

Análisis de vórtices en el flujo cardiaco de un modelo experimental del ventrículo izquierdo mediante velocimetría de imágenes de partículas

José Luis Acosta Román^{1*}, José Omar Dávalos Ramírez², David Luviano Cruz³

Resumen

La técnica de velocimetría de imágenes de partículas (PIV) permite medir los campos de velocidad de los fluidos mediante el seguimiento de partículas iluminadas con un láser. Esta técnica ha sido utilizada en la industria para estudiar el aerodinamismo y comportamiento de diversos fluidos utilizando condiciones simuladas. En los últimos años, las técnicas de PIV han sido implementadas en el área médica para observar el comportamiento de flujos biológicos, teniendo estos un impacto significativo en los estudios del sistema circulatorio, particularmente en aquellos enfocados en el corazón. El desarrollo de diversas técnicas de PIV han ampliado de forma considerable el alcance y versatilidad que pueden tener en la medición de parámetros de fluidos biológicos. El PIV plano es utilizado para estudios de flujos en una representación bidimensional que hacen posible observar el comportamiento en los canales microvasculares y arterias, brindando información más precisa sobre los perfiles de velocidad. El PIV estereoscópico permite la captura de componentes tridimensionales, esto es útil para analizar la generación de vórtices y estructuras complejas en los modelos cardíacos. Por otra parte, el PIV tomográfico es aplicado para reconstrucciones completas del volumen del flujo integrando diferentes planos de una imagen. Por último, la técnica de velocimetría de seguimiento de partículas (PTV) hace posible el seguimiento individual de las partículas para observar el movimiento de un fluido biológico en todo un trayecto de los sistemas. El objetivo de este trabajo es brindar una revisión de literatura sobre las aplicaciones actuales de las técnicas de PIV en el área médica, destacando como estas técnicas han sido adaptadas para el análisis de los fluidos biológicos. Las técnicas comunes para la evaluación del funcionamiento correcto de los sistemas del cuerpo humano incluyen ecografías y resonancias magnéticas. Estas técnicas brindan una visualización que permite observar el funcionamiento del corazón, pero la calidad de las imágenes hace que en algunos casos sea complicado interpretar los resultados, mientras que las técnicas de PIV hacen posibles visualizaciones de los flujos con imágenes más claras. Por último, este trabajo también busca brindar perspectivas más amplias sobre la importancia que tiene dentro de la medicina la adopción de estas técnicas para la detección de afecciones cardíacas y posible aplicación para determinar tratamientos.

Palabras Clave

PIV – PTV – Flujo – Fluidos biológicos – Partículas

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

***Autor de correspondencia:** al263688@alumnos.uacj.mx

Programa académico

Doctorado en Tecnología

Fecha de presentación

20 y 27 de noviembre de 2025

Financiamiento

SECIHTI (CVU 1315377)

Institución responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Eventos académicos

10.º Coloquio de Posgrados del IIT, 1.º Cong. Int. de las Fronteras de las Ingenierías

Conflicto de interés

Sin conflicto de interés declarado

CITACIÓN: Acosta Román, J.L., Dávalos Ramírez, J.O., & Luviano Cruz, D. (2026). Análisis de vórtices en el flujo cardiaco de un modelo experimental del ventrículo izquierdo mediante velocimetría de imágenes de partículas [Fronteras de la Ingeniería y Transformación Tecnológica]. *Memorias Científicas y Tecnológicas*, 5(1), 115-117.

Referencias

1. Abdulmouti, H. (2021). Particle imaging velocimetry (PIV) technique: principles and applications, review. *Yanbu Journal of Engineering and Science*, 6(1), 35-65.
2. Mendes, L. P., Ricardo, A. M., Bernardino, A. J., & Ferreira, R. M. (2022). A comparative study of optical flow methods for fluid mechanics. *Experiments in Fluids*, 63(1), 7.
3. Soares, R. R., Barbosa, H. C., Braga, R. A., Botega, J. V. L., & Horgan, G. W. (2013). Biospeckle PIV (Particle Image Velocimetry) for analyzing fluid flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 30, 90-98.
4. Sugii, Y., Okuda, R., Okamoto, K., & Madaram, H. (2005). Velocity measurement of both red blood cells and plasma in vitro blood flow using high-speed micro PIV technique. *Measurement science and Technology*, 16(5), 1126.
5. Ahmerkamp, S., Jalaluddin, F. M., Cui, Y., Brumley, D. R., Pachterres, C. O., Berg, J. S., & Behrendt, L. (2022). Simultaneous visualization of flow fields and oxygen concentrations to unravel transport and metabolic processes in biological systems. *Cell Reports Methods*, 2(5).
6. Spence, C. J. T., Buchmann, N. A., & Jermy, M. C. (2012). Unsteady flow in the nasal cavity with high flow therapy measured by stereoscopic PIV. *Experiments in fluids*, 52(3), 569-579.
7. Prinz, C., Lehmann, R., Brandao da Silva, D., Jurczak, B., Bitter, T., Faber, L., & Horstkotte, D. (2014). Echocardiographic particle image velocimetry for the evaluation of diastolic function in hypertrophic nonobstructive cardiomyopathy. *Echocardiography*, 31(7), 886-894.
8. Mei, D., Ding, J., Shi, S., New, T. H., & Soria, J. (2019). High resolution volumetric dual-camera light-field PIV. *Experiments in Fluids*, 60(8), 132.
9. Fouras, A., Disting, J., Sheridan, J., Kawahashi, M., Hirahara, H., & Hourigan, K. (2009). Engineering imaging: using particle image velocimetry to see physiology in a new light. *Clinical & Experimental Pharmacology & Physiology*, 36(2).
10. Varkey, B. (2021). Principles of clinical ethics and their application to practice. *Medical principles and practice*, 30(1), 17-28.
11. Passmore, M. A., Spencer, A., Wood, D., Jowsey, L., & Newnham, P. S. (2010). *The Application of Particle Image Velocimetry in Automotive Aerodynamics*.
12. Stamhuis, E. J. (2006). Basics and principles of particle image velocimetry (PIV) for mapping biogenic and biologically relevant flows. *Aquatic Ecology*, 40(4), 463-479.
13. Mommersteeg, P. M., Denollet, J., Spertus, J. A., & Pedersen, S. S. (2009). Health status as a risk factor in cardiovascular disease: a systematic review of current evidence. *American heart journal*, 157(2), 208-218.
14. Tomasini, E., Paone, N., Rossi, M., & Castellini, P. (2008). Overview on piv application to appliances. *Particle Image Velocimetry*, 271-281.
15. Yoon, J. H., & Lee, S. J. (2002). Direct comparison of 2D PIV and stereoscopic PIV measurements. *Measurement Science and Technology*, 13(10), 1631.
16. Torta, E., Griffo, B., Caridi, G. C., De Nisco, G., Chiastra, C., Morbiducci, U., & Gallo, D. (2024). Smartphone-based particle tracking velocimetry for the in vitro assessment of coronary flows. *Medical Engineering & Physics*, 126.
17. Saaid, H., Voorneveld, J., Schinkel, C., Westenberg, J., Gijzen, F., Segers, P., & Claessens, T. (2019). Tomographic PIV in a model of the left ventricle: 3D flow past biological and mechanical heart valves. *Journal of biomechanics*, 90, 40-49.
18. Dong, X., Wang, X., Zhou, W., Wang, F., Tang, X., & Cai, X. (2023). 3D particle streak velocimetry by defocused imaging. *Particuology*, 72, 1-9.
19. Jodeau, M., Hauet, A., Paquier, A., Le Coz, J., & Dramais, G. (2008). Application and evaluation of LS-PIV technique for the monitoring of river surface velocities in high flow conditions. *Flow Measurement and Instrumentation*, 19(2), 117-127.
20. Michaux, F., Mattern, P., & Kallweit, S. (2018). RoboPIV: how robotics enable PIV on a large industrial scale. *Measurement Science and Technology*, 29(7).
21. Wu, X., Gürzing, S., Schinkel, C., Toussaint, M., Perinajová, R., Van Ooij, P., & Kenjereš, S. (2022). Hemodynamic study of a patient-specific intracranial aneurysm: comparative assessment of tomographic PIV, stereoscopic PIV, in vivo MRI and computational fluid dynamics. *Cardiovascular Engineering and Technology*, 13(3), 428-442.
22. Westerweel, J., Elsinga, G. E., & Adrian, R. J. (2013). Particle image velocimetry for complex and turbulent flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 45(1), 409-436.

ANÁLISIS DE VORTICES EN EL FLUJO CARDÍACO DE UN MODELO EXPERIMENTAL DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO MEDIANTE VELOCIMETRÍA DE IMÁGENES DE PARTÍCULAS

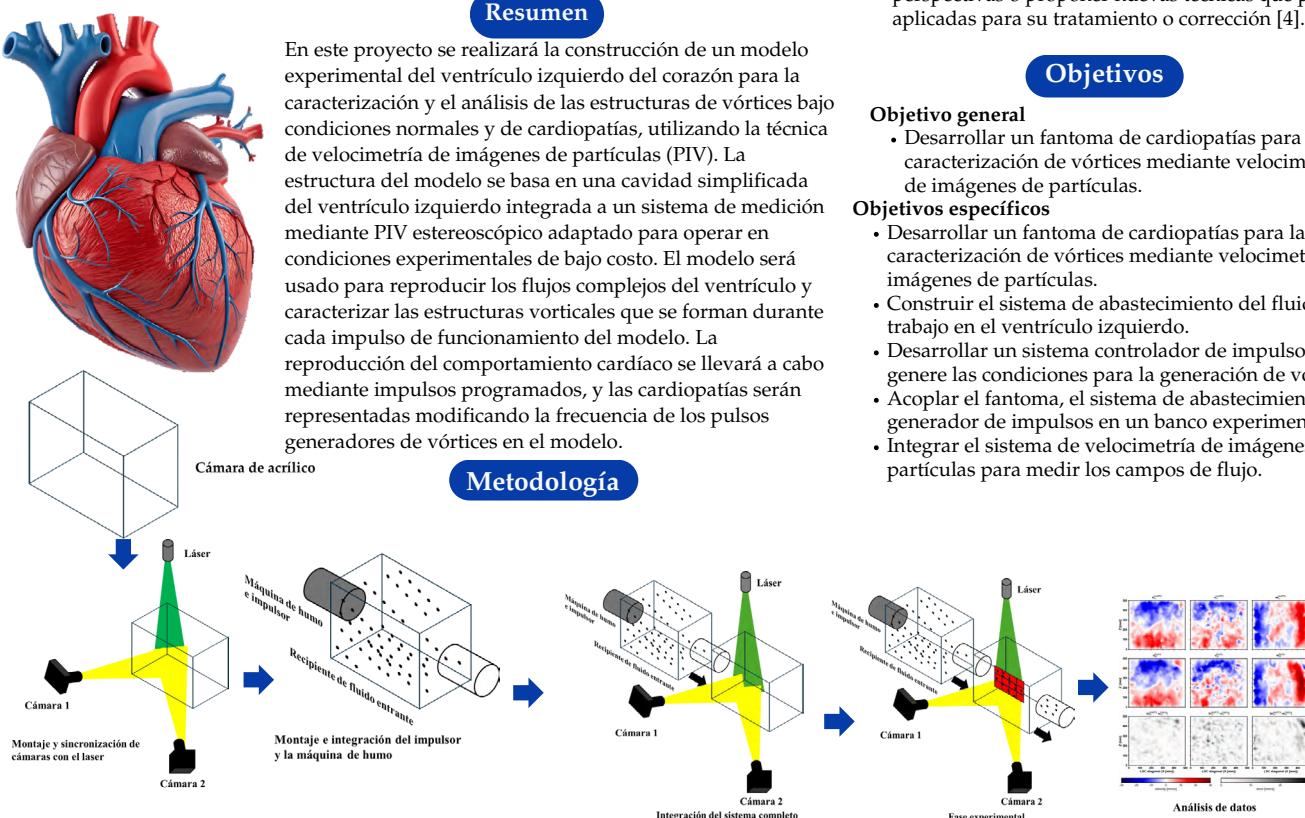
José Luis Acosta Román¹; José Omar Dávalos Ramírez¹; David Luviano Cruz¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y tecnología

Resumen

En este proyecto se realizará la construcción de un modelo experimental del ventrículo izquierdo del corazón para la caracterización y el análisis de las estructuras de vórtices bajo condiciones normales y de cardiopatías, utilizando la técnica de velocimetría de imágenes de partículas (PIV). La estructura del modelo se basa en una cavidad simplificada del ventrículo izquierdo integrada a un sistema de medición mediante PIV estereoscópico adaptado para operar en condiciones experimentales de bajo costo. El modelo será usado para reproducir los flujos complejos del ventrículo y caracterizar las estructuras vorticales que se forman durante cada impulso de funcionamiento del modelo. La reproducción del comportamiento cardíaco se llevará a cabo mediante impulsos programados, y las cardiopatías serán representadas modificando la frecuencia de los pulsos generadores de vórtices en el modelo.

Metodología



Resultados esperados

El fantoma creado será una representación física exacta del ventrículo izquierdo del corazón y permitirá la modificación de parámetros de entrada para la simulación de diversas cardiopatías. Además, se podrá visualizar el comportamiento de los vórtices de cada cardiopatía que se simule, de esta manera se identificarán las variaciones en el comportamiento de los flujos, lo que puede proporcionar información sobre el comportamiento de cada una de las cardiopatías simuladas que pueden ser tomadas en consideración para el desarrollo de otras técnicas para su análisis o tratamiento.

Por último, se podrán realizar validaciones con los resultados obtenidos con el fantoma con los registros que hay sobre las cardiopatías utilizando otras técnicas como las resonancias magnéticas y electrocardiogramas.

Conclusión

El fantoma creado tiene el potencial para contribuir en la observación y comprensión del comportamiento del flujo cardíaco cuando se presenta alguna cardiopatía y combinado la técnica de PIV proporcionará información sobre el comportamiento que tienen las cardiopatías y podrá considerarse para mejorar técnicas de diagnóstico mediante el uso de imágenes.

Por último, este proyecto puede contribuir en la educación médica práctica, al permitir que los estudiantes de las áreas de la salud puedan realizar observaciones y análisis de las cardiopatías sin riesgo alguno con los pacientes.

Referencias bibliográficas

- Bernier, P. L., Stefanescu, A., Samoukovic, G., & Tchervenkov, C. I. (2010). The challenge of congenital heart disease worldwide: epidemiologic and demographic facts. In *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery: Pediatric Cardiac Surgery Annual* (Vol. 13, No. 1, pp. 26-34). WB Saunders.
- Ho, S. Y. (2009). Anatomy and myoarchitecture of the left ventricular wall in normal and in disease. *European Journal of Echocardiography*, 10(8), iii3-iii7.
- Devereux, R. B., Koren, M. J., de Simone, G., Okin, P. M., & Kligfield, P. (1993). Methods for detection of left ventricular hypertrophy: application to hypertensive heart disease. *European heart journal*, 14, 8-15.
- Amin, R., Al Ghamdi, M. A., Almotiri, S. H., & Alruily, M. (2021). Healthcare techniques through deep learning: issues, challenges and opportunities. *IEEE Access*, 9, 98523- 98541.
- Yazdi, S. G., Geoghegan, P. H., Docherty, P. D., Jermy, M., & Khanafer, A. (2018). A review of arterial phantom fabrication methods for flow measurement using PIV techniques. *Annals of biomedical engineering*, 46(11), 1697-1721.

Cartel Académico: Análisis de vórtices en el flujo cardíaco de un modelo experimental del ventrículo izquierdo mediante velocimetría de imágenes de partículas.