

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE UN INTERCAMBIO DE CORAZA Y TUBOS

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE OVERALL HEAT TRANSMISSION COEFFICIENT BETWEEN A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Wilder Efrain Eufrazio Arias²¹ y Elías Adrián Sanabria Pérez

RESUMEN

El fin de la presente investigación, es evaluar el coeficiente global de transmisión de calor de un intercambiador de calor de coraza y tubo experimentalmente. Los resultados obtenidos del coeficiente global se analizaron mediante los grupos adimensionales de las variables que intervienen en el intercambio de calor. Para ello, se han realizado experimentos de calentamiento de agua con vapor de agua en un intercambiador de coraza y tubo. Además, se ha realizado el agrupamiento de las variables que intervienen en el intercambio de calor, utilizando el método de repetición de variables y el teorema Pi de Buckingham. Con los resultados y los grupos adimensionales, se realizó el análisis de regresión en forma independiente del grupo adimensional de interés con los demás que varían. Se ha observado que el coeficiente global de transmisión de calor se modifica con la diferencia de temperaturas de los fluidos frío y caliente. Y, el valor mínimo es 1041 W/m²°C, el máximo 4870 W/m²°C, y el promedio 3102 W/m²°C. Además, se observó que los grupos adimensionales que contienen a las variables del fenómeno de transferencia en el intercambiador, varían con una relación aceptable.

Palabras clave: calor, transmisión, coeficiente, análisis, dimensional.

ABSTRACT

The purpose of this research is to experimentally evaluate the overall coefficient of heat transfer

between a shell and a tube exchanger. The results of the overall coefficient were analyzed using the dimensionless groups of variables involved in the heat exchange. Experiments were carried out by heating water with steam in a shell and tube exchanger. In addition, the variables involved in the heat exchange were grouped using the method of repeating variables and Buckingham Pi theorem. With the results and the dimensionless groups, independent regression analysis of the dimensionless groups of interest to others that vary were conducted. It was observed that the overall coefficient of heat transmission changes with temperature difference of hot and cold fluids. And the minimum value is 1041 W/m² °C, the maximum 4870 W/m² °C, and the average 3102 W/m² °C. In addition, we observed that the dimensionless groups that contain the variables of the phenomenon of transfer in the heat exchanger vary within an acceptable range.

Key words: (heat transmission coefficient, analysis, dimensional)

INTRODUCCIÓN

En los procesos de transferencia de calor entre fluidos, a través de un intercambiador de calor, influyen muchos factores que determinan la velocidad de intercambio de calor. Uno de aquellos factores, es el coeficiente global de transmisión de calor, el cual se modifica con la forma geométrica del equipo, naturaleza del material del que está construido, naturaleza de las sustancias que se manejan y, la temperatura.

²¹ wilderefrain@yahoo.com

El coeficiente global es necesario para calcular las condiciones de ingreso y/o salida de los fluidos, también para realizar el dimensionamiento de intercambiadores de calor, y es un factor que caracteriza la rapidez de la transferencia de calor en un intercambiador.

Para conocer el valor del coeficiente global de un intercambiador particular, es necesario realizar pruebas experimentales de transferencia de calor. En estas pruebas se deben modificar las condiciones de los fluidos, y si existe la posibilidad las características del intercambiador; con todo esto, y mediante balance de energía, se determina el coeficiente global. Pero dada la cantidad de variables que intervienen en el proceso de transferencia, el número de experimentos es bastante elevado. Además otra desventaja es que con estos resultados no se podrá predecir valores del coeficiente global a otras condiciones distintas del que se experimentó.

Una herramienta conocida como análisis dimensional, ayuda bastante en este tipo de problemas para disminuir el número de experimentos a realizar; así como también, para analizar la influencia de todos los factores que intervienen en un problema físico, mediante el agrupamiento de esos factores intervinientes en grupos adimensionales. Realizada la agrupación, y con los datos experimentales se obtiene la relación matemática de los grupos adimensionales; y con ello, se puede predecir el comportamiento de un factor en situaciones distintas del las que se realizó en el experimento.

Por todo lo mencionado en esta oportunidad, se ha realizado una investigación donde se hace uso del análisis dimensional para evaluar el coeficiente global de transmisión de calor de un intercambiador de calor de coraza y tubos. Esto apoyado con los experimentos de transmisión de calor en el propio intercambiador de calor.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIALES

Para el experimento de la transferencia de calor: Intercambiador de calor de coraza y tubos

Sistema de bombeo.

Caldera de producción de vapor.

Recipiente abierto de 50 litros

Tuberías de hierro galvanizado.

Válvulas para vapor y agua.

Agua

Para el análisis y cálculo de los resultados:

Computadora.

Calculadora.

Impresora.

Cds

MÉTODO

Para el logro de los objetivos, se ha hecho una recopilación de la información bibliográfica de las técnicas existentes para realizar el análisis dimensional de un fenómeno físico; así como también, se ha desarrollado un análisis dimensional para el intercambio de calor en intercambiadores de calor de coraza y tubos. Con ello, se tienen los grupos adimensionales que se deben manipular a fin de encontrar su relación matemática, que permita predecir el comportamiento del coeficiente global en intercambiadores de coraza y tubos. Para encontrar la relación matemática, se utilizó los datos experimentales de intercambio de calor y el análisis de regresión de estos datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de calentamiento se realizaron utilizando el intercambiador de calor de coraza y tubo construido en la facultad de Ingeniería Química. En el calentamiento se ha utilizado agua a como fluido frío, y vapor de agua procedente del caldero como caliente. El circuito para el flujo de los fluidos fue el siguiente:

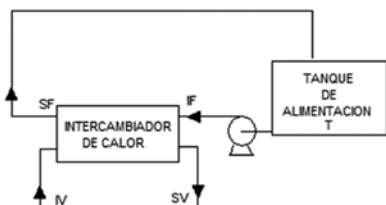


Figura 7. Circuito empleado para la transmisión de calor en el intercambiador.

Los resultados experimentales que se obtuvieron son:

Caudal de agua: 250mL/s.

Presión de ingreso de vapor (Piv): 2 psi.

| Tiempo (segundos) | Temp. | | | | Caudal Cond. Osv (mL/s) |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | Temp. Tanque T _T (C) | Sal. Agua. T _{Sf} (C) | Temp. Cond. T _{Sv} (C) | Cond. T _{cond} (C) | |
| 0 | 14 | 14 | 21 | 21 | 8.9 |
| 60 | 16 | 21 | 21 | 21 | 9.7 |
| 133 | 20 | 23 | 22 | 22 | 7.2 |
| 164 | 21 | 25 | 23 | 23 | 12.1 |
| 223 | 22 | 26 | 23 | 23 | 10.3 |
| 256 | 23 | 28 | 24 | 24 | 8.4 |
| 299 | 24 | 31 | 26 | 26 | 9.5 |
| 416 | 26 | 33 | 24 | 24 | 9.2 |
| 431 | 26 | 34 | 26 | 26 | 10.1 |
| 466 | 27 | 36 | 26 | 26 | 11.2 |
| 505 | 29 | 39 | 24 | 24 | 9.2 |
| 599 | 32 | 43 | 26 | 26 | 10.2 |
| 631 | 38 | 46 | 31 | 31 | 14.5 |
| 667 | 40 | 48 | 40 | 40 | 3.4 |
| 718 | 42 | 50 | 44 | 44 | 5.15 |
| 761 | 44 | 51 | 46 | 46 | 6.21 |
| 791 | 45 | 52 | 48 | 48 | 5.6 |
| 822 | 47 | 54 | 49 | 49 | 4.14 |
| 865 | 50 | 56 | 50 | 50 | 4.0 |
| 898 | 52 | 58 | 47 | 47 | 4.07 |
| 988 | 54 | 60 | 50 | 50 | 12.37 |
| 1023 | 56 | 63 | 52 | 52 | 2.86 |
| 1056 | 58 | 64 | 55 | 55 | 12.0 |
| 1092 | 58 | 64 | 55 | 55 | 7.5 |
| 1137 | 62 | 67 | 56 | 56 | 6.6 |
| 1171 | 69 | 69 | 56 | 56 | 2.77 |

Con estos resultados y realizando un balance de materia y energía en el circuito empleado para el experimento, especialmente balance de energía para la cerveza en el intercambiador se calculó el coeficiente global para distintas condiciones de

temperatura.

La fórmula que se utilizó es el siguiente, que proviene de las ecuaciones (2) y (4):

$$U = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_{sf} - T_t) \cdot \ln((T_{vap,a} - T_{sf,a}) / (T_{cond,b} - T_t))}{A \cdot ((T_{vap,a} - T_{sf,a}) - (T_{cond,b} - T_t))} \dots(17)$$

Donde:

U, coeficiente global de transmisión de calor (W/m²·C).

m, flujo másico del fluido frío a través del intercambiador (kg/s).

C_p, capacidad calorífica a presión constante del fluido frío (J/kg·C)

T_{sf}, temperatura del fluido frío a la salida del intercambiador. (°C)

T_t, temperatura del fluido en el tanque (°C).

T_{vap,a}, temperatura del vapor al ingreso del intercambiador (°C). A la presión manométrica de 2psi (12.0551 presión absoluta), la temperatura de saturación es 94.5 C

T_{if,a}, temperatura fluido frío al ingreso del intercambiador (°C).

T_{cond,b}, temperatura del condensado a la salida del intercambiador (°C).

A, área de transferencia de calor (m²).

Se han calculado distintos valores de U para cada instante de tiempo,

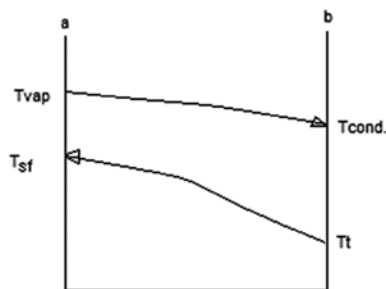


Fig.8 Perfil de temperaturas de los fluidos caliente y frío en el intercambiador.

Datos característicos del intercambiador y de los fluidos

| | | |
|----------------------------|-------------|-------------------|
| Caudal de fluido frío | 0,00025 | m ³ /s |
| Densidad fluido frío | 1120 | kg/m ³ |
| Densidad agua | 1000 | kg/m ³ |
| Viscosidad fluido frío | 0,0008 | Pa.s |
| Viscosidad agua | 0,0006 | Pa.s |
| Calor especif. Fluido frío | 5225 | J/kg.°C |
| Calor especif. Agua | 4180 | J/kg.°C |
| Diámetro 1 | 0,00476 | m |
| Diámetro 2 | 0,1016 | m |
| Longitud | 0,58 | m |
| Espesor | 0,001 | m |
| Área anular total interior | 0,000355905 | m ² |
| Área anular total exterior | 0,007751415 | m ² |

Con las ecuaciones de los grupos adimensionales, se tienen los valores de aquellos que se modifican con la variación de

temperatura ($\pi_1, \pi_5, \pi_6, \pi_8$)

| π_1 | π_5 | π_6 | π_8 |
|------------|------------|-----------|---------|
| 17,0504897 | 52947,303 | 42357,843 | 14,700 |
| 8,05016599 | 31768,382 | 25414,706 | 24,167 |
| 14,6185601 | 42357,843 | 33886,274 | 17,875 |
| 17,4146268 | 42357,843 | 33886,274 | 17,875 |
| 27,8446249 | 52947,303 | 42357,843 | 14,100 |
| 47,8867405 | 74126,225 | 59300,980 | 9,786 |
| 57,9854743 | 74126,225 | 59300,980 | 9,643 |
| 76,7025092 | 84715,686 | 67772,549 | 8,438 |
| 84,1213656 | 95305,146 | 76244,117 | 7,278 |
| 96,5994508 | 105894,607 | 84715,686 | 6,250 |
| 138,018435 | 116484,068 | 93187,254 | 5,500 |
| 90,9025132 | 84715,686 | 67772,548 | 6,938 |
| 93,8686674 | 84715,686 | 67772,548 | 6,688 |
| 81,2013996 | 84715,686 | 67772,548 | 6,313 |
| 63,2014485 | 74126,225 | 59300,980 | 6,929 |
| 57,1575732 | 74126,225 | 59300,980 | 6,643 |
| 66,5454442 | 74126,225 | 59300,980 | 6,500 |

Calculando el coeficiente global de transmisión de calor en cada instante, se tiene la siguiente tabla:

| Tiempo (segundos) | Temp. tanque (C) | Temp. sal. agua (C) | Temp. cond. (C) | Caudal cond. (mL/s) | Coeficiente global U (W/m ² °C) |
|-------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------------|--|
| 0 | 14 | 14 | 21 | 8.9 | 0 |
| 60 | 16 | 21 | 21 | 9.7 | 1323,742629 |
| 133 | 20 | 23 | 22 | 7.2 | 1041,646316 |
| 164 | 21 | 25 | 23 | 12.1 | 1418,669749 |
| 223 | 22 | 26 | 23 | 10.3 | 1690,01626 |
| 256 | 23 | 28 | 24 | 8.4 | 2161,762946 |
| 299 | 24 | 31 | 26 | 9.5 | 2655,546672 |
| 416 | 26 | 33 | 27 | 9.2 | 3215,569313 |
| 431 | 26 | 34 | 27 | 10.1 | 3721,82789 |
| 466 | 27 | 36 | 29 | 11.2 | 3628,277586 |
| 505 | 29 | 39 | 32 | 9.2 | 3749,828095 |
| 599 | 32 | 43 | 34 | 10.2 | 4870,584877 |
| 631 | 38 | 46 | 39 | 14.5 | 4410,853205 |
| 667 | 40 | 48 | 41 | 3.4 | 4554,779598 |
| 718 | 42 | 50 | 44 | 5.15 | 3940,127078 |
| 761 | 44 | 51 | 46 | 6.21 | 3504,819794 |
| 791 | 45 | 52 | 48 | 5.6 | 3169,658272 |
| 822 | 47 | 54 | 49 | 4.14 | 3690,260201 |

Observando gráficamente:

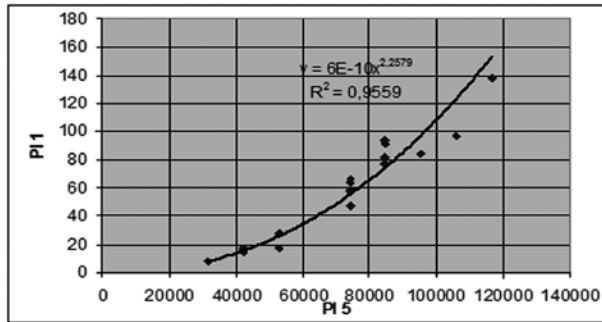


Figura 9. Variación del grupo adimensional Pi1 versus Pi5

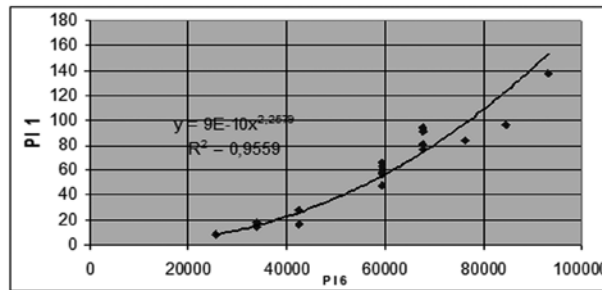


Figura 10. Variación del grupo adimensional Pi1 versus Pi6

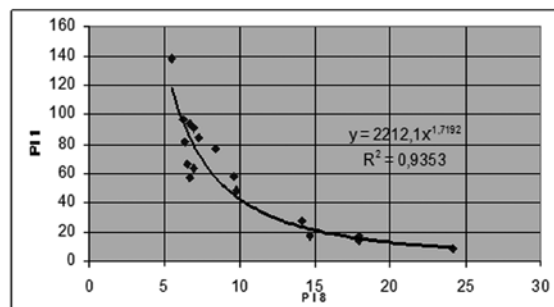


Figura 11. Variación del grupo adimensional Pi1 versus Pi8

Con estos gráficos se tiene las siguientes relaciones matemáticas:

$$\pi_1 = 6 \times 10^{-10} \pi_5^{2.2579} \dots\dots (18)$$

$$\pi_1 = 9 \times 10^{-10} \pi_6^{2.2579} \dots\dots (19)$$

$$\pi_1 = 2212.1\pi_8^{-1.7192} \dots\dots (20)$$

Éstas son las relaciones que establecen como varía del grupo adimensional número uno con respecto a los grupos 5, 6 y 8. el resto de grupos en este experimento permanecieron constantes.

DISCUSIÓN

La variación de la diferencia de temperaturas entre los fluidos frío y caliente, modifica el coeficiente global de transmisión de calor. El valor mínimo es 1041 W/m²C, el máximo 4870 W/m²C, y el promedio 3102 W/m²C. Se alcanza valores máximos cuando la diferencia de temperatura de entre fluidos es alta.

Los grupos adimensionales que se generan para el caso del intercambio de calor entre fluidos en un intercambiador de calor de coraza y tubos son 16; de los cuales; 3 de ellos se modifican con el grupo que contiene al coeficiente global de transmisión de calor.

En el caso del grupo adimensional Pi(1), es el grupo adimensional que contiene al coeficiente global de transmisión de calor; por lo tanto, es el grupo adimensional dependiente. Los grupos adimensionales restantes, son las independientes.

El grupo Pi(1) se modifica positivamente con Pi(5) y Pi(6), mientras que negativamente con Pi(8). Estas variaciones descritas con las ecuaciones (18), (19) y (20).

Los valores del coeficiente global de transmisión de calor, se modifican con la diferencia de temperaturas entre los fluidos. Esta variación se puede observar también en la modificación del grupo adimensional que lo contiene, con las modificaciones los grupos independientes.

Para los experimentos realizados, los grupos adimensionales distintos de Pi(1), Pi(5), Pi(6) y Pi(8), se mantienen constantes.

Con los valores de los grupos adimensionales y su relación, es posible predecir valores de coeficiente global de transmisión de calor para situaciones diferentes a los de este experimento. Pero se debe tener en cuenta, la semejanza entre el experimento que se realizó, y el que se requiere predecir.

El coeficiente global de transmisión de calor del intercambiador de calor de coraza y tubos, se modifica con la variación de la diferencia de temperaturas de los fluidos frío y caliente. El valor mínimo es 1041 W/m²C, el máximo 4870 W/m²C, y el promedio 3102 W/m²C.

Las variables que intervienen en la transferencia de calor entre fluidos en un intercambiador de calor de coraza y tubos son 15. De los cuales, se generan 11 grupos adimensionales independientes y 1 dependiente, esto, según el método de repetición de variables y el teorema Pi de Buckingham.

Existe una relación entre el grupo adimensional que contiene al coeficiente global de transmisión de calor, y los grupos que contienen a la diferencia de temperatura de entrada y salida del fluido frío.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mc. Cabe W. L. Smith J.C., Harriott P.; Operaciones unitarias en ingeniería química. España. Cuarta edición, Editorial Mc. Graw Hill; 2002
- Kreith F., Herrero Hnos, Principios de transferencia de calor. 1970.
- Kern, Donald Q.; Procesos de transferencia de calor, Compañía Editorial Continental S.A.; 1989
- Foust A.S., Principios de las operaciones unitarias, Compañía Editorial Continental. 1982
- Treybal R.; Operaciones de transferencia de masa; Segunda edición; Editorial Mc. Graw Hill, México.1995