

El uso de la Dinámica de Fluidos Computacional en el análisis de flujo a través de válvulas de tipo cardíaco

Durante muchos años se ha estudiado y analizado el flujo sanguíneo en válvulas cardíacas con la mecánica de fluidos, teoría que continúa siendo válida hasta el día de hoy. Aunado a esto, las válvulas prostéticas en los tratamientos de cardiopatía valvular cada vez son más comunes. Sin embargo, las válvulas prostéticas siguen presentando un comportamiento hemodinámico no óptimo, hablándose de las complicaciones más frecuentes tales como; tromboembolia, desajuste entre prótesis y paciente, disfunción valvular estructural, endocarditis y hemólisis (Vesey y Otto, 2004; Zamir, 2000).

Con lo anterior, los estudios recientes se centran en identificar y evaluar los distintos comportamientos del flujo en las válvulas cardíacas para poder determinar los parámetros de operación en condiciones variables, aportando bases para el diseño de válvulas optimizadas en su hemodinámica (Ajit, Chandran y Fotis, 2005). Mencionando algunos de los casos de estudio donde se comparte este objetivo de determinar parámetros base para el diseño de válvulas cardíacas, se puede incluir la predicción de esfuerzo cortante debido a la turbulencia presente en válvulas Bi-leaflet disfuncionales, tal como lo reporta Khalili, Gamage y Mansy (2018).

En este análisis, los autores emplearon el modelo de una válvula Bi-leaflet defectuosa utilizando la dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) para determinar las velocidades en las que el fluido presenta condiciones de esfuerzo cortante turbulento que aumentan el riesgo de hemólisis y activación plaquetaria. Por otro lado, Baylous, Kovarovic, Anam, Helbock, Slepian y Bluestein (2024) realizaron una evaluación de riesgos para un reemplazo de válvula aórtica transcáteter (TAVR en inglés) empleando diferentes modelos y comparando su hemodinámica mediante el solucionador multifísico ANSYS para CFD incompresible.

En este contexto, nuestro principal interés es comprender cómo se comporta el flujo a través de una válvula simple, la cual pretende emular el de una válvula cardíaca. Esto, con el objetivo de entender desde el punto de vista de la mecánica de fluidos (con ayuda del enfoque CFD) el funcionamiento de las válvulas simples. De igual forma, con la finalidad de coadyuvar en el diseño de prótesis, ya que las válvulas prostéticas han mejorado su desempeño, pero presentan problemas como la tromboembolia y la disfunción estructural (Vesey y Otto, 2004).

Para ello, como parte de la investigación, se determinó la dependencia de los coeficientes hidrodinámicos para una válvula fija en una configuración simétrica. Es decir, con una sola placa en un ángulo determinado respecto a una pared del canal, considerando una condición de esfuerzos libres en el eje de simetría. Para tal estudio, se definió la geometría de la placa en ANSYS DesignModeler, así como un mallado estructurado en ANSYS Meshing, en donde se aseguró una precisión menor al 2% mediante un estudio de convergencia de malla. Por otro lado, se resolvieron las ecuaciones de Navier-Stokes, variando el número de Reynolds para analizar regímenes de flujo laminar y turbulento en la placa, mediante la librería ANSYS Fluent.

Nuestros resultados muestran que, los coeficientes de arrastre (C_D) y sustentación (C_L) aumentan con el ángulo de la placa respecto al flujo, siendo así mayor la fuerza de sustentación. Además, la variación de estos coeficientes con el número de Reynolds sigue un comportamiento predecible, permitiendo comprender la interacción fluido-estructura. No obstante, sería interesante investigar más aún si nuestros hallazgos se correlacionan con un enfoque del estado transitorio del flujo, lo cual permitiría visualizar y verificar en qué momento y cuáles son los factores que afectan la formación de vórtices y de líneas de flujo en general que dan como resultado el comportamiento de los coeficientes hidrodinámicos encontrados hasta el momento.

Referencias

- Ajit P., Chandran K. y Fotis S. (2005). Flow in Prosthetic Heart Valves: State-of-the-Art and Future Directions. *Annals of Biomedical Engineering*, 33(12), 1689-1694. doi:10.1007/s10439-005-8759-z
- Baylous K., Kovarovic B., Anam S., Helbock R., Slepian M. y Bluestein D. (2024). *Thrombogenic Risk Assessment of Transcatheter Prosthetic Heart Valves Using a Fluid-Structure Interaction Approach*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.12156>
- Khalili F., Gamage P. y Mansy H. (2018). *Prediction of Turbulent Shear Stresses through Dysfunctional Bileaflet Mechanical Heart Valves using Computational Fluid Dynamics*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.03361>
- Vesey J. y Otto C. (2004). Complications of prosthetic heart valves. *Current Cardiology Reports*, 6(2), 106-111. doi:10.1007/s11886-004-0007-x
- Zamir M. (2000). *The Physics of Pulsatile Flow*. Springer. ISBN 978-1-4612-7077-5

Tutores académicos:

Dr. Juan Horacio Espinoza Rodríguez

Contacto: juan.espinoza@udlap.mx

Dr. René Ledesma Alonso

Contacto: rene.ledesma@ciencias.unam.mx

Sobre el autor:

Luis Renan Tzompantzi Montoya es estudiante de noveno semestre de Ingeniería Mecánica en la Universidad de las Américas Puebla. Forma parte del Programa de Honores y colabora en un proyecto dirigido hacia el análisis con CFD del flujo a través de válvulas cardíacas enfocado en la interacción fluido estructura.

Contacto: luis.tzompantzima@udlap.mx