

# Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Fecha de Recepción: 5 Julio 2023

Fecha de corrección: 12 septiembre 2023

José Miguel Ramírez Godínez<sup>1</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo primordial el diseño, construcción y puesta en marcha de un intercambiador de masa de película húmeda dentro de las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias “Dr. Pedro Solé Castellanos”, Facultad de Ingeniería, USAC. La altura efectiva de transferencia por diseño fue de 2.44 m, en donde las fases L y G entran en contacto en un tubo de vidrio de 2 pulg de diámetro. El desempeño fue evaluado bajo un flujo másico constante promedio de 7.494E-4 kg/s, y en un rango  $L/G= 6.8-1194.3$ , a diferentes flujos de la fase líquida. Gracias a la turbulencia en las fases, los coeficientes mostraron un incremento para el sistema de absorción oxígeno-agua. Se necesitaría sólo un 16.86 % del flujo de inundación del gas (0.037 kg/s) para alcanzar la concentración de equilibrio  $X_{O_2}=4.03E-4$ , bajo el flujo mínimo por diseño de la fase líquida, aunque esto difiere con la condición de la mejoría de transferencia con el aumento de L. Para el flujo máximo de la fase líquida por diseño, se necesitaría de 811.87 % al flujo másico de inundación, por lo que no podría alcanzarse el equilibrio. El costo total de construcción fue de Q37,404.98.

**Palabras clave:** Absorción, sistema bifásico, equilibrio dinámico, coeficiente de transferencia de masa

## ABSTRACT

The main purpose of this project was the design, construction and startup of a mass exchanger of wetted wall column within the facilities of the Laboratory of Unit Operations “Dr. Pedro Solé Castellanos”, Faculty of Engineering, University of San Carlos of Guatemala. The effective transfer height by design was 2.44 m, in which the L and G phases came into contact in a 2-inch diameter glass tube. The performance was evaluated according to an average constant mass flow rate of 7.494E-4 kg/s, and in a rank  $L/G= 6.8-1194.3$ , to different liquid phase flows. Due to the turbulences of the phases, the coefficients showed an increase for the oxygen-water absorption system. Only 16.86% of the gas flooding flow (0.037 kg/s) would be needed to reach the equilibrium concentration  $X_{O_2}=4.03E-$

4, under the minimum flow by design of the liquid phase, though this differs from transfer improvement condition with the increase of L. For the maximum flow of the liquid phase by design, 811.87 % of flooding mass flow rate would be needed; therefore, equilibrium would not be able to be reached. The total construction cost was Q37,404.98 [Guatemala currency].

**Palabras clave:** Absorción, sistema bifásico, equilibrio dinámico, coeficiente de transferencia de masa.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la transferencia de masa ha sido de interés por muchos años en el ámbito de la Ingeniería, el comportamiento en el interior de tubos circulares entre fluidos no ha sido la excepción, especialmente para la separación de componentes en una corriente de gas o líquido, muchos adelantos se han descubierto a raíz de la construcción de torres que han ayudado a dichos estudios. Una torre de pared mojada es un equipo muy utilizado para la demostración e investigación de diferentes fenómenos ocurridos en la transferencia de masa en régimen turbulento, han sido de gran utilidad para la construcción de torres empacadas a nivel industrial. La torre de pared mojada consta de un tubo de diámetro conocido vertical, en donde se hace pasar un líquido, por acción de la fuerza de gravedad, en forma de película descendente en las paredes interiores del tubo desde la parte superior, gas inerte entra a la misma vez desde la parte inferior del equipo y a contracorriente, al dar como resultado un contacto directo entre los dos fluidos.

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

En este caso no hay ecuaciones de diseño específicas previas a la construcción del equipo, ya que se dejó a la altura del tubo de vidrio que fue proporcionado en el laboratorio y demás suministros que se adaptaron para culminar la construcción de la unidad, debido a que se dejó como recurso didáctico-investigativo. Se llevaron a cabo técnicas cuantitativas para verificar el funcionamiento y operación óptimos para los

<sup>1</sup> Ingeniero Químico, Investigador Principal, Ingeniería USAC, Ingeniería Química, Campus Central, Guatemala, jmrg87@gmail.com

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias "Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

sistemas, el propósito de estas técnicas fue el obtener tendencias gráficas que describan al sistema en su funcionamiento bajo diferentes variables, de la mano también con la relación matemática de cada una de las relaciones.

**MATERIALES**

Figura 1. Materiales utilizados para la construcción del IDM de Película Húmeda (secciones principales).

PARTE	MATERIAL
ESTRUCTURA METÁLICA	HIERRO NEGRO
ESCALERAS METÁLICAS	HIERRO NEGRO
TUBO DE VIDRIO 2 " DE DIÁMETRO	BOROSILICATO
TUBO DE VIDRIO 1" DE DIÁMETRO	BOROSILICATO
TUBOS DE VIDRIO REBOSADEROS 6" DIÁMETRO	BOROSILICATO
CONTENEDORES RECEPTORES DE AGUA	HDPE
TUBERÍA SUCCIÓN Y DESCARGA DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	PVC
EMPAQUES EN TORRE EMPACADA	CPVC
TUBERÍA ENTRADA Y SALIDA AIRE TORRE PARED HÚMEDA	HIERRO GALVANIZADO
TAPONES Y TAPADERAS DE REBOSADEROS	NYLON ERTALON

Fuente: elaboración investigador principal

Figura 2. Especificaciones técnicas del IDM de Película Húmeda.

TORRE DE PELÍCULA HÚMEDA	
Diámetro	0.0508 m
Atura	2.44 m
TORRE EMPACADA	
Diámetro	0.0254 m
Altura	2.80 m
SECCIÓN DE CALMA INFERIOR	
Tramo	0.36 m
SECCIÓN DE CALMA SUPERIOR	
Tramo	0.23 m
GENERAL	
Temperatura máxima	333.15 K
Alimentación eléctrica	120 V, 60 Hz, monofásica
Capacidad de los tanques de almacenamiento	0.0577 m <sup>3</sup>
Especificaciones de las bombas centrífugas	Q = 6.6 E-4 m <sup>3</sup> /s, H máx= 40 m, HP= 0.5, Hz= 60
DIMENSIONES TOTALES DEL EQUIPO	
Altura máxima	3.58 m
Ancho	3.34 m
Profundidad	1.10 m
Área de instalación	3.674 m <sup>2</sup>

Fuente: IDM Película Húmeda, USAC.

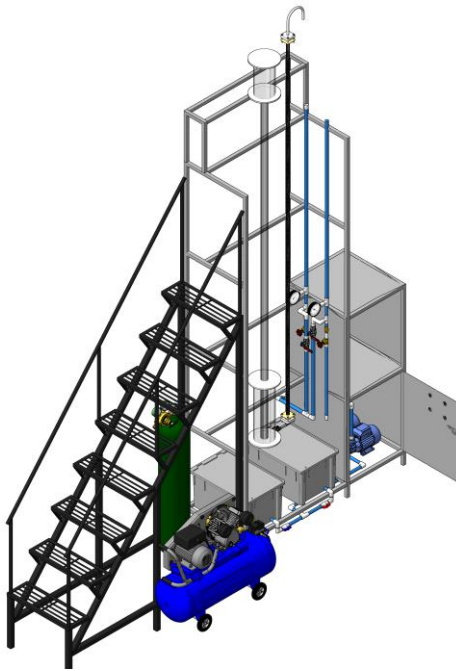
**PROCEDIMIENTOS**

Figura 3. Diagrama general vista isométrica IDM Película Húmeda.

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

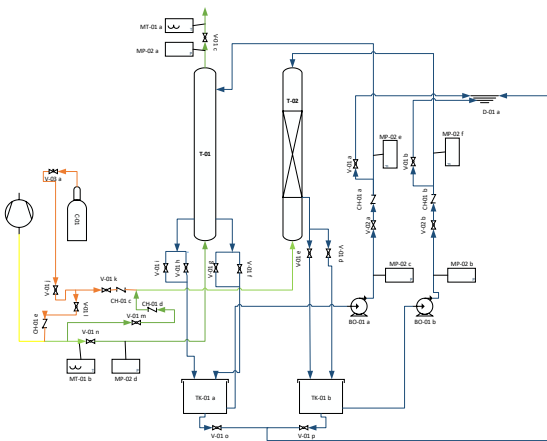
Fecha de Recepción: 5 Julio 2023

Fecha de corrección: 12 septiembre 2023



Fuente: IDM película húmeda, Laboratorio de Operaciones Unitarias “Dr. Pedro Solé Castellanos”

Figura 4. Diagrama de proceso configuración en recirculación de las torres.



Fuente: elaboración investigador principal

Figura 5. Codificación de diagrama de proceso.

CÓDIGO	SIGNIFICADO
--------	-------------

T-01	Torre de película húmeda
T-02	Torre empacada
MT-01	Termómetro
MP-02	Manómetro
C-01	Cilindro de gas N2
CO-01	Compresor de aire
D-01	Drenaje
TK-01	Tanques de almacenaje líquido
BO-01	Bomba centrífuga para líquido
CH-01	Válvula antirretorno
V-01	Válvula de globo
V-02	Válvula de compuerta
V-03	Válvula reguladora de gases

Fuente: elaboración investigador principal

Figura 6. Líneas de fluidos en diagrama de proceso.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Línea de agua fría
	Línea de aire
	Línea de gas
	Línea de mezcla aire-gas

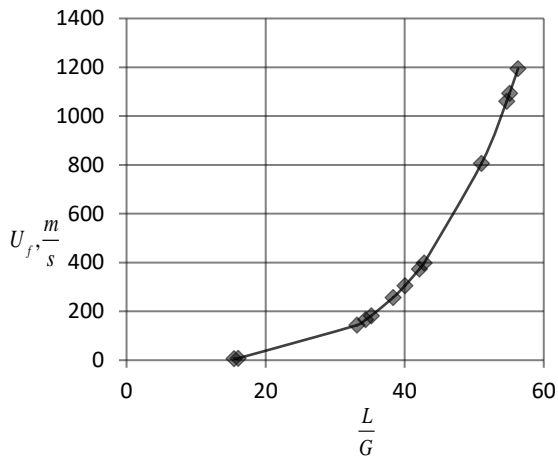
Fuente: elaboración investigador principal

**RESULTADOS Y DISCUSION**

Figura 7. Velocidad de inundación en IDM de Película Húmeda.

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

Fecha de Recepción: 5 Julio 2023

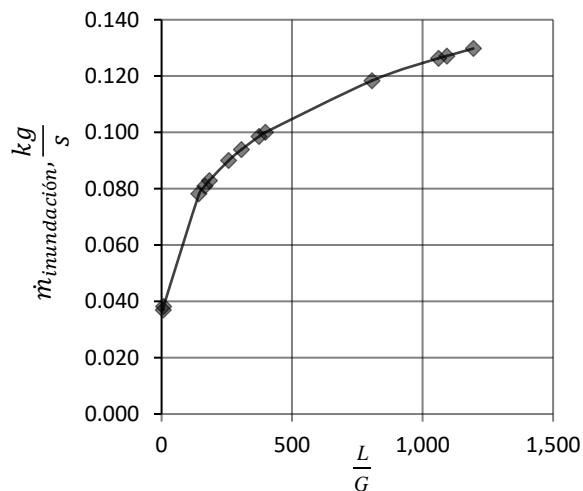


Fuente: elaboración investigador principal

$$U_f = 0.0001 \left( \frac{L}{G} \right)^4$$

$$R^2 = 1$$

Figura 8. Flujo másico de inundación en IDM de Película Húmeda.



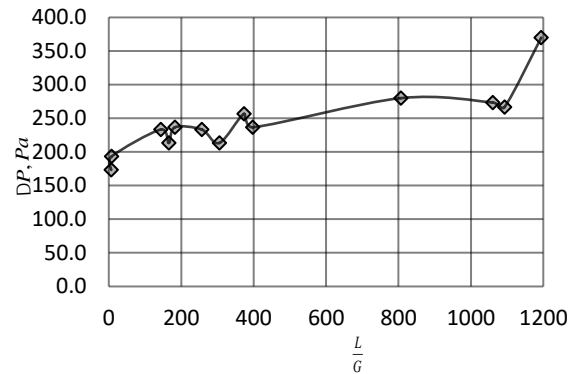
Fuente: elaboración investigador principal

$$\dot{m}_{inundación} = 0.0232 \left( \frac{L}{G} \right)^{0.2437}$$

$$R^2 = 0.9999$$

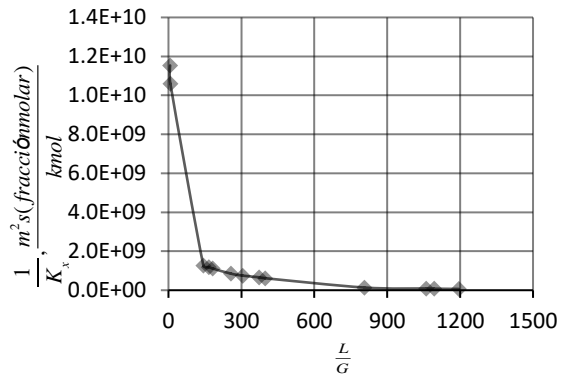
Figura 9. Caída de presión IDM de Película Húmeda.

Fecha de corrección: 12 septiembre 2023



Fuente: elaboración investigador principal

Figura 10. Resistencia global de TDM fase líquida respecto a L/G en IDM Película Húmeda proceso de absorción.

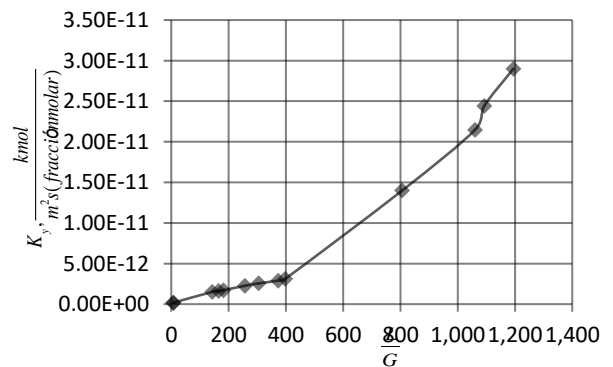


Fuente: elaboración investigador principal

$$\frac{1}{K_g} = 6 \times 10^{-7} \left( \frac{L}{G} \right)^6 - 0.0022 \left( \frac{L}{G} \right)^5 + 3.2982 \left( \frac{L}{G} \right)^4 - 2428.3 \left( \frac{L}{G} \right)^3 + 905535 \left( \frac{L}{G} \right)^2 - 2 \times 10^8 \left( \frac{L}{G} \right) + 1 \times 10^{10}$$

$$R^2 = 0.9978$$

Figura 11. Coeficiente global convectivo de TDM fase gaseosa respecto a L/G en IDM Película Húmeda proceso de absorción.



Fuente: elaboración investigador principal

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

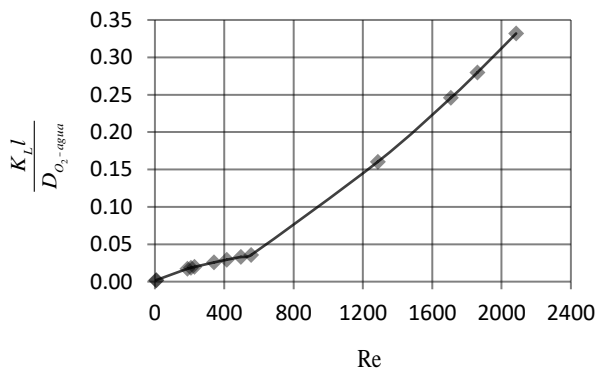
**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

$$K_y = 3 \times 10^{-29} \left(\frac{L}{G}\right)^6 - 3 \times 10^{-27} \left(\frac{L}{G}\right)^5 - 2 \times 10^{-22} \left(\frac{L}{G}\right)^4 + 3 \times 10^{-19} \left(\frac{L}{G}\right)^3 + 2 \times 10^{-14} \left(\frac{L}{G}\right)^2 + 1 \times 10^{-9} \left(\frac{L}{G}\right) + 1 \times 10^{-4}$$

$$m_{op} = 12700 = \left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{op}$$

$$R^2 = 0.9988$$

Figura 12. Relación entre el número de Sherwood y número de Reynolds fase líquida proceso de absorción.

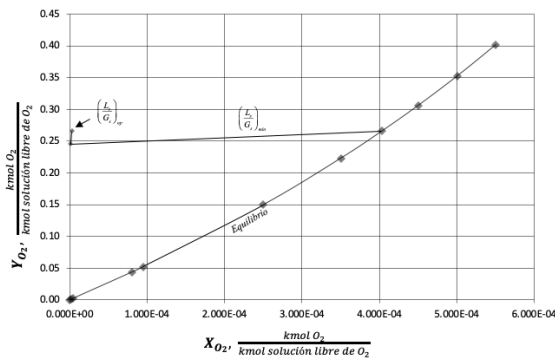


Fuente: elaboración investigador principal

$$\frac{K_L l}{D_{O_2-agua}} = Sh = 6 \times 10^{-17} Re^5 - 3 \times 10^{-13} Re^4 + 6 \times 10^{-10} Re^3 - 4 \times 10^{-7} Re^2 + 0.0001 Re + 0.0009$$

$$R^2 = 0.9999$$

Figura 13. Línea de operación y equilibrio del proceso de absorción para flujo mínimo de película



Fuente: elaboración investigador principal

$$m_{mín} = 51.59 = \left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{mín}$$

Bajo  $G_s = 1.15 \times 10^{-5}$ , flujo másico operativo

$$(\dot{m}_G)_{op} = 7.91 \times 10^{-7} \frac{kg}{s} \quad \text{constante,}$$

$$\left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{mín} = 5.94 \times 10^{-4}, \quad \left(\dot{m}_L\right)_{mín} = 9.90 \times 10^{-7} \frac{kg}{s},$$

por lo tanto, la relación  $\frac{\left(\dot{m}_L\right)_{op}}{\left(\dot{m}_L\right)_{mín}} = 245.67$

Bajo  $L_s = 0.15$  que es el flujo mínimo de formación de película en el equipo, entonces,

$$\left(G_s\right)_{mín} = 0.0028, \quad \left(\dot{m}_G\right)_{mín} = 0.0062 \frac{kg}{s},$$

$$\frac{(\dot{m}_G)_{mín}}{(\dot{m}_G)_{op}} = 7864 \cdot 65$$

En relación con el flujo másico de inundación en la torre se obtuvo:

$$\text{Para } (\dot{m}_G)_{inundación} = 0.0368 \frac{kg}{s}$$

$$\frac{\left(\dot{m}_G\right)_{mín}}{\left(\dot{m}_G\right)_{inundación}} * 100 = 16.86\%$$

Para flujo másico máximo por diseño:

$$m_{mín} = 51.67 = \left(\frac{L_s}{G_s}\right)_{mín}$$

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

$$m_{op} = 1.23 \times 10^6 = \left( \frac{L_s}{G_s} \right)_{op}$$

$$\frac{\left( \frac{L_s}{G_s} \right)_{op}}{\left( \frac{L_s}{G_s} \right)_{mín}} = 43133.15$$

Bajo  $G_s = 1.15 \times 10^{-5}$ ,  $\left( L_s \right)_{mín} = 5.94 \times 10^{-4}$ ,

$$\left( \dot{m}_L \right)_{mín} = 1.72 \times 10^{-6} \frac{kg}{s}, \text{ por lo tanto, la relación}$$

$$\frac{\left( \dot{m}_L \right)_{op}}{\left( \dot{m}_L \right)_{mín}} = 43108.32$$

Bajo  $L_s = 25.6$  que es el flujo máximo de formación de película en el equipo, entonces,  $\left( G_s \right)_{mín} = 0.4954$ ,

$$\left( \dot{m}_G \right)_{mín} = 1.05 \frac{kg}{s}, \frac{\left( \dot{m}_G \right)_{op}}{\left( \dot{m}_G \right)_{mín}} = 1.38 \times 10^6$$

En relación con el flujo másico de inundación en la torre se obtuvo:

$$\frac{\left( \dot{m}_G \right)_{mín}}{\left( \dot{m}_G \right)_{inundación}} * 100 = 811.87\%$$

La velocidad de inundación (Figura 6) por cada uno de los valores L/G fue distinto, ya que el grosor de la película descendente mostró un incremento con el aumento del flujo de la fase líquida, por lo tanto, también es evidente la necesidad de una cantidad

de aire mayor para poder llegar a la inundación. Se necesitaría un máximo de 1194.3 m/s de velocidad de inundación (0.130 kg/s como flujo másico) de la fase gaseosa dentro de la torre, con el máximo L/G=56.3 de operación, esto es equivalente solamente a un 0.58 % del flujo de inundación de la torre para la condición máxima de operación, y 2.11% para la condición mínima L/G= 6.8 de operación. En la Figura 8 se puede apreciar caídas de presión con un leve aumento, con el aumento también de L/G, en un rango entre 170 a 370 Pa para la caída, ya que la película formada reduce ligeramente el diámetro de paso de la fase gaseosa, se le suma también las pérdidas por fricción de contacto entre fases. En general, las pérdidas de energía en la parte de la fase gaseosa fueron pequeñas.

Mientras que la resistencia global mostró una disminución con el aumento de L/G calculado para cualquiera de las dos fases, el coeficiente global presentó tendencia creciente con el aumento de L/G, mostrando datos muy pequeños para los coeficientes y datos muy grandes para las resistencias, como se puede apreciar en las Figuras 9 y 10. Aunque para mejorar los coeficientes es necesario aumentar G considerablemente, a un punto cercano de la velocidad de inundación del gas para el intercambiador. En la Figura 11 se describe Sh, en éste se notó un incremento respecto al aumento de Re, sin embargo no superó la unidad, por lo tanto en la experimentación del proceso de absorción de oxígeno en el agua, la contribución a la transferencia de masa por medios naturales fue mayor que por medios convectivos, o difusión en remolino como también es llamado, aunque se haya llegado a un estado turbulento en el fluido, se le atribuye a que la resistencia es muy elevada en la fase líquida, si estos fueran elevados, podría elevarse también el número de Sherwood, ya que el largo de la torre por diseño no puede ser cambiado.

Para poder llegar al equilibrio (Figura 12) XO<sub>2</sub>=, si se utilizara el menor flujo en la fase líquida libre de O<sub>2</sub> de operación de la unidad para la formación de la película ( $L_s = 0.15$ ), se necesitaría un flujo de aire libre de O<sub>2</sub> de  $\left( G_s \right)_{mín} = 0.0028$ , equivalente

$$\text{a } \left( \dot{m}_G \right)_{mín} = 0.0062 \frac{kg}{s}, \text{ con una relación de}$$

# Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

7864.65 veces por encima del flujo del gas que se utilizó durante la experimentación ( $\dot{m}_G$ ) =  $7.91 \times 10^{-7} \frac{kg}{s}$ , por lo que teóricamente equivale a un 16.86 % del flujo másico de inundación en la unidad para el flujo másico mínimo de la fase líquida de diseño. Bajo condiciones máximas por diseño de flujo de la fase líquida, se necesitaría un 811.87% del flujo de inundación del gas para ese flujo de la fase líquida de operación, por lo que no sería posible trabajar bajo las condiciones de operación mínimas para este caso, especialmente trabajar con tal flujo de aire bajo la limitante de la inundación en la torre por diseño.

Se debe tomar en cuenta que los resultados de los coeficientes globales de transferencia en la fase líquida fueron afectados por la turbulencia en la misma fase, por lo que no necesesariamente al hacerse una película más delgada aumentaría la absorción del oxígeno en el agua.

## CONCLUSIONES

1. Solamente se alcanzó un 2.11 % del flujo de la fase gaseosa de operación en relación con el flujo de inundación en el equipo.
2. Las pérdidas de energía en la unidad de transferencia de masa fueron relativamente pequeñas, con valores en un rango de 170 a 370 Pa.
3. El incremento de L/G tuvo efecto directo sobre el coeficiente global de TDM, aumentando sus valores, sin embargo, los valores de los mismo fueron muy pequeños.
4. No se alcanzó el dominio de la transferencia de masa por medios convectivos, se llegó a un valor máximo de  $Sh = 0.3319$ , pudiendo ser aumentado con el ajuste de velocidades superficiales más altas de la fase gaseosa que las registradas en la experimentación.
5. Bajo las condiciones mínimas y máximas de operación, se determinó que se necesitaría un 16,86% y 811.87% respectivamente de flujo másico de la fase gaseosa en relación con el flujo de inundación en el equipo para poder llegar al equilibrio.

## AGRADECIMIENTOS

**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

Oracio Ramírez, por sus valiosas aportaciones e ideas proporcionadas para el desarrollo de esta investigación.

Jorge Emilio Godínez, por su excelente labor como ingeniero asesor del presente artículo científico.

Laboratorio de Operaciones Unitarias “Dr. Pedro Solé Castellanos”, por la ayuda y apoyo brindado por parte de todo el personal a cargo.

USAC, Escuela Ingeniería Química, por abrirme las puertas al prestigio y profesionalismo, por brindarme el aprendizaje y formación de todo conocimiento teórico-práctico relacionado a tan respetable carrera universitaria.

Mis revisores, los profesionales Otto Raúl de León y Williams Álvarez, por la guía y sabios consejos proporcionados para la culminación del presente trabajo de investigación.

## BIBLIOGRAFIA

- Bird Byron, Stewart, Warren, Lightfoot, Edwin. Fenómenos de Transporte. 2ª edición. México: Editorial Limusa Wiley, 2006, pp. 599-627.
- Fernández, José; Chen, William. Diseño y Evaluación de Una Torre Empacada de Desorción. Parcial de Transferencia de Masa, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela Química. Caracas, 2005.
- Geankoplis, C. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3ª edición. México: Compañía Editorial Continental, S.A de C.V. México, 1998, pp. 474-532.
- Gutiérrez, C. Mans; Costa, J. Diseño de Columnas de Paredes Mojadas. Universidad de Barcelona, Facultad de Química, Departamento de Química Técnica. 1987.
- McCabe, L. Warren, Smith, C. Julian y Harriott, Peter. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 7ª edición. México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de CV, 2007, pp. 569-611.
- Perry, H. Robert; Green, W. Don; Maloney, O. James. Manual de Ingeniero Químico, sexta edición (tercera edición en español), McGraw-Hill, pp. 14-6 a 14-43, 18-46 a 18-48.

**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

- Ramos, Jorge. Montaje de una Torre de Paredes Mojadas para Realizar Prácticas de Transferencia de Masa. Trabajo de graduación presentado para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades, Departamento de Ingeniería Química, Guatemala 1997, pp. 1-237.
- Suarez-García; Susial, P. Construcción y Pruebas en una Torre de Paredes Mojadas [en línea]. Revista “Ingeniería Química”, No. 419. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Las Palmas de Gran Canarias, 2004. [Ref. 13-20 de febrero 2016]. Disponible en Internet: [http://www.researchgate.net/publication/275018818\\_Construccion\\_y\\_Pruebas\\_en\\_una\\_Torre\\_de\\_Paredes\\_Mojadas](http://www.researchgate.net/publication/275018818_Construccion_y_Pruebas_en_una_Torre_de_Paredes_Mojadas), pp. 102-109.
- Torres, Héctor. Diseño, construcción y Puesta en Marcha de Equipos para la Determinación de Difusividades y Coeficientes Individuales de Transferencia de Masa. Trabajo especial de grado para la carrera de ingeniería química, Universidad Central de Venezuela, Caracas 2007, pp. 1-73.
- Treybal, E. Robert. Operaciones de Transferencia de Masa. 2ª edición, McGraw Hill, México, 2004, pp. 1-140; 157-247.
- Walpole, Ronald E; Myers, Raymond H.; Myers, Sharon L.; YE, Keying. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 8va ed. México: Pearson Educación, 2007. P.p. 9,10
- Welty, R. James; Wicks, E. Charles; Wilson, E. Robert. Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa. Sexta reimpresión. México, D.F. Editorial Limusa, S.A de C.V. 1994, pp.533-771.
- Wong, R., & Whittingham, E. (2006). *A Comparison of Combustion Technologies for Electricity Generation* (2a. ed.). Canada: The Pembina Institute.
- Catalogo del Empaque. (Diciembre de 2018). *Catalogo del empaque*. Obtenido de Catalogo del empaque: <https://www.catalogodeempaques.com/temas/Industria-latinoamericana-de-envases-como-se-comportara-el-2019+128769?pagina=4>
- Goswami, Y., & Kreith, F. (2008). *Energy Conservation*. United States of America: CRC Press.
- Horlock, J. (2002). *Combined Power Plants*. Florida: John Wiley & Sons, Inc.
- Horlock, J. (2010). *Combined Power Plants*. EEUU, Florida: Editorial Krieger Publishing Company.
- Leppard, S. (2002). Options and Options Valuation Techniques. *Ronn E. (ed) “Real Options and Energy Management”, Risk Books*, 61-113.
- Oilnergy. (2008). *Natural Gas Price*. Recuperado el 14 de octubre de 2008, de <http://www.oilnergy.com/1gnymex.htm#year>
- Potter, M., & Scott, E. (2004). *Thermal Sciences*. United States of America: Thomson.
- Raja, A., Srivastava, R., & Dwivedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*. New Dehli: New Age International.
- Rajput, E. (2013). *Power Plant Engineering* (Fourth Edition ed.). New Delhi: Laxmi Publications.
- Rayaprolu, K. (2009). *Boilers for Power and Process*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Rost, J., & Seed, A. (23 de Marzo de 2018). *Una industria de envasado metálico sostenible*. Obtenido de [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net): <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/220014-Una-industria-de-ensado-metalico-sostenible.html>
- Smithers. (Diciembre de 2020). *Smithers*. Obtenido de COVID-19 boosts food and beverage sectors of metal packaging and coatings market, Smithers study finds: <https://www.smithers.com/resources/2020/dec/covid-19-boosts-food-beverage-metal-packaging>
- Smithers Pira. (Febrero de 2018). *The future of packagin trends*. Obtenido de <https://www.smitherspira.com/resources/2018/february/the-future-of-packaging-trends>
- Tecnobebidas. (21 de Diciembre de 2019). *Cinco tendencias que están incrementando la demanda de envases metálicos*. Obtenido de Tecnobebidas: <https://www.tecnobebidas.com/articulo/21956/>
- Thuman, A., & Dunning, S. (2008). *Guide to Energy Conservation* (Ninth Edition ed.). New York: Fairmont Press, Inc.
- Totten, G., & Mackenzi, S. (2000). *Handbook of Aluminium: Physical Metallurgy and*



**Diseño, construcción y puesta en marcha de intercambiador de masa de película húmeda en el laboratorio de operaciones unitarias “Dr. Pedro Solé de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Fecha de Recepción: 5 Julio 2023**

**Fecha de corrección: 12 septiembre 2023**

*Process* (Vol. volumen 1). New Dehli: Atlantic.

Vanek, F., & Albright, L. (2008). *Energy Systems Engineering: Evaluation & Implementation*. New York: Mc Graw Hill.

Cao, E. (2009). *Heat Transfer*. United States of America: Mc Graw Hill.

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de Calor y Masa - Fundamentos y Aplicaciones*\_. México: Mc Graw Hill.

Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harker, J. (2004). *Chemical Engineering* (Vol. 1). Great Britain: Elsevier. ISBN 0 7506 4444 3

Ganapathy. (1988). *Applied Heat Transfer*. EEUU: PennWell. ISBN 0 87814 182 0

Geankoplis, C. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles* (Fourth ed.). Delhi: PHI Learning. ISBN 978 81 203 2614 9

Holman, J. (1998). *Transferencia de Calor*. Madrid: Mc Graw Hill.

McCabe, W., C. Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química* (Séptima ed.). China: Mc Graw Hill. ISBN 0-07-284823-5