

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

Rodrigo Fernando Esquivel Gómez, Victoria Elizabeth Quintanilla Lima, Angela Sofia Colón Cerezo, Amanda María Denise Ochoa, David Sebastian Chacón de León¹

RESUMEN

En este artículo de estudio práctico realizado en Ciudad de Guatemala, en mayo del 2021, se llevó a cabo el análisis de un crudo de petróleo a través de las mediciones efectuadas por triplicado en un calentador horizontal de paso múltiple con flujo laminar. Lo entregó el profesor del curso para elaborar un trabajo de investigación.

El objetivo principal del estudio práctico fue puntualizar los pasos requeridos durante el proceso, asumiéndose que hay una mezcla completa del crudo después de cada paso.

A fin de cumplir con el objetivo se determinó el área por paso, al igual que el área de transferencia de calor, para la cual se realizaron los cálculos correspondientes variando la temperatura de salida del crudo de petróleo.

Los resultados obtenidos correspondientes al comportamiento que presenta la energía, el coeficiente global de calor, el área de transferencia de calor y el número de pasos obtenidos fueron representados de forma gráfica.

Como consecuencia de las mediciones realizadas en la práctica y del análisis de la información recabada y de las gráficas realizadas a partir de cálculos matemáticos se tiene que para el procesamiento del crudo de petróleo en un calentador horizontal de paso múltiple deben ejecutarse 2, 6 y 10 para temperaturas a 140°F, 180°F y 220°F respectivamente, puesto que el número de los pasos debe ser, preferiblemente, un número par.

Palabras clave: crudo de petróleo, calentador horizontal de paso múltiple, flujo laminar, temperatura, transferencia de calor, coeficiente global de calor.

ABSTRACT

In this practical study article, the analysis of a crude oil was carried out through the measurements made in triplicate in a horizontal multi-pass heater with laminar flow.

The main objective of the practical study was to specify the necessary steps during the process, assuming that there is a complete mixture of the crude after each step.

In order to meet the objective, the area per step was determined, as well as the heat transfer area, for which the corresponding calculations were made by varying the exit temperature of the crude oil.

The results corresponding to the behavior of energy, the global heat coefficient, the heat transfer area and the number of steps were obtained graphically.

Because of the measurements made in practice and the analysis of the information collected and the graphs made from mathematical calculations, it is necessary to execute 2, 6 and 10 for the processing of crude oil in a horizontal multi-pass heater. for temperatures at 140°F, 180°F and 220°F respectively, since the number of steps should preferably be an even number.

Keywords: crude oil, horizontal multi-pass heater, laminar flow, temperature, heat transfer, global heat coefficient.

INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor cumplen diferentes funciones en la industria, según sea la necesidad para la cual se requiere. Debido a esto, existen múltiples diseños de intercambiadores de calor, a fin de cubrir las necesidades de la industria. Encontrándose desde tubos concéntricos hasta intercambiadores de calor de placas o los radiadores

¹ Estudiantes de 4to año de Ingeniería Química del curso de Transferencia de Calor de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala. resquivelg@miumg.edu.gt, vquintanilla@miumg.edu.gt, aocchoa@miumg.edu.gt, dchacond@miumg.edu.gt, acolonc@miumg.edu.gt

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

que comúnmente se encuentran en los vehículos (Holman, 1998).

La función general de los intercambiadores de calor es facilitar un cambio de energía, en forma de calor, desde un fluido a otro. Para esto, es importante determinar algunos parámetros que se requieren para el dimensionamiento y posterior diseño del intercambiador, como el área superficial, la longitud de los tubos y/o la cantidad de pasos, como ocurre con los intercambiadores de calor de coraza y tubos de múltiples pasos (McCabe, C. Smith, & Harriott, 2007). El tipo de intercambiador de calor que encuentra más aplicaciones en la industria se conoce como intercambiador de calor de coraza y tubos. Este contiene una gran cantidad de tubos, los cuales están empacados en una carcasa con sus deflectores paralelos a este. La transferencia de calor tiene lugar a medida que uno de los fluidos se mueve por el interior de los tubos y el otro por el interior de la carcasa, es decir, por el exterior de los tubos (Cao, 2009).

Este tipo de intercambiador de calor cuenta con una gran área superficial para dicha transferencia y es relativamente compacto, ya que, como se mencionó, dentro de la carcasa puede contener varios tubos. Como se requiere del movimiento de los fluidos, la transferencia de calor ocurre por conducción, debido a las paredes del intercambiador; y por convección, por el movimiento del fluido. A partir de este flujo, se puede establecer un tipo de flujo paralelo, en el cual ambos fluidos se mueven en la misma dirección; y un tipo de flujo a contracorriente, en el cual, como su nombre lo indica, ambos fluidos se mueven en direcciones opuestas. Este último provoca una transferencia de calor más eficiente, porque, de manera simple, los fluidos nunca pueden alcanzar la misma temperatura, porque conforme uno se va enfriando el otro se va calentando.

Este tipo de intercambiador se puede clasificar aún en función del número de pasos por los tubos y por la coraza que tengan los fluidos. Un ejemplo de esto ocurre en los intercambiadores en forma de "U", en los cuales se tiene un paso por coraza y dos pasos por los tubos. En este ejercicio. La aplicación de este intercambiador se calor en el calentamiento de un crudo de petróleo mediante vapor de agua; en el cual se determina la cantidad de pasos que se requieren para calentar desde 100°F a tres temperaturas diferentes de 140°F, 180°F y 220°F.

La determinación del número de pasos en un intercambiador de calor de pasos múltiple brinda información respecto al uso de longitudes estándar en la tubería, además de esto asegura una velocidad y coeficiente de lado de los tubos con valores elevados. Por esta razón, preferentemente los pasos deben estar constituidos por un número par pues facilitan la determinación de las características mencionadas con anterioridad.

Este estudio es importante como introducción al dimensionamiento de intercambiadores de calor.

METODOLOGÍA

La información se obtuvo de acuerdo al caso práctico presentado por el profesor del curso, por lo que se determinó el área por paso, y el área de transferencia de calor, para la cual se realizaron los cálculos correspondientes variando la temperatura de salida del crudo de petróleo.

Los resultados del coeficiente global de calor, el área de transferencia de calor y el número de pasos obtenidos fueron representados de forma gráfica.

MARCO TEORICO

La ciencia de la transferencia de calor busca predecir la transferencia de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales como resultado de una diferencia de temperatura y la velocidad a la que se realizará el intercambio bajo ciertas condiciones específicas. La termodinámica establece que esta transferencia de energía se define como intercambio de calor (Coulson, Richardson, Backhurst, & Harker, 2004).

Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiples pasos. Comúnmente el intercambiador de múltiples pasos invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de "U" en los extremos, es decir, el doblez en forma de "U" permite al fluido fluir de regreso e incrementar el área de transferencia del intercambiador. Un segundo método para llevar a cabo múltiples pasos es insertar baffles o platos dentro del intercambiador (Cengel & Ghajar, 2011).

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

El Petróleo.

El petróleo crudo es una mezcla altamente compleja que contiene grandes cantidades de especies químicas, principalmente de hidrocarburos.

Cuando el petróleo se produce en un depósito que permite que el material crudo se recupere mediante operaciones de bombeo como un líquido de color oscuro a claro que fluye libremente, a menudo se lo conoce como petróleo convencional.

Algunas propiedades importantes para el petróleo y fracciones. Los componentes del petróleo varían ampliamente en volatilidad, gravedad específica, viscosidad y en color desde líquidos casi incoloros hasta negros. Se han ideado métodos para

correlacionar las propiedades físicas de estas mezclas en términos de parámetros fácilmente medibles. (Ganapathy, 1988) Esta información generalmente se suministra en forma de dos parámetros comúnmente utilizados en las correlaciones de petróleo; la gravedad API y el factor de caracterización de Watson (también llamado factor de caracterización UOP) (Geankoplis, 2003).

Un rango de 10 a 70 es típico de muchos líquidos de petróleo, teniendo en cuenta que una gravedad específica de 1.0 corresponde a 10 API. Los fluidos que son más densos que el agua tienen menor gravedad API, mientras que un valor superior a 10 API indica que el hidrocarburo líquido es menos denso que el agua (Ganapathy, 1988).

RESULTADOS

Tabla No.1 Tabla de datos medidos

	Tubería de crudo de petróleo (1era corrida)	Tubería de crudo de petróleo (2da corrida)	Tubería de crudo de petróleo (3era corrida)	Unidades
Diámetro interno	0.62	0.62	0.62	Inches
Diámetro externo	0.75	0.75	0.75	Inches
Área de sección cruzada	0.0021	0.0021	0.0021	ft ²
Área de superficie interna	0.1623	0.1623	0.1623	ft ² /ft
Velocidad	4	4	4	ft/s
Flujo volumétrico	0.445602	0.445602	0.445602	ft ³ /s
Temperatura entrada	100	100	100	°F
Temperatura salida	140	180	220	°F
Temperatura del vapor de agua	307	307	307	°F

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021
mayo 2021

Fecha corregida: 29

Temperatura pared asumida	de	300	300	300	°F
---------------------------	----	-----	-----	-----	----

Con base en los datos medidos y los encontrados en la literatura, se procedió a determinar el tipo de flujo del crudo de petróleo mediante el cálculo del número de Reynold, siendo este laminar.

$$\bar{v} = 4 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$\text{Re} = \frac{0.620\text{in} \times 4 \frac{\text{ft}}{\text{s}}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \times 36.6 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}^2}{\text{s}}} = 565$$

A partir de lo anterior se calcularon un total de 53 tubos por paso

$$\frac{88,636}{53} = 1672.4 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Tras realizar cálculos generales respecto al comportamiento del proceso se procede a realizar los cálculos individuales del triplicado de las temperaturas de salida reportadas.

De una relación exponencial de temperatura se obtiene la viscosidad de pared y a partir de estos últimos datos se obtiene el valor de corrección de la viscosidad.

$$\mu_w = 1.06 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

$$\phi_v = \left(\frac{11.95}{1.06} \right)^{0.14} = 1.404$$

Posteriormente, se procede a calcular el número de Graetz a partir del cual se encuentra el coeficiente

$$N = \frac{200 \frac{\text{gal}}{\text{min}}}{0.9425 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 4 \frac{\text{ft}}{\text{s}}} = 53$$

Luego de dicho cálculo y asumiendo una temperatura de pared de 300°F, se calculó a partir de la ecuación (x) el flujo de masa por tubo.

$$\text{Nu} = 2 \left(\frac{\dot{m} \cdot c_p}{k \cdot L} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = 2Gz^{\frac{1}{3}} \phi_v$$

$$\dot{m} = \frac{200 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 55.25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}{7.48 \frac{\text{gal}}{\text{ft}^3}} = 88,636 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Temperatura = 140°F

La temperatura promedio del aceite es igual a 120°F.

$$\mu = 21.8 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}^2}{\text{s}} \times 54.81 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 11.95 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

individual promedio de transferencia de calor dentro del tubo.

$$Gz = \frac{1672.4 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.466 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot \text{°F}}}{0.0737 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F}} \times 15\text{ft}} = 704.96$$

$$h_i = \frac{2 \times 0.0737 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F}} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}{0.620\text{in}} \times 704.96^{\frac{1}{3}} \times 1.404$$

$$= 35.64 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F}}$$

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

La cantidad de calor intercambiado entre el vapor de agua con el crudo de petróleo se calculó como sigue:

$$q = 88,636 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.466 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (140 - 100)^\circ\text{F}$$

$$= 1.65 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Asumiendo un coeficiente de vapor = $1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$

. Se calculó el coeficiente global de transferencia de calor basado en el área interior.

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{x_w}{k_m} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{0.620 \text{ in}}{0.750 \text{ in} \times 1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} + \frac{0.620 \text{ in} \times 0.065 \text{ in}}{0.690 \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \times 26} + \frac{1}{35.64 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}}}$$

$$= 34.56 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

Con el fin de calcular el área de transferencia de calor se determinó la diferencia de temperatura media logarítmica.

Finalmente, para determinar el número de pasos se

$$\Delta T_1 = 307^\circ\text{F} - 100^\circ\text{F} = 207^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 307^\circ\text{F} - 140^\circ\text{F} = 167^\circ\text{F}$$

$$\Delta \bar{T}_L = \frac{207^\circ\text{F} - 167^\circ\text{F}}{\ln \left(\frac{207^\circ\text{F}}{167^\circ\text{F}} \right)} = 186.28^\circ\text{F}$$

$$q = U_i A \Delta \bar{T}_L$$

$$A = \frac{q}{U_i \Delta \bar{T}_L} = \frac{1.65 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{34.56 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \times 186.28^\circ\text{F}} = 256.61 \text{ ft}^2$$

encuentra la proporción entre el área transferencia de calor y el área por paso.

$$A = 53 \times 0.1623 \text{ ft} \times 15 \text{ ft} = 129.0 \text{ ft}^2$$

$$\frac{256.61}{129.0} = 1.99$$

El número de pasos se aproxima al número par más cercano siendo este de 2.

El procedimiento anterior se repitió para las temperaturas de salida de 180 y 220°F.

Temperatura = 180°F

La temperatura promedio del aceite es igual a 140°F.

$$c_p = 0.477 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$k = 0.0733 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\mu = 14.4 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}^2}{\text{s}} \times 54.37 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 7.83 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

De una relación exponencial de temperatura

$$\mu_w = 1.06 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

$$\phi_v = \left(\frac{7.83}{1.06} \right)^{0.14} = 1.323$$

$$L = 15 \text{ ft}$$

$$Gz = \frac{1672.4 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.477 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}}{0.0733 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}} \times 15 \text{ ft}} = 725.54$$

$$h_i = \frac{2 \times 0.0733 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}{0.620 \text{ in}} \times 725.54^{\frac{1}{3}} \times 1.323$$

$$= 33.73 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$q = 88,636 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.477 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (180 - 100)^\circ\text{F}$$

$$= 3.38 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Asumiendo un coeficiente de vapor = $1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{x_w}{k_m} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{0.620 \text{ in}}{0.750 \text{ in} \times 1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} + \frac{0.620 \text{ in} \times 0.065 \text{ in}}{0.690 \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \times 26} + \frac{1}{33.73 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}}}$$

$$= 32.76 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$A = 53 \times 0.1623 \text{ ft} \times 15 \text{ ft} = 129.0 \text{ ft}^2$$

$$\Delta T_1 = 307^\circ\text{F} - 100^\circ\text{F} = 207^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 307^\circ\text{F} - 180^\circ\text{F} = 127^\circ\text{F}$$

$$\Delta \bar{T}_L = \frac{207^\circ\text{F} - 127^\circ\text{F}}{\ln \left(\frac{207^\circ\text{F}}{127^\circ\text{F}} \right)} = 163.76^\circ\text{F}$$

$$q = U_i A \Delta \bar{T}_L$$

$$A = \frac{q}{U_i \Delta \bar{T}_L} = \frac{3.38 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{32.76 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \times 163.8^\circ\text{F}}$$

$$= 630.40 \text{ ft}^2$$

Número de pasos

$$\frac{630.40}{129.0} = 4.89 \approx 6$$

Temperatura = 220°F

La temperatura promedio del aceite es igual a 160°F.

$$c_p = 0.487 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$k = 0.0728 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\mu = 10.2 \times 10^{-5} \frac{\text{ft}^2}{\text{s}} \times 53.92 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 5.50 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

De una relación exponencial de temperatura

$$\mu_w = 1.06 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{s}}$$

$$\phi_v = \left(\frac{5.50}{1.06} \right)^{0.14} = 1.259$$

$$L = 15 \text{ ft}$$

$$G_z = \frac{1672.4 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.487 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}}{0.0728 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}} \times 15 \text{ ft}} = 745.84$$

$$h_i = \frac{2 \times 0.0728 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F}} \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}}{0.620 \text{ in}}$$

$$\times 745.84^{\frac{1}{3}} \times 1.259$$

$$h_i = 32.18 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$q = 88,636 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times 0.487 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (220 - 100)^\circ\text{F}$$

$$q = 5.16 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

$$\text{Asumiendo un coeficiente de vapor} = 1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + \frac{x_w}{k_m} \left(\frac{D_o}{D_L} \right) + \frac{1}{h_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{0.620 \text{ in}}{0.759 \text{ in} \times 1200 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2} + \frac{0.620 \text{ in} \times 0.065 \text{ in}}{0.69 \times 12 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \times 26} + \frac{1}{82.18 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}}} = 31.30 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021

Fecha corregida: 29 mayo 2021

$$A = 53 \times 0.1623\text{ft} \times 15\text{ft} = 129.0\text{ft}^2$$

$$\Delta T_1 = 307^\circ\text{F} - 100^\circ\text{F} = 207^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 307^\circ\text{F} - 220^\circ\text{F} = 87^\circ\text{F}$$

$$\Delta \bar{T}_L = \frac{207^\circ\text{F} - 87^\circ\text{F}}{\ln\left(\frac{207^\circ\text{F}}{87^\circ\text{F}}\right)} = 138.44^\circ\text{F}$$

$$q = U_i A \Delta \bar{T}_L$$

$$A = \frac{q}{U_i \Delta \bar{T}_L} = \frac{5.16 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}{31.30 \frac{\text{Btu}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \times 138.44^\circ\text{F}} = 1195.45\text{ft}^2$$

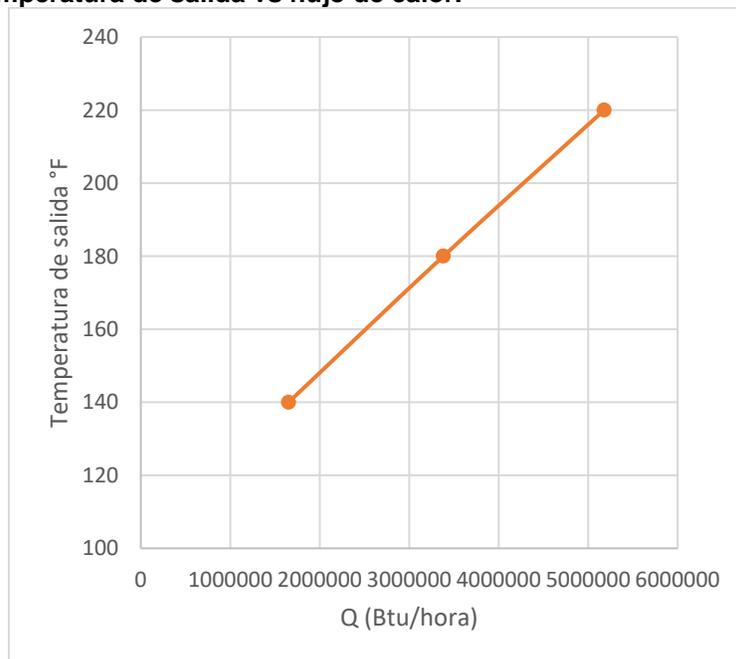
Número de pasos

$$\frac{1195.45}{129.0} = 9.27 \approx 10$$

Tabla No. 2 Datos calculados por temperatura.

Temperatura de entrada (°F)	Temperatura de salida (°F)	Área de transferencia de calor (ft ²)	No. Pasos	No. Pasos pares
100	140	256.61	1.99	2
100	180	630.40	4.89	6
100	220	1195.45	9.27	10

Gráfica No. 1 Temperatura de salida vs flujo de calor.

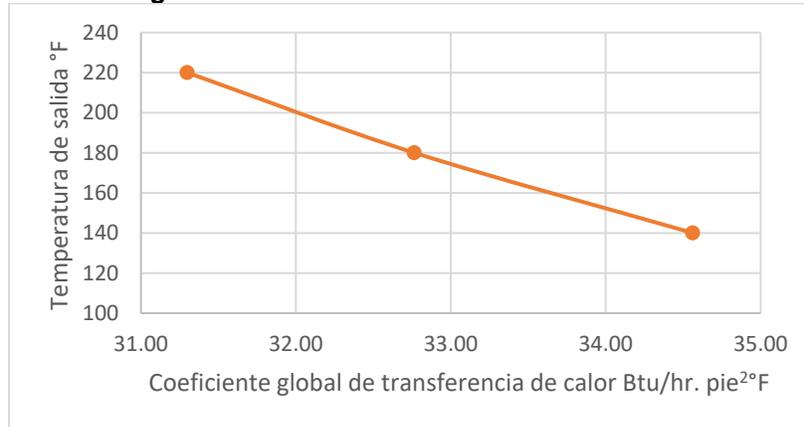


Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021
mayo 2021

Fecha corregida: 29

Gráfico No. 2 Coeficiente global de transferencia de calor.



Gráfica No. 3 Área de transferencia de calor.

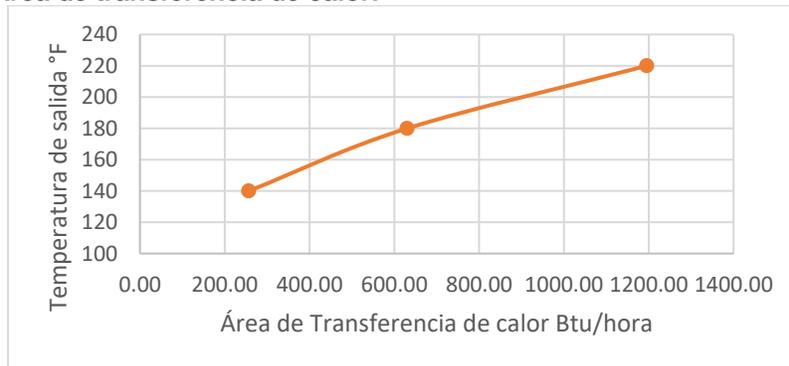


Gráfico No. 4 Número de pasos.



CONCLUSIONES

1. En las gráficas 1, 2, 3 y 4 puede observarse que la temperatura de salida es proporcional al flujo de calor, al área de transferencia de calor y al número de

pasos, pero inversamente proporcional al coeficiente de transferencia de calor

2. Para el procedimiento del crudo de petróleo en un intercambiador de paso múltiple se debe de utilizar 2, 6 y 10 para temperaturas a 140°F, 180°F y 220°F

Determinación de variables en intercambiador de calor de paso múltiple utilizado en proceso con crudo de petróleo

Fecha enviada: 10 mayo 2021
mayo 2021

Fecha corregida: 29

respectivamente, debido a que es preferible que el número de pasos sea par.

3. Los cálculos correspondientes para el comportamiento del calor en el intercambiador son: 1.65×10^6 Btu/h, 3.68×10^6 Btu/h y 5.16×10^6 Btu/h para las temperaturas a 140°F, 180°F y 220°F respectivamente.
4. El área de transferencia de calor para la temperatura de 140°F es de 256.01 ft², 630.40 ft² para 180°F y para 220°F fue de 1195.45 ft².
5. El coeficiente global de calor es de 34.56 Btu/h ° ft² °F, 32.76 Btu/h ° ft² °F y 31.30 Btu/h ° ft² °F para las temperaturas de 140°F, 189°F y 220 °F respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- 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