

PROCESO DE HEMODIÁLISIS EN CO-CORRIENTE Y EN CONTRACORRIENTE DE SANGRE CON NIVELES BAJOS Y ALTOS DE COLESTEROL

Luis Antonio Ramírez Torres, Edtson Emilio Herrera Valencia, Dominga Ortíz Bautista, María Guadalupe Salinas Juárez, Fausto Calderas García

INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en la simulación de un proceso de hemodiálisis en co-corriente y contra-corriente utilizando el programa *COMSOL Multiphysics 6.3*. Para ello, se llevó a cabo una investigación bibliográfica sobre el proceso de hemodiálisis, enfocándose en los fenómenos de transporte como la transferencia de masa y la transferencia de *momentum*. El modelado numérico se realizó con *COMSOL Multiphysics 6.3*, donde se creó un instructivo del uso del programa para flujo en co-corriente, obteniendo datos representados en gráficas 2D del sistema. Se describió analíticamente el proceso de hemodiálisis, teniendo en cuenta las variables dependientes e independientes, así como las ecuaciones de balance aplicables. Al plantear las condiciones de frontera, se logró resolver el sistema de ecuaciones diferenciales parciales no lineales propuesto. Además, se realizó el modelado del sistema para flujo en contra-corriente, considerando la dirección del flujo y algunas constantes físicas. Esto permitió obtener gráficos interesantes y una visualización 2D del sistema para este tipo de corriente. Una vez obtenidas las simulaciones para ambos tipos de flujo, se comparó cuál de ellas es más efectiva en la remoción de creatinina. Los resultados obtenidos de los gráficos de concentración de creatinina se analizaron en detalle en relación con la velocidad promedio de ingreso del líquido dializador.

OBJETIVOS

- Simular numéricamente, utilizando el software *COMSOL Multiphysics 6.3*, el proceso de hemodiálisis para la remoción de creatinina en flujo de co-corriente y contra-corriente en pacientes con sangre de alto y bajo contenido de colesterol reflejado a través de la respuesta reológica, y comparar la disminución de creatinina en ambos casos.

MÉTODO

Transferencia de *momentum*

Lado del permeado

$$0 = \nabla \cdot (\eta(\dot{\gamma})_1 \underline{\dot{\gamma}}_1) + \nabla P_1 - \rho_1 \underline{g}$$

Lado del dializado

$$0 = \nabla \cdot (\eta(\dot{\gamma})_2 \underline{\dot{\gamma}}_2) + \nabla P_2 - \rho_2 \underline{g}$$

Transferencia de masa

Lado del permeado

$$\underline{N}_{A1} = \frac{-CD_{AB1} \nabla x_{A1}}{\text{Ley de Fick}} + \frac{(x_{A1} C_{A1} \underline{v}_{A1} + x_{B1} C_{B1} \underline{v}_{B1})}{T.masa por convección}$$

Lado del dializado

$$\underline{N}_{A2} = \frac{-CD_{AB2} \nabla x_{A2}}{\text{Ley de Fick}} + \frac{(x_{A2} C_{A1} \underline{v}_{A1} + x_{B1} C_{B1} \underline{v}_{B1})}{T.masa por convección}$$

$$\frac{1}{\eta(\dot{\gamma})_i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \left[-(\beta_i \dot{\gamma}_i^2 - \varphi_{0i}) + \left((\beta_i \dot{\gamma}_i^2 - \varphi_{0i})^2 + 4\beta_i \dot{\gamma}_i^2 \varphi_{0i} \right)^{1/2} \right]$$

Modelo BMP

Condiciones de frontera

$$-\underline{n} \cdot \underline{J}_{Ai} = 0 \quad \text{Sin flux de masa en algunas paredes}$$

Coefficiente de partición de la membrana

$$\underline{J}_{A1} = \underline{J}_{A2} \rightarrow K_c = \frac{C_{A1}^1}{C_{A2}^4}$$

Membrana semipermeable

$$\nabla \cdot \underline{J}_{A1} = 0$$

$$\underline{J}_{A1} = -D_{effM} \nabla C_{A1}$$

Figura 1. Esquema del dializador

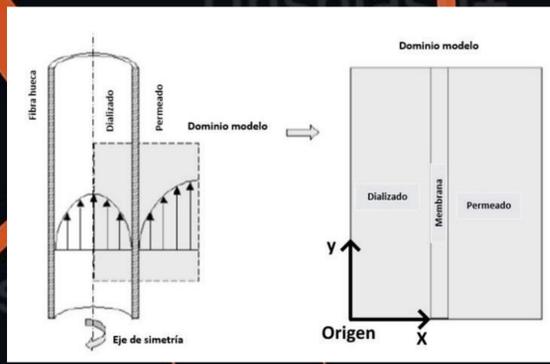


Figura 2. Perfil de concentraciones de la membrana

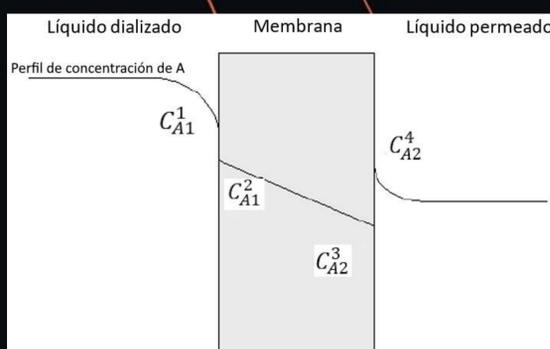


Figura 3. Amplificación de dializador

RESULTADOS

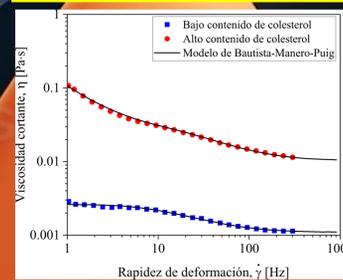


Figura 4. Respuesta reológica y modelado de sangre humana de pacientes con bajo contenido de colesterol y alto contenido de colesterol.

Figura 5. Líneas de corriente, perfil de velocidad y mapa de concentraciones la sangre con alto contenido de colesterol. (A) Co-corriente, (B) Contracorriente.

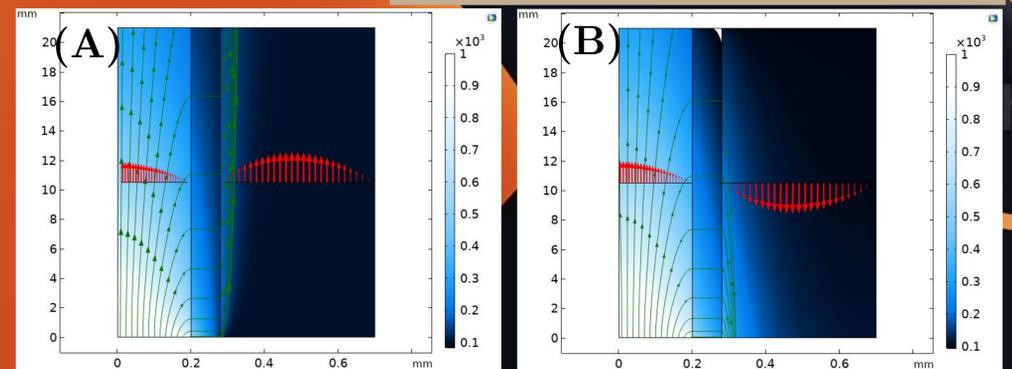


Figura 6. Perfil de concentraciones a la mitad y al final del hemodializador para la sangre con alto contenido de colesterol.

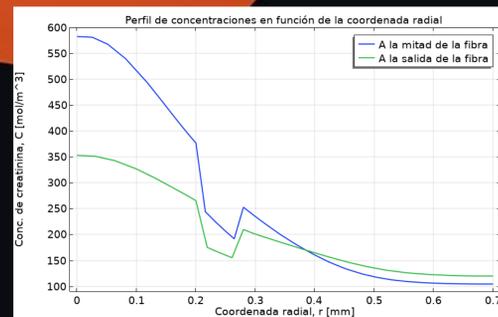
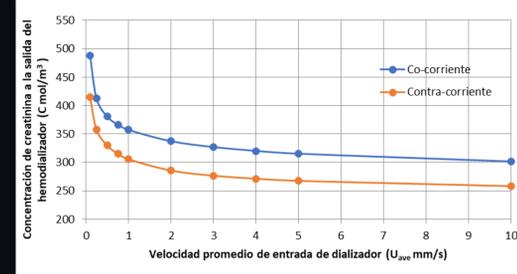


Figura 7. Concentración de creatinina a la salida de la fibra en función de la velocidad de permeado para ambas configuraciones de flujo



CONCLUSIONES

Se observaron ligeros cambios en la morfología de las líneas de corriente al comparar el flujo de ambas sangres; la remoción de creatinina, para ambos casos, fue prácticamente la misma. El proceso de hemodiálisis en contra-corriente remueve una mayor cantidad de creatinina en la sangre y se observó que existe una velocidad de entrada promedio del líquido dializador donde la rapidez de remoción de creatinina es considerablemente menor (≈ 1 mm/s).

AGRADECIMIENTOS

El Dr. EEHV agradece el apoyo financiero de los proyectos PAPIIT y PAPIME No. IN115919 y No. PE116519, respectivamente, provenientes de DGAPA-UNAM. El Dr. LART agradece el préstamo de la licencia de software de *COMSOL Multiphysics 6.2* (licencia # 2108489) que fue fundamental para la realización de este estudio. El Dr. LART desea expresar su agradecimiento a FESZ-UNAM por su apoyo y colaboración en este proyecto con número FESZ-RP/23-204-02.

REFERENCIAS

[1] Vadakedath S, Kandi V. Dialysis: A Review of the Mechanisms Underlying Complications in the Management of Chronic Renal Failure. *Cureus*. 2017 Aug 23;9(8):e1603. doi: 10.7759/cureus.1603. PMID: 29067226; PMCID: PMC5654453.
[2] Moreno, L., Calderas, F., Sanchez-Olivares, G, et al. Effect of cholesterol and triglycerides levels on the rheological behavior of human blood. *Korea-Aust. Rheol. J.* 27, 1–10 (2015). <https://doi.org/10.1007/s13367-015-0001-4>
[3] Barnes, H., A., Hutton, J., F., Walters, K. 1989. An introduction to rheology. Aberystwyth: Elsevier.