



## ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA TURBULENCIA DE UN FLUJO DE AGUA A TRAVÉS DE UNA VÁLVULA TIPO MARIPOSA Y SU IMPACTO SOCIAL

Luis Eduardo Caiza Vivas<sup>1</sup>,

Jeverson Santiago Quishpe Gaibor<sup>2</sup>

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Luis Eduardo Caiza Vivas y Jeverson Santiago Quishpe Gaibor (2018): "Análisis numérico de la turbulencia de un flujo de agua a través de una válvula tipo mariposa y su impacto social", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (septiembre 2018). En línea

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/turbulencia-flujo-agua.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/turbulencia-flujo-agua.html)

### Resumen

La simulación numérica de un flujo turbulento a través de una válvula tipo mariposa es una técnica útil para investigar los fenómenos físicos del campo de flujo. Se realizó un análisis numérico bidimensional de un flujo turbulento de agua líquida en una válvula de mariposa utilizando Ansys FLUENT, que resuelve ecuaciones de diferencia. Se investigaron las características del flujo a través de la válvula en diferentes porcentajes de abertura del disco de esta con una velocidad de entrada uniforme. Se realizó una independencia de malla basado en la velocidad para así elegir correctamente el tipo de malla que se utilizó en todo el análisis. Esta simulación proporciona los contornos de velocidad y energía cinética de turbulencia especialmente en la sección donde se encuentra ubicada la válvula tipo mariposa. Los resultados del análisis bidimensional pueden ser útiles para el diseño de la válvula.

**Palabras clave:** CFD-Ansys FLUENT-flujo turbulento-válvula tipo mariposa-energía cinética.

### Abstract

The numerical simulation of a turbulent flow through a butterfly valve is a useful technique to investigate the physical phenomena of the flow field. A two-dimensional numerical analysis of a turbulent flow of liquid water in a butterfly valve was performed using Ansys FLUENT, which solves difference equations. The characteristics of the flow through the valve were investigated in different percentages of disc opening with a uniform entry speed. An independence of mesh based on the velocity was made to correctly choose the type of mesh that was used during the analysis. This simulation provides the contours of the speed and kinetic energy of the turbulence, especially in the section where the butterfly valve is located. The results of the two-dimensional analysis can be useful for the design of the valve.

<sup>1</sup> Estudiante perteneciente al grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes (GIERIMP) de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador (lcaizav1@est.ups.edu.ec).

<sup>2</sup> Docente perteneciente al grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes (GIERIMP) de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador (jquishpe@ups.edu.ec).

**Keywords:** CFD-Ansys FLUENT-turbulent flow-butterfly valve-kinetic energy.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se denomina flujo turbulento en un fluido a aquel, en el que las variables: velocidad, densidad, presión, temperatura, etc., se comportan en forma aleatoria en cada punto del fluido y en cada instante de tiempo [1].

El estudio de los flujos turbulentos es de gran importancia en muchas aplicaciones tecnológicas: ingenierías aeronáutica, naval, mecánica y estructural, fenómenos de flujo interno, transferencia, combustión, entre otros.

Existen características particulares de la estructura turbulenta de un flujo que cambian la forma en que se mueve el fluido en el entorno de los objetos generando fuerzas de carácter fluidodinámico sobre ellos. Dichos cambios pueden ser pérdidas de cantidad de movimiento en el flujo, generadas por la aparición de remolinos y disipación viscosa, siendo estos efectos comúnmente observados en aplicaciones aeronáuticas, navales, flujos internos, entre otros [1].

Desde mediados de 1960 el análisis de la turbulencia fue revolucionado gracias al empleo de sofisticadas metodologías de análisis de datos experimentales. Existe una extensa bibliografía sobre metodologías para el análisis de mediciones de flujos en régimen turbulento, entre las más recientes, se puede mencionar las llamadas funciones ortogonales propias (POD- Proper Orthogonal Decomposition) [2], los métodos de análisis multiresolución [3], el uso del ARMA (Auto Regressive Moving Average) [4]. Todas estas metodologías precisan de un importante poder computacional para su implementación, lo cual las hace importantes a la hora de realizar análisis de turbulencia en tiempo no real, no así en las condiciones del ensayo experimental.

Una válvula tipo mariposa es un dispositivo indispensable en un sistema de tuberías para el control on-off de flujos en los fluidos [5].

Se han informado algunas investigaciones sobre la visualización del flujo interno y la simulación numérica de las válvulas de mariposa. Por ejemplo, Ito [6] usando una técnica óptica obtuvo comportamientos peculiares de los flujos de cavitación alrededor de una válvula de mariposa. La visualización de los flujos de la válvula de mariposa [7] se realizó mediante el uso de partículas de burbujas y trazadores para los flujos aguas arriba y aguas abajo en relación con las estructuras de flujo.

Addy [8], Morris [9] y Dutton [10], investigaron las características de flujo compresible de los flujos de la válvula de mariposa. Lacor y Hirsch [11] también investigaron los flujos de la válvula de mariposa con el código Euler en las inmediaciones del disco de la válvula. Eom [12] trató con la válvula de mariposa como un dispositivo de control para los flujos. Sin embargo, ninguno de ellos investigó patrones de flujo estrangulados tridimensionales con diferentes aberturas de válvula.

En la actualidad, la alternativa que se está utilizando con mayor frecuencia para el estudio del flujo es el empleo de los métodos numéricos en computadoras. La metodología CFD (Computational Fluid Dynamics) [5] es un método numérico que consiste en dividir el sistema de interés en volúmenes pequeños en donde se resuelven, de forma aproximada, las ecuaciones generales que describen el comportamiento del fluido. Esto permite obtener resultados en cada punto del sistema y evaluar de forma más rápida cualquier cambio en las condiciones de este.

Para poder realizar la instalación de una válvula mariposa en un sistema de tuberías es necesario conocer el comportamiento hidráulico de la misma, reflejado en la caída de presión a través del componente.

La caída de presión en un sistema de tuberías siempre debe ser minimizada para poder obtener el mayor rendimiento energético de las bombas (que impulsan al fluido de trabajo) o de las turbinas (que convierten energía de fluido en energía mecánica). El perfil de velocidades a la salida de las válvulas debe ser conocido para evitar comportamientos indeseados en bombas o turbinas (ya que estas se diseñan bajo condiciones ideales del flujo). Mientras que la cavitación en las válvulas al ingreso de las bombas o turbinas debe evitarse para no ocasionar daños físicos en las tuberías o en los mismos equipos [13].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Descripción de la sección de análisis

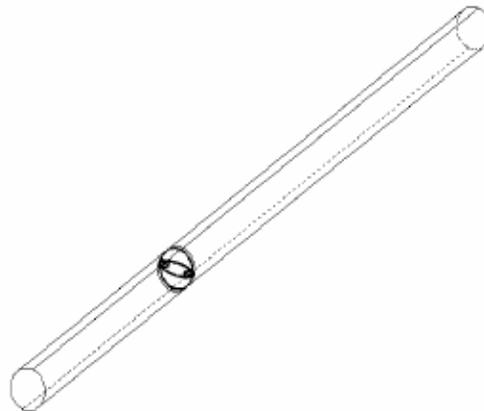
En este trabajo se tomará como base de estudio el fluido agua. El análisis se va a realizar en una línea de presión regulada, en la que se conocen las variables de proceso, como la presión y la temperatura del fluido. La tubería es de acero comercial, cédula 40, con un diámetro nominal de 50 mm y 1.05 m de longitud total. En la tabla 1 se aprecian las dimensiones detalladamente. Además, en la figura 1 se aprecia el esquema de la sección que se analizará.

**Tabla 1. Dimensiones de tubería de acero comercial**

*Fuente: [14]*

Tamaño nom. de tubería (m)	Diámetro exterior (m)	Espesor de pared (m)	Diámetro interior (m)	Flujo de área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)
0.05	0.0603	0.00391	0.0525	2.168 x 10 <sup>-3</sup>	1.05

La sección de análisis es una tubería lineal compuesta por una válvula tipo mariposa.



**Figura 1. Sección de tubería de análisis**

*Fuente: [13]*

## 2.2. Descripción de la válvula mariposa a utilizar

La válvula mariposa a utilizar tiene un diámetro nominal de 50 mm. En la figura 2 se muestra detalles geométricos de la válvula, obtenidos usando el software Solid Works.



Figura 2. Modelo de válvula mariposa

Fuente: [13]

Para realizar la simulación de la válvula, se agregan dos tramos de tubería aguas arriba y aguas abajo según la figura 3. Para determinar las longitudes de esos tramos es necesario analizar la recopilación de dimensiones usadas en distintos estudios lo cual se muestra en la tabla 2.



Figura 3. Esquema de ensayos en válvulas

Fuente: Autor

**Tabla 2. Dimensiones del banco de ensayos para válvulas**

*Fuente: [5]*

	Fuente	Tipo de estudio	Dimensiones	
			A+B	C+E
1	ANSI ISA-S75.02-1996 [15]	Experimentación	A+B	C+E
2	Henderson [16]	Experimentación y simulación numérica	20D	7D
3	Chaiworapuek [13]	Experimentación y simulación numérica	60D	15D
4	Jeon [17]	Experimentación y simulación numérica	1D	14D
5	Del Toro [18]	Experimentación y simulación numérica	2D	6D
6	Prema [19]	Simulación numérica	2.5D	12D
7	Dawy [20]	Simulación numérica	2D	6D
8	Guan Song [21]	Simulación numérica	2D	15D
9	Vakili-Tahami [22]	Simulación numérica	8D	10.2D

De acuerdo con el manual AWWA M49 [23], la dimensión B es 2 veces el diámetro nominal de la válvula mientras que la dimensión C es 10 veces el diámetro nominal. Con la información de la tabla 2, se decide trabajar con una dimensión A+B igual a 6 veces el diámetro nominal, mientras que la dimensión C+E será igual a 15 veces el diámetro nominal.

### 2.3. Descripción del flujo turbulento

Los flujos pueden clasificarse de diversas maneras, puesto que una de las más importantes se refiere al nivel de turbulencia presente. Diferentes niveles de turbulencia pueden representar variaciones significativas en los valores de grandezas que suelen ser evaluadas en los equipos industriales (pérdida de carga, intercambio de calor, difusión, entre otros).

Un flujo turbulento es aquel en el que hay fluctuaciones en el flujo todo el tiempo y las partículas invaden la trayectoria de otras que están adyacentes, mezclándose y desplazándose de una manera aleatoria [24].

Para identificar el régimen de flujo se utiliza el Número de Reynolds, que es un número adimensional que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas, de la siguiente forma:

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

Donde:

$\rho$  es la masa específica,  $V$  es la velocidad,  $L$  es una dimensión característica y  $\mu$  es la viscosidad dinámica.

Cuando las fuerzas de inercia (numerador) son mucho más grandes que las fuerzas viscosas (denominador), el flujo se vuelve turbulento (número de Reynolds alto).

Las herramientas de modelado computacional son grandes aliadas cuando el objetivo es analizar y predecir el comportamiento de flujos de fluidos. Con ellas se puede recrear diversos escenarios en un entorno virtual y realizar diferentes pruebas e incluso predecir el comportamiento de estos flujos. En este sentido, las herramientas de CFD de ANSYS son aliadas poderosas.

## 2.4. Modelos de turbulencia

Dadas las características del flujo, se hace necesario incluir un modelo de turbulencia. Los modelos de turbulencia más usados son los llamados “modelos de dos ecuaciones” debido a que ofrecen una buena relación entre costo computacional y precisión en los resultados [25]. Estos modelos resuelven las escalas de longitud y de velocidad usando dos ecuaciones separadas, por eso su nombre. Dentro de esta familia de modelos de turbulencia existen dos modelos principales:  $k$ - $\epsilon$  y  $k$ - $\omega$ . Ambos utilizan la hipótesis de un gradiente de difusión para relacionar los esfuerzos de Reynolds con los gradientes medios de velocidad y la viscosidad turbulenta [26]. La viscosidad turbulenta es modelada como el producto entre la velocidad turbulenta y la escala de longitud turbulenta.

El modelo de turbulencia  $k$ - $\epsilon$  se ha vuelto útil en muchos cálculos prácticos de flujo de ingeniería. La precisión económica, robusta y razonable de este modelo de turbulencia explica su popularidad en simulaciones de flujo industrial y transferencia de calor. Es un modelo semi-empírico y la derivación de las ecuaciones modelo se basa en consideraciones fenomenológicas y empíricas.

El modelo  $k$ - $\epsilon$  estándar es un modelo semi-empírico basado en ecuaciones de transporte modelo para la energía cinética de turbulencia ( $k$ ) y su tasa de disipación ( $\epsilon$ ). La ecuación de transporte modelo para  $k$  se deriva de la ecuación exacta, mientras que la ecuación de transporte modelo para  $\epsilon$  se obtuvo utilizando el razonamiento físico y tiene poca semejanza con su contraparte matemáticamente exacta. En la derivación del modelo  $k$ - $\epsilon$ , se consideró que el flujo es completamente turbulento, y los efectos de la viscosidad molecular son insignificantes [27]. El modelo  $k$ - $\epsilon$  estándar es por lo tanto válido solo para flujos turbulentos.

La energía cinética de la turbulencia  $k$ , y su velocidad de disipación  $\epsilon$ , se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones de transporte:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{u_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{u_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - \rho C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3)$$

En estas ecuaciones,  $G_k$  representa la generación de energía cinética de turbulencia debido a los gradientes de velocidad promedio.  $G_b$  es la generación de energía cinética de turbulencia debido a la flotabilidad. La cantidad  $Y_M$  simboliza la contribución de la dilatación de la fluctuación a la turbulencia incompresible a la tasa de disipación global.  $C_{1\epsilon}$ ,  $C_{2\epsilon}$  y  $C_{3\epsilon}$  son constantes.  $\sigma_k$  y  $\sigma_\epsilon$  son el número de Prandtl turbulento para  $k$  y  $\epsilon$ , respectivamente.  $S_k$  y  $S_\epsilon$  son términos fuente definidos por el usuario.

La viscosidad turbulenta,  $u_t$ , se calcula combinando  $k$  y  $\epsilon$  de la siguiente manera:

$$u_t = \rho C_u \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Donde:

$C_u$  es una constante.

Las constantes del modelo,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$ ,  $C_u$ ,  $\sigma_k$  y  $\sigma_\varepsilon$  tienen los siguientes valores predeterminados.

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_u = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Mallado del flujo turbulento

Se espera analizar el efecto de la turbulencia a través del flujo turbulento con el software ANSYS Fluent, el modelo utilizado fue  $\kappa - \varepsilon$  estándar. El fluido que se utilizó fue agua líquida durante todo el trayecto dentro de la tubería de acero comercial.

En la figura 4 se muestra el mallado de la tubería junto con la válvula mariposa con un 75% de apertura (porcentaje de apertura para todo el estudio de la investigación).

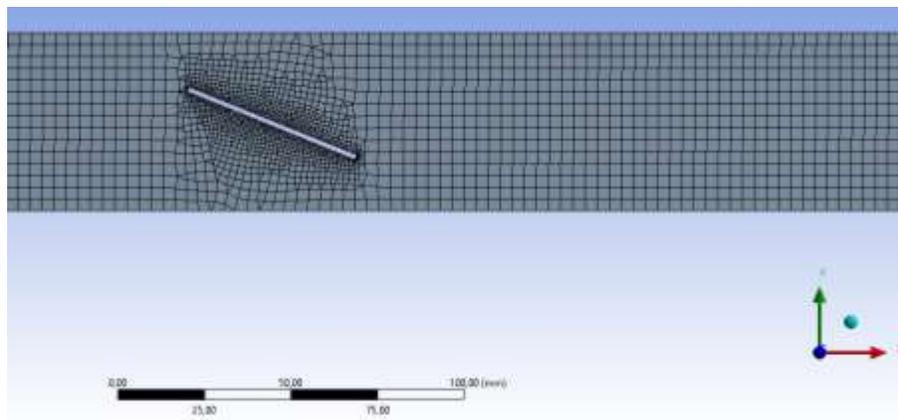


Figura 4. Mallado de la tubería con válvula mariposa

Fuente: Autor

Los lineamientos finales de la malla final del conjunto analizado se obtienen luego de múltiples simulaciones con distintos tipos de mallado.

Entonces, el mallado se comienza con un número razonable de elementos y luego se refina sucesivamente hasta conseguir que el cambio de una variable de interés sea menor al 1% lo que se conoce como independencia de malla y la podemos observar en la figura 5, esta se basa en la velocidad del fluido. Por ello, en esta investigación se trabaja con cuatro mallas de diferente medida del elemento con refinamiento sucesivo para luego determinar la malla más adecuada.

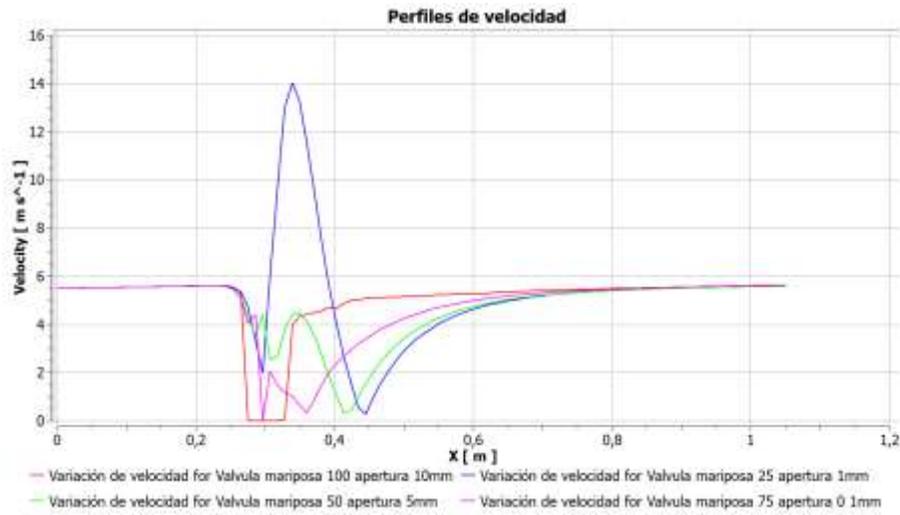


Figura 5. Independencia de malla, basado en la velocidad

Fuente: Autor

### 3.2. Simulación numérica del flujo

Partimos con la simulación de un fluido turbulento (agua líquida) con el modelo de turbulencia  $\kappa - \epsilon$  estándar. La velocidad de entrada para toda la fase de la tubería es de 5,5 m/s. En la figura 6 se observan los contornos de velocidad obtenidos a causa de la presencia de la válvula mariposa y como complemento en la figura 7 sus respectivos vectores.

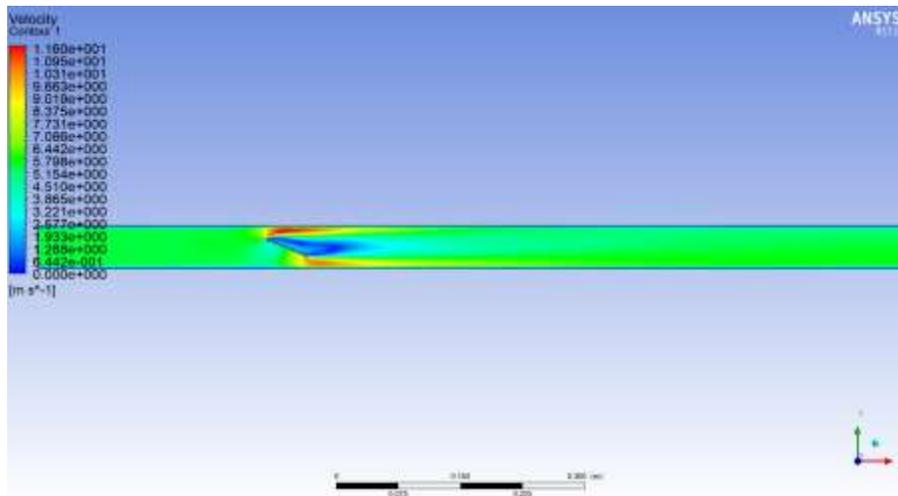
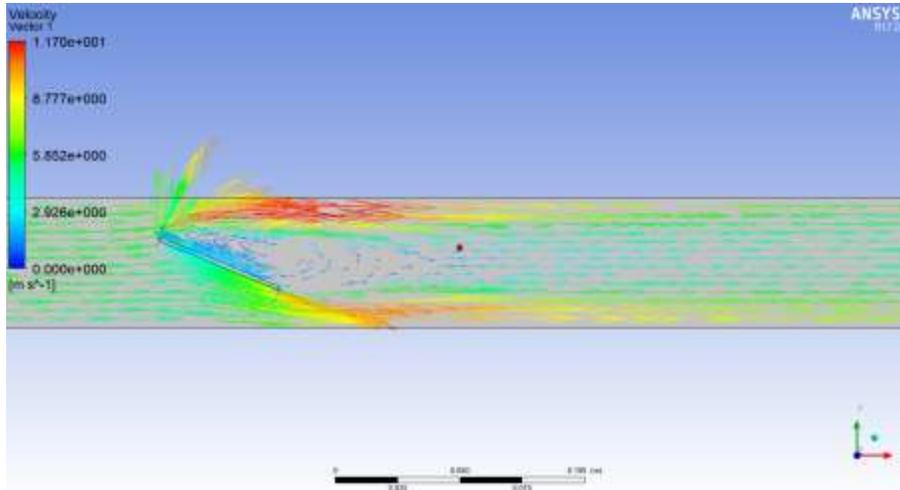


Figura 6. Contornos de velocidad

Fuente: Autores



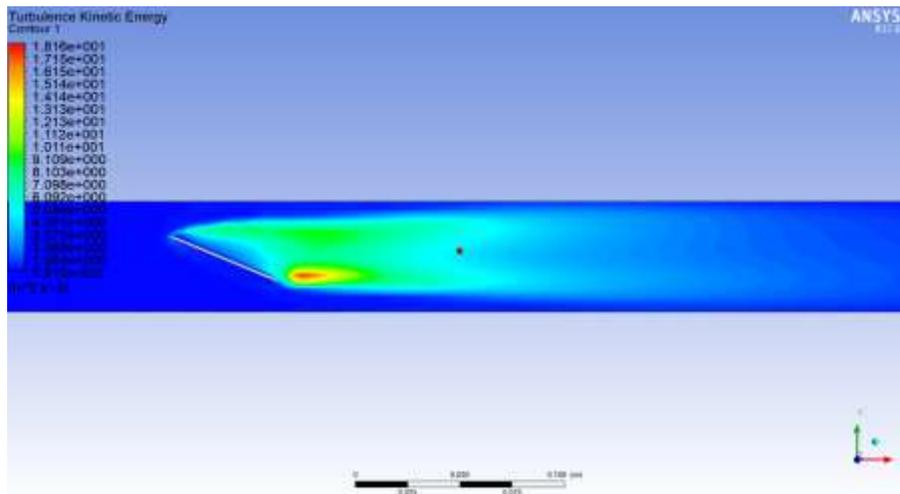
**Figura 7. Vectores de velocidad**

*Fuente: Autores*

Podemos observar que la velocidad de entrada permanece constante antes y después de la válvula, pero, al chocar el fluido con la misma vemos su cambio drásticamente. En las partes superior e inferior de la válvula la velocidad aumenta y toma un rango entre 8 y 11  $m/s$ .

En medio de la válvula vemos que la velocidad disminuye tomando valores de entre 3 y 0  $m/s$ .

Para el análisis de la turbulencia se toman las mismas consideraciones que se aplicaron anteriormente, tanto en velocidad como en el modelo de turbulencia, los resultados se aprecian en la figura 8. El lugar donde existe mayor turbulencia es en la parte inferior pasando la válvula.



**Figura 8. Contornos de energía cinética**

*Fuente: Autores*

Por otro lado, en las figuras 9 y 10 se indica la variación de la velocidad y energía cinética, respectivamente, a lo largo del eje de la tubería, se puede apreciar en las dos figuras que, existe un

gran cambio de estas variables debido a la presencia de la válvula mariposa con un 75% de apertura.

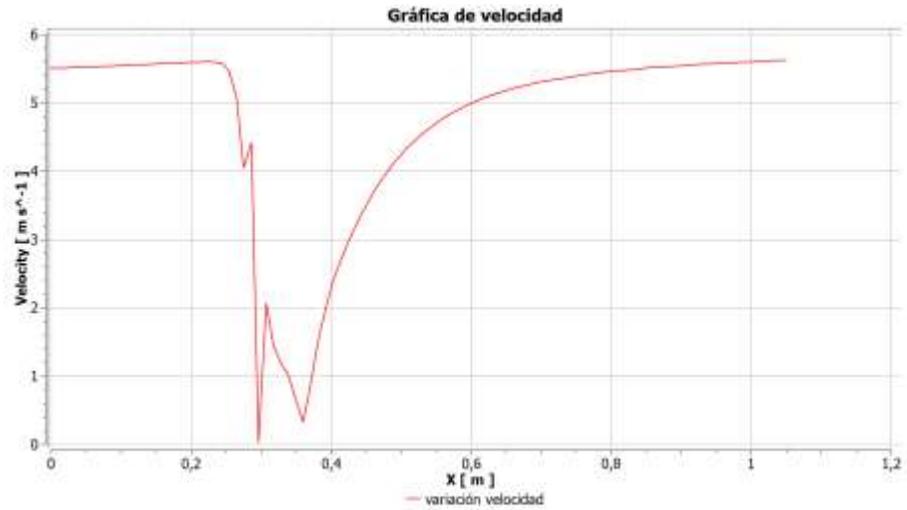


Figura 9. Variación de la velocidad

Fuente: Autores

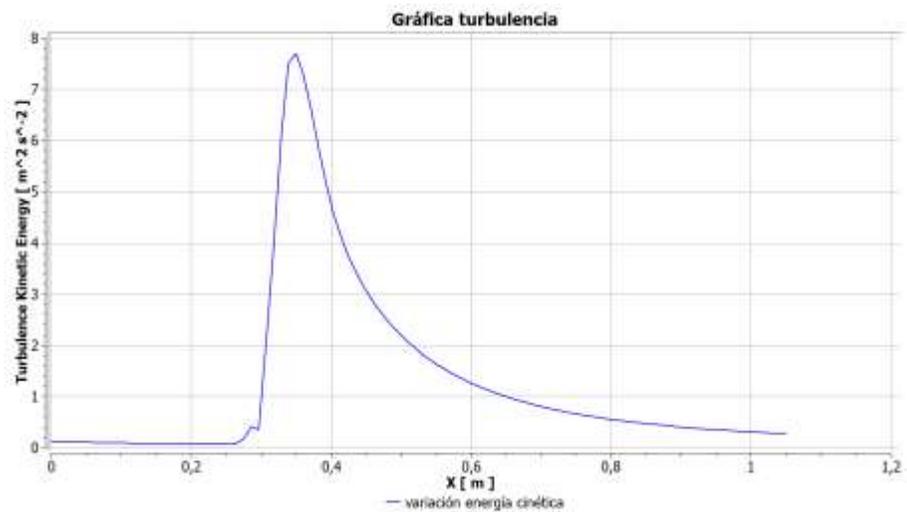


Figura 10. Variación de energía cinética

Fuente: Autores

#### 4. CONCLUSIONES

En función a los resultados obtenidos, se pueden plantear las siguientes conclusiones:

Los estudios computacionales han demostrado que el campo de flujo a través de la válvula tipo mariposa es muy complejo y depende del porcentaje de apertura del disco de la válvula.

Se realizó la simulación numérica para una válvula mariposa con 75% de apertura de diámetro nominal 50 mm utilizando el software ANSYS CFD. Se simuló el estado estacionario con un modelo de turbulencia  $\kappa - \epsilon$  estándar, para un fluido de agua líquida a 25°C y con una velocidad de entrada a la tubería de 5,5 m/s. Luego de un estudio de independencia de malla, se llegó a un modelo de simulación con 0,1mm de tamaño del elemento y con un error de discretización menor al 1%.

Lo más resaltante del flujo a través de la tubería es la separación de este por la presencia de la válvula, generándose zonas de recirculación de fluido. Además, la velocidad del flujo llegó a incrementarse hasta 2 veces la velocidad de entrada del fluido.

La mayor distorsión del perfil de velocidades se produjo a la salida de la válvula. Además, la conclusión principal a la que se llegó es que el flujo de agua comienza a recuperar la forma del perfil de velocidades de referencia del plano 2D luego de recorrer 3,2 diámetros nominales aguas abajo de la válvula.

La energía cinética de turbulencia del flujo aumenta drásticamente al pasar la válvula tipo mariposa.

## Referencias

- [1] J. Marañón Di Leo, M. V. Calandra, and J. S. Delnero, "Algoritmos de punto de cambio aplicados a la detección de estructuras vorticosas en flujos turbulentos," *Rev. Int. Metod. Numer. para Calc. y Disen. en Ing.*, vol. 33, no. 3–4, pp. 225–234, 2017.
- [2] J. Borée, "Extended proper orthogonal decomposition: A tool to analyse correlated events in turbulent flows," *Exp. Fluids*, vol. 35, no. 2, pp. 188–192, 2003.
- [3] J. Pulido, D. Livescu, J. Woodring, J. Ahrens, and B. Hamann, "Survey and analysis of multiresolution methods for turbulence data," *Comput. Fluids*, vol. 125, pp. 39–58, 2016.
- [4] D. Faranda *et al.*, "Modelling and analysis of turbulent datasets using auto regressive moving average processes," *Phys. Fluids*, vol. 26, no. 10, 2014.
- [5] Villaroel Quinde Luis Felipe, "SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UN FLUJO DE AGUA A TRAVÉS DE UNA VÁLVULA TIPO MARIPOSA DE DOBLE EXCENTRICIDAD," 2015.
- [6] M. Ito, Y., Yamada, M., Oba, R., Ohnishi, Y., Iidaka, K., & Iwasaki, "A Peculiar Behavior of Cavitating Flow Around a Butterfly Valve," *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng*, pp. 3317–3324, 1988.
- [7] K. Kitamura, M., Yamazaki, K., Okada, Y., & Hashimoto, "Visualizing Flows in Butterfly Valves," *Flow Vis. III, Proc. 3rd Inter. Sym. Flow Vis.*, vol. 3, pp. 6–9, 1993.
- [8] A. L. Addy, M. J. Morris, and J. C. Dutton, "An Investigation of Compressible Flow Characteristics of Butterfly Valves," *J. Fluids Eng.*, vol. 107, no. 4, p. 512, 1985.

- [9] M. J. Morris and J. C. DUTTON, "Aerodynamic Torque Characteristics of Butterfly Valves in Compressible Flow," *ASME J. Fluids Eng.*, vol. 111, no. 4, pp. 392–399, 1989.
- [10] M. J. MORRIS and J. C. DUTTON, "The performance of two butterfly valves mounted in series," *ASME J. Fluids Eng.*, vol. 113, no. 3, pp. 419–423, 1991.
- [11] C. Lacor, C., & Hirsch, "Numerical simulation of the three-dimensional flow around a butterfly valves," *ASME Fluids Eng*, vol. 69, 1988.
- [12] K. Eom, "Performance of Butterfly Valves as a Flow Controller," *J. Fluids Eng.*, vol. 110(1), pp. 16–19, 1988.
- [13] W. Chaiworapuek, "The Engineering Investigation of the Water Flow past the Butterfly Valve," no. June, 2007.
- [14] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, Pearson ed. 2006.
- [15] ANSI/ISA-75.02.01-2008 (IEC 60534-2-3 Mod), *Control Valve Capacity Test Procedures*. North Carolina, 2008.
- [16] A. D. Henderson, J. E. Sargison, G. J. Walker, and J. Haynes, "A Numerical Study of the Flow through a Safety Butterfly Valve in a Hydro-Electric Power Scheme," *16th Australas. FluidMechanics Conf.*, vol. 3, no. December, pp. 1116–1122, 2007.
- [17] S. Y. Jeon, J. Y. Yoon, and M. S. Shin, "Flow characteristics and performance evaluation of butterfly valves using numerical analysis," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 12, p. 12099, 2010.
- [18] A. Del Toro, "Computational Fluid Dynamics Analysis of Butterfly Valve," vol. Utah State, 2012.
- [19] N. Prema, B., Bhojani, S., & Gopalakrishnan, "Design optimization of butterfly valve using CFD," in *In Proceedings of the 37th National & 4th International Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power*, 2010.
- [20] A. Dawy, A. Sharara, and A. Hassan, "A Numerical Investigation of the Incompressible Flow through a Butterfly Valve Using CFD," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 11, pp. 1–7, 2013.
- [21] X. Song and Y. C. Park, "Numerical Analysis of Butterfly Valve-Prediction of Flow Coefficient and Hydrodynamic Torque Coefficient," *Proc. World Congr. Eng. Comput. Sci. 2007*, pp. 2–6, 2007.
- [22] A. Vakili-Tahami, F., Zehsaz, M., Mohammadpour, M., y Vakili-Tahami, "Análisis de los efectos de torsión hidrodinámicos en válvulas de mariposa de gran tamaño y comparación de resultados con las recomendaciones estándar AWWA C504," *Rev. Cienc. mecánica y Tecnol.*, vol. 26, no. 9, pp. 2799–2806, 2012.
- [23] & A. W. W. A. Bosserman, B. E., Ali, A., Schuraytz, I. M., *Butterfly valves: torque, head loss and cavitation analysis*, American W. 2012.
- [24] K. Martin, "ESSS," *Flujo turbulento*, 2016. [Online]. Available: <https://www.esss.co/blog/es/flujo-turbulento/>.

- [25] A. CFX, "ANSYS CFX Release Notes for 17.0." 2017.
- [26] F. R. Menter, "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA J.*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994.
- [27] J. E. Bardina, P. G. Huang, and T. J. Coakley, "Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development," pp. 8–20, 1997.