

# Study of semicircular sections through CFD software for rainwater retention in arid areas

Janampa-Guardia Jonathan Isai<sup>1</sup>, Jacinto-Ferrer Humberto Javier<sup>2</sup>, Carmona-Arteaga Abel<sup>3</sup>, Magister Scientiae en Recursos Hídricos<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [N00240687@upn.pe](mailto:N00240687@upn.pe), [N00231158@upn.pe](mailto:N00231158@upn.pe), [abel.carmona@upn.edu.pe](mailto:abel.carmona@upn.edu.pe)

*Abstract– Faced with a problem such as desertification that affects certain areas of several countries. In Africa, reforestation is being carried out as an alternative solution through semicircular sections, managing to retain rainwater and improving the soil in arid areas. Since the behavior of water in these sections and how it is retained within them is not known, this research has proposed carrying out simulations with a non-experimental approach, with the objective of evaluating the speeds and pressures of the water through 6 two-dimensional simulations in Autodesk CFD software.*

*Keywords-- Autodesk CFD, Speed, Pressure, Water retention, semicircular sections.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LEIRD).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LEIRD).  
**DO NOT REMOVE**

# Estudio de secciones semicirculares a través del software CFD para la retención de agua de lluvia en zonas áridas

Janampa-Guardia Jonathan Isai<sup>1</sup>, Jacinto-Ferrer Humberto Javier<sup>2</sup>, Carmona-Arteaga Abel<sup>3</sup>, Magister Scientiae en Recursos Hídricos<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, [N00240687@upn.pe](mailto:N00240687@upn.pe), [N00231158@upn.pe](mailto:N00231158@upn.pe), [abel.carmona@upn.edu.pe](mailto:abel.carmona@upn.edu.pe)

**Resumen**– Ante una problemática como la desertificación que afecta ciertas zonas de varios países. En África se está realizando la reforestación como alternativa de solución mediante secciones semicirculares, logrando retener el agua de lluvia y mejorando el suelo en zonas áridas. Puesto que no se conoce el comportamiento del agua en estas secciones y cómo es que se logran retener dentro de ellas, en esta investigación se ha planteado realizar simulaciones con enfoque no experimental, teniendo como objetivo evaluar las velocidades y presiones del agua a través de 6 simulaciones bidimensionales en el software Autodesk CFD.

**Palabras Clave**-- Autodesk CFD, Velocidad, Presión, Retención de agua, secciones semicirculares.

## I. INTRODUCCIÓN

La desertificación amenaza a la cuarta parte del planeta, afectando directamente a más de 110 países, 250 millones de personas y pone en peligro los medios de vida de más de 1 000 millones de habitantes al reducir la productividad de las tierras destinadas a la agricultura y la ganadería, además de estar relacionada a la pérdida de biodiversidad. Es provocada principalmente por la sequía prolongada, la sobre explotación de los recursos naturales, deforestación, salinización y pastoreo excesivo. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el mundo se pierde 24 000 millones de toneladas de suelo fértil cada año por la desertificación [1].

Desde el 2007 la Unión Africana viene realizando el proyecto la “Gran Muralla Verde”, que consiste en la siembra de árboles desde Senegal hasta Djibouti, abarcando una zona de más de 7000 km de largo y 15 km de ancho en todo el desierto para combatir la degradación de la tierra, la desertificación y la sequía de la región [2]. En el 2018 la ONG llamada “Justdiggit” con la ayuda de los agricultores de Kenia y Tanzania, se unieron a este proyecto, logrando reforestar más de 300 000 hectáreas, cavando hoyos de cinco metros de ancho y de dos de largo como se visualiza en la Fig.1, dando como modelo secciones semicirculares que retienen el agua de lluvia que fluye por el suelo, mejorando la calidad del suelo y permitiendo la reforestación [3].



Fig.1 Secciones semicirculares en África. (Fuente: Atlas of the Future, Fraser Mitchell)

Lamentablemente el estudio de la cinemática de los fluidos siempre ha sido complejo, ya que poder estudiar el comportamiento de estos obedece a la resolución de ecuaciones diferenciales muy complejas, las cuales hasta la fecha no tienen soluciones analíticas, como es el caso de las ecuaciones de Navier-Stokes y Saint-Venant.

Gracias al avance tecnológico se han diseñado nuevos programas de cómputo que permiten resolver y analizar el comportamiento y la cinemática de los fluidos. En el 2017 Jorge Mora, indica en su investigación que se ha evidenciado que las simulaciones bidimensionales en software CFD permiten analizar la disipación de energía mecánica, la simetría del flujo de agua, la distribución de la velocidad y presión. Obteniendo resultados precisos de manera teórica [4].

En la presente investigación se evaluó las velocidades y presiones del agua en una simulación bidimensional mediante secciones semicirculares en el software de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD); con el fin de demostrar cómo se retiene el agua de lluvia en estas secciones.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Autodesk CFD

El software Autodesk® CFD es una herramienta de simulación térmica y aguas de fluidos, rápida, precisa y flexible. Esta ideada para ayudar a predecir el rendimiento del producto, optimizar diseños y validar el comportamiento del producto antes de su fabricación, reduciendo la necesidad de elaborar prototipos físicos [5].

### 2.2 Método CFD para casos turbulentos SST K – Omega SAS

El modelo de turbulencia SST k-omega es un modelo de viscosidad turbulenta de dos ecuaciones que se utiliza para muchas aplicaciones aerodinámicas, pero no se considera para caso laminar [6].

### 2.3 Numero de Reynolds (Re)

Como se muestra en la ecuación (1), el número de Reynolds (Re) es una cantidad adimensional que se utiliza en la mecánica de fluidos para describir el tipo de agua que ocurre en un fluido [7].

Flujo laminar ( $Re < 2\ 300$ ): En este rango, el fluido fluye de manera suave y ordenada, con capas de fluido que se deslizan una sobre la otra sin mezclarse significativamente.

Flujo turbulento ( $Re \geq 2\ 300$ ): En este rango, el fluido fluye de manera caótica y desordenada, con remolinos y turbulencia.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (1)$$

$Re$  = Número de Reynolds.

$\rho$  = Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$V$  = Velocidad del fluido ( $m/s$ )

$D$  = Diámetro interior ( $m$ )

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido ( $Pa \cdot s$ )

### 2.4 Ecuación de la energía

La ecuación (2) permite analizar el comportamiento de un fluido a través de un sistema de agua teniendo en cuenta dos secciones del sistema [8].

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \pm h_A = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_T \quad (2)$$

$v_1$  = Velocidad entrada ( $m/s$ )

$v_2$  = Velocidad salida ( $m/s$ )

$P_1$  = Presión entrada ( $Pa$ )

$P_2$  = Presión salida ( $Pa$ )

$z_1$  = Elevación en la primera sección

$z_2$  = Elevación en la segunda sección

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

$\gamma$  = Peso específico ( $N/m^3$ )

$+h_A$  = Bomba

$-h_A$  = Turbina

$h_T$  = Pérdidas totales

### 2.5 Ecuación de Darcy

La ecuación (3) es fenomenológica y relaciona la pérdida de carga principal o pérdida de presión, debido a la fricción del fluido a lo largo de una longitud determinada de tubería con la velocidad promedio. Esta ecuación es válida para un flujo monofásico totalmente desarrollado, constante e incompresible [9].

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

$h_f$  = Pérdida de carga debido a la fricción

$f$  = Factor de fricción de Darcy

$L$  = Longitud del tubo ( $m$ )

$D$  = Diámetro hidráulico de la tubería

$g$  = Constante gravitacional

$V$  = Velocidad media del agua

### 2.6 Fuerzas de Arrastre.

Esta fuerza de arrastre es causada por la fricción y la resistencia que el fluido ejerce sobre el objeto en movimiento. Cuanto más rápido se mueve el objeto a través del fluido o cuanto mayor sea su área frontal, mayor será la fuerza de arrastre que experimentará [10].

$$FD = CD \times A \times \frac{v^2 \times \rho}{2} \quad (4)$$

$FD$  = Fuerza de arrastre ( $N$ )

$CD$  = Coeficiente de arrastres

$A$  = Área frontal ( $m^2$ )

$V$  = Velocidad del fluido ( $m/s$ )

$\rho$  = Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

### 2.7 Ecuaciones de Navier–Stokes (NS)

Las ecuaciones de Navier-Stokes se utilizan para modelar el comportamiento de los fluidos. Estas ecuaciones incluyen tanto ecuaciones diferenciales ordinarias como ecuaciones diferenciales parciales, y tienen variables dependientes como la velocidad y la presión, que se derivan con respecto a múltiples variables independientes. Esto se logra mediante la ecuación de Navier-Stokes para fluidos incompresibles, que asume la densidad del fluido como constante y separa la ecuación de energía de la ecuación de continuidad y del momento [11].

### 2.8 Punto de estancamiento

Un punto de estancamiento se define como un punto en el campo de agua donde la velocidad es exactamente cero. En la Fig.4 se percibe que la corriente del fluido está en estado reposo, para denominar este punto se utiliza el concepto de punto de estancamiento [12].

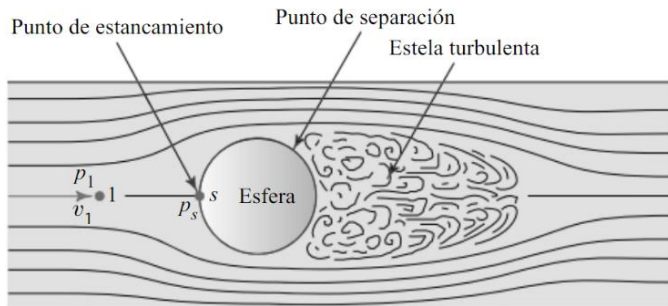


Fig.4 Esfera en una corriente de fluido que muestra el punto de estancamiento en la superficie frontal y la estela turbulenta detrás. (Fuente: Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, Mecánica de Fluidos fundamentales y aplicaciones)

### III. METODOLOGÍA

Mencionamos el procedimiento para el diseño en el software Inventor y la simulación bidimensional en CFD:

- 1- Iniciamos creando un rectángulo como base de 75cm de largo y 49.5cm de ancho en nuestro Software Autodesk Inventor, el cual nos brinda muchas facilidades de diseño 2D y 3D. Modelamos las secciones curvas con un diámetro exterior de 7.5cm y diámetro interior de 5cm.
- 2- Replicamos con el comando Rectangular Pattern 11 columnas y 4 filas dentro de la mesa de agua. Teniendo un espaciamiento de centro a centro de 5.75 cm en el eje vertical y de 5.75 cm para el eje horizontal, como se muestra en la Fig. 5 Insertamos el comando Patch a la superficie por donde pasara el fluido, esta configuración nos ayuda a extruir una superficie manteniéndola en 2D.

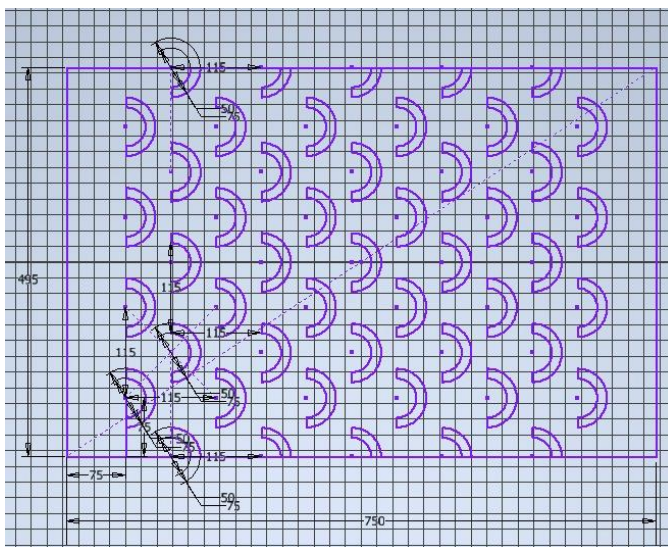


Fig.5 Diseño 2D de las secciones curvas. (Fuente: Elaboración propia)

- 3- Insertamos el modelo 2D al software Autodesk CFD, comenzamos asignando el tipo de material “agua”, para Boundary Conditions asignamos las velocidades de entrada de 5 cm/s, 10 cm/s, 20 cm/s, 25 cm/s, 50 cm/s y 100 cm/s, seleccionando las líneas de la superficie paralelas al eje Y. Para los 6 modelos insertamos una presión de entrada de 10 Pa y una presión salida de 0 Pa.
- 4- Para el Mesh Size, definimos un valor de 0.5 mm el cual podrá capturar más detalles y dar un resultado más preciso. Para las iteraciones a ejecutar asignamos un valor de 1000 en los 6 modelos.
- 5- En los modelos con velocidades de 5 cm/s y 10 cm/s activamos la opción Laminar y vorticity. Mientras que para los modelos con velocidades de 20 cm/s, 25 cm/s, 50 cm/s y 100 cm/s, activamos las opciones Turbulence, SST k Omega SAS y vorticity. estas definiciones fueron seleccionados de acuerdo con el resultado del Número de Reynolds. No usamos la opción de temperatura ya que no vamos a estudiar como varia.
- 6- Damos Solve y esperamos que empiece a simular de acuerdo con lo pedido, si se detiene debemos realizar los pasos nuevamente y si no, es una simulación bidimensional exitosa.

Para una mejor visión de los pasos requeridos en la elaboración del proyecto visualizamos en la Fig.6 un flujograma.

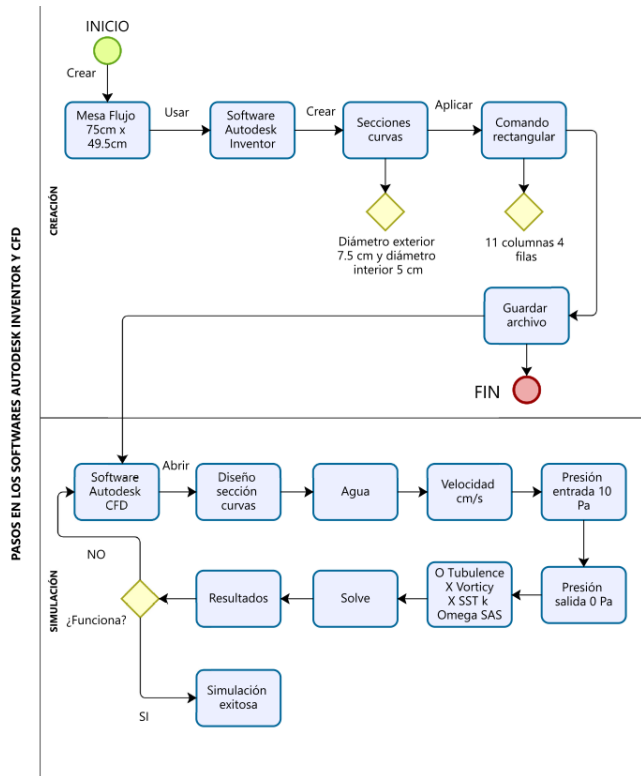


Fig.6 Flujograma de pasos en el software Autodesk Inventor y CFD. (Fuente: Elaboración propia)

#### IV. RESULTADOS

Al aplicar diferentes velocidades se clasificó el tipo de flujo. Para la velocidad 5 cm/s y 10 cm/s se denomina flujo laminar; y para 20 cm/s, 25 cm/s, 50 cm/s y 100 cm/s se denomina flujo turbulento de acuerdo a la tabla 1. El Numero de Reynolds se calculó usando (1).

TABLA 1.  
NUMERO DE REYNOLDS

Velocidad (cm/s)	Temperatura (C°)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinamica (Pa.s)	Diametro interior	Reynolds
5	20	998.57778	0.00102	0.019607843	959.80
10	20	998.57778	0.00102	0.019607843	1919.60
20	20	998.57778	0.00102	0.019607843	3839.21
25	20	998.57778	0.00102	0.019607843	4799.01
50	20	998.57778	0.00102	0.019607843	9598.02
100	20	998.57778	0.00102	0.019607843	19196.04

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Para la primera distribución de velocidad de 5 cm/s, se alcanzó la simulación bidimensional con 278 iteraciones. En

la Fig.7 se observa una velocidad máxima de 8.46 cm/s, se aprecia que al interior de las secciones semicirculares se obtiene unas velocidades entre 0 cm/s y 2.5 cm/s. Siendo un resultado óptimo en la reducción de energía, mientras que por los laterales de las secciones donde el agua se escapa se obtiene unas velocidades entre 4.5 cm/s a 6 cm/s y por los límites laterales de la mesa se visualiza una mayor velocidad que llega a los 8.46 cm/s.

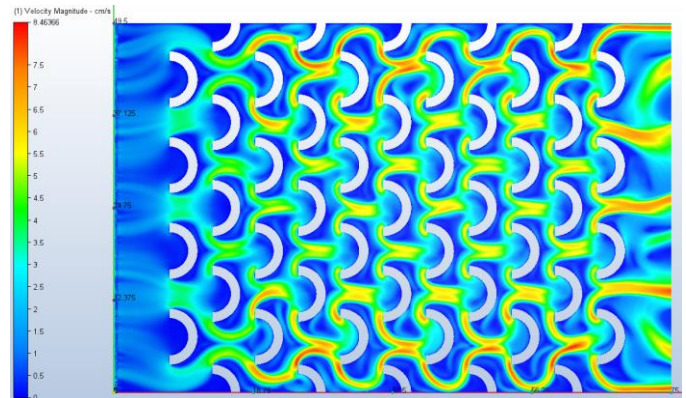


Fig. 7 Distribución de velocidad de 5 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

Para la segunda distribución de velocidad de 10 cm/s, con 269 iteraciones. En la Fig. 8 se muestra una magnitud de velocidad máxima de 12.35 cm/s y velocidades mínimas de 0 cm/s a 4 cm/s, reduciendo energía en el interior de las secciones semicirculares.

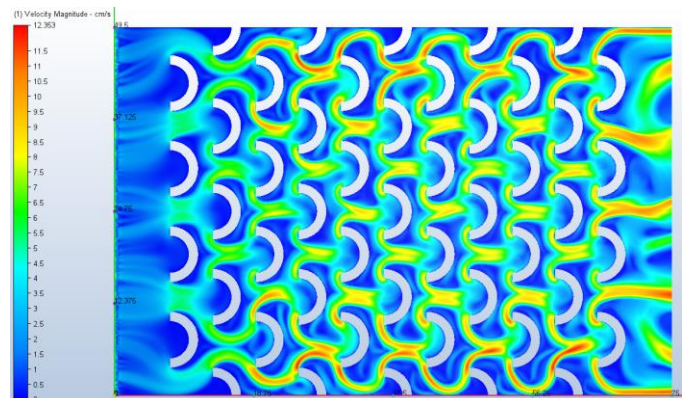


Fig. 8 Distribución de velocidad de 10 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

Para la tercera distribución de velocidad de 20cm/s, la simulación bidimensional tardó unas 206 iteraciones. En la Fig. 9 se muestra una velocidad máxima de 20.68 cm/s, se observa que reduce energía en el interior de las secciones, teniendo velocidades entre 0 cm/s a 6 cm/s y en los laterales se observa velocidades de 7cm/s a 13 cm/s.

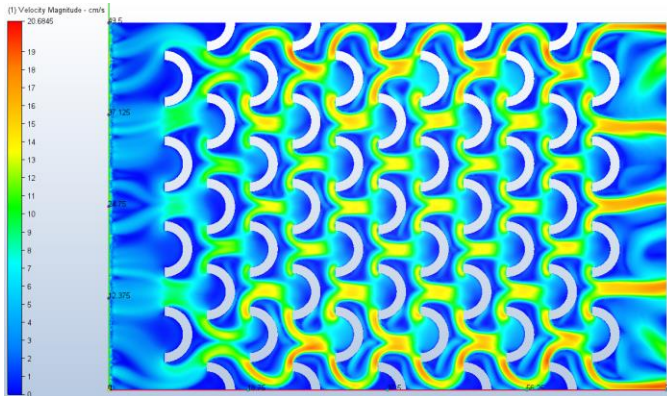


Fig. 9 Distribución de velocidad de 20 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

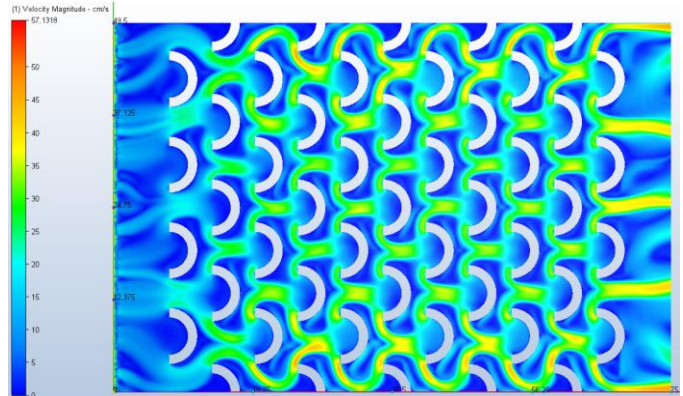


Fig. 11 Distribución de velocidad de 50 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

Para la cuarta distribución de velocidad de 25 cm/s, con 215 iteraciones se obtuvo una velocidad máxima de 25.71 cm/s y una reducción de velocidad; en los laterales de las secciones se obtuvo velocidades de 16 cm/s y 22 cm/s como se muestra en la Fig. 10.

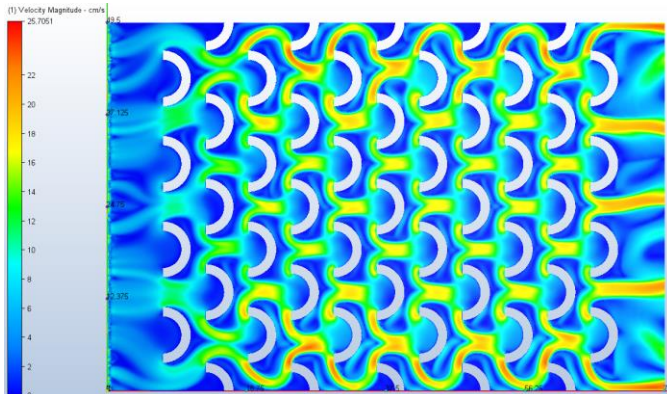


Fig. 10 Distribución de velocidad de 25 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

Para la quinta distribución de velocidad de 50 cm/s, se realizó la simulación bidimensional con 211 iteraciones el cual obtuvo una magnitud de velocidad máxima de 57.13 cm/s, como se muestra en la Fig. 11. Al interior de las secciones la velocidad es menor a 15 cm/s, mientras que en los laterales tienen velocidades entre 15 cm/s a 25 cm/s

Para la sexta distribución de velocidad de 100 cm/s, se realizó la simulación bidimensional al llegar a 567 iteraciones; obteniendo una magnitud de velocidad máxima de 100 cm/s. En la Fig.12 visualizamos un aumento de velocidad en los laterales de las secciones semicirculares y una disminución de velocidades de 0 cm/s a 30 cm/s al interior de ellas.

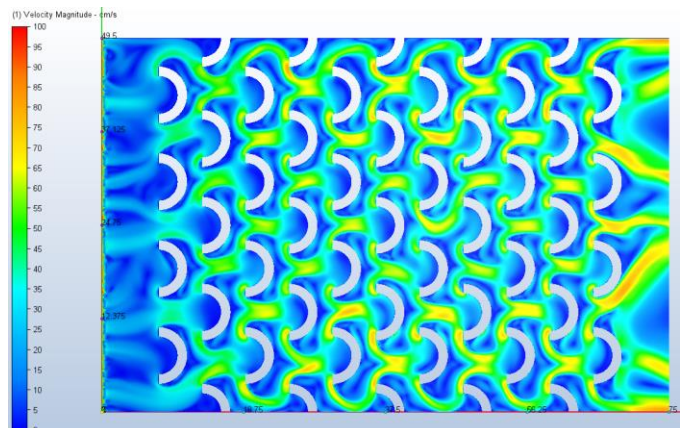


Fig. 12 Distribución de velocidad de 100 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

Según la Fig.13 que tiene una velocidad de 5cm/s se obtiene una presión máxima de 14.82 Pa y una presión mínima de -0.32 Pa. En la Fig.14 de velocidad de 100 cm/s se obtiene una presión máxima de 1674.32 Pa y presión mínima de -113.82.

## V. CONCLUSIONES

Se evaluó el comportamiento del agua mediante las simulaciones bidimensionales realizadas en Autodesk CFD. Se demostró que las secciones semicirculares logran disminuir la velocidad del agua. Se cumple la ecuación de la energía en todas las simulaciones, a medida que la velocidad disminuye, la presión aumenta, y viceversa.

Para esta investigación teórica no se usaron variables como el tipo de suelo, temperatura de ambiente y otros factores ambientales que podrían haber influido en los resultados, por lo que se recomienda para futuras investigaciones, realizar simulaciones tridimensionales y de manera experimental tomando en cuenta estos factores; también, se recomienda realizar simulaciones con diferentes secciones, con la finalidad de retener las precipitaciones.

## REFERENCIAS

- [1] D. Dickinson, «Naciones Unidas,» 17 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457861>.
- [2] E. Fey, «Inter Press Service,» 9 Mayo 2022. [En línea]. Available: [https://ipsnoticias.net/2022/05/restaurar-mil-millones-de-hectareas-es-nueva-meta-de-la-onu/#google\\_vignette](https://ipsnoticias.net/2022/05/restaurar-mil-millones-de-hectareas-es-nueva-meta-de-la-onu/#google_vignette).
- [3] F. Mitchell, «Atlas of the Future,» 11 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://atlasofthefuture.org/es/project/justdiggit/>.
- [4] J. A. M. Uscátegui y G. R. Santos Granados, «Modelación hidrodinámica bi- y tridimensional del nuevo canal con dissipador de energía del laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería, utilizando Ansys Fluent,» *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, 2018.
- [5] M. M. Rahman, T. M. Sowgath, S. A. Nomany, N. M. Sakib y M. Junayed, «CFD Study of Biomass Cooking Stove using Autodesk Simulation CFD to Improve Energy Efficiency and Emission Characteristics,» *Chemical Engineering Transactions*, 2015.
- [6] T. I. d. reservados, «Autodesk,» 2023. [En línea]. Available: <https://help.autodesk.com/view/SCDSE/2023/ENU/?guid=GUID-0F5C4828-9F91-46B6-A16A-2578D72DCFCC>.
- [7] Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*, Ciudad de México: Mc Graw Hill, 2018.
- [8] L. M. Álvarez Vitola y R. A. Briceño Miranda, «Diseño y elaboración de un sistema de tuberías para el análisis de la ecuación general de la energía,» *Corporación Universidad de la Costa*, 2021.
- [9] D. A. Serrano, F. Y. Cerpa y G. A. Gutiérrez, «Análisis de las pérdidas de carga en flujo turbulento en un laboratorio universitario de mecánica de fluidos,» *Información Tecnológica*, 2021.
- [10] D. R. Daquilema Guambo, «Diseño e implementación de una balanza aerodinámica para el túnel de viento subsónico de ciclo abierto del LMFT de la Escuela Politécnica Nacional para medición de las fuerzas de arrastre y sustentación,» *Escuela Politécnica Nacional*, p. 60, 2020.
- [11] X. Mora, «Las ecuaciones de Navier Stokes,» *Mètode Science StudieS Journal*, 2017.
- [12] C. A. Tibabisco, «Análisis de la transferencia de calor por impacto a través del número de nusselt en el punto de estancamiento sobre una placa plana,» *Universidad Libre*, 2018.

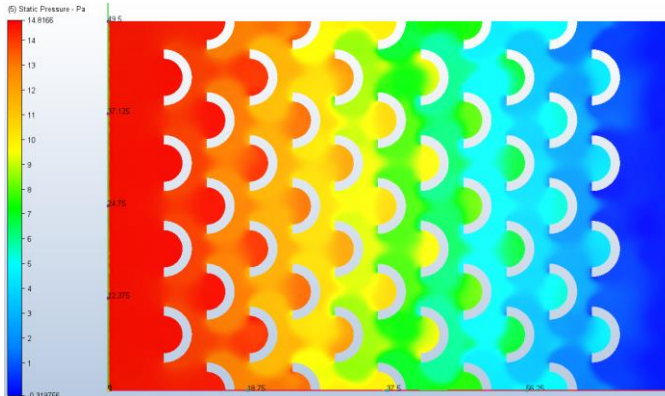


Fig. 13 Distribución de presión de 10 Pa con velocidad de 5 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)



Fig. 14 Distribución de presión de 10 Pa con velocidad de 100 cm/s. (Fuente: Elaboración propia)

En la Fig.16, se observa la dirección que toma el fluido mediante vectores durante su movimiento entre las secciones semicirculares, generándose vórtices en donde las velocidades son extremadamente bajas, logrando retener la energía en el interior de las secciones y la conducción de escape del fluido en donde aumenta su velocidad.

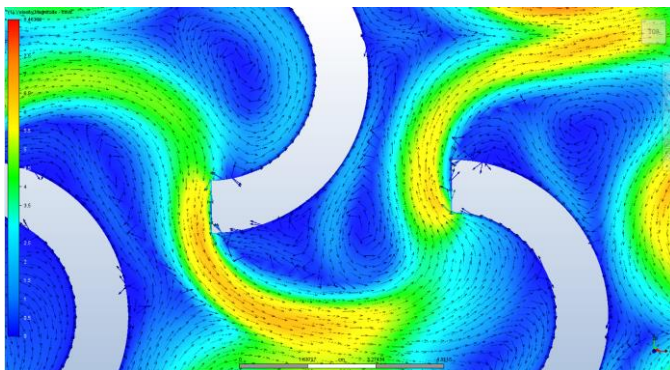


Fig. 16 Velocidad Vector en secciones semicirculares. (Fuente: Elaboración propia)