

Design of two-dimensional solids for the reduction of velocities and pressures in water resources using CFD and Inventor software

Diaz Terrones, Jose Luis¹, Cornejo Meléndez, Jheremy², Carmona Arteaga³, Abel¹, Magister Scientiae en Recursos Hídricos³

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00227685@upn.pe¹, N00299936@upn.pe², abel.carmona@upn.edu.pe³

Abstract– Water resources are affected by rainstorms, causing increases in flows and velocities, which in turn generate erosion and overflows in their causes. For the aforementioned reasons, it is urgent to design structures to reduce the velocities and dissipate the energy produced by the increase in flows, unfortunately the study of the kinematics of fluids is complex, since being able to study the behavior of these obeys the solution of very complex differential equations such as those of Navier-Stokes and Saint Venant. Currently, technological progress allows the partial resolution of the aforementioned equations, which prompted the realization of this research in which a model of two-dimensional barriers was designed using Autodesk Inventor software and simulated in Autodesk CFD, using water as a fluid, which was subjected to 5 different speeds and pressures in order to analyze whether or not the heatsink module created achieved the efficient dissipation of energy between its inlet and outlet sections, thus laying the groundwork for future research on sediment settling, hydraulic structures or scours.

Keywords– CFD, Energy Dissipation, Velocities, Pressures, Solids or Two-Dimensional Barriers.

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

Diseño de sólidos bidimensionales para la reducción de velocidades y presiones en recursos hídricos utilizando el software CFD e Inventor

Diaz Terrones, Jose Luis¹, Cornejo Meléndez, Jheremy Alexis², Carmona Arteaga, Abel³, Magister Scientiae en Recursos Hídricos³

^{1,2,3}Universidad Privada del Norte, Perú, N00227685@upn.pe¹, N00299936@upn.pe², abel.carmona@upn.edu.pe³

Resumen. Los recursos hídricos se ven afectados por los temporales de lluvia, provocando aumentos de caudales y velocidades, estos a su vez generan erosión y desbordes en sus cauces. Por lo antes mencionado urge diseñar estructuras para disminuir las velocidades y disipar la energía producida por el incremento de los caudales, lamentablemente el estudio de la cinemática de fluidos es complejo, ya que poder estudiar el comportamiento de estos obedece a la resolución de ecuaciones diferenciales muy complejas como son las de Navier-Stokes y Saint Venant. En la actualidad el avance tecnológico permite la resolución parcial de las mencionadas ecuaciones lo que impulsó la realización de esta investigación en la cual se diseñó un modelo de barreras bidimensionales mediante el software Autodesk Inventor y se simuló en Autodesk CFD, usando el agua como fluido, la cual se sometió a 5 diferentes velocidades y presiones con el fin de analizar si el módulo disipador creado logró o no la disipación eficiente de la energía entre sus tramos de entrada y de salida, así sentando las bases para futuras investigaciones referentes a decantación de sedimentos, estructuras hidráulicas o socavaciones.

Palabras claves. CFD, Disipación de energía, velocidades, presiones, sólidos o barreras bidimensionales.

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos se ven fuertemente afectados por temporales de lluvias, los cuales provocan un aumento en los caudales y estos a su vez generan un incremento en las velocidades de los ríos y quebradas. Estos sucesos producen erosión en la superficie del suelo y desbordes en los cauces [1].

Por las razones mencionadas anteriormente, urge diseñar estructuras para disminuir las velocidades y disipar la energía producida por el incremento de los caudales.

Desafortunadamente, el análisis de la cinemática de los fluidos siempre ha sido complicado porque comprender su comportamiento requiere resolver ecuaciones diferenciales sumamente complejas. Hasta el momento, estas ecuaciones, como las de Navier-Stokes y Saint-Venant, no tienen soluciones analíticas [2].

En los últimos años gracias al gran avance en la tecnología, el hardware y software de las computadoras ha mejorado significativamente; lo que ha permitido resolver de manera parcial las ecuaciones antes mencionadas con técnicas como es el caso de los métodos de diferencias finitas, las cuales son fundamentales para su resolución mediante el uso de enmallados.

II. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Por lo antes mencionado en esta investigación se diseñó un modelo de barreras bidimensionales con el fin de disminuir las velocidades y presiones del agua; y así poder tener una disminución de energía entre los tramos de entrada y salida del modelo.

III. MARCO TEÓRICO

A. Autodesk Inventor Professional

El software Inventor brinda herramientas de diseño mecánico 3D, documentación y simulación de productos de calidad profesional [3].

B. Autodesk CFD

El software Autodesk CFD crea simulaciones informáticas usando la dinámica de fluidos siendo usado por los ingenieros y analistas para predecir de forma inteligente como se comportan los líquidos, los gases y el aire [4].

C. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional, es la relación de la fuerza de inercia y la fuerza viscosa permitiendo describir el tipo de movimiento en un fluido, ya sea laminar o turbulento [5]. En las ecuaciones 1 y 2 se aprecia el diámetro hidráulico y número de Reynolds. En la Fig. 1. visualizamos las variables que se usan en la ecuación del diámetro hidráulico para canales abiertos.

Si $Re < 2300$, el flujo es laminar.

Si $Re \geq 2300$, el flujo es turbulento.

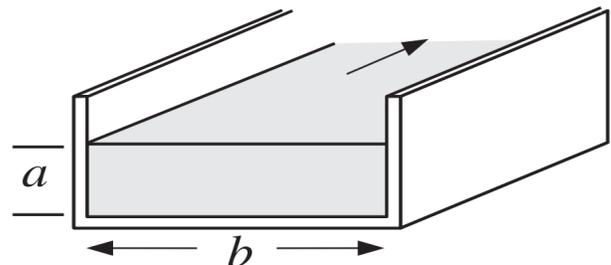


Fig. 1 Variables del diámetro hidráulico para canales abiertos [5]

$$D_h = \frac{4ab}{2a+b} \dots\dots\dots(1)$$

$$R_e = \frac{\rho V D_h}{\mu} \dots\dots\dots(2)$$

D_h = Diámetro hidráulico.
 R_e = Número de Reynolds.
 ρ = Densidad del fluido.
 V = Velocidad del fluido.
 D = Diámetro interior.
 μ = Viscosidad dinámica del fluido.

D. Fuerza de arrastre

La fuerza de arrastre es la fuerza de resistencia que experimenta un sólido sometido al empuje de un fluido. Dicha fuerza depende de las propiedades del fluido y el sólido [6]. En la ecuación 3 se visualiza la fuerza de arrastre.

$$F_D = C_D \times A \times \frac{V^2 \times \rho}{2} \dots\dots\dots(3)$$

F_D = Fuerza de arrastre.
 C_D = Coeficiente de arrastre.
 A = Área frontal.
 V = Velocidad del fluido.
 ρ = Densidad del fluido.

E. Fuerza de sustentación

La fuerza de sustentación se comprende como la componente que actúa normal a la dirección del flujo [6]. En la ecuación 4 se ejemplifica la fuerza de sustentación.

$$F_L = C_L \times A \times \frac{V^2 \times \rho}{2} \dots\dots\dots(4)$$

F_L = Fuerza de sustentación.
 C_L = Coeficiente de sustentación.
 A = Área frontal.
 V = Velocidad del fluido.
 ρ = Densidad del fluido.

F. Efecto Von Karman

El efecto Von Karman es la denominación de flujos giratorios y confinados sometidos a volúmenes muy pequeños con altos números de Reynolds, también es la separación de dos corrientes generadas por el confrontamiento del flujo con el sólido, así generando desprendimiento. Presenta dos velocidades; una menor por su cercanía al sólido y otra mayor que viene a ser el flujo principal, la causa es la diferencia de velocidades formando de capas cortantes rompiéndose en forma

de vórtices a los lados del sólido [7]. La explicación antes mencionada se visualiza en la Fig. 2.

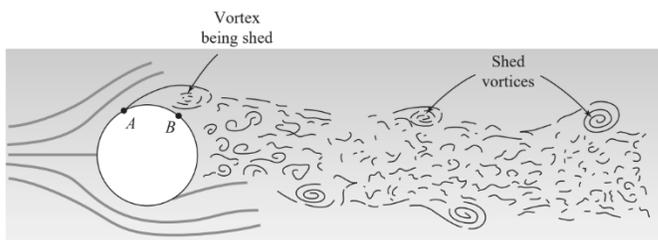


Fig. 2 Dibujo de los vórtices desprendiéndose de un elemento circular [7]

G. Punto de desprendimiento

El punto de desprendimiento o también llamado de separación es el resultado de la dispersión de la velocidad del fluido generando vórtices en la estela, conocido como desprendimiento de vórtice [8].

H. Punto de estancamiento

El punto de estancamiento se describe como el punto donde la velocidad es cero, este se encuentra dentro del campo de flujo. La Fig. 3 detalla de forma precisa el punto de estancamiento, punto de desprendimiento y estela generada por la esfera [9].

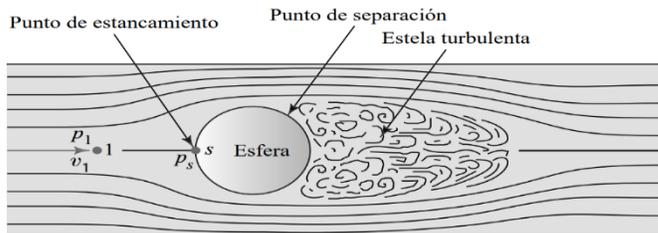


Fig. 3 Esfera sometida a una corriente de fluido, donde se visualiza el punto de estancamiento en la superficie frontal y la estela turbulenta atrás [9]

I. Disipación de energía

Es el proceso en el cual la energía cinética de un fluido se convierte en energía interna por la influencia de la viscosidad y turbulencia dentro del flujo. Mayormente se disipa en forma de energía [10].

J. Ecuación de la energía

La ecuación general de la energía se utiliza como una extensión de la ecuación de Bernoulli, teniendo la finalidad de resolver situaciones de pérdidas y ganancias de energía a través del análisis del comportamiento de un fluido [11]. La fórmula de la energía se avista en la ecuación 5.

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \pm h_A = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_T \dots\dots\dots(5)$$

v_1 = Carga de velocidad de entrada.
 v_2 = Carga de velocidad de salida.
 γ = Peso específico del fluido
 P_1 = Carga de presión de entrada.
 P_2 = Carga de presión de salida.
 Z_1 = Altura de la primera sección.
 Z_2 = Altura de la segunda sección.
 g = Gravedad.
 $+h_A$ = Bomba.
 $-h_A$ = Turbina.
 h_T = Pérdidas totales.

K. Parámetros turbulentos CFD

1. 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 incomprensibles. Sus variables son asumidas por la densidad del fluido como constante, y la ecuación de la energía se desliga tanto de las ecuaciones de continuidad como de momento, siempre y cuando tenga propiedades constantes el fluido [12].

2. 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. Cuando se desarrolla las ecuaciones la gradiente de velocidad es mucho más pequeña [13].

L. Ecuaciones de Saint-Venant

Estas ecuaciones se fundamentan en el desarrollo de ecuaciones diferenciales encargadas de modelar la variación de caudal, nivel de un flujo en un espacio unidimensional y el tiempo de manera transitoria en canales abiertos [14].

IV. METODOLOGÍA

En la presente investigación se detalló la metodología mediante un flujograma como se muestra en la Fig. 4, a su vez para mayor entendimiento del módulo disipador en las Fig. 5 y Fig. 6 se detallan las dimensiones de las barreras bidimensionales A, B y C; y sus respectivas distribuciones.

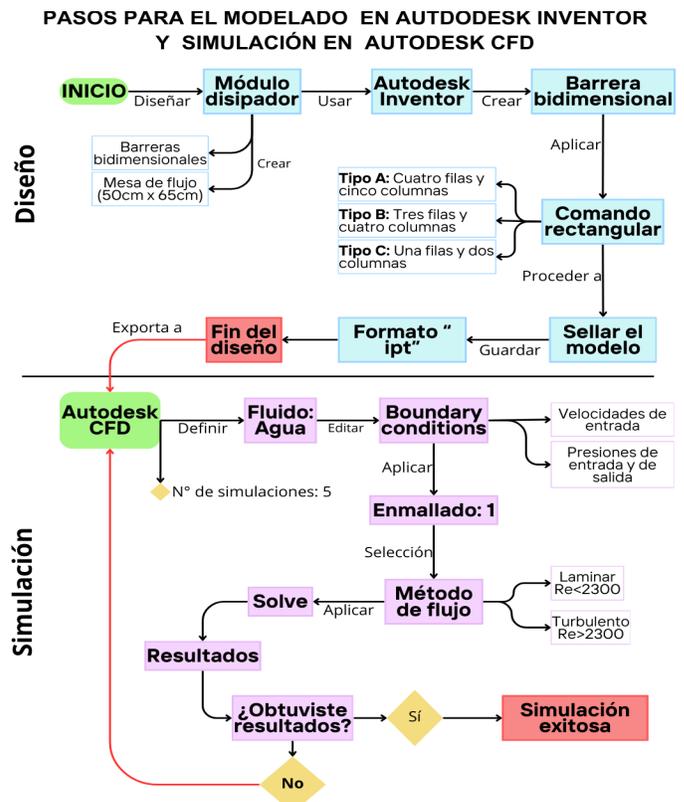


Fig. 4 Diagrama de flujo de la metodología usada. Fuente: Elaboración propia.

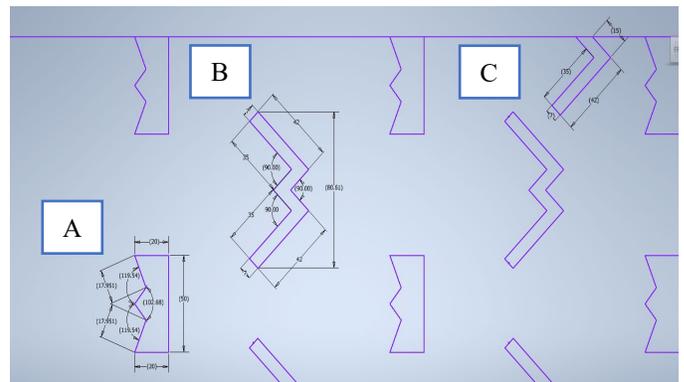


Fig 5 Dimensiones de las barreras bidimensionales A, B y C.

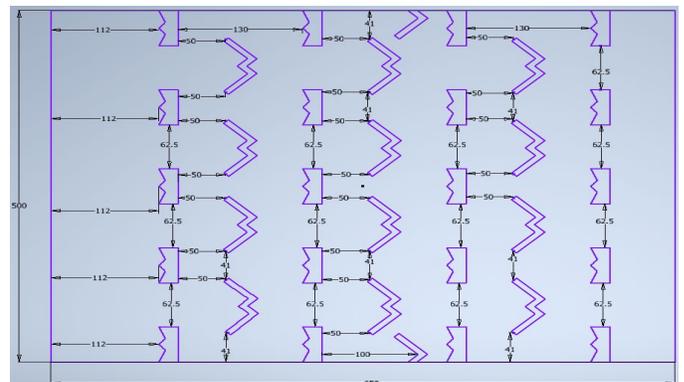


Fig. 6 Distribuciones de las barreras bidimensionales en el módulo disipador.

V. RESULTADOS

Para poder realizar un análisis del comportamiento de las presiones y velocidades en nuestro sistema disipador de energía se realizó las simulaciones del fluido usando el software de simulación de fluidos Autodesk CFD en el diseño propuesto.

Los valores en velocidades usados fueron 0.05m/s, 0.1m/s, 0.3m/s, 0.5m/s y 1m/s. Las presiones manométricas en cada entrada de los sistemas fueron 0.05Pa, 0.10Pa, 0.30Pa, 0.50Pa y 1Pa. Para obtener los valores de la densidad y viscosidad se usaron condiciones estándar las cuales se obtienen con una temperatura de 20 °C, estos valores nos permitieron poder determinar el número de Reynolds y así saber si la condición de flujo es laminar o turbulento.

En la Fig. 7 se muestra los resultados obtenidos con las velocidades de ingreso de 0.05m/s, presiones de entrada de 0.05Pa y de presiones salida de 0Pa. Estos parámetros permitieron obtener un número de Reynolds de 978.99 en la entrada, lo cual indica un estado de flujo laminar de entrada. Los resultados mostraron que el flujo se acelera en los lugares donde las secciones se reducen.

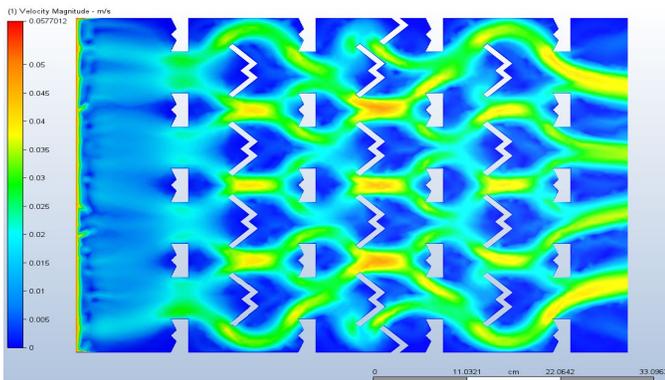


Fig. 7 Distribución de velocidades para condiciones de entrada del flujo a 0.05m/s.

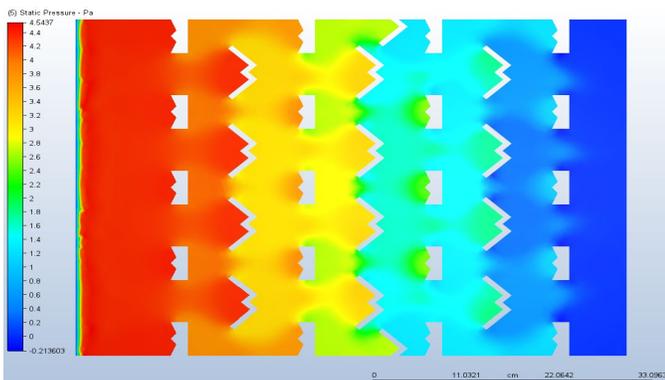


Fig. 8 Distribución de presiones para condiciones de entrada del flujo a 0.05m/s.

Se apreció en la Fig. 7 que las velocidades en determinados tramos fueron mínimas de 0.00m/s y máximas de 0.057m/s. Estas velocidades ocasionan que en estos lugares la presión

manométrica en ciertos casos suba a 4.54Pa y también se reduzca hasta valores de -0.21Pa, esto se observó en la Fig. 8.

En la Fig. 9 se apreció que cuando la velocidad aumenta por efecto de las fuerzas viscosas se generan fuerzas cortantes, las cuales generan desprendimiento del fluido ocasionando vórtices y fricción en sus moléculas, lo que ocasionó pérdidas de energía.

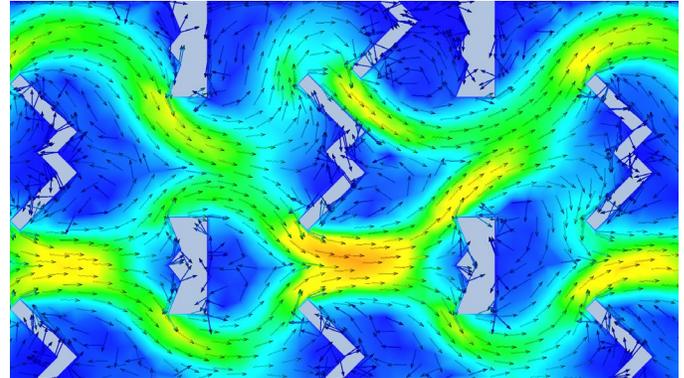


Fig. 9 Muestras de vorticidades a causa del aumento de la velocidad en el modelo bidimensional.

Se conoció como interactúan las presiones y las velocidades máximas, extrayendo sus datos a partir de la colorimetría mediante un plano de corte y separándose en 5 regiones, esto se observa en la Fig. 10.

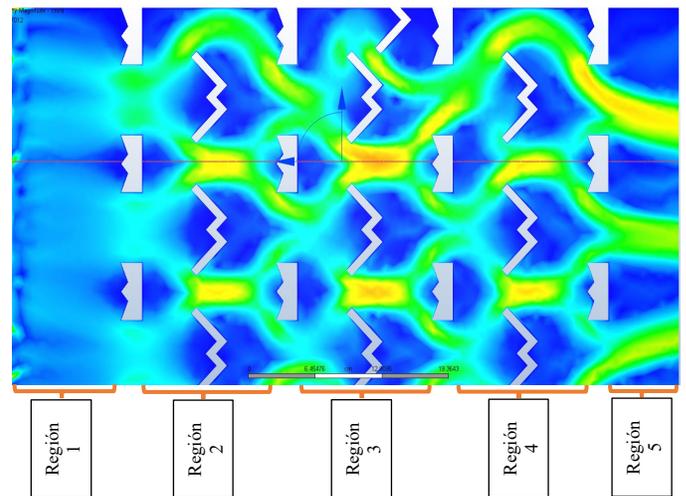


Fig. 10 Segmentación en regiones de la interacción de velocidades y presiones.

Tabla I
Velocidades y Presiones máximas por regiones

	Velocidad	Presión
Región 1	0.039m/s	3.923Pa
Región 2	0.019m/s	0.637Pa
Región 3	0.020m/s	3.349Pa
Región 4	0.024m/s	8.074Pa
Región 5	0.003m/s	-0.014Pa

Fuente: Elaboración propia.

Los datos máximos obtenidos de las regiones fueron plasmados en la tabla I. El agua, como fluido al pasar por las regiones descritas logra velocidades mínimas 0.003m/s y presiones de -0.014Pa . adicional a ello resultó que la velocidad de la región 1 presentó mayor velocidad, siendo esta 0.039m/s y la región 4 presentó una máxima presión de 8.074Pa.

Se visualizó en la Fig. 11 los resultados obtenidos con las velocidades de ingreso de 0.10m/s, presiones de entrada de 0.10Pa y de presiones salida de 0Pa permitieron obtener un número de Reynolds de 1957.99 en la entrada, lo cual indica un estado de flujo laminar de entrada. Los resultados dictaminaron que el flujo se acelera ligeramente en los lugares donde las secciones se acortan.

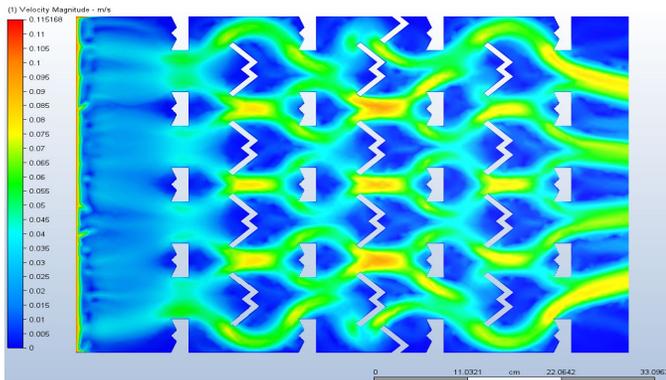


Fig. 11 Distribución de velocidades para condiciones de entrada del flujo a 0.10m/s.

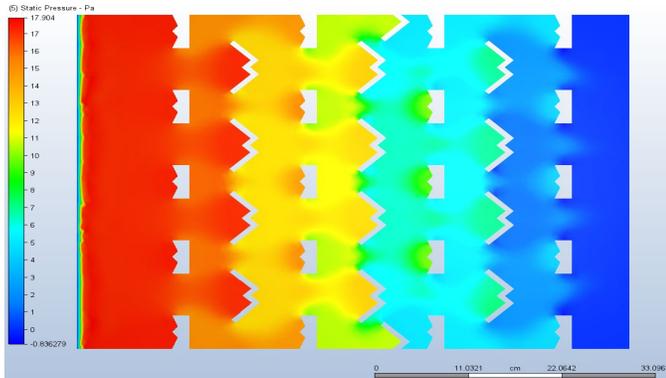


Fig. 12 Distribución de presiones para condiciones de entrada del flujo a 0.10m/s.

Adicionalmente también se obtuvo de la Fig. 11 que los valores de las velocidades en ciertas secciones llegaron a un máximo 0.12m/s y un mínimo de 0.00m/s. Estas velocidades ocasionan que en ciertas ubicaciones la presión manométrica disminuya a -0.84Pa y en otras aumenta a 17.90Pa, estos resultados se obtienen de la Fig. 12.

En la Fig. 13 se divisó que el aumento de la velocidad de ingreso reforzó lo mencionado en la primera simulación, la cual nos dice que las fuerzas viscosas generan fuerzas cortantes, así generando desprendimiento del fluido originando vórtices y fricción en sus moléculas, resultando en pérdidas de energía.

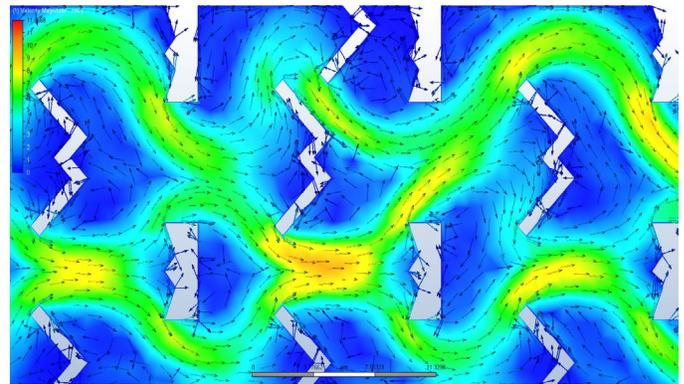


Fig. 13 Muestras de vorticidades a causa del aumento de la velocidad en el modelo bidimensional.

La interacción de las presiones y las velocidades máximas mediante un plano de corte se pudo analizar a partir de su colorimetría, pudiéndose separar en 5 regiones, esto se observa en la Fig. 14.

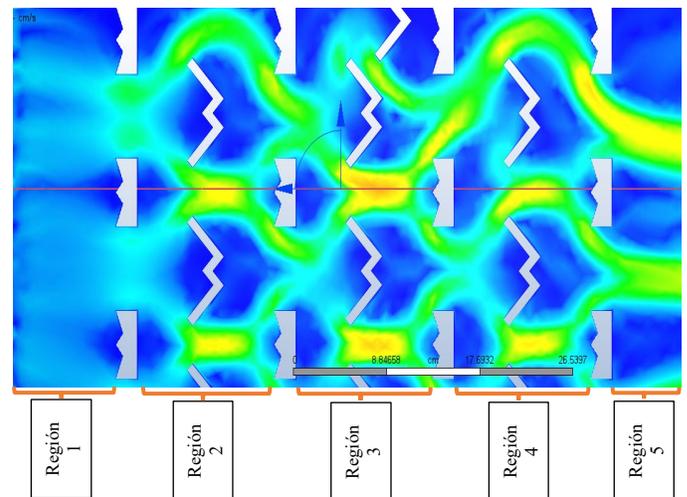


Fig. 14 Segmentación en regiones de la interacción de velocidades y presiones.

Tabla II
Velocidades y Presiones máxima por regiones

	Velocidad	Presión
Región 1	0.673m/s	17.471Pa
Región 2	0.037m/s	15.813Pa
Región 3	0.041m/s	13.551Pa
Región 4	0.049m/s	2.340Pa
Región 5	0.041m/s	-0.394Pa

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla II se digitó la relación entre velocidades y presiones obtenidas. El agua, como fluido al pasar por dichas regiones se obtienen velocidades mínimas de 0.041m/s y presiones de -0.394Pa . En esta interacción, la región 1 obtuvo la máxima velocidad de 0.673m/s, asimismo esta región también presentó una máxima presión de 17.471Pa.

Los resultados obtenidos con las velocidades de ingreso de 0.30m/s, presiones de entrada de 0.30Pa y de presiones salida de 0Pa se observan en la Fig. 15. Los criterios antes mencionados permitieron obtener números de Reynolds de 5873.98 en la entrada, por lo tanto, nos indica un estado de flujo turbulento. Los resultados mostraron que el flujo se acelera significativamente a la mitad del área del módulo dissipador, especialmente donde las barreras se reducen.

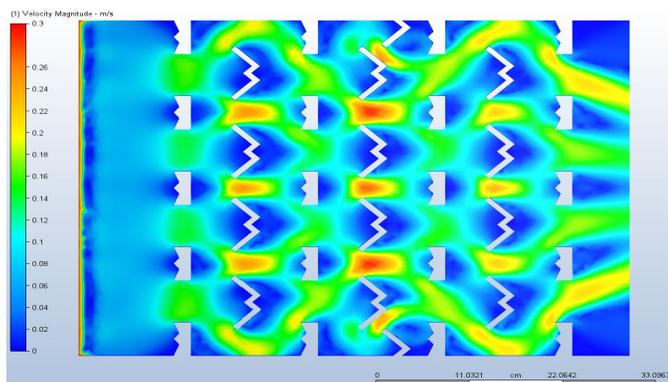


Fig. 15 Distribución de velocidades para condiciones de entrada del flujo a 0.30m/s.

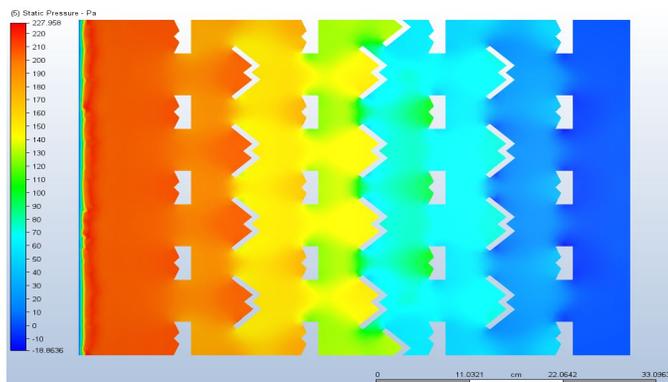


Fig. 16 Distribución de presiones para condiciones de entrada del flujo a 0.30m/s.

En la Fig. 15 se apreció también valores de velocidades referentes a un máximo de 0.30m/s y un mínimo de 0.00m/s en tramos específicos. Estas velocidades ocasionan que en estos lugares la presión manométrica sobrepase considerablemente simulaciones anteriores, en ciertos casos se redució hasta valores de -18.86Pa y en otros aumentó hasta 227.95Pa , estos resultados se pueden ver en la Fig. 16.

En la Fig. 17 al ser flujo turbulento, se apreció mejor la influencia de las fuerzas viscosas, generando mayores fuerzas cortantes, como también un mayor desprendimiento del fluido, visualizando una vorticalidad superior, por ende, fricción de sus moléculas, lo cual significa mejor disipación de energía. Podemos observarlo en la Fig. 17.

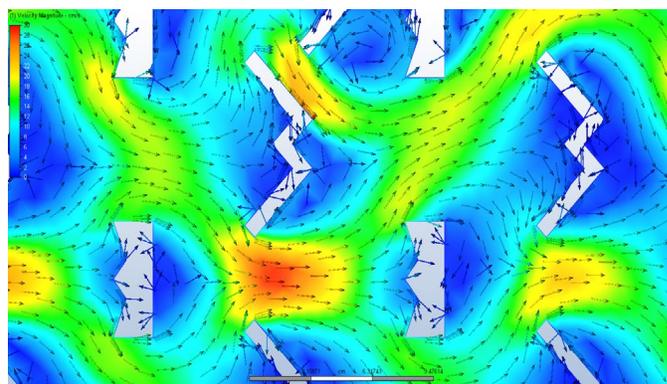


Fig. 17 Muestras de vorticidades a causa del aumento de la velocidad en el modelo bidimensional.

Mediante la colorimetría, como también un plano de corte se conoció como interactúan las presiones y velocidades, separándose en 5 regiones, esto se observa en la Fig. 18.

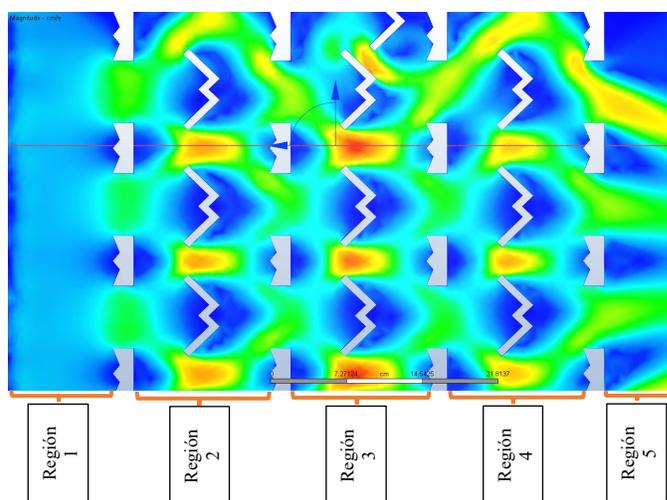


Fig. 18 Segmentación en regiones de la interacción de velocidades y presiones.

Tabla III
Velocidades y Presiones máximas por regiones

	Velocidad	Presión
Región 1	0.056m/s	191.113Pa
Región 2	0.119m/s	94.413Pa
Región 3	0.132m/s	15.308Pa
Región 4	0.154m/s	8.073Pa
Región 5	0.057m/s	-0.846Pa

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla III encontramos los valores máximos de velocidades y presiones en sus respectivas regiones. El agua sufrió reducciones significativas de energía al interactuar con las barreras bidimensional, contando con velocidades mínimas 0.056m/s y presiones de -0.846Pa . La velocidad de la región 4 presentó la máxima velocidad, siendo esta 0.154m/s y la región 1 presentó la máxima presión de 191.113Pa .

En la Fig. 19, los resultados obtenidos con las velocidades de ingreso de 0.50m/s, presiones de entrada de 0.50Pa y de presiones salida de 0Pa. Estos indicadores derivaron en la obtención de un número de Reynolds de 9789.98, así que el estado del flujo es turbulento en la entrada. Mostraron que el flujo se acelera exponencialmente en los lugares donde las barreras bidimensionales presentan espacios reducidos.

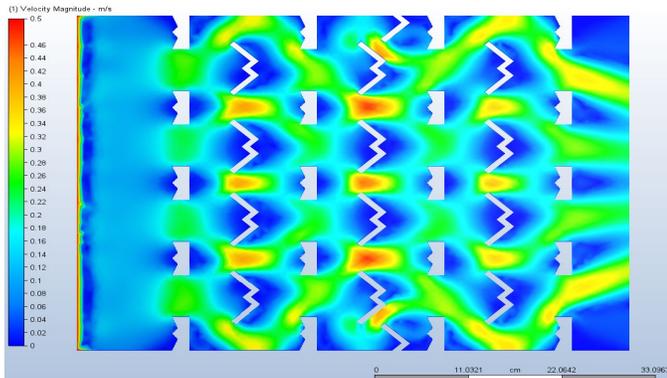


Fig. 19 Distribución de velocidades para condiciones de entrada del flujo a 0.50m/s.

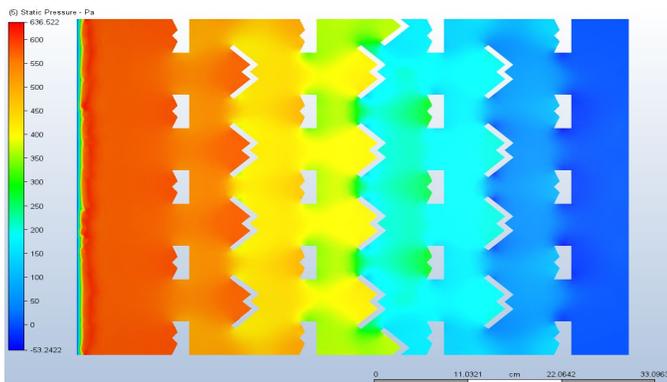


Fig. 20 Distribución de presiones para condiciones de entrada del flujo a 0.50m/s.

Visualizamos de nuevo la Fig. 19 dictaminando que no solo se generó una velocidad máxima de 0.5m/S y mínimas de 0.00m/s en la entrada del modelo disipador, sino también en determinados tramos de este. Estas velocidades ocasionaron que la presión manométrica aumente hasta 636.52Pa como también disminuya hasta -53.24Pa.

En la Fig. 21 se contempla con mayor facilidad la vorticalidad y la disipación de la energía. Debido al continuo aumento de velocidades las fuerzas viscosas se incrementaron generando fuerzas cortantes, a su vez ocasionando desprendimiento del fluido derivando en vórtices significativamente turbulentos. Por lo antes dicho origina mayores pérdidas de energía esta simulación.

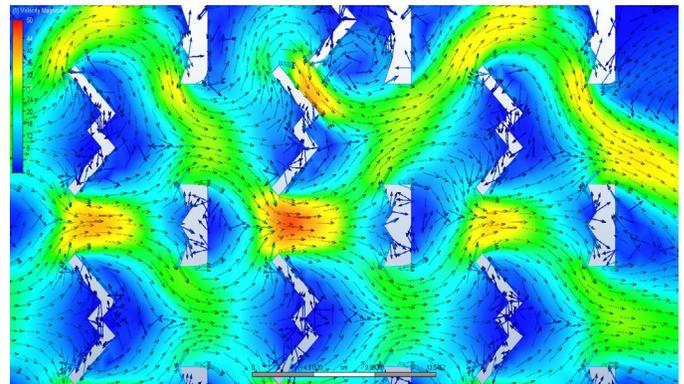


Fig. 21 Muestras de vorticidades a causa del aumento de la velocidad en el modelo bidimensional.

Mediante regiones y colorimetría se expuso la interacción de velocidades y presiones máximas en un plano de corte, separándose en 5 regiones, se visualiza en la Fig. 22.

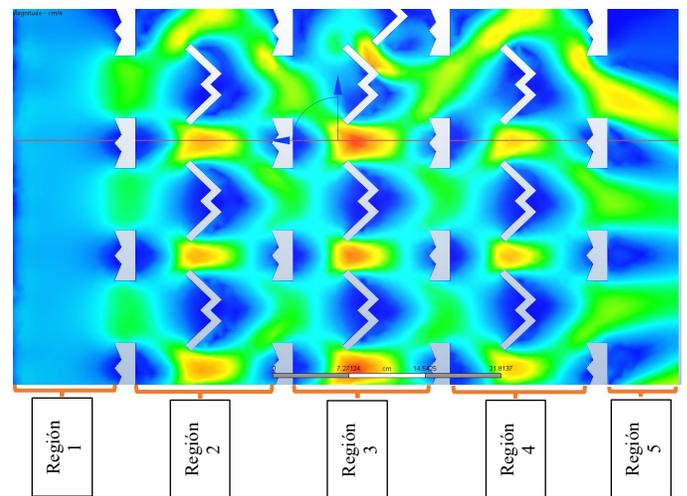


Fig. 22 Segmentación en regiones de la interacción de velocidades y presiones.

Tabla IV
Velocidades y Presiones máximas por regiones

	Velocidad	Presión
Region 1	0.092m/s	529.816Pa
Region 2	0.249m/s	489.414Pa
Region 3	0.210m/s	475.734Pa
Region 4	0.095m/s	1.827Pa
Region 5	0.190m/s	-27.863Pa

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla IV, se percibió que el agua sometida a la simulación tuvo una velocidad mínima de 0.092m/s y una presión de -27.863Pa. La presión máxima fue en la región 1 de 529.816Pa y en la región 2 la máxima velocidad es 0.249m/s, obteniendo una disipación de la energía entre la Región 1 y 5.

Se analizó la última simulación en la Fig. 23, usando velocidades de ingreso de 1m/s, presiones de entrada de 1Pa y de presiones salida de 0Pa. Los criterios antes mencionados permitieron a obtener un número de Reynolds de 19579.96, por ende, el flujo también es turbulento en la entrada. El resultado de dicha velocidad y presión conllevó a que el flujo se acelerase exponencialmente en la zona media del módulo dissipador donde las barreras bidimensionales presentan espacios reducidos.

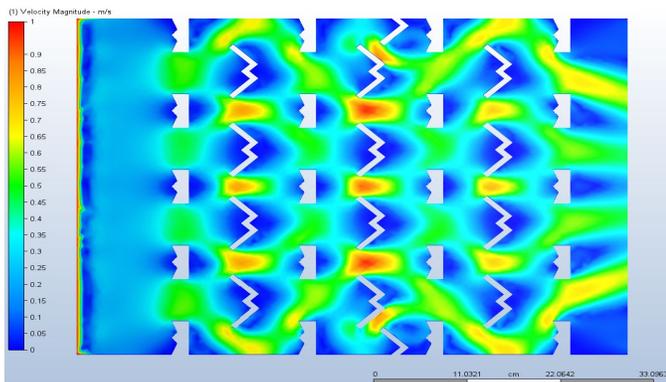


Fig. 23 Distribución de velocidades para condiciones de entrada del flujo a 1m/s.

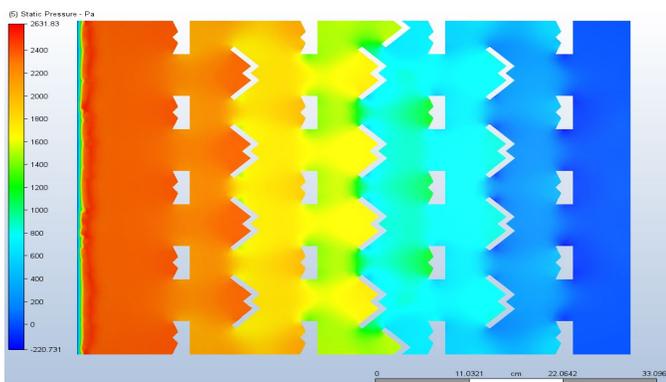


Fig. 24 Distribución de presiones para condiciones de entrada del flujo a 1m/s.

Además, se observó en la Fig. 23 que los valores de velocidades máximas llegaron a 1m/s, y las mínimas a 0.00m/s. La presión manométrica se redució abruptamente, en ciertos tramos debido a las velocidades obteniendo a valores de -220.731Pa y en otros sube hasta 2631.83Pa, estos resultados se fueron extraídos de la Fig. 24.

Siendo esta simulación la de mayor velocidad ingresada, visualizamos de manera aún más significativa lo mencionado en anteriores simulaciones. Cuando la velocidad aumenta por efecto de las fuerzas viscosas se generan fuerzas cortantes, las cuales generan pérdidas de energía. Observamos lo anterior mencionado en la Fig. 25.

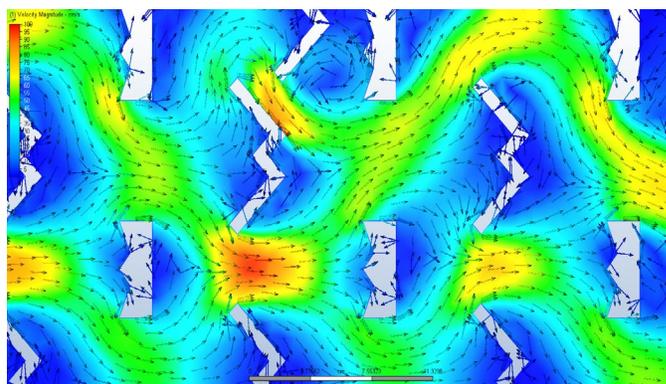


Fig. 25 Muestras de vorticidades a causa del aumento de la velocidad en el modelo bidimensional.

Se observó en la Fig. 26, la correlación que tiene la velocidad y la presión, mediante la colorimetría, así como una separación en 5 regiones para mejorar la interpretación de la simulación.

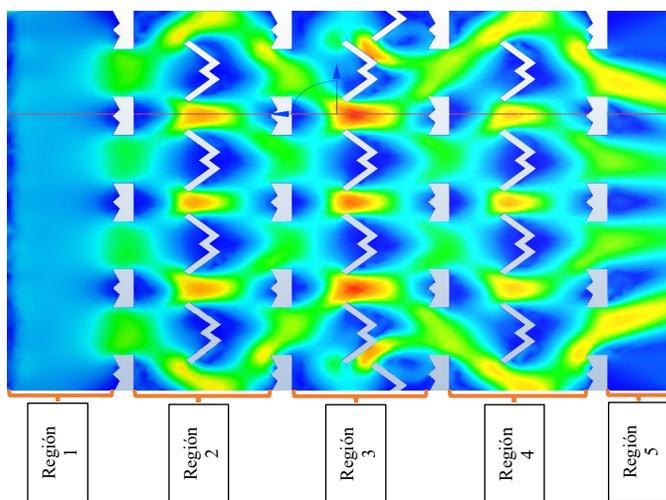


Fig. 26 Segmentación en regiones de la interacción de velocidades y presiones.

Tabla V
Velocidad y Presiones máximas por regiones

	Velocidad	Presión
Región 1	0.228m/s	2226.27Pa
Región 2	0.185m/s	198.55Pa
Región 3	0.485m/s	85.95Pa
Región 4	0.363m/s	39.97Pa
Región 5	0.038m/s	-216.719Pa

Fuente: Elaboración propia.

El paso del agua por la región 3 alcanzó la máxima velocidad de 0.485m/s, a su vez, la región 1 llegó a una presión de 2226.27Pa. La velocidad mínima de 0.038m/s se presentó en la región 5, así como también llegó a una presión mínima de -216.719Pa en dicha región. Esta simulación ejemplifica mejor el principio de la ecuación de la energía.

VI. CONCLUSIONES

En esta investigación, se logró demostrar que a mayor velocidad de ingreso del agua menores serán sus presiones, llegando incluso a valores negativos, esto sucedió debido al principio de la ecuación de la energía.

Asimismo, en determinadas zonas del diseño se generó altas vorticidades, las cuales producen fricciones entre las moléculas del fluido, haciendo que estas colisionen entre sí mismas, generando pérdidas de la energía en forma de calor.

Por lo antes mencionado se concluyó que este diseño de barreras bidimensionales genera mayor disipación de energía a medida que mayor sea la velocidad del fluido cumpliendo así, el objetivo de la investigación.

Si bien en esta investigación se realizó simulaciones del fluido de manera bidimensional, podría ser muy beneficioso en un futuro como una base para estudios referidos a obras para la decantación de sedimentos, estructuras hidráulicas o socavaciones.

REFERENCIAS

- [1] Y. Y. , J. X. Dawen Yang, «Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review,» 2021.
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- [2] S. d. R. Y. D. L. R. E. A. Aleman Durand, «Optimización de la simulación hidráulica, tiempo computacional y tamaño de malla,» Arequipa, 2022. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6622>
- [3] M. G., «3D NATIVES,» 04 Diciembre 2023. [En línea]. Recuperado de <https://www.3dnatives.com/es/que-es-autodesk-inventor-130620222/#1>.
- [4] Autodesk, «Autodesk,» 2023. [En línea]. Recuperado de: <https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>.
- [5] J. M. C. Yonus A. Cengel, Mecanica de fluidos Fundamentos y aplicaciones, Mc Graw Hill, 2015, pp. 11-133-340-586-593.
- [6] U. R. Mott and J., Mecanica de fluidos (7ma ed), addison Wesley, 2015, pp. 181 - 182.
- [7] R. A. P. D. Y. V. Miguel Ángel Sánchez Hidalgo, «DISEÑO Y OPTIMIZACION DE UNA ESTRUCTURA GEOMÉTRICA CILINDRICA PARA UN DESPRENDIMIENTO UNIFORME DE VORTICES DE VON KARMAN,» tecnología uax, Madrid, 2017. Recuperado de: https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/1181/969
- [8] E. M. L. V. B. B. L. P. L. D. Landau, Mecanica de Fluidos volumen 6, Madrid: Reverté, S. A., 2021, p. 24.
- [9] A. d. J. G. Z. Erik Morente Amado, «Estudio del efecto del borde de salida en el desprendimiento de vórtices generado por una cascada de álabes,» Universidad Politecnica de Catalunya, 2019.
Doi: 10.1088/1742-6596/1005/1/012012
- [10] S. Villamarín, «MANUAL BÁSICO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE,» ESPE, Quito, 2013. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6182/1/AC-CIVIL-ESPE-040211.pdf>
- [11] Z. Y. LIU Peiqing, «THE HISTORICAL CONTRIBUTION OF BERNOULLI'S EQUATION TO THE ESTABLISHMENT OF FLUID MECHANICS THEORY,» china, 2020.
Doi: 10.6052/1000-0879-19-179
- [12] 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
- [13] M. A. M. a. M. I. E Amalia, «Effects of Turbulence Model and Numerical Time Steps on Von Karman Flow Behavior and Drag Accuracy of Circular Cylinder,» 2018.
Doi: 10.1088/1742-6596/1005/1/012012
- [14] H. A. C. Serrano, «ESTABILIZACIÓN Y SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES SAINT-VENANT UTILIZANDO CALCULO DE INCREMENTOS FINITOS,» Guanajuato, Mexico, 2015. Recuperado de <https://ciimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/392/2/TE%20563.pdf>