



Elaboración y caracterización de sangre artificial con propiedades hemodinámicas para la formación en cateterismo endovascular

Hernández-Ocón Luz Andrea.
Licenciatura en Ingeniería biomédica, Universidad Modelo, Mérida, Yucatán

INTRODUCCIÓN

La formación en procedimientos médicos críticos, como el cateterismo endovascular, es crucial para la seguridad del paciente (Castillo-Estigarribia et al., 2015). El cateterismo implica la inserción de catéteres para diagnóstico y tratamiento de diferentes patología, requiriendo habilidades técnicas y comprensión del flujo sanguíneo (NHLBI, 2022). Por lo que los simuladores médicos son esenciales para la formación, ofreciendo práctica sin riesgos para los pacientes (Núñez, 2019). Sin embargo, el realismo de la simulación es un factor determinante en su efectividad. En este contexto, la sangre simulada debe imitar las propiedades físicas y reológicas de la sangre humana, incluyendo viscosidad, densidad y comportamiento del fluido, para garantizar una formación efectiva.

ANTECEDENTES

Para conocer los valores del flujo sanguíneo, Wesolowski & Mlynarczak (2019) evalúan los valores de la viscosidad y densidad. En esta investigación, se tomó sangre de 30 voluntarios y se evaluaron experimentalmente la viscosidad y la densidad, bajo la condición de temperatura de 37° C. La viscosidad de la sangre se calculó mediante la ecuación de Hagen-Poiseuille, obteniendo como resultado, que el promedio de los valores de la viscosidad es de 3.293×10^{-3} Pa s y 3.411×10^{-3} Pa s. Igualmente, se encontró que la densidad promedio de la sangre es de 1.0635×10^3 kg/m³. Los valores de viscosidad y densidad obtenidos en este estudio sirven como puntos de referencia para lograr validar y ajustar los valores del flujo requeridos.

Además, Oglat et al. (2017) establecen que también existen valores de las características físicas determinados por la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) para la caracterización y estandarización de líquidos que imitan la sangre para objetos de prueba o simuladores de flujo, donde los componentes utilizados en la preparación de sangre artificial deben tener valores idénticos a los valores de la IEC. Estos valores pueden ser observados en la Tabla 1.

Tabla #1. Propiedades acústicas y físicas de un fluido imitador de sangre

Propiedades	Valores
Viscosidad ($\times 10^{-3}$ Pa s)	4.0 ± 0.4
Densidad ($\times 10^3$ kg/m ³)	1.050 ± 0.04

Adaptado de "A new blood mimicking fluid using propylene glycol and their properties for a flow phantom test of medical doppler ultrasound" de Oglat, A. A. et al., 2017 International Journal of Chemistry, Pharmacy & Technology, 2(5), 220-231. ISSN # 2456-8473

xantana y 0,01 % de almidón muestra la diferencia porcentual de viscosidad más pequeña en comparación con la viscosidad de la sangre real, siendo de $3.71 \pm 0.34 \times 10^{-3}$ Pa s, que se encuentra dentro del rango de viscosidad normal real de la sangre.

En esta investigación, Oglat et al., preparan varias muestras compuestas por diferentes proporciones de agua destilada, propilenglicol y glicerol. Obteniendo que la muestra con 80% agua, 2% propilenglicol y un 18% glicerol da como resultado una viscosidad de 4.3×10^{-3} Pa s y una densidad de 1.04×10^3 kg/m³, lo cual cumple con los estándares de la IEC.

Perrira et al. (2022), exploran la introducción de partículas de almidón en una mezcla de agua, glicerol y goma xantana para la creación de un fluido imitador de sangre. En esta investigación, la viscosidad del fluido formulado se compara con la de la sangre humana y se observa. Para esto, se preparan un total de 10 muestras que constan de diferentes proporciones de composición. Según los resultados de los experimentos realizados, la muestra con una composición de 59,98 % agua, 40 % glicerol, 0,01 % de goma

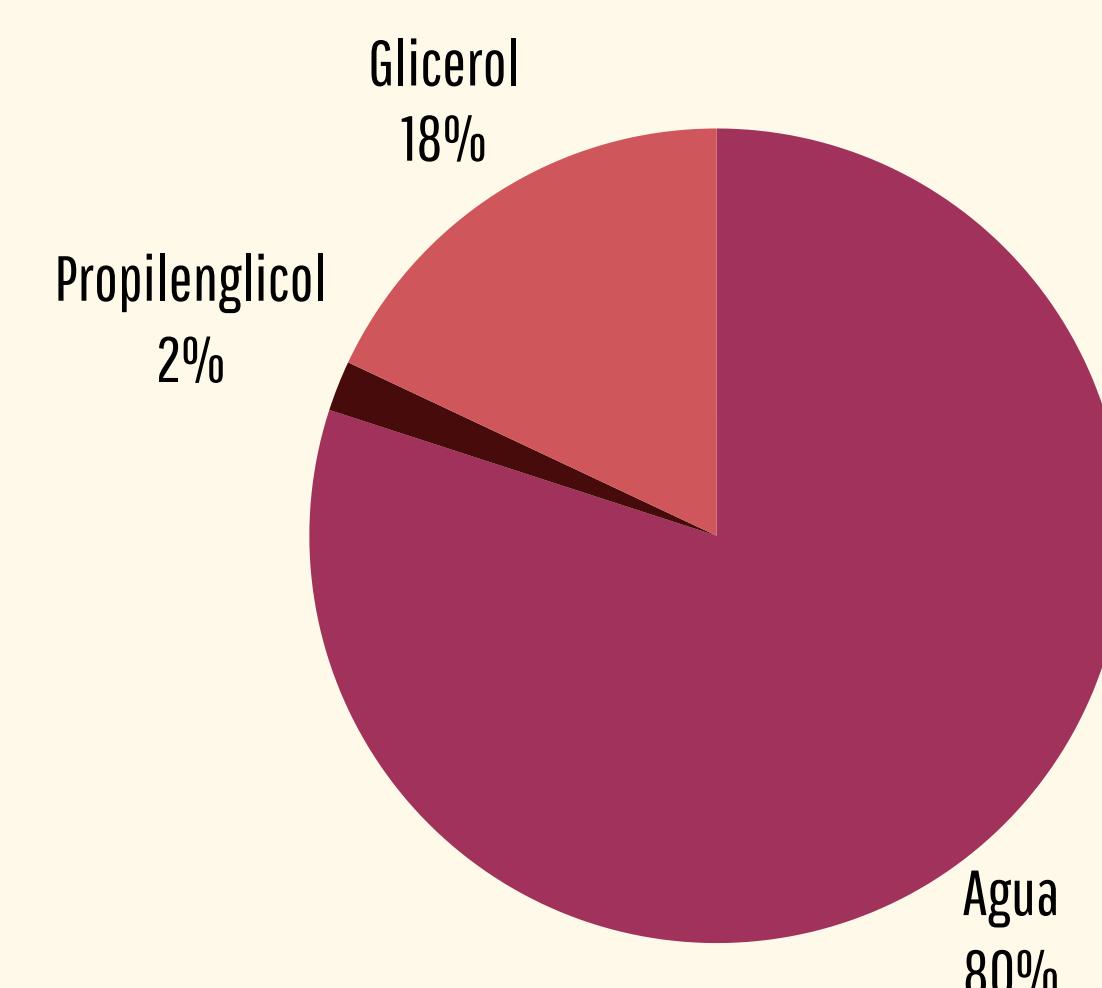
OBJETIVO

Elaborar y caracterizar un fluido que imite de manera precisa las propiedades dinámicas y físicas de la sangre humana de la región abdominal y torácica, para su integración en un entrenador de cateterismo endovascular para internos radiólogos.

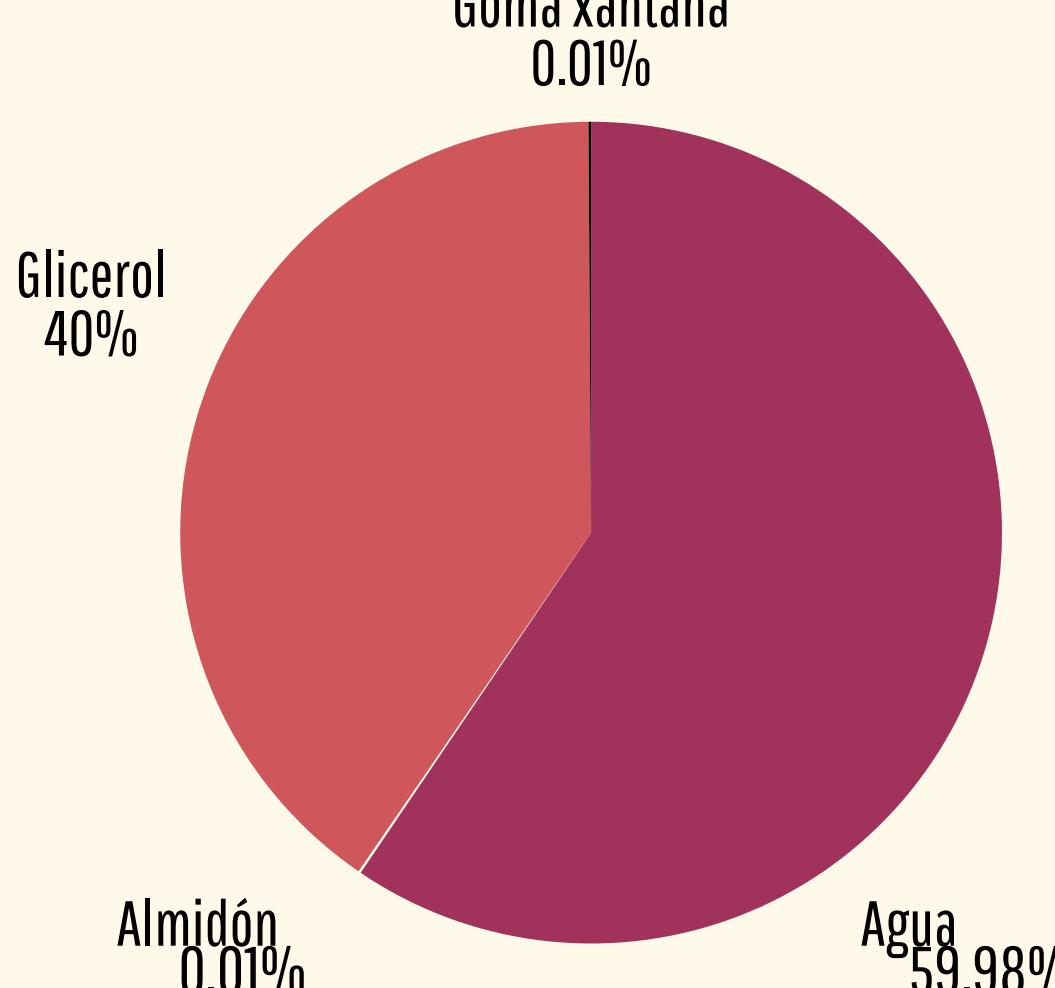
METODOLOGÍA

1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Muestra a base de propilenglicol



Muestra a base de goma xantana



2 PRUEBAS DE VISCOSIDAD

Se medirá con el Reómetro TA Instruments modelo AR 2000, de la Unidad de Materiales del Centro de Investigación Científica de Yucatán

3 CÁLCULO DE LA DENSIDAD

ρ muestra = Densidad de la muestra

m_p = Masa de picnómetro

m_1 = Masa de picnómetro con la muestra

m_2 = Masa de picnómetro con agua destilada

ρ_{agua} = Densidad del agua destilada a la temperatura tomada

$$\rho_{muestra} = \frac{(m_1 - m_p)}{(m_2 - m_p)} (\rho_{agua})$$

4 VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO

Se realizarán pruebas prácticas en colaboración con un simulador de cateterismo, permitiendo evaluar la respuesta del fluido en un entorno clínico, proporcionando una validación práctica de su eficacia en la reproducción de condiciones hemodinámicas realistas.

• Castillo-Estigarribia, A., Ferrer-Lagunas, L., & Masalán-Ajip, P. (2015). Capacitación del personal de salud, evidencia para lograr el ideal. *Horizonte De Enfermería*, 26(1), 29-37. ISSN # 0719-6946

• Erler-Zimmer (2023). CVC Insertion Simulator III. Erler-Zimmer. Recuperado de: <https://erler-zimmer.de/shop/en/10003>

• Kannojya, V., Das, A. K., & Das, P. K. (2020) Simulation of Blood as Fluid: A Review from Rheological Aspects. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 14, 327-341. ISSN # 1941-1189

• Kristensen, S. D., Knudt, J., Sarasti, A., Anker, S., Bøtker, H. E., Herl, S., Ford, I., González-Juanatey, J. R., Gorenek, B., Heydrickx, G. R., Hoeft, A., Huber, K., Iung, B., Kjeldsen, K. P., Longrois, D., Lüscher, T. F., Pierard, L., Pocock, S., Price, S., Roffi, M., Sirnes, P. A., Sousa-Uva, M., Voudris, V., & Funck-Brentano, C. (2014). Grupo de Trabajo Conjunto sobre cirugía no cardíaca: Evaluación y manejo cardiovascular de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC) y la European Society of Anaesthesiology (ESA). *Revista Española de Cardiología*, 67(712), 1052-1052.e1-1052.e43. ISSN # 0300-8932

• Laerdal Medical (2022). The importance of realism in simulation-based learning for healthcare education. Laerdal. Recuperado de: <https://laerdal.com/us/learn/resource-library/the-importance-of-realism-in-simulation/>

• LifeForm (2023). LifeForm Central Venous Cannulation Simulator. Nasco Healthcare. Recuperado de: https://nascoformcareglobal.com/products/f01087?utm_medium=auto&utm_campaign=LifeFormCentralVenousCannulationSimulator

• Wesolowski, A., & Mlynarczak, A. (2019). Surface Tension and Viscosity of Blood. Preprint. Recuperado de: <https://doi.org/10.20944/preprints201907.0090.v1>

• Oglat, A. A., Matiafri, M., Suardi, N., Oglat, M. A., & Abdelrahman, M. A. (2017). A new blood mimicking fluid using propylene glycol and their properties for a flow phantom test of medical doppler ultrasound. *International Journal of Chemistry, Pharmacy & Technology*, 2(5), 220-231. ISSN # 2456-8473

• Perrira, N., Shuai, A. S., Phang, S. W., & Muda, A. S. (2022). Experimental Investigation of Blood Mimicking Fluid Viscosity for Application in 3D-Printed Medical Simulator. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2222. ISSN # 1748-6596

• Simulab (2023). Simulated Arterial Blood (Red Fluid). Simulab Corporation. Recuperado de: <https://simulab.com/products/femoralarterial-red-fluid>

• Thomas, B., & Suman, K. S. (2016). Blood Flow in Human Arterial System-A Review. *Procedia Technology*, 24, 339-346. ISSN # 2212-0173