

Analysis of a physical model in the shape of a halfmoon to dissipate the energy of water

Cano Quezada, Rodrigo Alejandro¹, Farfán Effio, Richard Gianfranco², Carmona Arteaga, Abel³, Magister Scientiae en Recursos Hídricos

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00336096@upn.pe¹, N00279501@upn.pe², abel.carmona@upn.edu.pe³

Abstract – *The El Niño phenomenon impacted Peru in 2017, affecting various sectors of the nation. El Niño triggered intense rainfall, causing the flooding of numerous rivers that ended in mudslides. The mudslides consisted of large amounts of water with mud and debris that moved at high speeds. In order to find a way to dissolve the loads and minimize the damage, the use of energy dissipators was proposed. In this study, a group of three-dimensional molds was examined with the aim of evaluating their effectiveness as energy dissipators. The energy dissipating molds were evaluated against simulated laminar and turbulent flows in the laminar flow bench. The 2D models were then examined using Autodesk CFD software to find analogies between one case and another.*

Keywords – Autodesk CFD, energy dissipation, turbulent wakes, vorticity, Reynolds number.

Análisis de un modelo físico en forma de medialuna para disipar la energía del agua

Cano Quezada, Rodrigo Alejandro¹, Farfán Effio, Richard Gianfranco², Carmona Arteaga, Abel³, Magister Scientiae en Recursos Hídricos

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00336096@upn.pe¹, N00279501@upn.pe², abel.carmona@upn.edu.pe³

Resumen– El fenómeno del niño impactó en el Perú el 2017, afectando a diversos sectores de la nación. Esto desencadenó intensas precipitaciones, causando el desborde de numerosos ríos que terminaban en huaicos. Los huaicos constituían grandes cantidades de agua con lodo y residuos que se movían a grandes velocidades. Con el objetivo de encontrar una forma de disolver las cargas y minimizar los daños se planteó el uso de disipadores de energía. En este estudio se examinó un grupo de moldes tridimensionales con el objetivo de evaluar su eficacia como disipadores de energía, estos moldes fueron evaluados frente a flujos laminares y turbulentos simulados en el banco de flujo laminar. Por último, se examinaron los modelos en 2d utilizando el software Autodesk CFD para hallar analogías entre un caso real e ideal. Los resultados fueron óptimos descubriendo que a grandes velocidades la presión disminuía inclusive hasta valores negativos por lo cual concluimos que los moldes disipan la energía de forma eficiente.

Palabras claves– Autodesk CFD, disipación de energía, estelas turbulentas, vorticidad, Numero de Reynolds.

1. INTRODUCCIÓN

El Perú cada cierto tiempo se ve afectado por el fenómeno del niño, generando estragos, destrucción y pérdidas económicas [1]. Este evento climático hizo que se generen huaicos, que son grandes masas de agua, tierra y sólidos con una gran energía cinética y potencial que arrasan con todo a su paso. Uno de los principales problemas de los líquidos como el agua es que a grandes volúmenes generan mucha energía, es por ello por lo que se diseñan disipadores de energía como los bloques escalonados que son la progresión de bloques dispuestos en una pendiente que hace que el agua salte y genere pérdidas, otro disipador conocido es el lecho de roca, que son bloques de piedra que se colocan en los ríos para la disminución continua de la energía del agua mediante el rozamiento [2]. El salto hidráulico del agua es usado en poca medida como disipador de energía debido a que la concavidad que se produce hace que se genere pérdidas por fricción [3]. Es necesario recalcar que los fluidos en movimiento se rigen bajo las ecuaciones de Navier-Stokes, que son ecuaciones diferenciales que hasta la fecha no han podido ser resueltas, pero con el potencial de que cuando se encuentre una solución, se podría analizar mediante cálculos matemáticos el comportamiento del océano, el clima y la atmósfera, previniendo desastres y generando mejores protocolos de seguridad para prevenir lo sucedido en Perú el año 2017. Se puede afirmar que los fluidos en condiciones laminares y turbulentas refieren un gran desafío para la ciencia, es por ello que se utilizan softwares computacionales para poder desarrollar las ecuaciones de Navier-Stokes de manera parcial

y así estimar el comportamiento de un fluido en un espacio geométrico modelado [4]. Con estos antecedentes notamos que la cinemática de fluidos tiene muchas aplicaciones, entre ellas la disipación de la energía la cual es importante para así mitigar los peligros ocasionados por un fluido y previniendo lo ocurrido en el año 2017.

II. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito de este estudio es valorar la eficacia de nuestro diseño de disipadores de energía para un flujo laminar y turbulento, simulado tanto en el software Autodesk CFD como en el banco de flujo.

III. MARCO TEÓRICO

A. Banco de flujo:

El banco de flujo es una mejora del dispositivo clásico de Hele-Shaw, incorporando sumideros y fuentes. Se compone de dos hojas de vidrio laminado con una mínima separación entre las dos, dispuestas de manera horizontal sobre una base fabricada en fibra de vidrio.

B. Fuerza de arrastre:

La fuerza de arrastre es una fuerza ejercida sobre un cuerpo causada por el fluido que se resiste al movimiento en la dirección opuesta de desplazamiento del cuerpo [5].

$$F_D = C_D \times A \times \frac{V^2 \times \rho}{2} \dots \dots \dots (1)$$

F_D = Fuerza de arrastre.

C_D = Coeficiente de arrastre.

A = Área frontal.

V = Velocidad del fluido.

ρ = Densidad del fluido.

C. Número de Reynolds:

Se trata de un número de carácter adimensional que establece la relación entre las fuerzas de tipo inercial y las viscosas de un fluido en constante movimiento que permite determinar si un flujo es laminar o turbulento [6].

$$Re = \frac{\rho \times V \times Dh}{\mu} \dots \dots \dots (2)$$

D_h = Diámetro hidráulico.

R_e = Número de Reynolds.
 ρ = Densidad del fluido.
 V = Velocidad del fluido.
 μ = Viscosidad dinámica del fluido.

$Re \leq 500$ = flujo laminar (canales)
 $Re > 500$ = flujo turbulento (canales)

D. Punto de estancamiento:
 Se define como el punto en donde la velocidad del agua es cero y su presión es máxima [7].

E. Punto de desprendimiento o separación:
 El término separación de flujos hace referencia al suceso en el que un fluido en movimiento se desprende de una superficie específica sobre la que se desplaza, vale decir va aumentando su velocidad [8].

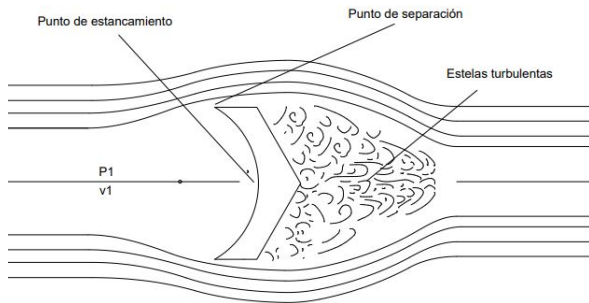


Fig. 1 Punto de estancamiento de un modelo en forma de medialuna.

F. Estela turbulenta:
 Cuando el líquido se desplaza de la superficie que está en contra de la corriente, provoca el nacimiento de una marca turbulenta.

G. Efecto Von Kármán:
 El efecto Von Kármán (o calle de vórtices de Von Kármán) se produce en espacios confinados, generando remolinos cada ciclo, este efecto sucede cuando hay muy altos números de Reynolds [9].

H. Disipación de energía:
 El término disipación de energía alude al proceso en el que la energía, inicialmente almacenada en una forma determinada (como energía cinética, potencial o eléctrica), se convierte en otras formas de energía menos valiosas [10].

I. Ecuación de Bernoulli:
 Expresa el principio de Bernoulli de forma más general al considerar cambios en la energía potencial debido a la gravedad, esta ecuación toma valores ideales y asume que la energía se conserva durante todo el sistema [11].

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \dots \dots \dots (3)$$

J. Ecuación de la energía:
 El uso del principio de conservación de energía en un flujo laminar sin fricción resulta en una relación valiosa entre la presión y la velocidad de flujo en un fluido, esto se considera para casos reales [12].

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_t \dots \dots \dots (4)$$

v_1 = Velocidad de entrada.
 v_2 = Velocidad de salida.
 γ = Peso específico del fluido
 P_1 = Presión de entrada.
 P_2 = Presión de salida.
 Z_1 = Altura de la primera sección.
 Z_2 = Altura de la segunda sección.
 g = Gravedad.
 h_T = Pérdidas totales.

K. Autodesk Inventor:
 Autodesk Inventor es uno de los programas de diseño CAD mecánico más utilizados en el mundo para crear prototipos digitales 3D utilizados en el diseño, la visualización y la simulación de productos para el diseño mecánico [13].

L. Autodesk CFD:
 El software CFD (Computational Fluid Dynamics) de Autodesk crea simulaciones de dinámica de fluidos computacional que los ingenieros y analistas utilizan para predecir de manera inteligente cómo se comportarían los líquidos y los gases [14].

M. Ecuaciones de Navier–Stokes (NS)
 Las ecuaciones de Navier-Stokes determinan el comportamiento de los fluidos, siendo su forma simplificada la más usada para casos de fluidos incompresibles. Sus variables son asumidas por la densidad del fluido como constante [15].

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) + (\rho \cdot g_x) + (\mu \cdot \nabla^2 \cdot u) \dots \dots \dots (5)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \left(-\frac{\partial p}{\partial y} \right) + (\rho \cdot g_y) + (\mu \cdot \nabla^2 \cdot v) \dots \dots \dots (6)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \left(-\frac{\partial p}{\partial z} \right) + (\rho \cdot g_z) + (\mu \cdot \nabla^2 \cdot w) \dots \dots \dots (7)$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \dots \dots \dots (8)$$

∇^2 = *gradiente de presión.*
 ρ = *densidad.*

N. Modelo turbulento SST K-Omega SAS:

El modelo SST K- Omega SAS es una simulación adaptada a escala, nace de adicionar un término de producción, SAS, siendo este muy sensible a fluctuaciones y vorticidades [7].

O. Vorticidad:

El fenómeno de la vorticidad se conceptualiza como el rotacional del campo de velocidades [16].

P. Tinta fluorescein sodium:

La fluoresceína es una sustancia de tipo polvoriento, de color rojizo amarillo que sirve como marcador en ensayos con fluidos como el agua.

Q. Luz ultravioleta:

Las luces ultravioletas son producto de la descarga en vapor a baja presión, esta descarga activa los polvos fluorescentes que contiene y transforma la radiación ultravioleta en radiación visible [17].

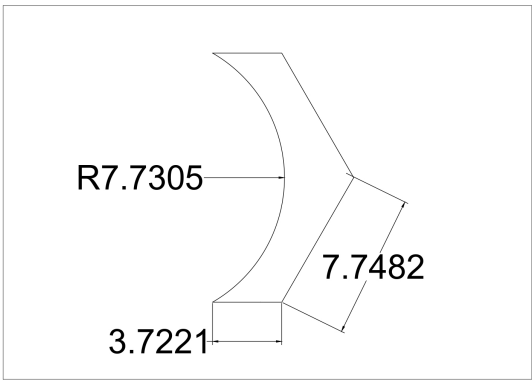


Fig. 3 Dimensiones de los disipadores.

El dibujo del modelo y su respectiva distribución fue hecho en el software AutoCAD cuyas dimensiones están dadas en centímetros, tal como se muestra en la figura 3 y la distribución en la figura 4.



Fig. 2 Luz fluorescente.

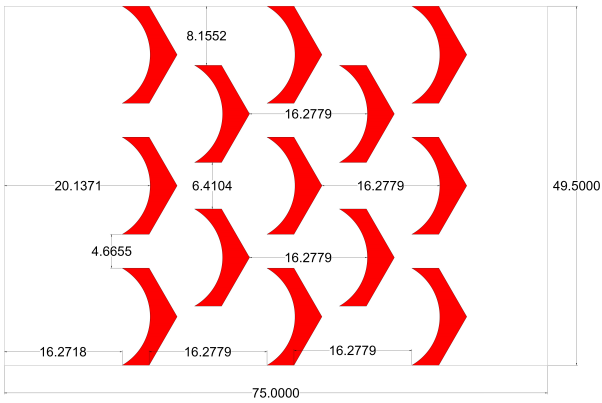


Fig. 4 Área de simulación y distribución de los moldes.

IV. METODOLOGÍA

En la presente investigación se optó por analizar la disipación de la energía en el software Autodesk CFD y en el banco de flujo laminar y turbulento. Se decidió optar por una geometría curva, siendo esta superficie en donde se van a generar las zonas muertas y en la parte posterior, se generarían las estelas y las pérdidas mediante remolinos.

Antes de empezar la simulación en CFD, se abrió el boceto dibujado en AutoCAD en un nuevo software llamado Autodesk Inventor.

Para eso abrimos el software Autodesk Inventor y daremos clic en “nuevo”, seguido en “metric”. Una vez hecho esto, verificamos que las unidades estén en milímetros y seleccionamos en “crear”. Ya iniciado el dibujo, daremos clic en “iniciar boceto 2d”, seguido de esto seleccionaremos el plano XY y empezaremos a trazar el boceto.

Debido a que ya se tenía un dibujo en AutoCAD, daremos clic en el botón que dice “ACAD” y localizamos la ubicación de nuestro archivo CAD y seguidamente clic en “abrir”.

En las opciones de importación de capas y objetos, se seleccionará en el botón cuyo icono es una flecha para poder seleccionar de manera manual el dibujo a importar en Autodesk Inventor, seguido de esto verificamos si las unidades están acorde al proyecto y damos clic en “aceptar”.

Ya habiendo hecho la importación del dibujo CAD al Autodesk Inventor, se tiene que crear el contorno, para realizarlo daremos clic en “superficie de contorno” y elegimos el plano general, seguido de esto daremos clic en las superficies de cada modelo. Por último, se procede a guardar el archivo para simularlo en el CFD. En la figura 5, se sintetiza mediante un flujograma el procedimiento.

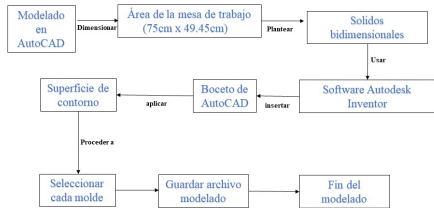


Fig. 5 Flujograma del modelado en Autodesk Inventor.

Para la simulación de nuestros modelos en el CFD, se da clic en “new”, seguido en “browse” y en este apartado ubicamos el archivo guardado en Autodesk Inventor.

Si bien es cierto que el software CFD permite simular distintos fluidos, para este trabajo, se optará por analizar el agua.

Para generar las nuevas condiciones, daremos clic en “boundary condition”, seguido de esto colocamos las magnitudes de presiones y velocidades que nos dió en los ensayos del laboratorio.

En el apartado del “mesh size”, optaremos por darle un tamaño de 50 mm para un resultado más detallado y preciso.

En “solve”, para analizar el flujo de manera laminar, seleccionamos “turbulence”, y damos clic en la opción “laminar”. Para el caso turbulento existen 10 simulaciones, la que más se asemeja a nuestro experimento fue el modelo de simulación turbulenta SST K-OMEGA SAS. Como factor de seguridad hemos optado por poner 1000 iteraciones para una mejor comprensión, análisis y para evitar la escasez de datos.

Para tener una simulación más detallada, debemos desactivar la opción de temperatura. Una vez terminada la simulación y las iteraciones requeridas, se podrán visualizar los resultados, el resumen de este procedimiento se visualiza en la figura 6.

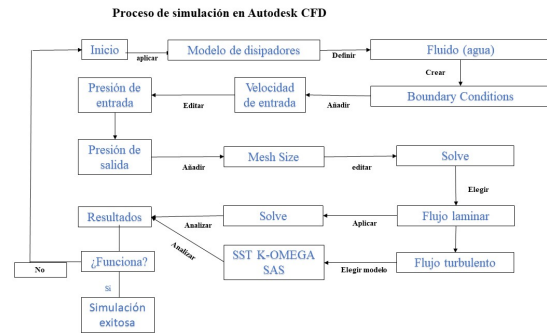


Fig. 6 Flujograma de simulación en Autodesk CFD.

Para la simulación experimental en el banco de flujo, se modeló los disipadores a escala, para esto se usó como material la madera. Estos modelos en madera fueron pegados a una plancha de acrílico de 2 mm y con la ayuda de un plano base con las distribuciones nos permitió tener una mayor precisión al colocar los modelos, respetando la distribución, y evitando así las falsas mediciones.

Teniendo ya los modelos, preparamos la mesa de flujo, quitando el cristal que se situaba encima, limpiando la mesa y retirando cualquier tipo de residuo que podría generar malas mediciones. Se procedió a disolver la tinta fluorescente en agua, la apertura de la válvula de agua y el cierre de las compuertas 1 y 2. Con el apoyo de una regla de metal y de un cronómetro medimos las variaciones de altura para poder determinar el caudal y posteriormente la velocidad de entrada, para eso tenemos que cerrar la compuerta 3. Con la misma regla de metal, estimamos el diámetro hidráulico del canal, considerando la ruptura de la tensión superficial con el fin de evitar malas mediciones. Con estos valores obtenidos y apoyándonos de una hoja de cálculo, podemos obtener nuestro número de Reynolds. Teniendo el estado del flujo, vertimos la tinta disuelta en agua en la mesa, haciendo de esta forma que los cañones estén cargados. El disparo de los cañones de tinta y con la ayuda de la luz ultravioleta, aislando el espacio de trabajo de luz blanca, sirve para una mejor visualización de las líneas de corriente. En la figura 7 se observa el flujograma explicando el proceso de manera más resumida.

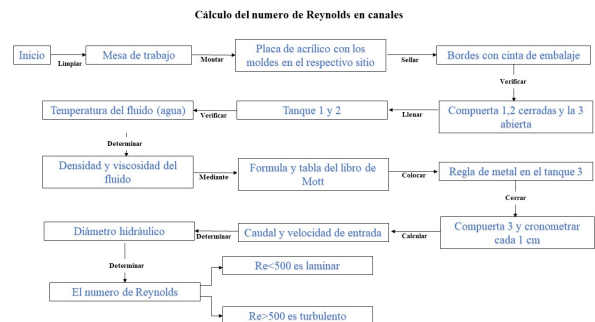


Fig. 7 Flujograma del banco de flujo.

V. RESULTADOS

Se tomaron varios tiempos para posteriormente promediarlo y poder obtener un resultado más exacto.

Tabla 1 Cálculo de tiempo promedio en flujo laminar

Tabla de registro de tiempo para una variación de h de 1 cm				
H acumulado (m)	Tiempo 1(s)	Tiempo 2(s)	Tiempo 3(s)	Promedio de tiempo parcial (s)
0.010	16.900	16.600	17.090	16.870
0.020	15.490	17.900	17.470	17.173
0.030	18.350	18.300	18.240	18.298
0.040	20.280	20.200	20.290	20.240
0.050	19.770	19.850	19.960	19.915
0.060	19.800	19.820	19.640	19.885
0.070	19.710	19.800	19.600	19.515
0.080	19.240	18.930	19.140	19.145
0.090	18.410	17.680	17.700	17.880
0.100	17.670	18.660	18.690	18.363
Promedio total del tiempo				18.728

Se tomaron las mediciones como la altura del agua en la entrada para determinar su área de entrada, así como las longitudes para hallar el volumen de salida del agua.

Tabla 2 Cálculo de velocidad de entrada en flujo laminar

Cálculo de velocidad de entrada promedio			
Δh (m)	Δ Volumen (m ³)	Q salida (m ³ /s)	Velocidad de entrada (m/s)
0.010	5.58×10^{-4}	3.308×10^{-5}	0.022
0.010	5.58×10^{-4}	3.249×10^{-5}	0.022
0.010	5.58×10^{-4}	3.05×10^{-5}	0.021
0.010	5.58×10^{-4}	2.757×10^{-5}	0.019
0.010	5.58×10^{-4}	2.802×10^{-5}	0.019
0.010	5.58×10^{-4}	2.806×10^{-5}	0.019
0.010	5.58×10^{-4}	2.859×10^{-5}	0.019
0.010	5.58×10^{-4}	2.915×10^{-5}	0.020
0.010	5.58×10^{-4}	3.121×10^{-5}	0.021
0.010	5.58×10^{-4}	3.039×10^{-5}	0.020
Velocidad total promedio			0.020

Para el caso de la densidad y viscosidad del agua los resultados fueron 998.62 kg/m³ y 1.00×10^{-3} Pa.s respectivamente.

Tabla 3 Cálculo del Reynolds en flujo laminar

Cálculo del número de Reynolds				
Densidad (kg/m ³)	Velocidad de ingreso (m/s)	Diámetro Hidráulico (m)	Viscosidad (Pa.s)	Resultado
998.622	0.020	0.020	0.001	399.449

El resultado nos indica que es un flujo laminar puesto a que el número de Reynolds para flujos laminares en canales es <500. Para el flujo turbulento se hizo el mismo procedimiento.

Tabla 4 tiempo promedio en flujo turbulento

Tabla de registro de tiempo para una variación de h de 1 cm				
H acumulado (m)	Tiempo 1(s)	Tiempo 2(s)	Tiempo 3(s)	Promedio de tiempo parcial (s)
0.010	3.100	3.100	3.090	3.053
0.020	3.360	3.350	3.380	3.368
0.030	2.370	2.510	2.310	2.443
0.040	3.370	3.250	3.310	3.288
0.050	2.730	2.400	2.310	2.463
0.060	2.530	2.760	2.780	2.723
0.070	2.890	2.670	2.710	2.723
0.080	2.600	2.770	2.760	2.715
0.090	1.990	2.060	2.040	2.043
0.100	2.960	2.990	2.880	2.970
Promedio total del tiempo				2.758

Se puede observar que el tiempo promedio parcial ha reducido debido a la rapidez con la que el flujo se atravesaba del inicio a final.

Tabla 5 Calculo de velocidad de entrada en flujo turbulento

Cálculo de velocidad de entrada promedio			
Δh (m)	Δ Volumen (m ³)	Q salida (m ³ /s)	Velocidad de entrada (m/s)
0.010	5.58×10^{-4}	1.828×10^{-4}	0.074
0.010	5.58×10^{-4}	1.657×10^{-4}	0.067
0.010	5.58×10^{-4}	2.284×10^{-4}	0.092
0.010	5.58×10^{-4}	1.697×10^{-4}	0.069
0.010	5.58×10^{-4}	2.266×10^{-4}	0.092
0.010	5.58×10^{-4}	2.050×10^{-4}	0.083
0.010	5.58×10^{-4}	2.050×10^{-4}	0.083
0.010	5.58×10^{-4}	2.055×10^{-4}	0.083
0.010	5.58×10^{-4}	2.732×10^{-4}	0.110
0.010	5.58×10^{-4}	1.879×10^{-4}	0.076
Velocidad total promedio			0.083

Para el caso de la densidad y viscosidad los resultados fueron de 998.62 kg/m³ y 1.00×10^{-3} Pa.s respectivamente.

Tabla 6 Cálculo del número de Reynolds en flujo turbulento

Cálculo del número de Reynolds				
Densidad (kg/m ³)	Velocidad de ingreso (m/s)	Diámetro Hidráulico (m)	Viscosidad (Pa.s)	Resultado
998.622	0.083	0.020	0.001	1657.713



Fig. 8 Simulación experimental de flujo laminar.

En la figura 8, se puede visualizar como las líneas de corriente tienen dificultad al pasar a través de los disipadores, aumentando la velocidad en los espacios estrechos. También se visualiza las zonas muertas, los puntos de estancamiento y los puntos de desprendimiento.

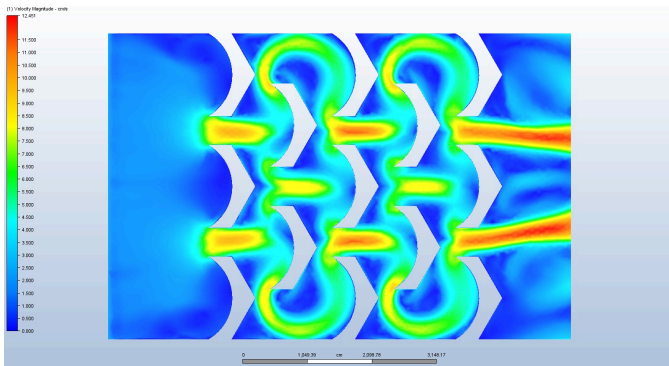


Fig. 9 Simulación de flujo laminar en CFD.

Se puede observar en la figura 9 un comportamiento muy semejante al ensayo experimental, en este caso la velocidad del fluido alcanzó una magnitud de 12.45cm/s, debido al estrechamiento generado por los moldes y su velocidad mínima fue de 0.00cm/s en las zonas muertas.

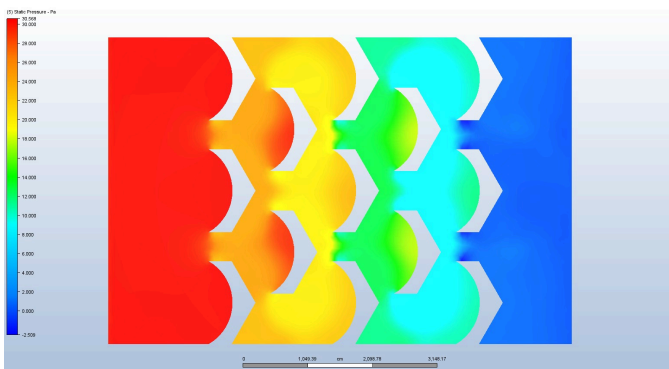


Fig. 10 Plano de presiones en flujo laminar.

En la visualización de la figura 10 se describe la disminución de las presiones conforme el fluido sigue su flujo regular, esto debido a que la disminución de espacios genera mayores aumentos de velocidad y esto repercute en que las presiones empiecen a disminuir. Su presión máxima fue de 30.57 Pa y su presión mínima fue de -2.51 Pa.

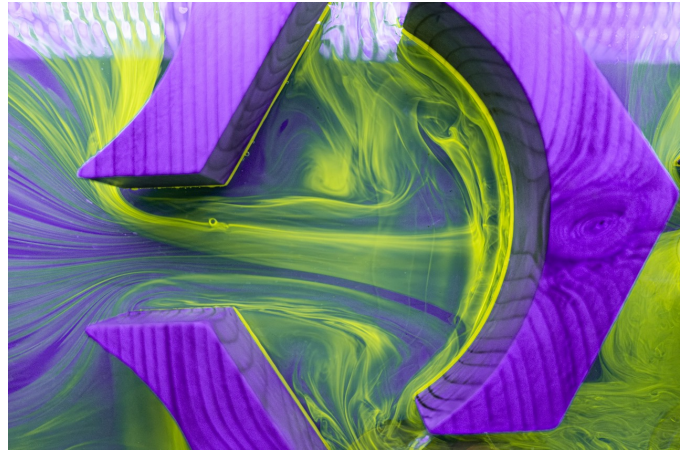


Fig. 11 Puntos de estancamiento y puntos de desprendimiento.

Se puede distinguir en la figura 11 la presencia de los puntos de estancamiento en la parte del arco de los modelos, los puntos de separación en las aristas esquinadas del modelo y también la vorticidad generada por los cambios de presiones.

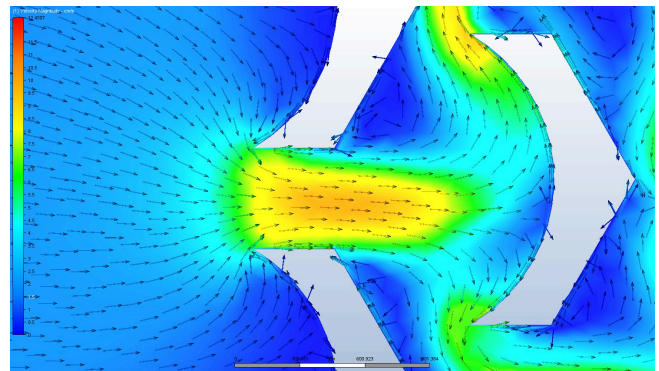


Fig. 12 Generación de zonas negativas, Estelas turbulentas, vorticidad y comportamiento del flujo del agua en Autodesk CFD.

En el detalle de la figura 12 se observa el retorno del fluido y las estelas turbulentas, esto es debido a las variaciones de presiones que a su vez genera variaciones de velocidades. Debido a la fuerza de arrastre, la cual hace retornar al fluido entrante, notamos como en las zonas de color azul se generan vorticidades gracias a los vectores de dirección.

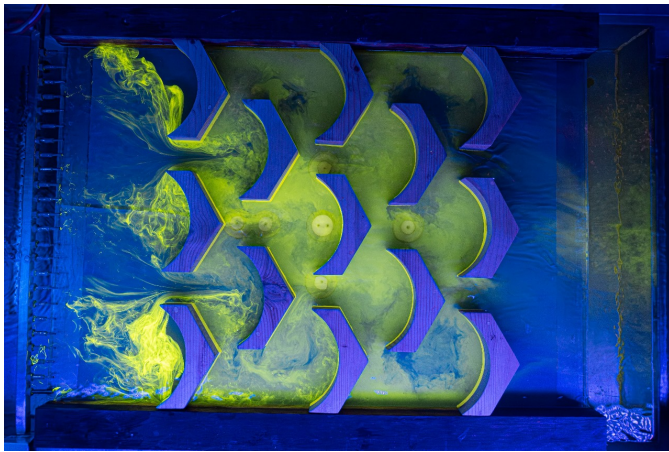


Fig. 13 Vorticidad en flujo turbulento.

Se puede visualizar en la figura 13, como el flujo avanza de una manera caótica, esto por las altas velocidades, las cuales derivan en la generación de vórtices con mayores velocidades rotacionales en comparación al flujo laminar.

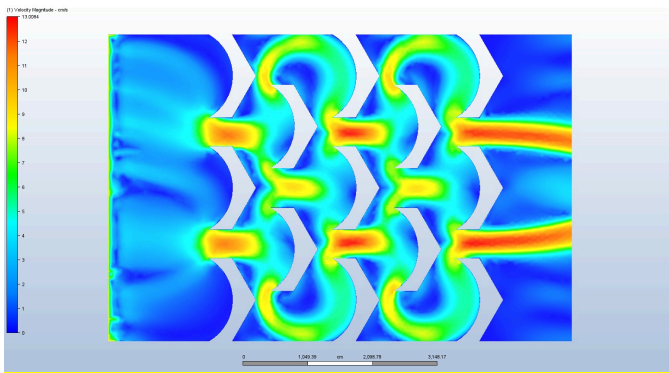


Fig. 14 Plano de velocidades en flujo turbulento.

El modelo de simulación turbulenta en el software computacional Autodesk CFD fue el SST K-OMEGA SAS, debido a que posee una mayor precisión al momento de realizar los puntos de desprendimiento, la vorticidad que se genera y las zonas muertas, tal como se muestra en la figura 14. Para el flujo turbulento notamos como la velocidad máxima fue de 13.01cm/s y su velocidad mínima fue de 0.00cm/s

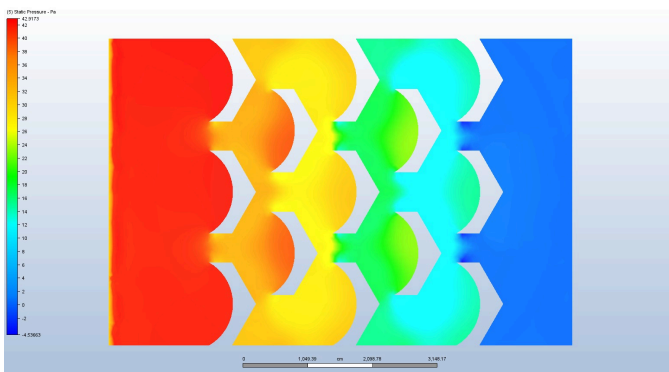


Fig. 15 Plano de presiones en flujo turbulento.

En la figura 15 se puede distinguir como las presiones van disminuyendo conforme el paso del flujo regular del fluido, debido a la homogeneidad y al patrón repetitivo de los modelos. En el diagrama de presiones la presión máxima fue de 42.92 Pa y su presión mínima fue de -4.54 Pa.

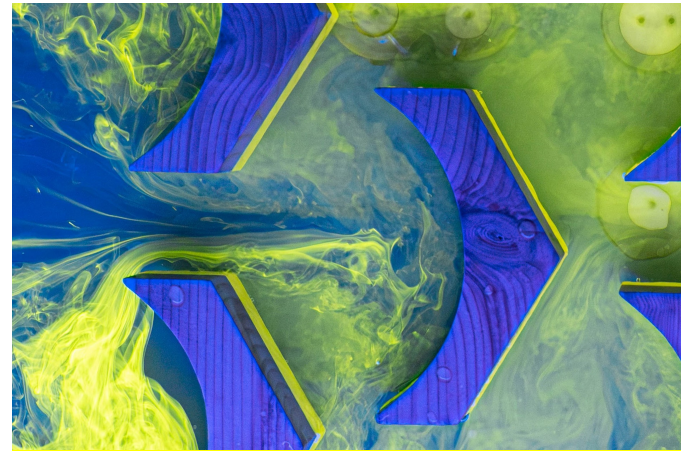


Fig. 16 Comportamiento del flujo turbulento.

En el análisis de la figura 16, se puede observar el flujo desordenado y caótico del fluido, que es ocasionado por las altas velocidades y también al paso del fluido por áreas muy estrechas lo cual hace que aumente en mayor medida la velocidad del fluido.

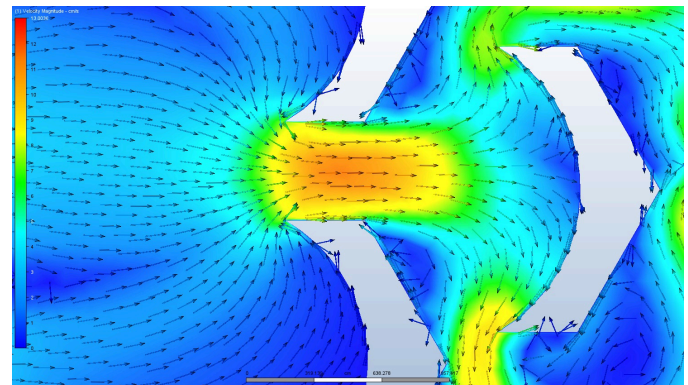


Fig. 17 Estelas turbulentas y vorticidad de flujo turbulento en CFD.

Para la figura 17, se percibe las estelas turbulentas y también las fuerzas de arrastre que son las causantes del nacimiento de los vórtices, también se visualiza las zonas muertas y los puntos de estancamiento. Notamos la variación de velocidades en el punto de desprendimiento y como los vectores de movimiento empiezan a girar en un mismo eje posterior al choque entre corrientes.

VI. CONCLUSIONES

-Existieron diferencias mínimas en el experimento y la simulación con el Autodesk CFD, debido a que en el software solo se toman valores como la velocidad y presión, en cambio en la vida real, se debe tomar en cuenta factores como la temperatura, el coeficiente de fricción, la viscosidad e inclusive el ambiente en el cual se realiza el ensayo.

-Para el caso laminar observamos en el CFD como alcanzó una velocidad máxima de 12.45cm/s, para el flujo turbulento notamos como la velocidad máxima fue de 13.01cm/ y una velocidad mínima de 0.00cm/s para ambos casos, nos damos cuenta de un aumento en la velocidad entre flujo turbulento y flujo laminar pero como en ambos casos la velocidad mínima sigue siendo de 0.00cm/s debido a los puntos de estancamiento en ambas situaciones.

-En el diagrama de presiones notamos que para el flujo laminar su presión máxima fue de 30.57 Pa y su presión mínima fue de -2.51 Pa, y para flujo turbulento su presión máxima fue de 42.92 Pa y su presión mínima fue de -4.54 Pa, nos damos cuenta que la disminución de presión es mayor para el caso turbulento, esto podría ser ocasionado por las velocidades entrantes, debido a que las velocidades son mayores a las del flujo laminar, esto provoca una mayor pérdida de cargas lo cual ocasiona una mayor disminución en sus presiones.

-La disminución de los tirantes hidráulicos indica que la disipación de energía ha sido exitosa, cambiando la energía cinética y potencial del fluido en energía calorífica al visualizar los remolinos que se originaban.

-Se ha corroborado tanto en el software Autodesk CFD como en el banco de flujo la semejanza geométrica y cinemática, la cual nos dará paso a la elaboración de prototipos efectivos en reemplazo de disipadores de lecho de roca o disipadores de cuenco amortiguador.

- Podemos afirmar con el presente trabajo teórico-experimental que se pueden elaborar nuevos tipos de geometrías y sistema de gaviones, dejando de lado los gaviones convencionales del tipo cubico.

REFERENCIAS

[1] Arce, J. (2023, 26 mayo). Fenómeno El Niño: una mirada a lo que vivió el Perú en 2017 y un panorama que podría repetirse a fines de este 2023. Infobae. <https://www.infobae.com/peru/2023/05/26/fenomeno-el-nino-una-mirada-al-2017-y-un-panorama-que-se-repetiria-el-2023/>

[2] Admin. (2024, 6 junio). LOS DISIPADORES DE ENERGÍA HIDRAULICA MÁS USADOS. Cersa. <https://cersa.org.pe/capacitaciones/?q=content/blog/los-disipadores-de-energ%C3%ADa-hidraulica-m%C3%A1s-usados>

[3] R. Pardo, "Disipadores de energía - parte I: el salto hidráulico.," Scielo, vol. 39, no. 3, pp. 108-118, Sep-Dic 2018. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000300108&lng=es&nrm=iso

[4] Heinz, S., Mokhtarpoor, R., & Stoellinger, M. (2020). Theory-based Reynolds-averaged Navier–Stokes equations with large eddy simulation capability for separated turbulent flow simulations. *Physics Of Fluids*, 32(6). <https://doi.org/10.1063/5.0006660>

[5] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*, 1ª ed. México: McGraw-Hill, 2006.

[6] R. L. Mott, *Mecánica de Fluidos*, 7ª ed. Ciudad de México: Pearson Educación, 2015

[7] Janampa-Guardia, J. I., Jacinto-Ferrer, H. J., & Carmona-Arteaga, A. (2024). Study of semicircular sections through CFD software for rainwater retention in arid areas. In 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0 (pp. 1-175). Hybrid Event, San Jose – COSTA RICA: LACCEI. [10.18687/LACCEI2024.1.1.175.]

[8] J. L. Díaz Terrones, J. A. Cornejo Meléndez, y A. Carmona Arteaga, "Design of two-dimensional solids for the reduction of velocities and pressures in water resources using CFD and Inventor software," en Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0, 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, San José, Costa Rica, jul. 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.116.

[9] Ulrich, M. (2024). Proyecto Vórtices de Von Kármán [PDF]. Recuperado de https://marianneulrich.com/wp-content/uploads/2024/08/Proyecto_Vortices_de_von_Karman.pdf

[10] Andrés, H. H. B. (2023, 1 febrero). Análisis CFD del porcentaje de disipación de energía en rápidas escalonadas con flujo rasante para caudales pluviales de las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24261>

[11] Zarate, A. (2018). Mecánica de fluidos Frank M. White. Itam. https://www.academia.edu/37398208/Mec%C3%A1nica_de_Fluidos_Frank_M_White

[12] Quintero, A. D. A. (2014). Mecánica de Fluidos e Hidráulica - Ranald V. Giles. Uptc. https://www.academia.edu/8365463/Mecanica_de_Fluidos_e_Hidraulica_Ranald_V_Giles

[13] Autodesk, Inc., Autodesk Inventor: 3D CAD Software, Autodesk, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.mx/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

[14] Autodesk, Inc., Autodesk CFD: Simulation Software for Fluid Flow and Thermal Analysis, Autodesk, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=SCFDM>

[15] I. Gonzalez-Neria, «Análisis de patrones turbulentos de un tanque agitado, utilizando dinámica de fluidos computacional y velocimetría por imágenes de partículas,» 2021. Doi: 10.24275/uama.6747.8477

[16] G. Ruiz & P. Villamil "Determinación experimental de las características de vórtices anulares", Dialnet, vol. 4, 2010, [en línea] Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3700105>

[17] Curso de iluminación. (s. f.).

<https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga.php#:~:text=Las%20%C3%A1mpar%20fluorescentes%20son%20%C3%A1mpar,radiaci%C3%B3n%20ultravioleta%20en%20radiaci%C3%B3n%20visible.>