

Artículo:

Determinación de la resistencia del medio filtrante y de la torta en un filtro prensa

Determination of the filter medium and cake resistance in a filter press

Jesús-Uriel López-Atondo¹, Jesús-Alberto Báez-Higuera¹, Adalid Graciano-Obeso¹

Revista Interdisciplinaria de
Ingeniería Sustentable y Desarrollo
Social (RIISDS)

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS de Guasave, Sinaloa, México.

* Autor corresponsal: jesus.bh@guasave.tecnm.mx

Recibido: 30 de octubre de 2024
Aceptado: 26 de noviembre de 2024
Publicado: 20 de diciembre de 2024

Publicación anual editada por el
Instituto Tecnológico Superior de
Tantoyuca

Desv. Lindero Tametate, S/N
Col. La Morita
C.P. 92100
Tantoyuca, Veracruz, México.
Teléfono: 789 8931680, Ext.196.

Correo electrónico:
revistadigital@itsta.edu.mx

Sitio WEB
<https://itsta.edu.mx/revistadigital>

ISSN 2448-8003

Editor responsable:
Dr. Horacio Bautista Santos

Copyright: Este artículo es de acceso
abierto distribuido bajo los términos y
condiciones de la licencia Creative
Commons
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Resumen: La filtración es una operación unitaria que consiste en separar el componente sólido insoluble de una suspensión sólido-líquido, haciendo que el líquido pase a través de una membrana porosa. Esta membrana retiene las partículas sólidas, ya sea en su superficie corriente arriba, dentro de su estructura, o en ambas, permitiendo así la separación eficiente de los sólidos del líquido. La investigación se centró en un filtro prensa de placas y marcos para determinar las resistencias del medio filtrante (lona de algodón) y de la torta de sólidos (almidón de maíz), utilizando análisis de regresión lineal simple para la determinación de los parámetros. Los resultados, con valores de resistencia de $1.787 \times 10^{-3} \text{ m kg}^{-1}$ para la torta de sólidos y $3.646 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$ para el medio filtrante, permitirán optimizar el rendimiento del equipo y ajustar sus condiciones de operación en futuros estudios.

Palabras clave: filtración, suspensión, resistencia, torta de sólidos, medio filtrante.

Resumen

La filtración es una operación unitaria que consiste en separar el componente sólido insoluble de una suspensión sólido-líquido, haciendo que el líquido pase a través de una membrana porosa. Esta membrana retiene las partículas sólidas, ya sea en su superficie corriente arriba, dentro de su estructura, o en ambas, permitiendo así la separación eficiente de los sólidos del líquido. La investigación se centró en un filtro prensa de placas y marcos para determinar las resistencias del medio filtrante (lona de algodón) y de la torta de sólidos (almidón de maíz), utilizando análisis de regresión lineal simple para la determinación de los parámetros. Los resultados, con valores de resistencia de $1.787 \times 10^{-10} \text{ m kg}^{-1}$ para la torta de sólidos y $3.646 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$ para el medio filtrante, permitirán optimizar el rendimiento del equipo y ajustar sus condiciones de operación en futuros estudios.

Palabras clave: filtración, suspensión, resistencia, torta de sólidos, medio filtrante.

Abstract

Filtration is a unit operation that involves separating the insoluble solid component from a solid-liquid suspension by passing the liquid through a porous membrane. This membrane retains the solid particles, either on its upstream surface, within its structure, or both, thereby allowing efficient separation of solids from the liquid. The research focused on a plate and frame filter press to determine the resistances of the filter medium (cotton cloth) and the filter cake (corn starch), using simple linear regression analysis to determine the parameters. The results, with resistance values of $1.787 \times 10^{-10} \text{ m kg}^{-1}$ for the filter cake and $3.646 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$ for the filter medium, will help optimize equipment performance and adjust operating conditions in future studies.

Keywords: filtration, suspension, resistance, solids cake, filter medium.

Introducción

La filtración consiste en la separación de partículas sólidas que se encuentran en un medio líquido, haciendo pasar la mezcla a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos (McCabe et al., 1998). Se denomina pre-filtrado a la suspensión sólido-líquido alimentada, filtrado al componente líquido que pasa a través de la membrana, y a la membrana en sí se le conoce como el medio filtrante (Cheremisinoff, 2017). A los sólidos

separados se les llama la torta del filtrado, una vez que forman una capa perceptible en la superficie de la membrana (Geankoplis, 2011). Un filtro prensa consiste en placas y marcos (Sparks, 2012) alternados sostenidos en un soporte y presionados unos contra otros con un mecanismo de cerrado de tornillo o hidráulico (Foust, 2006).

Es necesario al aplicar una fuerza externa al fluido para que éste se sobreponga a la resistencia que le opone a su tránsito el medio filtrante, más la resistencia de la torta que se va acumulando (Valderrama-Bravo et al., 2022).

En las etapas iniciales de la filtración las primeras partículas sólidas que entran en contacto con el medio filtrante se incrustan en éste (Todaro, 1996), y reducen el área superficial de los pasajes por donde fluye el líquido aumentando la resistencia al flujo de éste (Svarovsky, 2001). Conforme procede la filtración una capa de sólidos se acumula aumentando de grosor con el tiempo en la cara corriente arriba del medio filtrante (Prado Alves et al., 2020). Las resistencias del medio filtrante y de la torta (pre-capa) se combinan en una sola resistencia que se denomina la resistencia del filtro (Smith & Giesse, 2002), la cual conviene expresarse en términos de un grosor ficticio de la torta.

Los datos recabados en la investigación fueron analizados en Minitab 18 (Weisberg, 2014), realizando un análisis de regresión lineal simple (Field, 2018) (Kleinbaum et al., 2014) para la obtención de los parámetros de filtración. El uso de modelos de regresión permite identificar las etapas de ensuciamiento y distinguir los mecanismos dominantes, como la adsorción y la formación de capas de ensuciamiento, lo cual es crucial para mejorar la eficiencia de los medios filtrantes y reducir la frecuencia de limpieza en estos sistemas (Xu et al., 2020). Cescon & Jiang, (2020) indican que la regresión lineal puede predecir el rendimiento de estos medios bajo diferentes condiciones operativas en tratamientos de agua potable y destaca cómo los modelos estadísticos son valiosos para optimizar procesos y reducir la carga de partículas que afectan la eficiencia.

Para la investigación se utilizó un equipo de filtración de prensa de placas y marcos tipo Generatoris, donde el objetivo fue determinar la resistencia del medio filtrante (lona de algodón) y la resistencia de la torta de sólidos de filtrado (almidón de maíz), la importancia del conocimiento de estos parámetros permitirá en investigaciones futuras predecir el rendimiento del equipo de filtración, calcular los tiempos óptimos de operación y ajustar las condiciones de operación. Con respecto al conocimiento en la resistencia del medio filtrante

permitirá evaluar la eficiencia del medio, determinar la capacidad del filtro, prevenir problemas operativos en el equipo y seleccionar el medio filtrante adecuado.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Química del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. La Figura 1 muestra el equipo de prensa de placas y marcos utilizado, de la marca Generatoris S.A. de C.V.



Figura 1. Equipo de filtración.

Fuente: Tomado del Manual de operaciones y prácticas TA-FP-120/ EL Generatoris.

La tabla 1, muestra las características del equipo de prensas de placas y marcos para filtración de la marca Generatoris S.A. de C.V.

Tabla 1. Características del equipo de filtración

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Filtro prensa	Marca FYE
	Material de fabricación Acero inoxidable 304
Bomba de alimentación	PEDROLLO CPM 610 0.85 hp
Medio filtrante	Lonas de algodón
Material de las placa	Polipropileno
Numero de cámaras	12
Dimensiones de las placas	250 x250 mm
Diámetro del tanque alimentación	515 mm

Fuente: Tomado del Manual de operaciones y prácticas TA-FP-120/ EL Generatoris.

Para la realización experimental se energizó el equipo y se alimentó el tanque de agitación con 90 L de agua previamente tratada, se adicionó a este 3 kg de almidón de maíz (fécula de maíz) y se mezcló mediante un agitador de hélice incluido en el equipo a 50% correspondiente a 875 RPM. Una vez obtenida la mezcla homogénea, se verificó la correcta alineación de las válvulas en el equipo, abriendo la válvula by-pass para retornar una parte de la mezcla al tanque de alimentación. En la Figura 2, se muestra el equipo en energizado y en marcha.



Figura 2. Equipo para estudio de un filtro prensa energizado. Fuente: Imagen tomada por el autor (2024).

Se colocaron las 7 cámaras en el equipo de filtración y se verificó la correcta instalación de las lonas (medios filtrantes), además se apretó el filtro en primera instancia con el volante hasta el tope en el sentido de las manecillas del reloj para evitar un escurrimiento excesivo en el filtrado. Se puso en marcha la bomba de alimentación y se mediante la válvula regulación posterior a la bomba se controló el flujo que pasaba por el rotámetro, manteniendo la presión constante en el manómetro de $1 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ en la entrada a la cámara y variando el flujo de ser necesario mediante la válvula de regulación.

Se obtuvieron 18 observaciones con volumen de filtrado de 5 L cada una hasta agotar los 90 L del tanque de alimentación que contenía la mezcla, se registraron los tiempos en segundos. En la Figura 3, se muestra la recolección de los volúmenes de filtrado, utilizando 5 probetas de vidrio de 1 L cada una.



Figura 3. Recolección del volumen de filtrado. Fuente: Imagen tomada por el autor (2024).

Ecuaciones de filtración para procesos a presión constante (Geankoplis, 2011).

$$\frac{d}{d} = \frac{\mu c_s}{A^2(-\Delta p)} V + \frac{\mu R_m}{A(-\Delta p)} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde V : es el volumen total de filtrado recolectado en m^3 ; t : es el tiempo en s ; μ : es la viscosidad del agua a temperatura T ; R_m : es la resistencia específica de la torta en m kg^{-1} ; c_s : es la concentración de sólidos en la suspensión en kg m^{-3} , A : es el área de filtración de la prensa de placas y marcos en m^2 ; $(-\Delta p)$: caída de presión en la torta en N m^{-2} ; R_m : es la resistencia del medio filtrante al flujo de filtración en m^{-1} .

$$\frac{d}{d} = K_p V + B \quad \text{Ec. (2)}$$

$$K_p = \frac{\mu c_s}{A^2(-\Delta p)} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$B = \frac{\mu R_m}{A(-\Delta p)} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde K_p se da en unidades de $\text{s}\cdot\text{m}^{-6}$ y B en unidades de $\text{s}\cdot\text{m}^{-3}$.

Con K_p constante, una torta incompresible, a presión constante y manteniendo el flujo variante, se obtiene al resolver la ecuación diferencial Ec. (2):

$$t = \frac{1}{2} K_p V^2 + B \quad \text{Ec. (5)}$$

La ecuación anterior se adecua a un modelo lineal, como:

$$\frac{t}{V} = \frac{1}{2} K_p V + B \quad \text{Ec. (6)}$$

Resultados y discusión

De acuerdo a la Ec. (6) se tiene como variable independiente el volumen, y como dependiente la tasa (t/V). Previo al análisis de regresión lineal simple, se verificó el cumplimiento de algunos supuestos para el análisis como: independencia en los residuos, normalidad en los residuos y homocedasticidad. Para el primer supuesto se utilizó el estadístico de Durbin-Watson de 1.855. En la Figura 4, se muestra la distribución aproximadamente normal en los residuos. En la figura 5, se muestra la variabilidad de los residuos vs los valores ajustados.

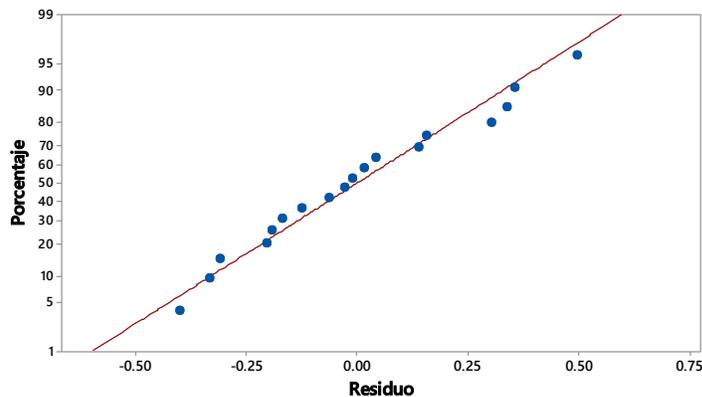


Figura 4. Probabilidad normal en los residuos. Fuente: Los autores (2024).

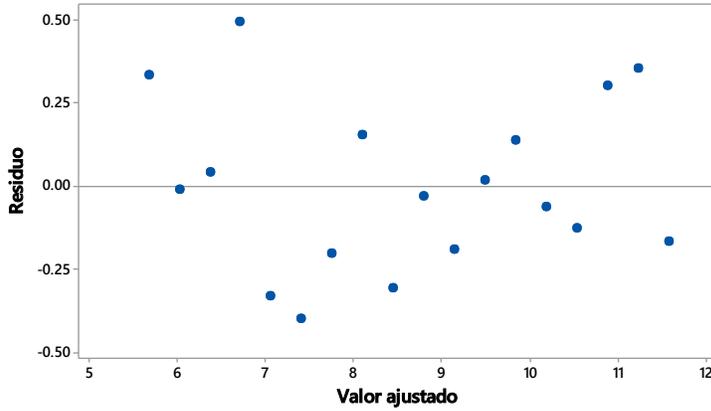


Figura 5. Residuos vs valores ajustados. Fuente: Los autores (2024).

De acuerdo a la Figura 6, que muestra la línea ajustada y el modelo obtenido en Minitab 18, se tiene que para la pendiente en la regresión $K_p/2 = 0.06946 \times 10^6 \text{ s}\cdot\text{m}^{-6}$.

Por tanto, $K_p = 0.13892 \times 10^6 \text{ sm}^{-6}$. Para el intercepto $B = 5.316 \times 10^3 \text{ s}\cdot\text{m}^{-3}$.

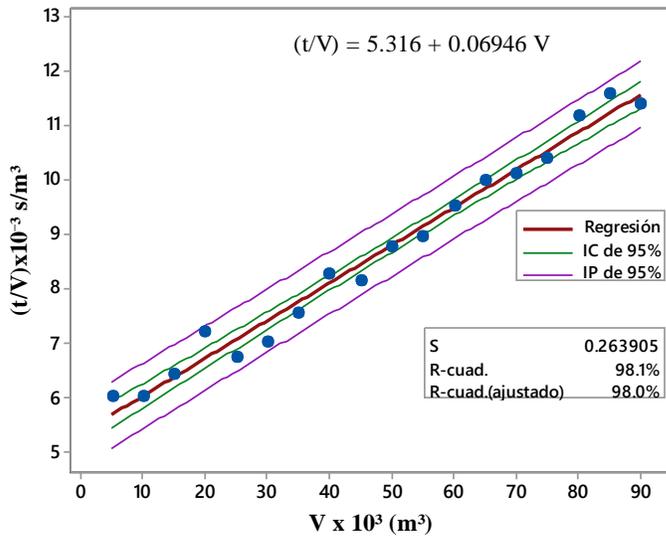


Figura 6. Línea ajustada al modelo lineal. Fuente: Los autores (2024).

Para un $(-\Delta p)$ constante de $1 \text{ kg}_f \text{ cm}^{-2}$ o $98,066.5 \text{ Nm}^{-2}$, y un área de filtración de la prensa de placas y marcos de 0.0625 m^2 . A 298.2 K la viscosidad del agua es $8.937 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Para 3 kg de almidón de maíz en 90 L de agua se tuvo una concentración de sólidos en la suspensión C_s es 33.33 kg m^{-3} .

Resolviendo para t/V en la Ec. (3), y sustituyendo los valores, se obtiene la resistencia específica de la torta.

$$\alpha = 1.787 \times 10^9 \text{ m kg}^{-1} \quad \text{Ec. (7)}$$

Sustituyendo en la Ec. (4) y despejando, se obtiene la resistencia del medio filtrante.

$$R_m = 3.646 \times 10^{10} \text{ m}^{-1} \quad \text{Ec. (8)}$$

Conclusiones

Para la determinación de la resistencia de la torta de sólidos de almidón de maíz y del medio filtrante (lona de algodón), se utilizó un análisis de regresión lineal simple, donde se verificaron los supuestos, encontrando un valor de $1.787 \times 10^9 \text{ m kg}^{-1}$ para la resistencia de sólidos y $3.646 \times 10^{10} \text{ m}^{-1}$ para la resistencia del medio filtrante. El equipo de filtración se mantuvo a presión constante de 1 kgf cm^{-2} y un flujo variable.

Con el valor obtenido para la resistencia de la torta de almidón de maíz en el equipo se realizarán investigaciones futuras para predecir el rendimiento del equipo de filtración, calcular los tiempos óptimos de operación y ajustar las condiciones de operación. Con base al valor obtenido de la resistencia del medio filtrante permitirá evaluar la eficiencia del medio, determinar la capacidad del filtro, prevenir problemas operativos y seleccionar el medio adecuado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Guasave por la disposición del Laboratorio de Ingeniería Química en la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Cescon, A., & Jiang, J. Q. (2020). Filtration process and alternative filter media material in water treatment. *Water*, 12(12), 3377. <https://doi.org/10.3390/w12123377>
- Cheremisinoff, N. P. (2017). 2—Industrial liquid filtration equipment. En P. J. Brown & C. L. Cox (Eds.), *Fibrous Filter Media* (pp. 27-50). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100573-6.00003-4>
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th edition). SAGE.

- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., & Bryce Andersen, L. (2006). *Principios de operaciones unitarias*.
- Geankoplis, C. J. (2011). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación: (Incluye operaciones unitarias)* (4a. ed). Grupo Editorial Patria.
- Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Nizam, A., & Rosenberg, E. S. (2014). *Applied regression analysis and other multivariable methods* (Fifth edition). Cengage Learning.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1998). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (4a ed). McGraw-Hill.
- Prado Alves, G., Almeida Rocha, B., Ferreira Nunes, I., Brumano Coelho Amaral, I., & Barbosa Reis, A. (2020). Construção de um módulo filtro prensa e avaliação do funcionamento por meio da eficiência de filtração. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 6(4), 0474-0479. <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss4pp0474-0479>
- Smith, W. C., & Giesse, R. C. (2002, mayo 1). *Design for Filtration Equipment* (world). ACS Publications; American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ie50619a022>
- Sparks, T. (2012). Solid-liquid filtration: Understanding filter presses and belt filters. *Filtration + Separation*, 49(4), 20-24. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(12\)70193-3](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(12)70193-3)
- Svarovsky, L. (2001). 9—Filtration fundamentals. En L. Svarovsky (Ed.), *Solid-Liquid Separation (Fourth Edition)* (pp. 302-334). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-075064568-3/50034-1>
- Todaro, C. L. (1996). 6—Filtration. En H. C. Vogel & C. L. Todaro (Eds.), *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook (Second Edition)* (pp. 242-270). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-081551407-7.50009-X>

Valderrama-Bravo, C., Fuentes-Prado, E., Porras-Godínez, M. R., Ramírez-Ortiz, M. E., Reyna-Granados, M. A., & Gutiérrez-Cortez, E. (2022). Mechanical separation of a nixtamalization by-product (nejayote) and scaling of filtration conditions from a pilot filter to a press filter of higher area. *Journal of Food Engineering*, 328, 111058. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111058>

Weisberg, S. (2014). *Applied linear regression* (Fourth edition). Wiley.

Xu, H., Xiao, K., Yu, J., Huang, B., Wang, X., Liang, S., Wei, C., Wen, X., & Huang, X. (2020). A simple method to identify the dominant fouling mechanisms during membrane filtration based on piecewise multiple linear regression. *Membranes*, 10(8), 171. <https://doi.org/10.3390/membranes10080171>