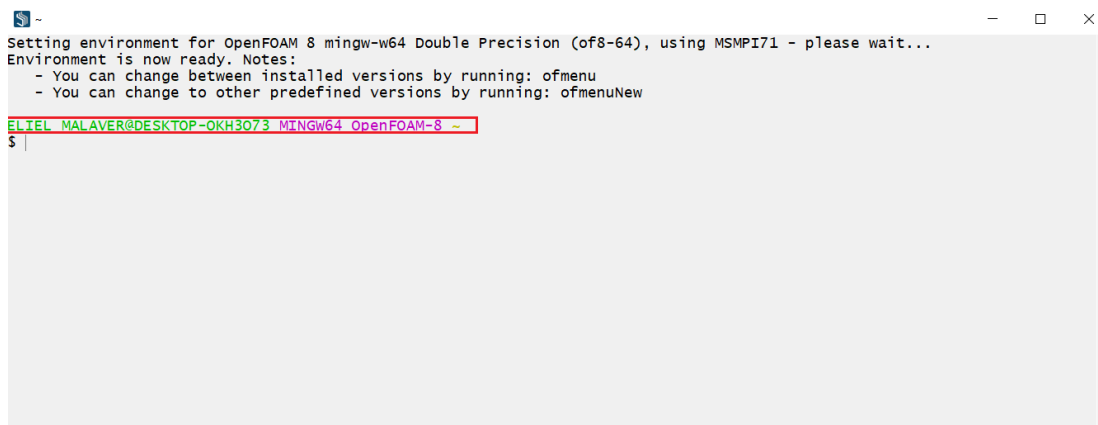


Figura 28 Ventana de BlueCFD-Core terminal

- ✓ Teniendo abierto el terminal y la carpeta *system* al tiempo, escriba en el terminal el siguiente comando: `cd $FOAM_RUN/waterChannel` y presione la tecla enter. Es de suma importancia respetar los espacios, mayúsculas y minúsculas en los comandos (*Figura 29*)

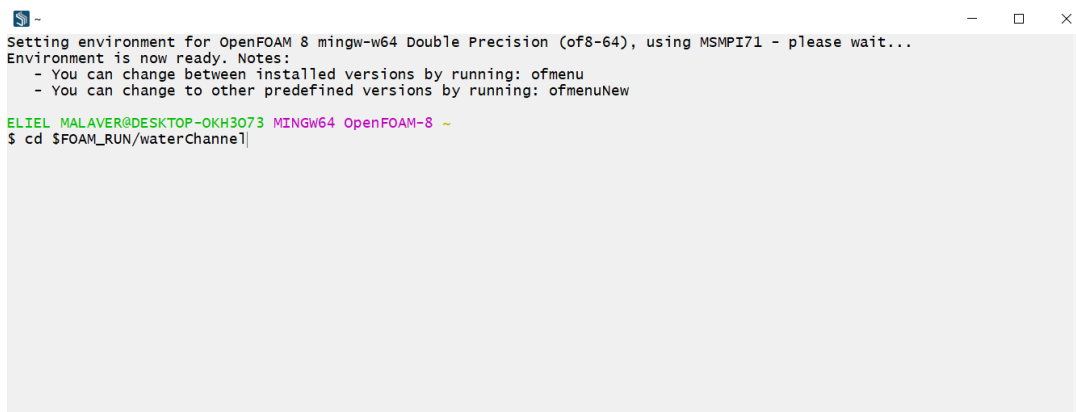


Figura 29 Ventana del primer Comando

- ✓ De esta manera, por medio del terminal, entraremos en la carpeta *waterChannel*.
- ✓ En el terminal, ingrese el siguiente comando: `ls` y luego presione la tecla enter. Este comando mostrará las carpetas y archivos presentes en la carpeta *WaterChannel* (*Figura 30*)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
Setting environment for OpenFOAM 8 mingw-w64 Double Precision (of8-64), using MSMPI71 - please wait...
Environment is now ready. Notes:
- You can change between installed versions by running: ofmenu
- You can change to other predefined versions by running: ofmenuNew

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~
$ cd $FOAM_RUN/waterChannel

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ ls
```

Figura 30 Ventana del segundo Comando

- ✓ Ingrese en el terminal el siguiente comando: blockMesh y presione la tecla enter (Figura 31)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
Setting environment for OpenFOAM 8 mingw-w64 Double Precision (of8-64), using MSMPI71 - please wait...
Environment is now ready. Notes:
- You can change between installed versions by running: ofmenu
- You can change to other predefined versions by running: ofmenuNew

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~
$ cd $FOAM_RUN/waterChannel

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ ls
0 Allclean Allmesh Allrun constant system

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ blockMesh
```

Figura 31 Ventana del tercer Comando

- ✓ Esto generará la primera geometría presentada más adelante.
- ✓ Nuevamente en el terminal ingrese el siguiente comando: extrudeMesh y presione enter (Figura 32)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
There are no merge patch pairs edges

Writing polyMesh
-----
Mesh Information
-----
boundingBox: (0 -10 2) (20 10 8)
nPoints: 9261
nCells: 8000
nFaces: 25200
nInternalFaces: 22800
-----
Patches
-----
patch 0 (start: 22800 size: 200) name: inlet
patch 1 (start: 23000 size: 1600) name: walls
patch 2 (start: 24600 size: 200) name: outlet
patch 3 (start: 24800 size: 400) name: atmosphere
End

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3O73 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ extrudeMesh
```

Figura 32 Ventana del primer extrude

- ✓ En la carpeta *system* hay un archivo llamado *extrudeMeshDict*, haga clic derecho sobre este archivo y cambie el nombre a *extrudeMeshDict.0* (Figura 33, Figura 34 y Figura 35)

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
<b>extrudeMeshDict</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
extrudeMeshDict.1	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 33 Ventana del archivo *extrudeMeshDict*

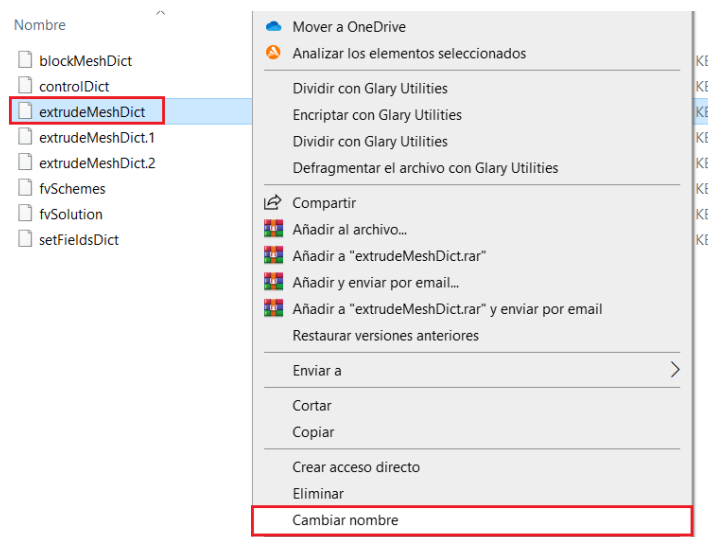


Figura 34 Ventana para el cambio de nombre

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
<b>extrudeMeshDict.0</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
extrudeMeshDict.1	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 35 Ventana del archivo *extrudeMeshDict.0*

- ✓ Si aparece una ventana emergente en la cual le avisa que está a punto de cambiar el nombre, en esta ventana haga clic en Sí, y repite este proceso cada vez que aparezca la misma ventana a la hora de cambiar el nombre a los archivos en esta práctica (Figura 36)



Cambiar nombre



Al cambiar la extensión de nombre de archivo, el archivo puede quedar inutilizable.

¿Está seguro de que desea cambiarla?

Figura 36 Ventana emergente

- ✓ Es importante escribir los comandos y cambios de nombre a los archivos tal cual como se expresa en este documento.
- ✓ Seguido a esto dará clic derecho en el archivo llamado *extrudeMeshDict.1* y cambie el nombre a *extrudeMeshDict* y presione la tecla enter (Figura 37 y Figura 38)









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 <b>extrudeMeshDict.1</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
 extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 37 Ventana del archivo extrudeMeshDict.1









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 <b>extrudeMeshDict</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 38 Ventana del archivo extrudeMeshDict

- ✓ Vuelva al terminal e ingrese el comando: *extrudeMesh* y presione la tecla enter (Figura 39)

```

~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
Adding overall 0 processor patches.
Testing:"C:/PROGRA~1/BLUECF~1/ofuser-of8/run/waterChannel/system/fvSchemes"
Mesh bounding box : (0 -11.8413 0.823812) (59.2063 10 8)
with span : (59.2063 21.8413 7.17619)
Merge distance : 0.000717619

Collapsing edges < 0.000717619 ...

Uncollapsed edges = 0 / 52900
Number of points : 18501
Not visited : 0
Not collapsed : 18501
Collapsed : 0

Collapsing 0 cells
Writing mesh to "constant/region0"

Writing added cells to cellSet addedCells

End

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3073 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ extrudeMesh

```

Figura 39 Ventana del segundo extrude

- ✓ En la carpeta *system* ubique el archivo llamado *extrudeMeshDict* y cámbiele el nombre a *extrudeMeshDict.1* y presione la tecla enter (Figura 40 y Figura 41)









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 <b>extrudeMeshDict</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 40 Ventana del archivo extrudeMeshDict









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 <b>extrudeMeshDict.1</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
 extrudeMeshDict.2	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 41 Ventana del archivo extrudeMeshDict.1

- ✓ Ubique en la carpeta *system* un archivo llamado *extrudeMeshDict.2* y cámbiele el nombre a *extrudeMeshDict* y presione la tecla enter (Figura 42 y Figura 43)









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 extrudeMeshDict.1	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
 <b>extrudeMeshDict.2</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 2	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 42 Ventana del archivo extrudeMeshDict.2









Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 blockMeshDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 controlDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 <b>extrudeMeshDict</b>	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB
 extrudeMeshDict.0	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 0	1 KB
 extrudeMeshDict.1	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo 1	1 KB
 fvSchemes	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 fvSolution	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	2 KB
 setFieldsDict	15/09/2020 11:56 a. m.	Archivo	1 KB

Figura 43 Ventana del archivo extrudeMeshDict

- ✓ En el terminal escriba el comando: extrudeMesh y presione la tecla enter (Figura 44)

```

~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
Adding overall 0 processor patches.
Testing:"C:/PROGRA~1/BLUECF~1/ofuser-of8/run/waterChannel/system/fvSchemes"
Mesh bounding box : (0 -11.8413 0.823812) (118.03 10 8.00028)
                  with span : (118.03 21.8413 7.17647)
Merge distance   : 0.000717647
Collapsing edges < 0.000717647 ...
      Uncollapsed edges = 0 / 92560
      Number of points : 32361
      Not visited      : 0
      Not collapsed    : 32361
      Collapsed        : 0
Collapsing 0 cells
Writing mesh to "constant/region0"
Writing added cells to cellSet addedCells
End
ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3073 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ extrudeMesh

```

Figura 44 Ventana del tercer extrude

- ✓ De esta manera, se tendrá el canal con los tres tramos en el programa.
- ✓ En el terminal ingrese el siguiente comando: setFields y presione la tecla enter (Figura 45)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
Adding overall 0 processor patches.
Testing:"C:/PROGRA-1/BLUECF-1/ofuser-of8/run/waterChannel/system/fvSchemes"
Mesh bounding box : (0 -11.8413 0.823812) (157.236 10 8.00028)
with span : (157.236 21.8413 7.17647)
Merge distance : 0.000717647

Collapsing edges < 0.000717647 ...
    Uncollapsed edges = 0 / 119000
    Number of points : 41601
    Not visited : 0
    Not collapsed : 41601
    Collapsed : 0

Collapsing 0 cells
Writing mesh to "constant/region0"

Writing added cells to cellSet addedCells

End

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3073 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ setFields
```

Figura 45 Ventana del comando setFields

- ✓ Espere a que se lleve a cabo el proceso en el terminal y cuando haya acabado ingrese el siguiente comando: `interFoam` y presione la tecla enter (Figura 46)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
nProcs : 1
SigFpe : Enabling floating point exception trapping (FOAM_SIGFPE).
fileModificationChecking : Monitoring run-time modified files using timeStampMaster (fileModificationSkew 10)
allowSystemOperations : Allowing user-supplied system call operations

// *****
Create time

Create mesh for time = 0

Reading setFieldsDict

Setting field default values
    Setting internal values of volScalarField alpha.water

Setting field region values
    Adding cells with center within boxes 1((-10 -20 -10) (50 20 2.2))
    Setting internal values of volScalarField alpha.water

End

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3073 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ interFoam
```

Figura 46 Ventana del comando interFoam

- ✓ Este proceso tomará algunos minutos. Mientras tanto, se aconseja no utilizar el ordenador, ya que podría interrumpir esta ejecución, con lo que se vería obligado a repetir todo el proceso.
- ✓ Cuando el proceso haya terminado, ingrese el siguiente comando en el terminal: `paraFoam` y presione la tecla enter (Figura 47)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
MULES: Correcting alpha.water
Phase-1 volume fraction = 0.469345 Min(alpha.water) = -0.00182294 Max(alpha.water) = 1.01388
GAMG: Solving for p_rgh, Initial residual = 0.000196239, Final residual = 9.35063e-07, No Iterations 2
time step continuity errors : sum local = 0.0023371, global = -5.79423e-05, cumulative = -0.115101
GAMG: Solving for p_rgh, Initial residual = 5.54113e-06, Final residual = 3.0307e-09, No Iterations 5
time step continuity errors : sum local = 7.57849e-06, global = 1.18488e-06, cumulative = -0.1151
smoothSolver: Solving for omega, Initial residual = 0.00964932, Final residual = 0.000570361, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for k, Initial residual = 0.0111564, Final residual = 0.000925941, No Iterations 1
ExecutionTime = 145.771 s ClockTime = 146 s

surfaceFieldValue inletFlux write:
sum(inlet) of rhoPhi = -60000

surfaceFieldValue outletFlux write:
sum(outlet) of rhoPhi = 57602.4

surfaceFieldValue atmosphereFlux write:
sum(atmosphere) of rhoPhi = -61.4457

End

ELIEL MALAVER@DESKTOP-OKH3073 MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/waterChannel
$ paraFoam
```

Figura 47 Ventana del comando paraFoam

- ✓ En la siguiente ventana haga clic en *Apply* y de esta manera podrá visualizar el canal por el cual fluirá el caudal de 60 [m<sup>3</sup>/s] (Figura 48)

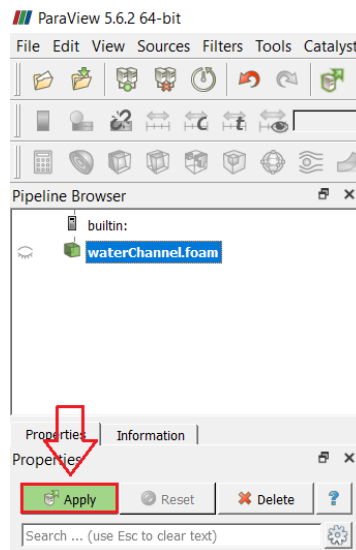


Figura 48 Ventana de ParaView

- ✓ Seguido a esto haga clic en la barra superior llamada *Filters*, luego en *Alphabetical* y finalmente en *Iso Volume* (Figura 49)

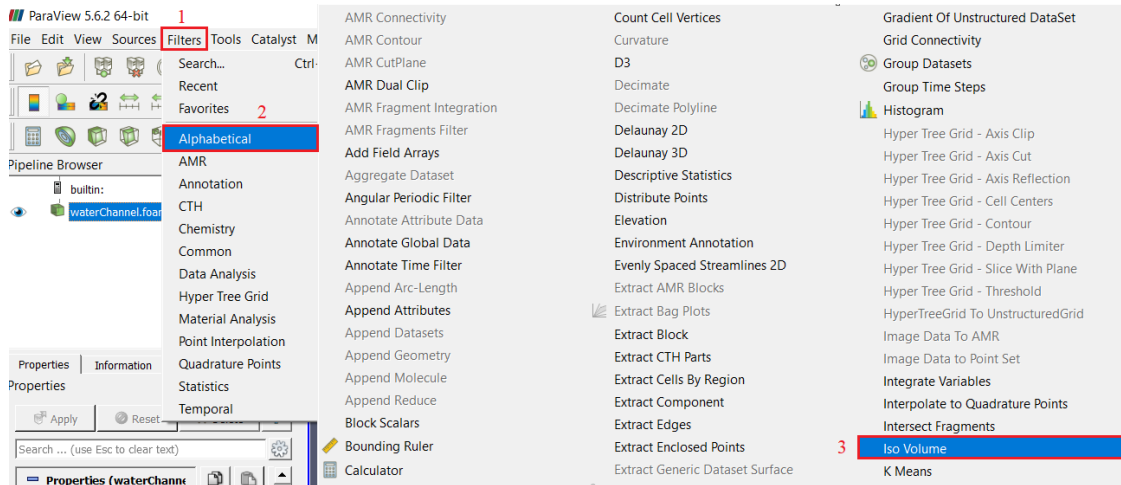


Figura 49 Ventana de (Filters - Alphabetical - Iso Volume)

- ✓ Ubique la siguiente ventana y haga clic en el primer ojo abierto, luego en el segundo ojo cerrado y finalmente de clic en *Apply* (Figura 50)

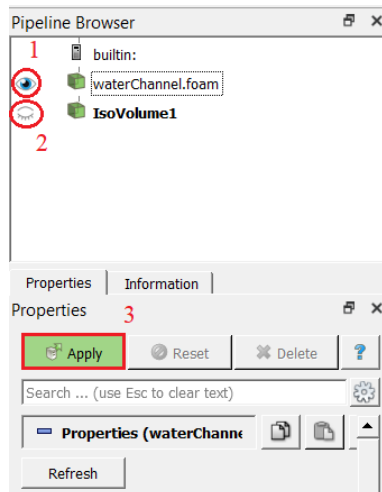


Figura 50 Ventana aplicar datos

- ✓ En la parte superior ubique el siguiente ícono de *P* y cámbielo por la *U* como se muestra en la Figura 51, Figura 52 y Figura 53

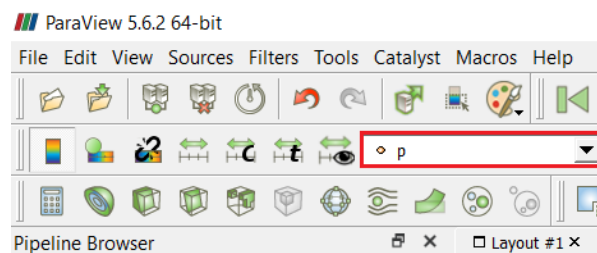


Figura 51 Ventana del icono de P

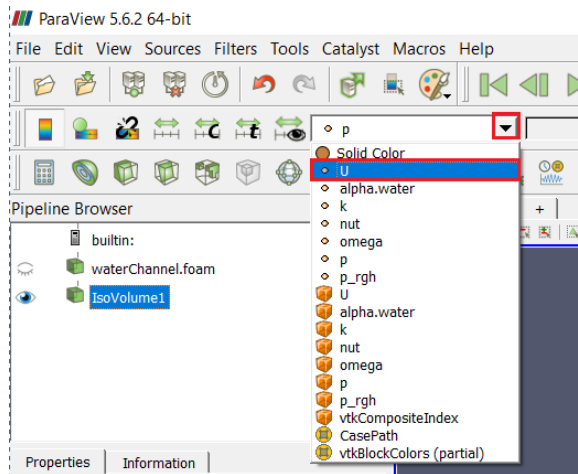


Figura 52 Ventana del cambio al icono U

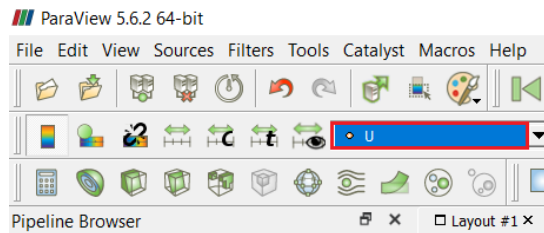


Figura 53 Ventana del icono U

- ✓ Ubique la sección de *Properties* que se encuentra a la izquierda de la pantalla y en la sección de *Input Scalars* cambie la variable *P* por la variable *alpha.water* (Figura 54)

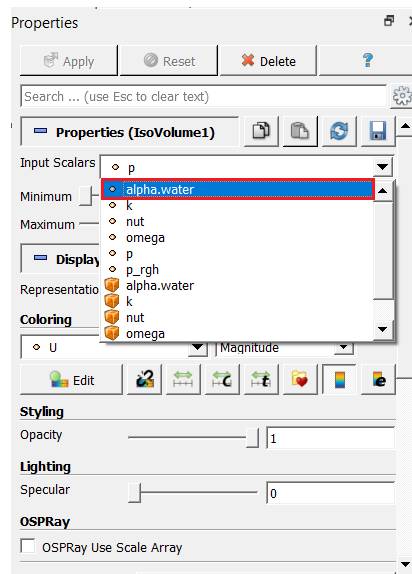


Figura 54 Input Scalars

- ✓ Debajo de la sección *Input Scalars* se encuentra la sección de *Minimum*, cambie el valor que se encuentra a la derecha por *0.4* (Figura 55)
- ✓ En la sección de *Maximum* que se encuentra debajo de la sección *Minimum* cambie el valor por defecto por *1.5* y damos clic en *Apply* (Figura 55)

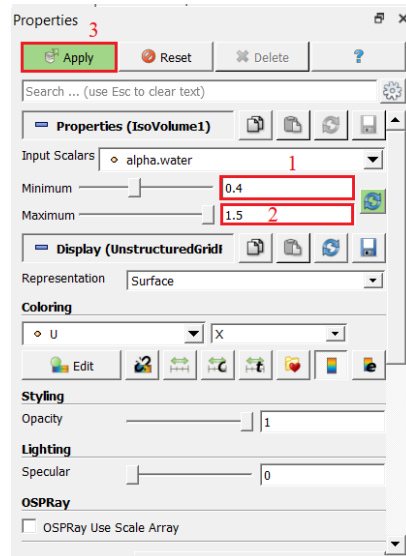


Figura 55 Ventana de configuraciones adicionales

- ✓ En la sección de **Coloring** (Figura 56) ubique el icono de una carpeta con un corazón, seleccione la opción *Rainbow Uniform*, luego haga clic en *Apply* y finalmente cierre la ventana (Figura 57)

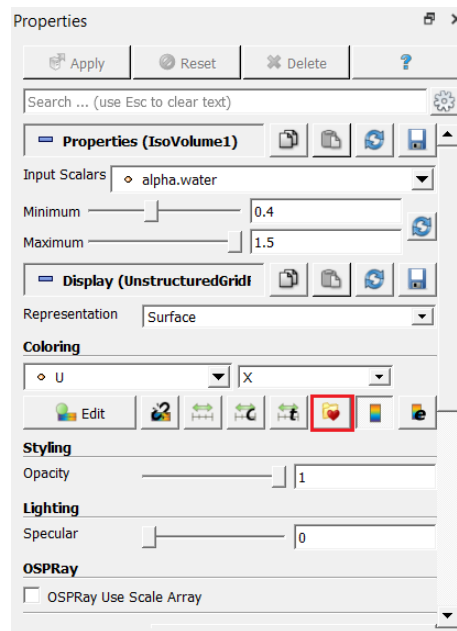
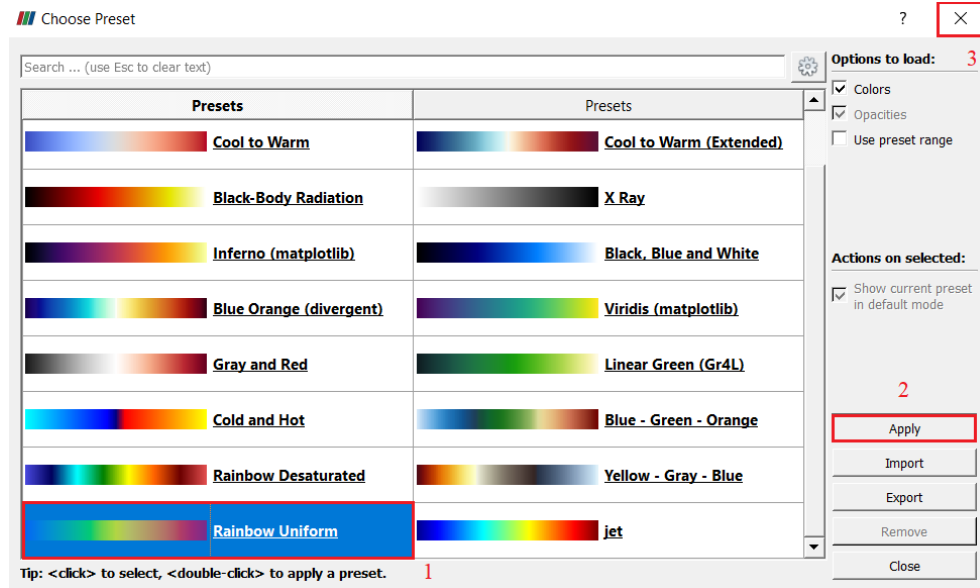
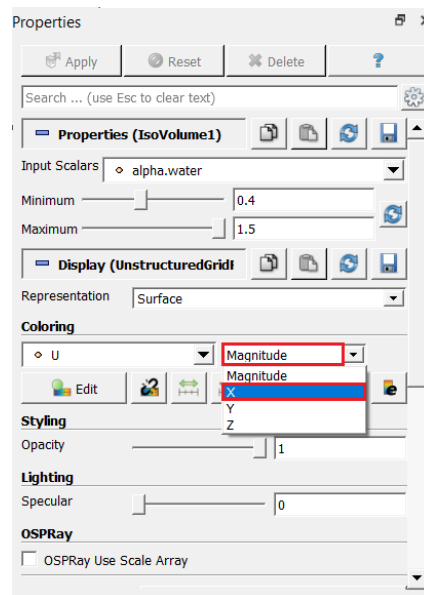


Figura 56 Ventana del icono coloring





- ✓ Nuevamente en la sección **Coloring** ubique la casilla que dice *Magnitude* y cámbiela por *X* (Figura 58)



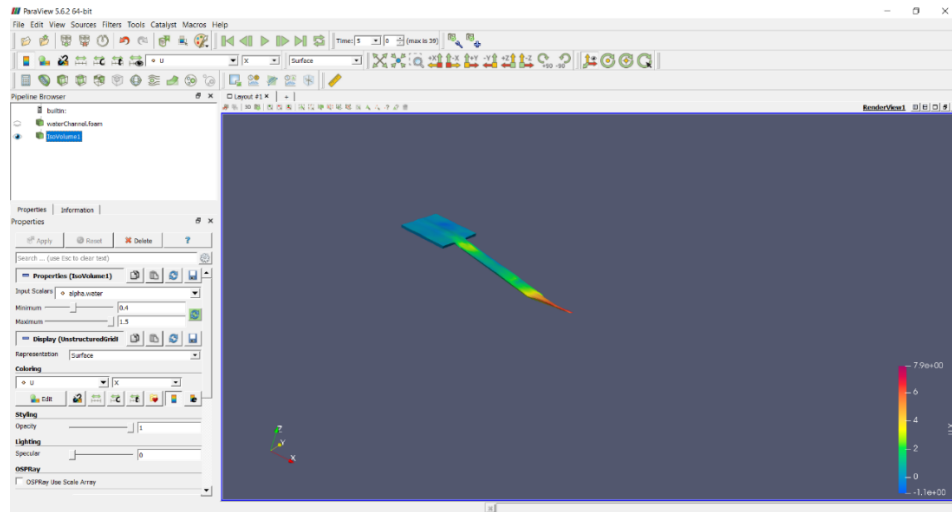


Figura 59 Ventana de la simulación

- ✓ Para correr la simulación, vaya a la parte superior y haga clic en el icono que se muestra en la Figura 60

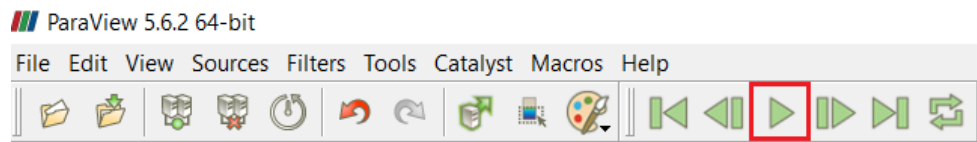


Figura 60 Ventana para correr la simulación

Finalmente, se llegará a una presentación de resultados como se muestra en la Figura 61 de tal manera que el estudiante pueda apreciar un nivel de detalle que le permita conocer tanto la distribución de velocidades en la sección, como la altura del tirante hidráulico en la sección deseada.

La manera en la que se llega a la presentación de resultados (Figura 61) se evidencia en el video de apoyo de esta práctica. Esto con el ánimo de no extender tanto este documento.

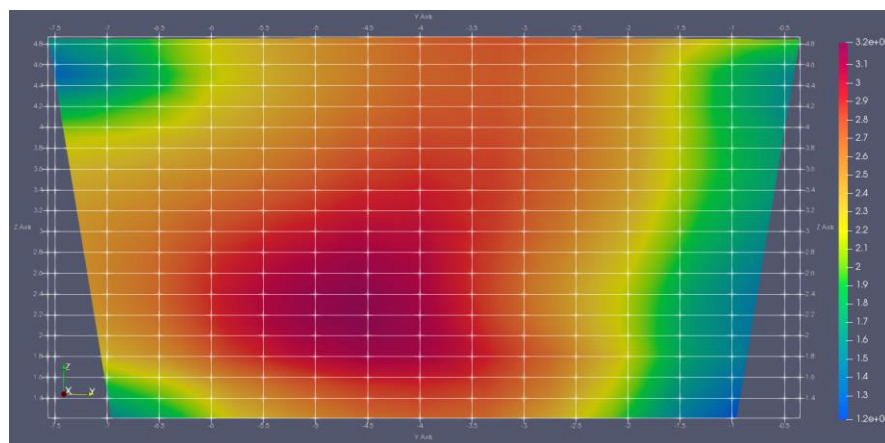


Figura 61 Ventana de resultados

## 6. Descripción del entregable

### 6.1 Entregables de la simulación inicial


Debe entregar un documento en formato PDF donde se realice una captura de toda la pantalla (no solo una sección del programa computacional sino **TODA LA PANTALLA DEL ESCRITORIO**) de los siguientes pasos durante el proceso:

- ✓ El código del archivo U representado en la *Figura 23*
- ✓ El terminal de BlueCFD-Core terminal representado en la *Figura 28*
- ✓ El ingreso del tercer comando representado en la *Figura 31*
- ✓ La ventana de ParaView que presenta la simulación en la *Figura 59*

### 6.2 Preguntas de análisis

1. Observe atentamente el video de la práctica número 1 del laboratorio de hidráulica, que hace referencia a la distribución de velocidades y presente una sección transversal en el primer, segundo o tercer tramo del canal, de tal manera que tenga un resultado como el que se muestra en la *Figura 61*. A partir de ello realice un análisis de lo observado teniendo en cuenta los conceptos teóricos presentados en esta guía de laboratorio, así como recursos presentes en la web.
2. A partir de los resultados como se muestran en la *Figura 61*, utilice una herramienta computacional de dibujo, como Paint, para crear un bosquejo de las curvas de nivel que hacen referencia a la magnitud de la velocidad en el eje X. Obtenga conclusiones a partir de ello y plásmelas en una respuesta concisa y coherente.
3. A partir del resultado obtenido en la primera pregunta, trace una vertical sobre esta sección obtenida y dibuje un perfil de velocidades de tal manera que refleje el proceso realizado y lo aprendido al realizar este ejercicio.

## 7. Referencias bibliográficas

- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*.  
[https://www.academia.edu/43519012/Ven\\_Te\\_Chow\\_HIDRAULICA\\_DE\\_CANALES\\_ABIERTOS](https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS)
- Marbello, R. (2005). 9. *Hidrometría y aforo de corrientes naturales*. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2013.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- NSIV OpenFOAM & Ansys (Director). (2022, marzo 1).  #OpenFOAM en Español—8. Tutorial #waterChannel / Superficie Libre 3D. [https://www.youtube.com/watch?v=0M1QS\\_OeQXE](https://www.youtube.com/watch?v=0M1QS_OeQXE)