



Obtención de velocidad con una simulación de dinámica de fluidos computacional: método de comprobación teórica

Calculating velocity with a computational fluid dynamics simulation:
theoretical verification method

 José Alberto Sebastián Mena Santiago
 Enrique Rico García*

Universidad Autónoma de Querétaro,
Querétaro, México

* ricog@uaq.mx

01

¿CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO?

J. A. S. Mena Santiago y E. Rico García, "Obtención de velocidad con una simulación de dinámica de fluidos computacional: método de comprobación teórica", *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, vol. 8, núm. 15, pp.6 -17, 2025.





Resumen

La dinámica de fluidos computacional (CFD, en inglés) es una herramienta que permite resolver problemas sobre el comportamiento de un fluido dentro de una geometría dada, considerando parámetros como su presión, densidad y velocidad. Resulta valiosa en el desarrollo de motores, turbinas y sistemas de distribución hidráulica, por mencionar algunas aplicaciones. El presente análisis se enfoca en una tubería de agua que muestra una reducción del diámetro, lo que deviene en diferencias de presión a lo largo del sistema. El objetivo de este trabajo es conocer la efectividad de la CFD respecto de un sistema de ecuaciones basado en los principios de continuidad y de Bernoulli

para encontrar las velocidades de entrada y salida tomando en cuenta los diámetros internos del conducto. Se realizó una simulación CFD de un modelo de flujo laminar en el software Fluent para desarrollar la solución del problema y posteriormente comparar las velocidades determinadas por dicha simulación contra la respuesta calculada mediante el sistema de ecuaciones. Se encontró un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9 y una precisión promedio del 95.12 % en velocidad de entrada y 95.11 % en la de salida; dicha información se ilustra por medio de un gráfico de dispersión.

Palabras clave: ANSYS Fluent, CFD, dinámica computacional de fluidos, ecuación de Bernoulli, ecuación de continuidad, hidráulica.

Abstract

Computational fluid dynamics (CFD) is a tool that allows solving problems related to the behavior of a fluid within a given geometry, considering parameters such as fluid pressure, density and velocity. It is valuable in the development of engines, turbines and hydraulic distribution systems, to mention a few applications. This analysis focuses on a water pipeline that presents a reduction in diameter, resulting in pressure differences along the system. The objective is to gauge the effectiveness of CFD with respect to a system of equations based on the principles of continuity

and Bernoulli's equation to find the inlet and outlet velocities taking into account the internal diameters of the pipe. A CFD simulation of a laminar flow model was performed in the Fluent software to develop the solution of the problem and then compare the velocities determined by the simulation against the response calculated by the afore mentioned system of equations. A coefficient of determination (R^2) of 0.9 was found and an average accuracy of 95.12% for inlet velocity and 95.11% for outlet velocity; this information is illustrated by means of a scatter plot.

Keywords: ANSYS Fluent, CFD, computational fluid dynamics, Bernoulli's equation, continuity equation, hydraulics.



Introducción

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una herramienta auxiliar en la solución de problemas y la simulación de escenarios complejos relacionados con la mecánica de fluidos. Aplica modelos matemáticos enfocándose en propiedades como la densidad, la velocidad y la presión a las que está sometido un fluido; además, su desarrollo requiere la generación de un enmallado que permita representar el movimiento de dicho elemento dentro de un espacio de interés [1]. Para tal fin, el enmallado debe contar con una forma geométrica que facilite la interacción del fluido con cada nodo del escenario [2]. Una vez que la calidad del enmallado es aceptable, el programa se suele alimentar con datos reales para simular el comportamiento del flujo, con base en principios físicos como la conservación de la masa, la energía y la cantidad de movimiento [3]. El software emplea dicha información para alcanzar una solución por medio de iteraciones.

Gracias a su versatilidad para recrear todo tipo de escenarios, se han realizado trabajos sobre el efecto del fuego en casas y edificios, dentro de los cuales destacan los de Roy y Matsagar [4], quienes simularon la distribución de las llamas en un muro de concreto; a su vez, Li *et al.* [5] simularon los aumentos de temperatura ocasionados por un incendio urbano para observar la dispersión de humo dentro de la estructura. En especial, Sun *et al.* [6] detallaron mediante la CFD la distribución térmica de un área en constante incineración, y utilizaron una cámara termográfica para monitorear la temperatura durante una prueba empírica con las mismas características; al final, registraron una similitud del noventa y cinco por ciento entre los datos reales y los simulados, demostrando la confiabilidad de este método para los análisis de distribución térmica.

Otro trabajo relacionado es el de Pucciarelli *et al.* [7], quienes revisaron los lineamientos generales en sistemas acoplados de control térmico. En su investigación efectuaron un análisis del comportamiento de un fluido que entra e interactúa con una estructura conformada por componentes independientes que, debido a su funcionamiento, actúan como una sola entidad. En su estudio, se realizan cálculos de velocidad y temperatura para demostrar la certeza de la CFD al predecir el comportamiento de un fluido dentro de geometrías complejas. Un análisis similar en el área de la termo-hidráulica es la de Min Seop Song *et al.* [8], el cual modela la geometría de un reactor APR1400 para evaluar las pérdidas de presión y los cambios de velocidad en el flujo del refrigerante empleado. Dicho estudio mostró que el caudal calculado por el código MARSKS era muy similar al que se predijo en la simulación CFD. En otra instancia, Singh y Joshi [9] aplicaron la CFD



para validar los códigos de termohidráulica de los sistemas de reactores comparando los resultados arrojados por el programa con las mediciones de un velocímetro real; sus datos fueron clave para optimizar el diseño de los reactores en búsqueda de mayor seguridad industrial. Dentro del campo de la hidráulica se encuentran investigaciones como la de Wei y Honra [10], quienes desarrollaron una técnica de simulación numérica para describir el campo de flujo al fondo de un pozo geotérmico; su meta fue detallar el comportamiento del fluido en sus tres estados para mejorar el diseño de sus canales de distribución y prolongar la vida útil de las brocas con que se perforan.

Cabe destacar que las aplicaciones de la CFD no se limitan a escenarios de pérdida de presión o velocidad; Quiroz Pérez y Lira Flores [11] emplearon la herramienta para modelar la dispersión de gases en una planta química. Como se puede observar, este método facilita la simulación de fenómenos, siempre y cuando se tenga una visión clara de cómo aplicarlo, qué principios utilizar y datos que permitan la validación de los resultados, por lo que es imprescindible auditar su precisión. Así, el presente trabajo busca cuantificar la variación que existe entre una simulación CFD y los cálculos obtenidos por el método analítico en una tubería que presenta cambios en su diámetro.

Metodología

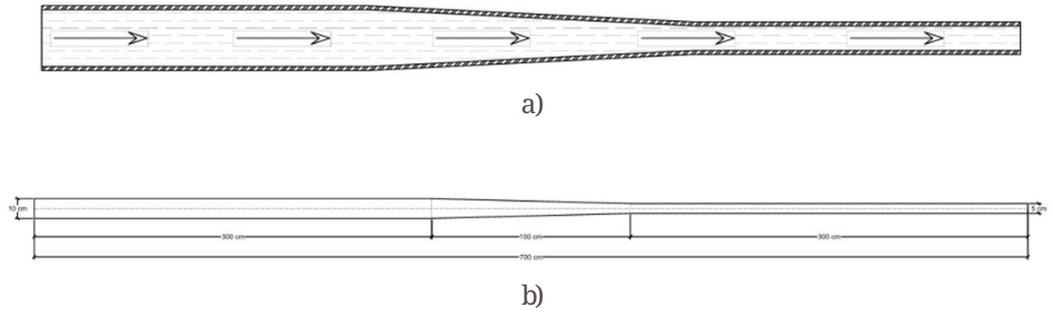
Geometría

Las simulaciones CFD requieren de una base de datos con las cuales evaluar la confianza de los resultados arrojados. Sergeev *et al.* [12] recomiendan que los datos en estudios comparativos provengan de geometrías simples que ilustren el comportamiento del fluido en los puntos de interés. En esta línea, Aridi *et al.* [13] añaden que las geometrías deben tener longitudes grandes de modo que los cambios de velocidades sean más claros. En la presente se trabaja con una tubería larga comúnmente empleada en los sistemas de distribución hidráulicos (Figura 1a). El conducto consta de tres secciones: una de 50 cm de longitud y 10 cm de diámetro, una de 100 cm con reducción diametral constante de 10 a 5 cm, y un tramo restante de 50 cm con un diámetro de 5 cm (Figura 1b). Esta tubería tiene una presión inicial de 90 kPa y final de 70 kPa.


FIGURA 1.

Dirección del flujo y propiedades geométricas del elemento de estudio.

Fuente: elaboración propia.



Ecuaciones teóricas

Para obtener los datos del modelo teórico, se parte del estudio de Taur *et al.* a [14], quien utiliza la ecuación de continuidad (1) para conocer la velocidad de bombeo de un corazón humano. La ecuación indica que la cantidad de flujo volumétrico es igual en el punto inicial y el punto final sin importar los cambios geométricos, como la variación de los diámetros del sistema. En ella, se describe que el producto de la velocidad de entrada de un fluido (V_i) por el área por la que se infiltra al conducto (A_i) equivalen al producto de la velocidad de salida (V_j) por el área que atraviesa al salir (A_j).

$$V_i A_i = V_j A_j \quad (1)$$

Dado que para este problema solo están disponibles los datos de presión y área, fue menester calcular las velocidades de entrada y salida por medio de la combinación de la Ecuación 1 con la ecuación de Bernoulli (2) [15] para articular el sistema de ecuaciones necesario.

$$p_i + \rho g h_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 = p_j + \rho g h_j + \frac{1}{2} \rho v_j^2 \quad (2)$$

Donde:

- p_i presión inicial
- ρ densidad
- g gravedad
- h_i altura
- v_i velocidad inicial
- p_j presión final
- ρ densidad
- g gravedad
- h_j altura final
- v_j velocidad final

A continuación, se despeja la velocidad inicial en ambas ecuaciones (1 y 2):



$$v_i = \frac{v_j A_j}{A_i} \quad (3)$$

$$v_i = \sqrt{\frac{2(p_j - p_i)}{\rho} + v_j^2} \quad (4)$$

Se utilizó el sistema formado por las Ecuaciones 3 y 4 para calcular las velocidades inicial y final del sistema propuesto en 1a. Los datos con los que se llevaron a cabo los cálculos se muestran en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

TABLA 1.

Valores de (1).

Fuente:
elaboración propia.

	UNIDADES	VALORES
Velocidad inicial	m/s	1.634
Velocidad final	m/s	6.537
Área inicial	m ²	0.007854
Área final	m ²	0.001963

TABLA 2.

Valores de (2)

Fuente:
elaboración propia..

	UNIDADES	VALORES
Presión inicial	Pa	80 000
Presión final	Pa	60 000
Velocidad inicial	m/s	1.634
Velocidad final	m/s	6.537
Altura inicial con respecto a un punto base	m	1
Altura final con respecto a un punto base	m	1
Densidad	kg/m ³	998.2
Área final	m/s ²	9.81

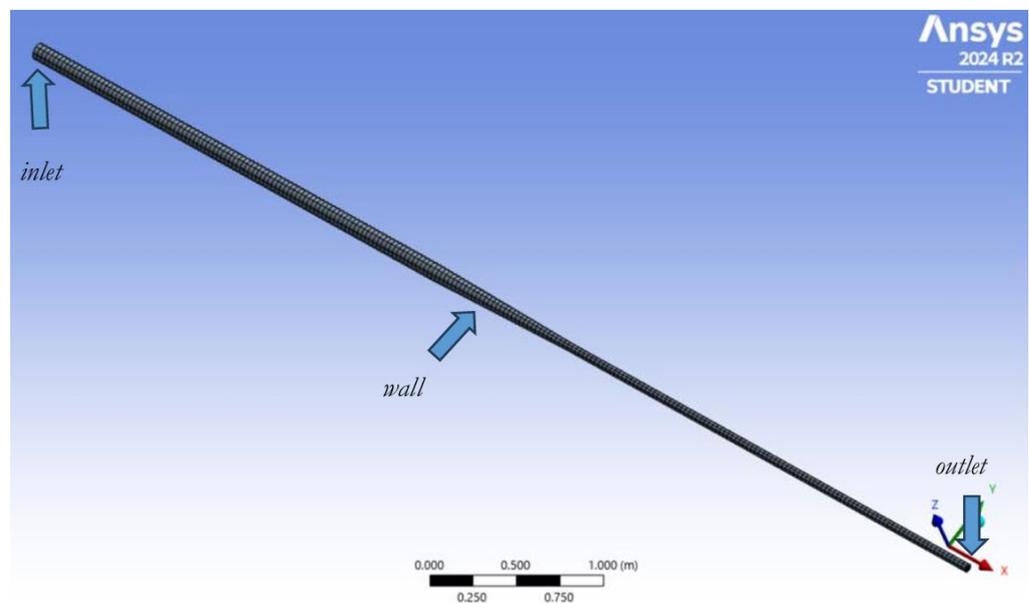


Modelo de CFD

Se recurrió al software ANSYS Fluent, el cual ha sido utilizado anteriormente en investigaciones similares con desempeños satisfactorios [11]. El proceso comenzó con la generación de la geometría, seguido del trazado del enmallado y la configuración del modelo; en últimas, se analizaron los resultados.

Para la creación del modelo geométrico, se delineó un boceto tridimensional en SpaceClaim a partir de las dimensiones mostradas en la Figura 1b. Una vez terminado esto, se procedió a la aplicación del enmallado en ANSYS, colocando las condiciones de frontera al extremo de mayor diámetro (*inlet*), al extremo con diámetro reducido (*outlet*) y a todo el cuerpo de la tubería (*wall*) (Figura 2). Se adoptó la propuesta de enmallado generada por el programa, debido a su forma simple y constante.

FIGURA 2.
Enmallado y ubicación de límites de frontera del element de estudio.
Fuente: elaboración propia.



El modelo generado se exportó a la aplicación Fluent, donde se le asignaron los valores predeterminados del software. En cuanto a la especificación del modelo matemático a utilizar, se optó por el de flujo laminar libre de turbulencias puesto que es recomendable para problemas de tuberías constantes sin cambios drásticos de dirección, mientras que el modelo turbulento se sugiere en los casos donde sí existen cambios importantes [16]. Dentro del software se asignó una presión de 90 kPa en el *inlet*, de 70 kPa en el *outlet* y ningún movimiento en el *wall*. Respecto a los materiales, se seleccionó el agua en estado líquido como fluido para el cuerpo interno de la estructura, con las propiedades que el programa tiene cargadas en su biblioteca por defecto. En lo que concierne a la composición del cuerpo de la tubería, se escogió la opción de aluminio. Por ende, para calcular la solución en ANSYS,

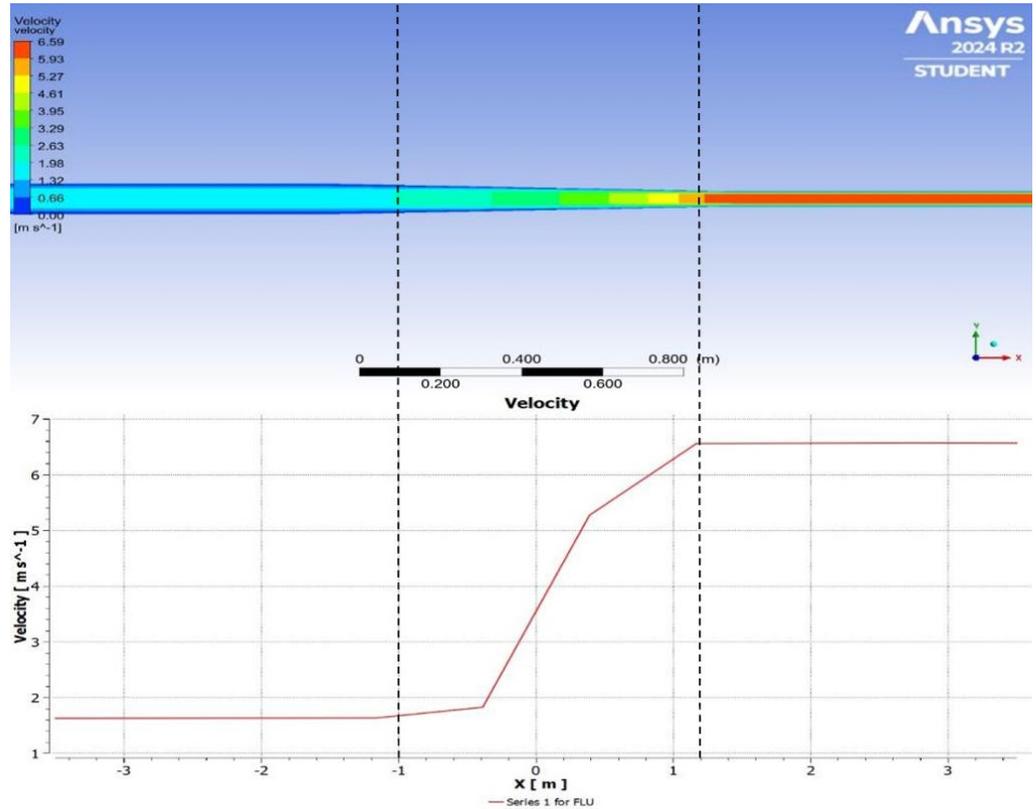


se crearon reportes gráficos de las velocidades de entrada y salida del sistema (Figura 3).

FIGURA 3.

Gráficos de velocidad de la simulación CFD.

Fuente: elaboración propia.



Como se puede observar, la velocidad se mantiene constante al inicio. Sin embargo, a medida que el diámetro de la tubería disminuye, la velocidad aumenta progresivamente hasta estabilizarse en una velocidad mayor de salida, superior a la de entrada.

Resultados y discusión

Una vez adquiridos el modelo teórico y el modelo CFD, se procedió a realizar una comparación entre las velocidades calculadas con el sistema de ecuaciones y con las simulaciones. Se registró una similitud del 95.12 % para el *inlet* y del 95.14 % para el *outlet*. En seguida, para verificar la alta correlación entre ambas técnicas, se utilizó la misma geometría para calcular el comportamiento del fluido en distintos escenarios a diferentes presiones de entrada y salida. De ese modo, se recopiló una cantidad mayor de muestras, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.

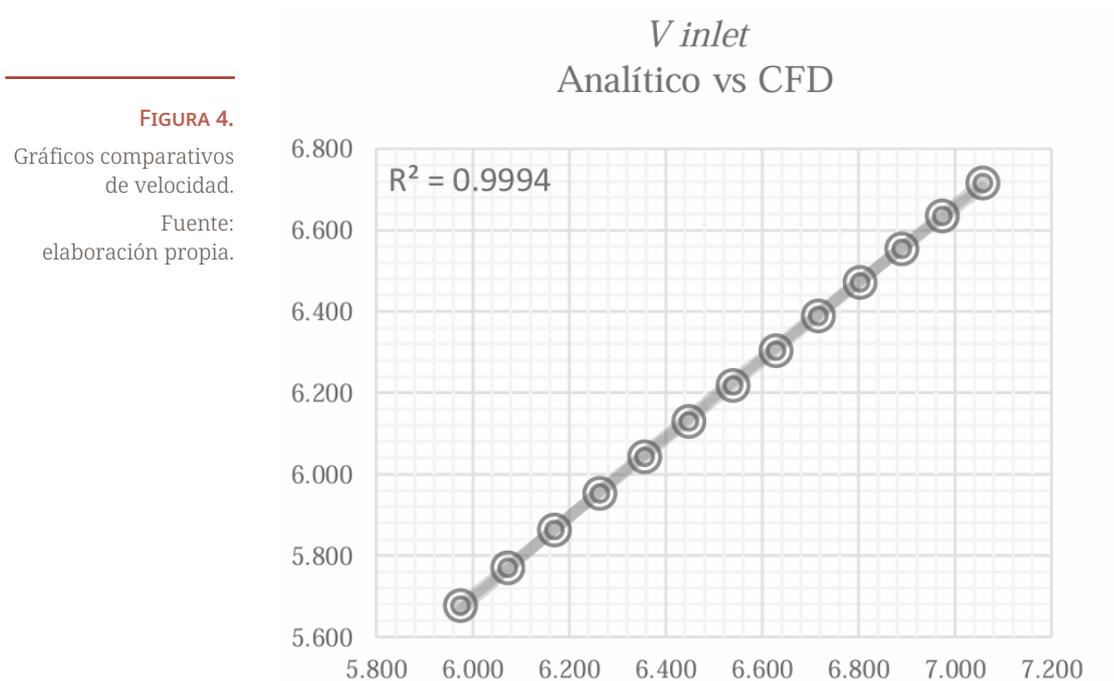
TABLA 3.

Cuadro comparativo de velocidades obtenidas de forma analítica y por simulación CFD.

Fuente: elaboración propia.

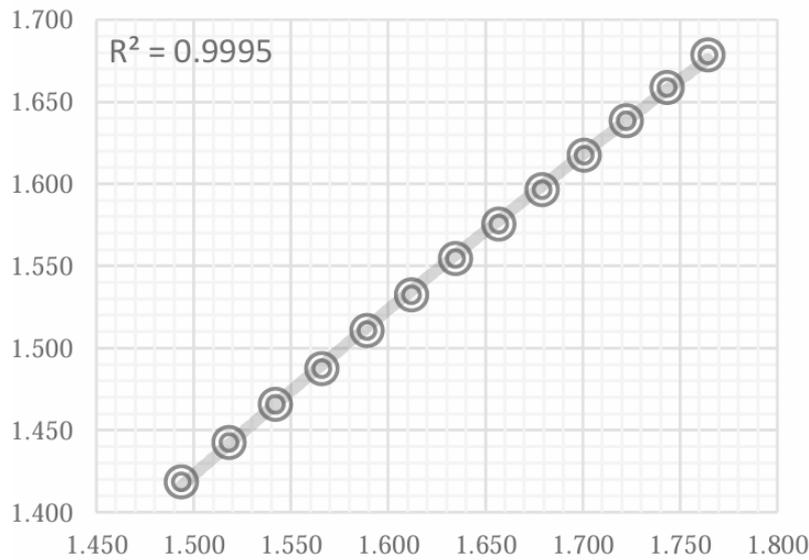
CONDICIONES DE FRONTERA		MÉTODO ANALÍTICO		SIMULACIÓN		CONFIABILIDAD	
PINLET [PA]	POUTLET [PA]	VINLET [M/S]	VOUTLET [M/S]	VINLET [M/S]	VOUTLET [M/S]	% INLET	% OUTLET
29700.00	53000.00	7.057	1.764	6.718	1.679	95.20	95.17
34750.00	57500.00	6.973	1.743	6.637	1.659	95.18	95.17
39800.00	62000.00	6.888	1.722	6.556	1.639	95.18	95.18
44850.00	66500.00	6.802	1.701	6.473	1.618	95.16	95.15
49900.00	71000.00	6.715	1.679	6.390	1.597	95.16	95.13
54950.00	75500.00	6.627	1.657	6.305	1.576	95.14	95.12
60000.00	80000.00	6.538	1.634	6.219	1.555	95.12	95.14
65050.00	84500.00	6.447	1.612	6.132	1.533	95.11	95.11
70100.00	89000.00	6.356	1.589	6.044	1.511	95.10	95.10
75150.00	93500.00	6.262	1.566	5.955	1.488	95.09	95.04
80200.00	98000.00	6.168	1.542	5.864	1.466	95.07	95.07
85250.00	102500.00	6.072	1.518	5.772	1.443	95.06	95.06
90300.00	107000.00	5.974	1.494	5.678	1.419	95.04	95.01

Estos datos se representaron en gráficos de dispersión para facilitar su visualización y análisis (Figura 4).





V_{outlet} Analítico vs CFD



Es evidente que los datos no se encuentran muy alejados, de hecho, se aprecia una tendencia lineal. Para corroborarla se calculó en ambas comparativas el coeficiente de determinación (R^2), el cual muestra el grado de ajuste de los datos. Se obtuvo un R^2 de 0.9994 y 0.9995 para las velocidades de entrada y de salida, respectivamente; un coeficiente tan cercano a uno significa que el modelo computacional es capaz de predecir comportamientos muy similares a los que se obtendrían por medio de un sistema de ecuaciones, y que las variaciones entre ambos conjuntos de datos son relativamente pequeñas, como las mostradas en la Tabla 3. Lo anterior es interesante, puesto que este tipo de análisis se ha realizado también con pruebas experimentales y se han obtenido resultados análogos. Además, se verificaron los datos finales calculando el promedio de la similitud en la Tabla 1: 95.12 % para las velocidades de entrada y 95.11 % para las de salida.

Conclusiones

Los resultados mostraron que las simulaciones CFD pueden tener variaciones mínimas en comparación con los métodos analíticos, con una precisión del 95 % en esta investigación de caso; es decir, hay un alto grado de confiabilidad para estas herramientas computacionales. Al igual que en estudios previos relacionados, se constató un alto grado de similitud entre ambos modelos, lo que indica que existe poca variación entre los valores obtenidos por ambos métodos. En otras palabras, los modelos CFD son confiables para la solución de problemas de fluidos en geometrías simples sin cambios drásticos en la dirección del fluido. Cabe resaltar que se aprecia una li-



gera variación, lo que apunta a que posiblemente los instrumentos CFD consideran más especificaciones del fluido para dar cuenta de las pequeñas pérdidas en el sistema. Se concluye entonces que la herramienta de dinámica de fluidos computacional puede ser de gran utilidad para la solución de problemas [13], [17], pues genera hallazgos confiables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnologías e Innovación (SECIHTI) por el apoyo a esta investigación, a los diferentes revisores que, con sus observaciones, enriquecieron la calidad de este artículo y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, pues de no ser por sus programas de becas sería imposible realizar este tipo de trabajos.

Referencias

- [1] M. Kisiel y D. Szpica, "Evaluating influence of CFD mesh on flow characteristics of pneumatic brake valve differential section", *23rd International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, 2024, doi: 10.22616/ERDev.2024.23.TF040
- [2] H. K. Versteeg y W. Malalasekera, *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*, 2 ed, Inglaterra; Nueva York: Pearson Education Ltd., 2007.
- [3] M. Hafiz *et al.*, "A review: Fundamentals of computational fluid dynamics (CFD)", en *GREEN DESIGN AND MANUFACTURE: ADVANCED AND EMERGING APPLICATIONS: Proceedings of the 4th International Conference on Green Design and Manufacture 2018*, Ho Chi Minh, Vietnam, 2018, art. 020252, doi: 10.1063/1.5066893
- [4] T. Roy y V. Matsagar, "Mechanics of damage in reinforced concrete member under post-blast fire scenario", *Structures*, vol. 31, pp. 740-760, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.02.005
- [5] T. Li *et al.*, "Large presence of bromine and toxic metals in ambient fine particles from urban fires", *Atmospheric Environment*, vol. 295, art. 119554, 2023, doi: 10.1016/j.atmosenv.2022.119554
- [6] B. Sun, K. Guo y V. K. Pareek, "Computational fluid dynamics simulation of LNG pool fire radiation for hazard analysis", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 29, pp. 92-102, 2014, doi: 10.1016/j.jlp.2014.02.003
- [7] A. Pucciarelli *et al.*, "Coupled system thermal Hydraulics/CFD models: General guidelines and applications to heavy liquid metals", *Annals of Nuclear Energy*, vol. 153, art. 107990, 2021, doi: 10.1016/j.anucene.2020.107990
- [8] M. Seop Song, I. Woong Park, E. Soo Kim y Y. Lee, "Numerical study on thermal-hydraulics of external reactor vessel cooling in high-power reactor using MARS-KS1.5 code: CFD-aided estimation of natural circulation flow rate", *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 54, núm. 1, pp. 72-83, 2022, doi: 10.1016/j.net.2021.07.037
- [9] R. K. Singh y V. M. Joshi, "Validation of CFD and Thermal Hydraulics Codes by Digital Particle Image Velocimetry", *Energy Procedia*, vol. 7, pp. 650-652, 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.06.087
- [10] L. Wei y J. Honra, "Computational Fluid Dynamics Study on Bottom-Hole Multiphase Flow Fields Formed by Polycrystalline Diamond Compact Drill Bits in Foam Drilling", *Fluids*, vol. 9, núm 9, 2024, doi: 10.3390/fluids9090211
- [11] E. Quiroz Pérez y J. A. de Lira Flores, "Una revisión sobre el papel de la Dinámica Computacional de Fluidos en el análisis de la dispersión de gases tóxicos en plantas químicas", *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, vol. 7, núm. 13, 2024, doi: 10.61820/pct.v7i13.1351
- [12] V. Sergeev, N. Vatin, E. Kotov, D. Nemova y S. Khorobrov, "Slug Regime Transitions in a Two-Phase Flow in Horizontal Round Pipe. CFD Simulations", *Applied Sciences*, vol. 10, núm. 23, 2020, doi: 10.3390/app10238739
- [13] R. Aridi, S. Ali, T. Lemenand, J. Faraj y M. Khaled, "CFD analysis on the spatial effect of vortex generators in concentric tube heat exchangers - A comparative study", *International Journal of Thermofluids*, vol. 16, art. 100247, 2022, doi: 10.1016/j.ijft.2022.100247
- [14] L. S. Taura, I.B.Ishiyaku y A.H. Kawo "The use of a continuity equation of fluid mechanics to reduce the abnormality of the cardiovascular



system: A control mechanics of the human heart", *Journal of Biophysics and Structural Biology*, vol. 4, núm. 1, pp. 1-12, 2012, doi: 10.5897/JBSB11.010

- [15] M. E. Saleta, D. Tobia y S. Gil, "Experimental study of Bernoulli's equation with losses", *American Journal of Physics*, vol. 73, núm. 7, pp. 598-602, 2005, doi: 10.1119/1.1858486
- [16] P. Wyszynski y R. Porowski, "Analysis of combustion models of hydrogen-air mixtures using ANSYS FLUENT", *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2812, núm. 1, art. 012016, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2812/1/012016
- [17] P. Kusriantoko, P. F. Daun y K. E. Einarsrud, "A Comparative Study of Different CFD Codes for Fluidized Beds", *Dynamics*, vol. 4, núm. 2, pp. 475-498, 2024, doi: 10.3390/dynamics4020025



PERSPECTIVAS DE LA
CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

¿Quieres publicar en esta revista?

¿Dudas o sugerencias? Escríbenos a:

 perspectivasci@uaq.mx

.....
REVISTA INCLUIDA EN:
.....



VISITA NUESTRO



Escucha de la voz de
los autores, entrevistas
y comentarios
relacionados a sus
artículos.

Disponible en:

MÁS REVISTAS UAQ EN:



revistas.uaq.mx



ingenieria.uaq.mx

EDICIÓN CUIDADA, DISEÑADA
Y MAQUETADA POR



Visítanos y conoce
las publicaciones que la
FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO
tiene para ti:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA