ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.123

Velocity and pressure analysis for energy dissipation through experimental study on a flow board and CFD simulation

Ramos Huayhua Ingrid Fiorella[1]; Carmona Arteaga Abel[2], Magister Scientiae en Recursos Hídricos
[1,2]Universidad Privada del Norte, Perú, *N00277402*@upn.pe[1], abel.carmona@upn.edu.pe[2]

***Abstract*– This study explores methods to reduce water flow energy using dissipative barriers, conducted through experimental development on a flow table and simulations in Autodesk CFD. The objective is to understand how these barriers can aid in controlling water velocity and pressure, particularly in flood situations, to prevent overflow. To achieve this, we designed a 2D barrier model using Autodesk Inventor and conducted flow analysis in Autodesk CFD, where water response was tested at different velocities and pressures. The experimental tests in the hydraulics laboratory, along with the simulations, allowed us to observe water-barrier interactions in detail. The results of this study provide a foundation for designing safer and more efficient hydraulic structures, assisting engineers in optimizing water flow control and protecting the environment.**

***Keywords*-- Autodesk CFD, energy dissipation, laminar flow, turbulent flow, dissipative barriers.**

Análisis de velocidades y presiones para la disipación de energía mediante estudio experimental en tablero de flujo y simulación CFD

Ramos Huayhua Ingrid Fiorella[1]; Carmona Arteaga Abel[2], Magister Scientiae en Recursos Hídricos
[1,2]Universidad Privada del Norte, Perú, *N00277402@upn.pe*[1], *abel.carmona@upn.edu.pe*[2]

Resumen*– El presente estudio explora cómo reducir la energía de los flujos de agua mediante barreras disipadora, realizado a través de un desarrollo experimental en una mesa de flujo y simulaciones en Autodesk CFD. El objetivo es entender cómo estas barreras pueden ayudar y controlar la velocidad y presión del agua, especialmente en situaciones de crecidas, para evitar desbordes. Para lograr esto, diseñamos un modelo de barreras en 2D usando Autodesk Inventor y realizamos el análisis de flujo en Autodesk CFD, donde se probó cómo el agua reacciona a diferentes velocidades y presiones. Las pruebas experimentales en el laboratorio de hidráulica y las simulaciones permitieron observar cómo el agua interactúa con las barreras. Los resultados de este estudio ofrecen una base para diseñar estructuras hidráulicas que sean más seguras y eficientes, ayudando a los ingenieros a optimizar el control de flujos de agua y proteger el entorno.

***Palabras clave*– Autodesk CFD, disipación de energía, flujo laminar, flujo turbulento, barreras disipadoras.**

I. Introducción

El cambio climático ha hecho más frecuentes e intensos los eventos extremos, lo cual ha dado lugar a fenómenos como el desbordamiento de ríos. En temporadas de lluvías intensas, el aumento del caudal y de la velocidad del agua incrementan la energía en los ríos, desgastando sus orillas y causando inundaciones en áreas vulnerables. Este fenómeno representa una amenaza significativa para comunidades situadas en las proximidades de los ríos, poniendo en riesgo infraestructuras y, sobre todo, la seguridad de quienes viven allí. La expansión de asentamientos en estas zonas y la falta de infraestructura adecuada agravan aún más los efectos de los desbordamientos, dejando a las comunidades expuestas a mayores peligros.

Ante estos desafíos, la implementación de sistemas de disipadores de energía surge como una alternativa efectiva para mitigar los daños [1]. Estas estructuras están diseñadas para reducir la velocidad de los flujos en puntos críticos, ayudando a proteger infraestructuras cercanas y minimizando los riesgos de erosión y colapso. Su diseño debe considerar cuidadosamente las condiciones locales para garantizar tanto su eficiencia como su compatibilidad ambiental [2].

En la última década, la dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha consolidado como una herramienta fundamental para el análisis hidráulico, permitiendo simular y evaluar diferentes configuraciones de disipadores para la reducción de la energía cinética en sistemas de canalización [3]. Además de las simulaciones computacionales, se complementó este estudio con un desarrollo experimental en una mesa de flujo, lo que permitió validar y ajustar los modelos obtenidos por CFD de forma más precisa.

II. Objetivo de la investigación

Este estudio tiene como objetivo analizar cómo funcionan los disipadores de energía en forma de "I" para reducir la energía cinética. Los resultados obtenidos ofrecen una base para comparar ambos métodos y evaluar la eficiencia del diseño bajo distintos escenarios.

III. Marco teórico

3.1. Autodesk Inventor

Es un programa de CAD 3D que permite diseñar y disimular modelos mecánicos con un conjunto de herramientas avanzadas. Es ampliamente utilizado para mejor y optimizar todo el proceso del diseño. [4]

3.2. Autodesk CFD

El software Autodesk CFD ofrece, a los ingenieros y analistas la capacidad de disimular de manera próxima el comportamiento de los fluidos, tanto líquidos como gases. [5]

3.3. Disipación de energía

La disipación de energía consiste en reducir la energía cinética del flujo para prevenir la erosión en los conductos y estructuras de descargas. Este proceso se lleva a cabo a través de disipadores de energía, las cuales disminuyen la velocidad del flujo y estabilizan su comportamiento. [6]

3.4. Estelas turbulentas

Es la zona de flujo inestable y caótica que se crea detrás de un objeto cuando el fluido, como el agua, pasa a su alrededor a alta velocidad. En esta zona se forman vórtices debido a la separación del flujo al chocar con el objeto, generando áreas de baja presión y alta fricción. [7]

3.5. Punto de estancamiento

El punto de estancamiento es la región del flujo donde la velocidad del fluido se reduce a cero. En este punto, el fluido se anula completamente como resultado del impacto con la superficie frontal de un cuerpo. En la figura 1 se aprecia que el

fluido está en reposo, lo que corresponde al punto de estancamiento. [8]

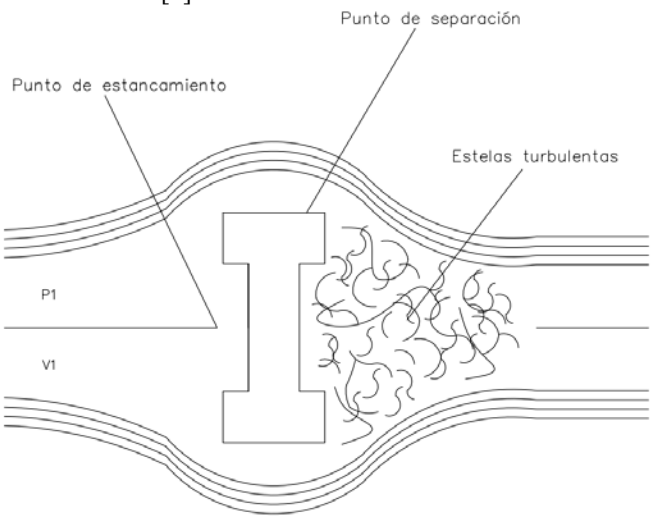

Fig. 1 Punto de estancamiento

3.6. Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección transversal de un conducto en un tiempo específico. Este parámetro es clave, ya que afecta directamente en el diseño y dimensionamiento de las infraestructuras hidráulicas. [9]

$$Q = \frac{V}{T} \tag{1}$$

Donde:

$Q =$ Caudal
$V =$ Volumen
$T =$ Tiempo

3.7. Número de Reynolds

El número de Reynolds es la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza viscosa que actúan sobre un fluido. Es fundamental para describir el tipo de flujo, ya sea laminar o turbulento. [8]

$$R_e = \frac{D_h * v * \rho}{\mu} \tag{2}$$

$$D_h = \frac{4ab}{2a+b} \tag{3}$$

Donde:

$R_e =$ Número de Reynolds
$D_h =$ Diámetro hidráulico
$\rho =$ Densidad del fluido
$\mu =$ Viscosidad del fluido
$v =$ Velocidad del fluido

3.8. Flujo laminar

Es un tipo de movimiento del fluido en el que las partículas se desplazan de manera ordenada y suave, deslizándose entre sí de forma predecible. Se considera laminar cuando el número de Reynolds es inferior a 500. [10]

3.9. Flujo turbulento

En este caso se caracteriza por un movimiento completamente desordenado. El número de Reynolds es igual o superior a 500. [10]

3.10. Ecuación de la energía

Como una ampliación de la ecuación de Bernoulli, la ecuación de la energía se emplea para resolver problemas relacionados con pérdidas y ganancias de energía. Es esencial para analizar los flujos en sistemas hidráulicos y las variaciones de energía a lo largo del sistema. [11]

$$\frac{{v_1}^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{{v_2}^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_T \tag{4}$$

Donde:

$v_1 =$ Velocidad de entrada
$v_2 =$ Velocidad de salida
$P_1 =$ Presión de entrada
$P_2 =$ Presión de salida
$z_1 =$ Elevación en la primera sección
$z_2 =$ Elevación en la segunda sección
$g =$ Gravedad
$\gamma =$ Peso específico
$h_T =$ Pérdidas totales

3.11. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli omite las pérdidas por fricción, enfocándose en la conservación de energía de un fluido en movimiento. En flujos horizontales, zonas con alta viscosidad presentan menor presión. [2]

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} + Z_1 = \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + Z_2 \tag{5}$$

3.12. Fuerza de arrastre

Es la fuerza aplicada por un fluido en movimiento sobre un cuerpo en la misma dirección del flujo. Su magnitud depende tanto de la velocidad de desplazamiento del objeto en el fluido como de su área frontal expuesta. [11]

$$F_D = C_D\left(\frac{\rho V^2}{2}\right)A \tag{6}$$

Donde:

$F_D =$ Fuerza de arrastre
$C_D =$ Coeficiente de arrastre
$A =$ Área frontal

$v =$ Velocidad del fluido
$\rho =$ Densidad del fluido

3.13. Efecto Von Karman

El efecto Von Karman describe la formación de vórtices alternados detrás de un cuerpo sólido cuando un fluido pasa alrededor de él, generando la llamada calle de vórtices de Karman. Esto se produce a altos número de Reynolds, donde el flujo se divide en dos al interactuar con la superficie de un objeto. La corriente cerca al sólido tiene una velocidad reducida en comparación con el flujo principal, lo que provoca la aparición de capas cortantes que, al romperse generan vórtices en ambos lados del cuerpo. [12]

3.14. Parámetros turbulentos CFD

Ecuaciones de Navier-Stokes

Las ecuaciones de Navier – Stokes se emplea para describir cómo se mueven los fluidos, especialmente en casos de fluidos incomprensibles. [12] Estas ecuaciones son esenciales en dinámica de fluidos computacional, ya que explican como la temperatura, velocidad, presión y densidad de un fluido en movimiento se relacionan entre sí. [13]

SST K-omega

El modelo de turbulencia SST k-utiliza ecuaciones que se usa comúnmente en aplicaciones aerodinámicas para predecir el comportamiento del flujo, pero también es la simulación más cercana a nuestro desarrollo experimental. Este módelo híbrido, combina los modelos k.omega de Wilcox y k-epsilon. Esto modelo garantiza que cada región del flujo esté representada de manera precisa, proporcionando resultados fiables para análisis detallados. [14]

IV. METODOLOGÍA

La simulación del flujo en Autodesk CFD permite analizar cómo se comporta el disipador de energía en forma de "I" en diferentes condiciones de flujo. Esto es importante para asegurarnos de que el diseño sea eficiente y cumpla con el objetivo que buscamos. En la figura 2 se muestra la estructura del disipador, la cual fue definida en el programa AutoCAD.

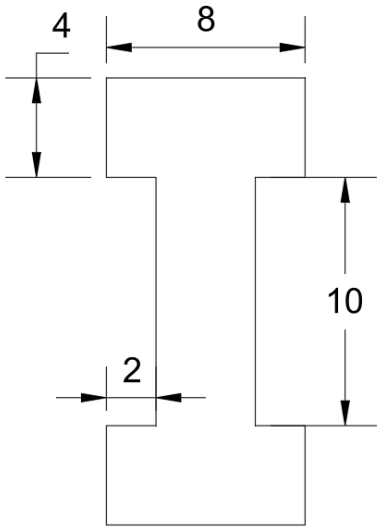

Fig.2 Medidas de la estructura en forma de "I".

Nuestro diseño en la mesa de flujo se presenta en la figura 3, donde se observa el orden de nuestros disipadores en forma "I". El diseño tiene un total de 9 unidades de tamaño completo y 6 unidades a la mitad colocados de manera organizada. Esta disposición busca optimizar la interacción del flujo de agua con los disipadores.

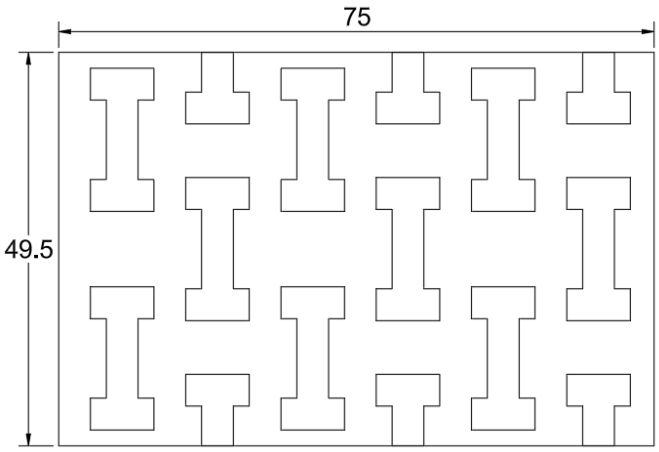

Fig.3 Modelado en AutoCAD.

Utilizando nuestro diseño en AutoCAD, lo importamos en Autodesk Inventor, donde seleccionamos 2D Sketch y trabajamos en el plano XY. Posteriormente seleccionamos Finish Sketch y utilizamos la opción Patch antes de guardar el archivo.

En el programa CFD, elegimos agua como el tipo de fluido. A continuación, en Boundary Conditions configuramos una velocidad de ingreso, determinada experimentalmente para cada caso, con una presión de entrada de 30 Pa y presión de salida a 0 Pa para ambos.

En Mesh size, seleccionamos un mallado de 0.5 mm para obtener un resultado más preciso. Luego, seleccionamos Solve

y elegimos el tipo de flujo deseado, ya sea laminar o turbulento. Para el flujo laminar, se completaron 334 iteraciones, mientras que en el flujo turbulento fueron necesarias 561 iteraciones utilizando el modelo SST k-Omega.

Para nuestras simulaciones, desactivamos la opción de temperatura y activamos la opción de vorticidad en Results Quantities. Finalmente, al seleccionar Solve se obtienen los resultados.

Para una mayor claridad en los pasos necesarios para la ejecución del proyecto, se presenta en la figura 4 un flujograma que ilustra el proceso, desde el diseño en AutoCAD hasta su análisis en Autodesk CFD.

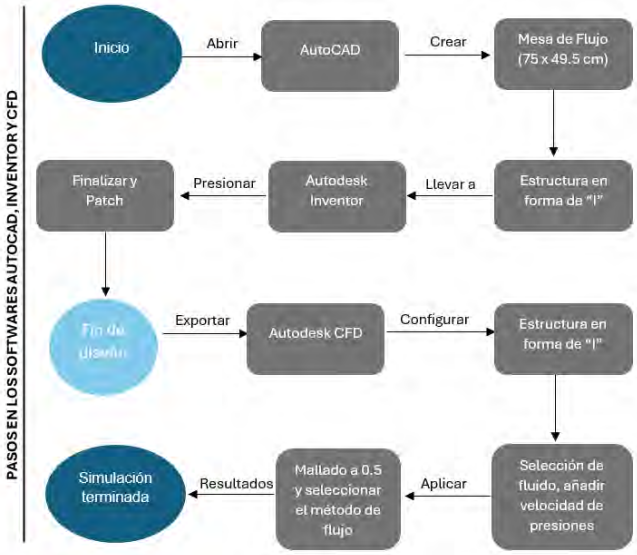

Fig.4 Flujograma de pasos en el software AutoCAD, Autodesk Inventor y CFD.

V. Resultados

Este estudio se centró en comparar los resultados de simulaciones en CFD con datos experimentales obtenidos en condiciones de laboratorio. La figura 5 documenta el desarrollo del experimento realizado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Privada del Norte, donde se analizaron las variaciones de velocidad y trayectoria del flujo.

Fig. 5 Registro del desarrollo experimental

La tabla 1 presenta los datos obtenidos en el laboratorio, los cuales se emplearon para realizar los cálculos posteriores. Durante el experimento, la temperatura fue de 19.75 °C, lo que permitió determinar la densidad y viscosidad del agua.

TABLA 1
DATOS DE LABORATORIO

Variable	Valor	Unidad
Ancho de la base de entrada	0.495	m
Altura de entrada	0.005	m
Temperatura	19.75	°C
Viscosidad	0.0010265	Pa·s
Ancho de la base de salida	0.6	m
Longitud de la base de salida	0.093	m

En la tabla 2 se presenta el cálculo de velocidad de entrada, con el fin de obtener un resultado preciso. Previamente se realizaron mediciones necesarias como la altura del agua en la entrada para el cálculo de su área, así como las longitudes empleadas para determinar el volumen de la salida del agua.

TABLA 2
CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ENTRADA PROMEDIO

H acumulado	Promedio de tiempo	Δ Volumen (m^3)	Q salida (m^3/s)	Velocidad de entrada (m/s)
0.01	21.34	0.000558	2.61E-05	0.0106
0.02	21.84	0.000558	2.56E-05	0.0103
0.03	24.15	0.000558	2.31E-05	0.0093
0.04	22.34	0.000558	2.50E-05	0.0101
0.05	24.44	0.000558	2.28E-05	0.0092
0.06	23.64	0.000558	2.36E-05	0.0095
0.07	22.46	0.000558	2.48E-05	0.0100
0.08	22.56	0.000558	2.47E-05	0.0100
0.09	20.28	0.000558	2.75E-05	0.0111
0.10	20.35	0.000558	2.74E-05	0.0111
Velocidad total promedio				0.0101

En la tabla 3 se presentan los datos obtenidos y utilizados para el cálculo del número de Reynolds, con el fin de determinar el tipo de flujo en el primer caso.

TABLA 3
CÁLCULO DE NÚMERO DE REYNOLDS

Variable	Valor	Unidad
Densidad del agua (ρ)	998.62	Kg/m³
Velocidad de ingreso	0.0101	m/s
Viscosidad (μ)	0.0010265	Pa·s
Diámetro hidráulico (d)	0.02	m

Se obtuvo un número de Reynolds de 193.1894, clasificando el flujo en el primer caso como laminar.

La velocidad de ingreso fue calculada y luego ingresada en el software CFD para realizar el análisis. Para este estudio, se estableció una presión de entrada de 30 Pa y una presión de salida de 0 Pa en las simulaciones de los dos casos con el objetivo de obtener una gráfica que represente de manera aproximada el comportamiento del flujo. En esta primera simulación, el proceso requirió unas 334 iteraciones para obtener resultados.

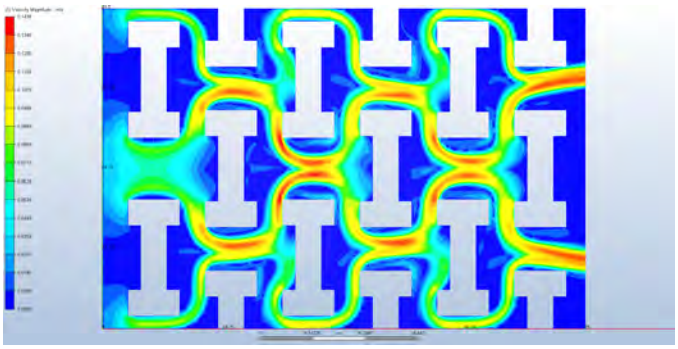

Fig. 6 Simulación de velocidad a 0.0101 m/s

En la figura 6 se simuló con una velocidad de ingreso de 0.0101 m/s. Las velocidades máximas, que oscilan entre 0.0899 m/s hasta 0.1168 m/s, se registran en la región central, localizándose específicamente en los extremos de los sólidos en esta zona.

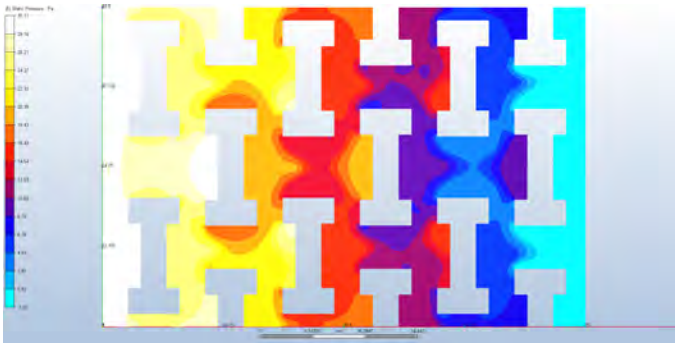

Fig. 7 Simulación de presión a 0.0101 m/s

En la figura 7 se observa que la mayor presión es de 30.11 Pa en el punto de ingreso del fluido, reduciéndose hasta un mínimo de -1.02 Pa al final del sistema, momento en el cual la presión se vuelve negativa. Este comportamiento se debe a que, al entrar, el fluido impacta las estructuras generando mayores presiones en los puntos de entrada.

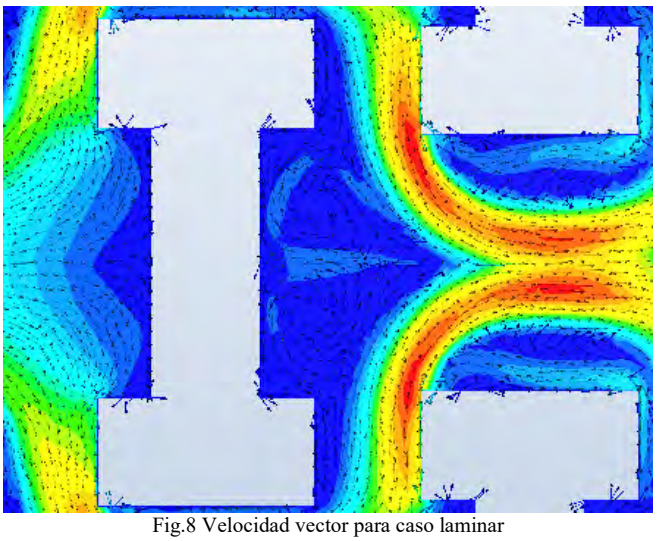

Fig.8 Velocidad vector para caso laminar

En la figura 8 se visualiza la orientación del flujo a través de sus vectores que representan su dirección, mostrando la aparición de vórtices en sectores de baja velocidad. Este comportamiento retiene energía dentro de las secciones y permite que el fluido aumente su velocidad al pasar hacia la salida.

Al finalizar la simulación en el programa del primer caso, se realizó al desarrollo experimental sobre la mesa de flujo. Para este estudio se estableció una altura de 10 cm y empleando intervalos de tiempo en cada centímetro.

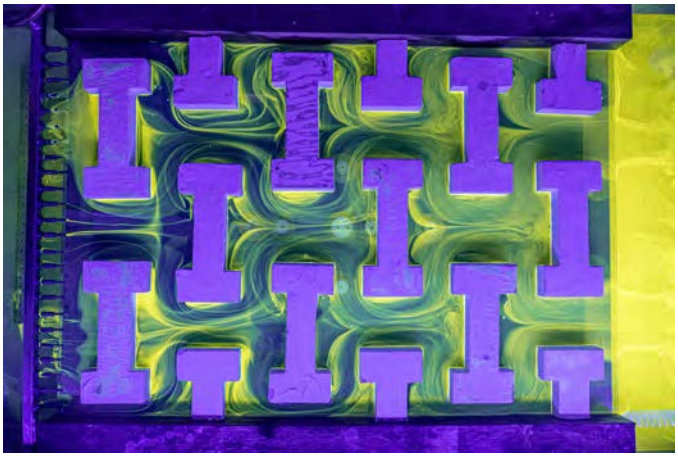

Fig.9 Simulación en la mesa de flujo para el caso laminar

En la figura 9 se observa el comportamiento de un flujo laminar en una mesa de flujo, donde los sólidos en forma de "I" crean vórtices en la zona de menor velocidad, reteniendo energía en esas áreas. Esta imagen muestra cómo el flujo de agua rodea los disipadores con un patrón ordenado de movimiento, con trayectorias suaves y bien definidas.

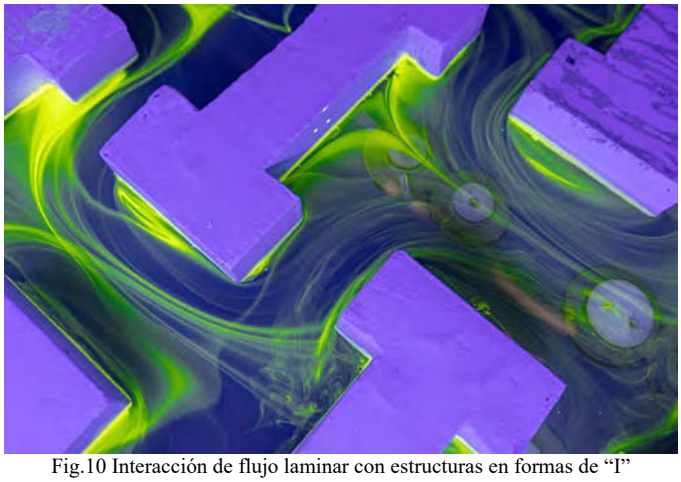

Fig.10 Interacción de flujo laminar con estructuras en formas de “I”

La figura 10 se puede visualizar las áreas de interacción entre el flujo y el disipador, evidenciando una notable pérdida de energía cuando el flujo impacta la primera cara del disipador.

La tabla 4 presenta los datos obtenidos en el laboratorio, donde solo se modificó la altura de entrada para este nuevo caso.

TABLA 4
DATOS DE LABORATORIO

Variable	Valor	Unidad
Ancho de la base de entrada	0.495	m
Altura de entrada	0.011	m
Temperatura	19.75	°C
Viscosidad	0.0010265	Pa·s
Ancho de la base de salida	0.6	m
Longitud de la base de salida	0.093	m

En la tabla 5 se observa una reducción en los tiempos debido a que el flujo del fluido aumentó su velocidad.

TABLA 5
CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ENTRADA PROMEDIO

H acumulado	Promedio de tiempo	Δ Volumen (m^3)	Q salida (m^3/s)	Velocidad de entrada (m/s)
0.01	7.24	0.000558	7.70E-05	0.0141
0.02	6.64	0.000558	8.41E-05	0.0154
0.03	6.10	0.000558	9.15E-05	0.0168
0.04	7.26	0.000558	7.69E-05	0.0141
0.05	6.10	0.000558	9.15E-05	0.0168
0.06	5.56	0.000558	1.00E-04	0.0184
0.07	7.13	0.000558	7.83E-05	0.0144
0.08	5.42	0.000558	1.03E-04	0.0189
0.09	6.20	0.000558	9.00E-05	0.0165
0.10	5.56	0.000558	1.00E-04	0.0184
Velocidad total promedio				0.0164

En la tabla 6 se presentan los datos obtenidos y utilizados en el cálculo del número de Reynolds, con el fin de determinar el tipo de flujo del segundo caso.

TABLA 6
CÁLCULO DE NÚMERO DE REYNOLDS

Variable	Valor	Unidad
Densidad del agua (ρ)	998.62	Kg/m^3
Velocidad de ingreso	0.0164	m/s
Viscosidad (μ)	0.0010265	Pa·s
Diámetro hidráulico (d)	0.04	m

Se obtuvo un número de Reynolds de 672.0790, clasificando el flujo en el segundo caso como turbulento.

Para simular el flujo turbulento, evaluamos varias opciones de modelo en el programa. El modelo SST k – Omega fue seleccionado ya que presentó con mayor precisión las características observadas en la mesa de flujo. La simulación se realizó con 561 iteraciones para este segundo caso.

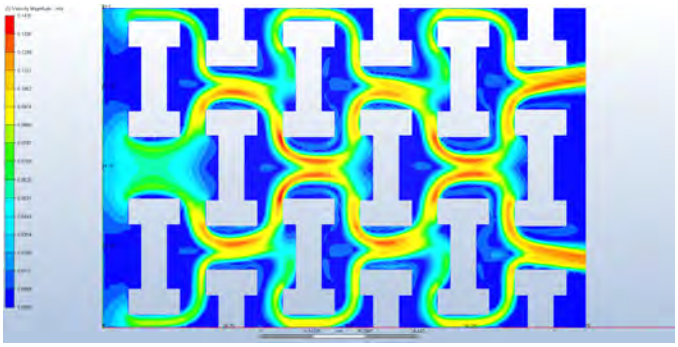

Fig.11 Simulación de velocidad a 0.0164 m/s

En la figura 11 muestra un análisis de velocidad alrededor de las estructuras. Para este caso, la velocidad promedio de ingreso fue de 0.0164 m/s. Las zonas casi rojas y amarillas indican áreas de mayor velocidad, alcanzando valores entre 0.0885 m/s a 0.1151 m/s alrededor de los bordes de los disipadores, mientras que las áreas en azul representan velocidades más bajas, evidenciando los puntos de estancamiento del flujo donde su velocidad llega hasta 0 m/s.

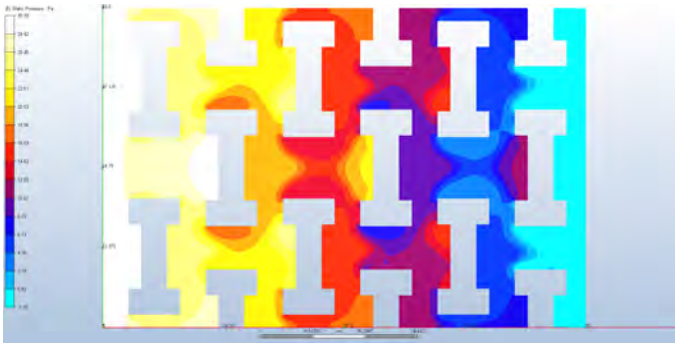

Fig. 12 Simulación de presión a 0.0164 m/s

En la figura 12 podemos visualizar que la presión máxima alcanza los 30.39 Pa en el punto de ingreso del fluido y luego disminuye gradualmente hasta llegar a -1.16 Pa al final del sistema. Aunque la velocidad de entrada es mayor que el caso anterior, la presión en esta simulación resulta ser más baja.

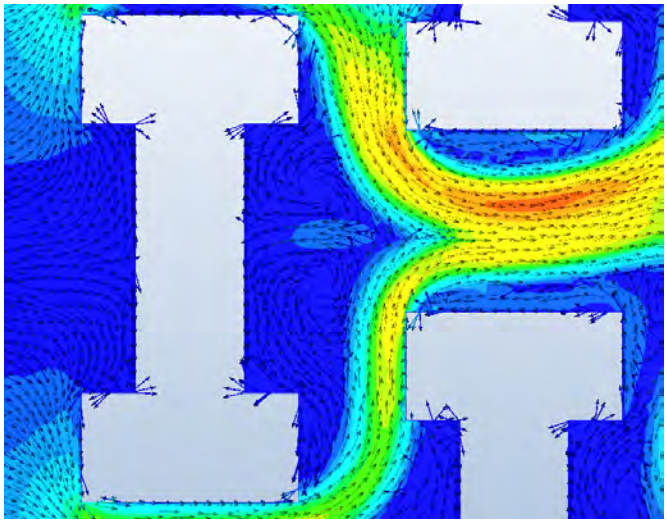

Fig.13 Velocidad vector para caso turbulento

En la figura 13 se aprecia claramente la formación de remolinos generados por la interacción entre el flujo y la estructura del disipador. El patrón de líneas de corriente evidencia cómo el fluido, al impactar contra el disipador, se desvía en múltiples direcciones, promoviendo la mezcla del flujo y la creación de zonas de recirculación. Los vectores de velocidad muestran que el flujo tiende a rodear el disipador, adaptándose a su contorno y formando trayectorias curvas y concentraciones de vorticidad en la región posterior. Este comportamiento es característico de un flujo turbulento, donde la pérdida de energía y la formación de vórtices son más pronunciadas debido a la compleja interacción entre el fluido y las superficies sólidas.

Una vez finalizada la simulación en el software CFD para el segundo caso, realizamos el experimento en la mesa de flujo.

En la figura 14 se observa cómo el flujo turbulento influye en el comportamiento de la tinta en el agua. Las altas velocidades y la presencia de los disipadores provocan una dispersión rápida y caótica de la tinta, dificultando una observación detallada de las trayectorias, a diferencia del flujo laminar que permite ver patrones claros y ordenados.

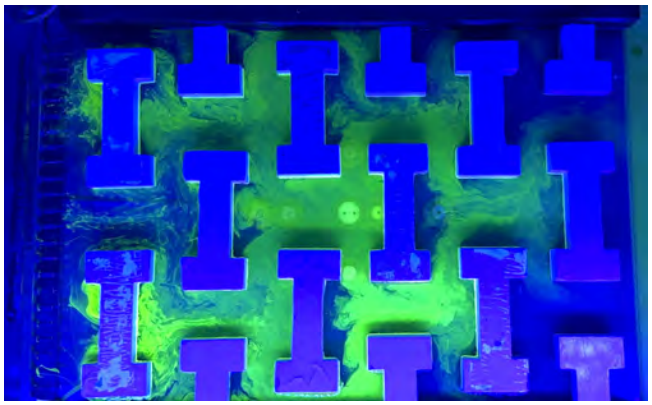

Fig. 14 Movimiento del flujo turbulento

La figura 15 se observa que, en la región posterior (parte derecha) del disipador, se crean remolinos donde el flujo empieza a girar y a mezclarse en diferentes direcciones como en la simulación en el software CFD.

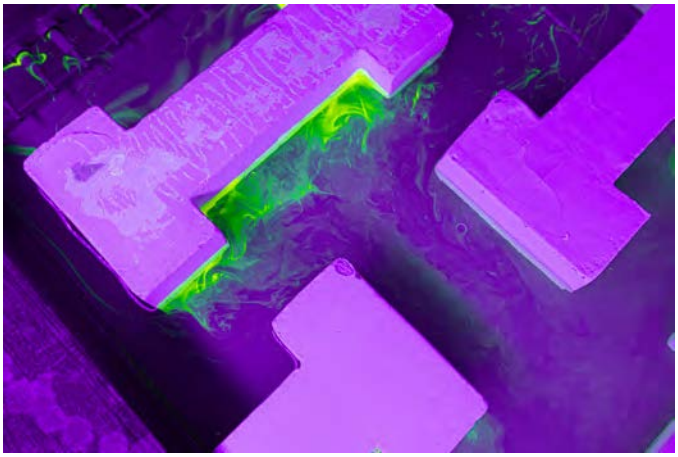

Fig.15 Formación de remolinos

VI. Conclusiones

Para esta investigación, se observó que, al incrementarse la velocidad del agua, la presión disminuía, llegando incluso a valores negativos. Esto tiene sentido si pensamos en cómo se distribuye y transforma la energía dentro del flujo, como explica la ecuación de la energía.

Los resultados obtenidos a partir de la simulación CFD y el experimento físico presentaron mínimas diferencias. Eso se debe a que el modelo computacional considere principalmente variables como la velocidad y presión, mientras que el experimento influye también factores como la temperatura del agua, viscosidad y la interacción con el entorno físico.

La elección de un mallado adecuado en la simulación fue importante para obtener resultados más detallados del comportamiento del flujo. Un mallado muy grueso habría pasado detalles importantes del flujo en la simulación.

Además, se comprobó que las estructuras físicas utilizadas actuaron de manera efectiva como disipadores de energía, cumpliendo con el propósito de reducir la velocidad del flujo. El uso del software Autodesk CFD permitió representar estos procesos de forma clara y comprensible, acercando la simulación a lo que se observa en condiciones reales.

Finalmente, se debe enfatizar que el diseño desarrollado corresponde a una propuesta conceptual. Aunque los resultados son positivos, su implementación a escala real no se plantea en esta etapa. Para llevarlo a la práctica sería necesario realizar estudios adicionales que consideren múltiples factores, como las características geotécnicas del sitio, el comportamiento hidráulico a gran escala, los costos de construcción y operación, y el impacto ambiental.

VII. REFERENCIAS

[1] J. L. Diaz Terrones, J. Cornejo Meléndez y A. Carmona Arteaga. Diseño de sólidos bidimensionales para la reducción de velocidades y presiones en recursos hídricos utilizando el software CFD e Inventor. LACCEI, 2024.

[2] M. S. Alejos López, C. L. Trujillo Torres y A. Carmona Arteaga. Estudio de diseño para disipador de energía hidráulica en quebradas utilizando Autodesk CFD. LACCEI, 2024.

[3] H. A. Mrope, Y. A. Chande Jande y T. T. Kivevele. A Review on Computational Fluid Dynamics Applications in the Design and Optimization of Crossflow Hydro Turbines. Journal of Renewable Energy, 2021.

[4] Autodesk (2023). Software Autodesk Inventor de Autodesk. https://www.autodesk.mx/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription

[5] Autodesk (2023). Software CFD de Autodesk. https://www.autodesk.com/products/cfd/overview.

[6] H. A. Cáceres Lozano. Análisis comparativo de la eficiencia de estructuras de disipación de energía parReducir la erosión en el tramo crítico entre puente yonán y desvío carretera a trinidad del río jequetepeque. Universidad Nacional de Cajamarca, 2019.

[7] F. M. White. Mecánica de fluidos, Quinta ed., McGraw-Hill, 2004, pp. 255-256.

[8] Y. A. Cengel y J. M. Cimbala, Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones, Segunda ed., McGraw-Hill, 2010, pp. 202, 340.

[9] W. F. Fuentes Ossa y S. Estada Sotelo. Herramienta de Simulación para sistemas de medida de nivel y caudal por medio de ANSYS. Universidad Santo Tomas, 2023.

[10] M. Ortiz Domínguez, A. Cruz Avilés, O. A. Gómez Vargas, O. Damián Mejía, Y. Muñoz Sánchez y J. S. Pacheco Cedeño. Experimento de Reynolds. Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, vol. 11, nº 21, pp. 133-142, 2024.

[11] R. L. Mott y J. A. Untener, Mecánica de fluidos, Séptima ed., Pearson Education, 2015, pp. 159, 434.

[12] O. D. López. Modelamiento computacional de la calle de vórtices de Karman por dinámica de vorticidad. Mecánica computacional, vol. XXI, pp. 274-292, 2002.

[13] M. A. Villavicencio Robalino. Simulación mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) del efluente en el clarificador secundario de la PTAR Udlapark. Universidad De Las Américas, 2020.

[14] F. R. Menter. Zonal Two Equation k-ω Turbulence Models for Aerodynamic Flows. Eloret Institute, 1993.