

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALGECIRAS.

EXPERIMENTACIÓN EN QUÍMICA INDUSTRIAL.

PRÁCTICA 1: CAMBIADOR DE CALOR DISCONTÍNUO.

### **INTRODUCCIÓN.**

*El objetivo fundamental de esta práctica es el estudio del proceso de transferencia de calor aplicado a barras cilíndricas de área constante y variable, y las propiedades térmicas de los sólidos.*

Cuando las partículas están en movimiento dentro de un sistema, se produce un intercambio de calor entre ellas, este fenómeno se denomina: transferencia de calor.

Este informe consta de un marco teórico, datos experimentales, resultados, análisis de los mismos y las conclusiones obtenidas luego de realizar la práctica.

### **FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR**

Modo de transmisión del calor. El paso del calor de los cuerpos más calientes a otros que lo están menos se llama transmisión del calor y se produce en tres formas .

La propagación por conducción tiene lugar cuando se pone en contacto entre dos cuerpos que están a diferentes temperaturas o cuando dos puntos de un mismo objetos.

Está a diferente temperatura en la propagación por conducción la transmisión del calor se lleva a cabo por medio de transferencia de energía de una molécula a otra la capacidad para producir el calor varia notablemente de un material a otro. En general los elementos son muy conductores del calor. Destacan en ellas la plata y el cobre u otros materiales por ejemplo, los plásticos, la madera, la nana de vidrio u barro, son malos conductores del calor y se utiliza por tal motivo en otras situaciones.

En que debemos mantener la conducción del calor en límites. La conductibilidad es bastante menor en los líquidos en las que los sólidos y un menor en los gases en el vacío.

### **Conducción.**

Es la forma que transmite el calor en cuerpos sólidos, se calienta un cuerpo, las moléculas que reciben directamente el calor aumenta su vibración y chocan con las que rodean; estas a su vez hacen lo mismo con sus vecinas hasta que todas las moléculas del cuerpo se agitan, por esta razón, si el extremo de una varilla metálica se calienta una flama, transcurre cierto tiempo para el calor llegue a otro extremo.

El calor no se transmite con la misma facilidad por todos los cuerpos se llaman buenos conductores del calor aquellos materiales que permiten el paso del calor a través de ellos.

Los malos conductores o aislantes son los que oponen mucha dificultad al paso del calor aprovechando esta propiedad muchas vasijas para calentar líquidos se hacen aluminio

La conducción del calor significa transmisión de energía entre sus moléculas.

La transmisión del calor por contacto molecular se llama conducción.

## INTERCAMBIADORES DE CALOR.

En el sentido más amplio podemos llamar cambiador de calor a todos aquellos dispositivos utilizados para transferir energía en forma de calor entre fluidos separados por una pared sólida. Teniendo en cuenta que cualquiera de los dos fluidos puede ser un líquido, un gas, un vapor condensante o un líquido en ebullición, el número de aplicaciones diferentes del cambiador de calor es elevadísimo: tubos de caldera, condensadores, refrigerantes, evaporadores, calefacción con vapor o agua caliente, etc

### Clasificación:

La clasificación más general que puede realizarse de los cambiadores de calor, se efectúa atendiendo al grado de contacto entre los fluidos. Según este criterio, los cambiadores de calor se dividen en dos grandes grupos:

Intercambiadores de contacto directo.

Intercambiadores de contacto indirecto.

Estos últimos pueden a su vez dividirse en alternativos y de superficie.

Los intercambiadores de contacto directo, también conocidos como cambiadores de mezcla, son aquellos dispositivos en los que los fluidos sufren una mezcla física completa, realizándose, como consecuencia, la transferencia energética entre ellos.

Pertencen a este grupo, entre otros tipos de cambiadores, las denominadas torres de refrigeración o torres húmedas, así como los enfriadores de gases.

En cuanto a los intercambiadores alternativos, ambos fluidos recorren un mismo espacio de forma alternada, sin coincidencia entre ellos, de forma tal que la mezcla física de ambos fluidos puede considerarse despreciable. El elemento fundamental de este subgrupo de cambiadores es la superficie que alternativamente recibe y cede la energía térmica.

Por otra parte, se denominan intercambiadores de superficie a aquellos equipos o dispositivos en los que la transferencia térmica se realiza a través de una superficie, plana o cilíndrica, que separa físicamente las corrientes de ambos fluidos, no existiendo por tanto ninguna posibilidad de contacto directo o contaminación entre dichos fluidos, salvo en el caso de rotura de la antedicha superficie de separación.

### Clasificación de los cambiadores de calor de superficie:

La clasificación más usual de este grupo de cambiadores, se realiza en base a la dirección relativa de los flujos de ambos fluidos, pudiéndose hablar entonces de cambiadores de flujos paralelos y de cambiadores de flujos cruzados, según sus direcciones sean paralelas en el espacio o formen cualquier ángulo en él.

Los cambiadores de flujos paralelos, son generalmente utilizados en el intercambio térmico líquido-líquido, mientras que los de flujos cruzados se utilizan generalmente en el intercambio líquido-gas.

Como se decía anteriormente se denomina cambiadores de calor de flujos paralelos a aquellos cambiadores en los que circulan ambos fluidos con direcciones paralelas en el espacio, si además de tener ambos flujos la misma dirección, tienen el mismo sentido, reciben el nombre de en equicorriente, denominándose en contracorriente a aquellos en los que los flujos tienen sentidos contrarios.

Dentro del subgrupo de cambiadores de flujos paralelos, se emplean entre otros, los denominados de placas, de tubo, también llamados de doble tubo, de inmersión, multitubulares o de carcasa y tubos.

En los cambiadores multitubulares o de carcasa y tubos, es normal combinar la clasificación anterior con otra, basada en el número de veces que cada partícula de los fluidos recorre el cambiador, recibiendo el nombre de paso cada recorrido, así, un cambiador en equicorriente o contracorriente, sería un cambiador de un paso por carcasa y un paso por tubos.

Un equipo de intercambio de calor es un aparato que transfiere energía térmica desde un fluido a alta temperatura hacia un fluido a baja temperatura con ambos fluidos moviéndose a través del aparato. Algunos ejemplos de intercambiadores de calor en la vida diaria lo constituyen el radiador de un automóvil y el calentador de agua doméstico. En industrias químicas y plantas de energía se utilizan ampliamente los intercambiadores de calor. El rango de temperaturas, las bases de los fluidos. La cantidad de energía térmica que se debe transferir y la caída de presión permitida para los fluidos fríos o calientes, determinan la configuración del intercambiador de calor para una aplicación dada. En la práctica, el proceso de diseño y selección involucra con frecuencia un procedimiento de ensayo error.

#### Otra clasificación de los intercambiadores de calor.

Otra clasificación que acepta los intercambiadores de calor consiste en basar la clasificación en las direcciones relativas del flujo de los fluidos frío y caliente, dando lugar a términos como flujo en paralelo, cuando ambos fluidos se mueven en la misma dirección, flujo en contracorriente o encontrado, cuando los fluidos se mueven en paralelo pero en sentido opuesto y flujo cruzado cuando las direcciones de flujo son mutuamente perpendiculares.

Las formas de flujo paralelo y en contracorriente usualmente involucran tubos concéntricos con un fluido fluyendo en un tubo anular. El arreglo de flujo en contracorriente es, termodinámicamente uno de los más eficaces.

Uno de los parámetros importantes que controlan la transferencia de calor neta del fluido caliente al fluido frío es el área de la superficie que separa los dos fluidos, a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor. Incrementar el área significa necesariamente incrementar la longitud de trayectoria total recorrida por los fluidos en el equipo de intercambio de calor, o disminuir el diámetro de los tubos y al mismo tiempo aumentar el número de tubos. La segunda alternativa puede llevarnos a grandes caídas de presión. El fluido que fluye en los tubos se llama fluido del tubo, mientras que al fluido que fluye fuera de los tubos se le llama fluido de carcasa.

Los fluidos se pueden doblar alrededor varias veces, mediante lengüetas y placas intercaladas en los tubos que sirven para crear turbulencia en el flujo de carcasa, con el cual se mejora la razón de transferencia de calor. En un periodo de tiempo, se forman depósitos o escalas en la superficie interior de los tubos, requiriendo limpieza periódica.

Suponiendo que el cambiador se encuentra en régimen estacionario, que no existen pérdidas de calor con el exterior (cambiador perfectamente aislado) y que el calor específico del fluido se mantiene constante con la temperatura, el caudal de calor cedido por el fluido caliente al frío se puede expresar en forma diferencial:

$$dQ = mc.C_{pc}.dT_c = mf.C_{pf}.dT_f$$

Que se puede integrar fácilmente teniendo en cuenta las temperaturas a la salida y a la entrada del cambiador de ambos fluidos.

$$Q = mc.C_{pc}.\Delta T_c = mf.C_{pf}.\Delta T_f$$

Considerándose un elemento diferencial de longitud ( $dl$ ) en una sección transversal del cambiador el caudal de calor que se transmite del fluido caliente al fluido frío tiene que atravesar tres resistencias en serie: dos

resistencias de convección que corresponden a los fluidos y vienen caracterizados por un coeficiente individual de transmisión de calor  $h$ , y una de conducción en la pared de separación de los fluidos caracterizada por la conductividad térmica del material. Por tanto, el caudal de calor que atraviesa las tres resistencias en serie, que se puede considerar constante (estado estacionario), se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$dQ = hc.dAc.(Tc - Tp) = \frac{k}{e}.dA_{ml}.(Tp - tp) = h.dAf.(tp - tf).$$

Expresando la transmisión de calor referida a la fuerza impulsora total se obtiene la expresión:

$$dQ = U.dA.(Tc - tf)$$

Siendo  $U$  el coeficiente global de transmisión de calor, y  $dA$  es el área de intercambio de calor.

Expresando las ecuaciones anteriores en forma de cociente entre la fuerza impulsora que produce el transporte y la resistencia que se opone al mismo se obtiene la siguiente expresión, cuando el espesor de la pared del tubo es suficientemente pequeño, la ecuación queda reducida como:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{hc} + \frac{e}{k} + \frac{1}{hf}$$

El coeficiente global de transmisión de calor se puede determinar conociendo el caudal de calor intercambiando por ambos fluidos. Conociendo el valor medio de la ecuación, esta se puede integrar obteniendo una expresión del caudal de calor en función del área de transmisión de calor ( $A$ ) y el incremento de temperatura media logarítmica del cambiador ( $\Delta T_{ml}$ ). Por tanto, la ecuación se puede expresar como:

$$Q = U.A.\Delta T_{ml}$$

Expresando el área de intercambio de calor en función del diámetro externo del tubo interior

$$A = \pi.D_1.L$$

Y el incremento de temperatura media logarítmica:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_c - \Delta T_f}{\ln \frac{\Delta T_c}{\Delta T_f}}$$

### BALANCE CALORÍFICO.

El calor perdido por el fluido que se enfría o condensa es igual al ganado por el fluido que se calienta o evapora, más las pérdidas al exterior.

A la hora de realizar el balance calorífico hay que considerar:

1º) En un proceso continuo no interesan las cantidades de sustancias, sino su velocidad de paso, en masa por unidad de tiempo. Éstas han de ser las magnitudes que intervengan en el balance calorífico.

2ª) El balance puede ser integral, aplicado a los extremos de entrada y salida de ambos fluidos, o bien diferencial, aplicado a una sección considerada circulen las corrientes totales de ambos fluidos.

3ª) El calor transmitido a un fluido puede ser el calor de reacción, que se calculará con arreglo a las leyes de la termoquímica.

### EFICACIA DE UN CAMBIADOR.

La eficacia  $e$  de un cambiador se mide por el grado de aproximación de las temperaturas de los fluidos en el extremo del cambiador en el que teóricamente puede hacerse  $t = 0$ . La eficacia aumenta continuamente con la superficie del cambiador, pero hay un valor óptimo por encima del cual el aumento de superficie no está compensado económicamente por la recuperación de calor obtenida. Este valor óptimo depende de las condiciones de trabajo.

Para comparar las eficacias se toman como datos las velocidades de paso y las temperaturas de entrada de ambos fluidos. La eficacia es entonces la relación entre la variación de temperatura del fluido que puede alcanzar como límite la temperatura de entrada del otro, y la variación máxima posible.

Si  $Z < 1$  es

Si  $Z > 1$  es

### PROCESO EXPERIMENTAL.

En práctica consiste en un cambiador semicontínuo formado por un tanque que contiene al fluido caliente reposo y por cuyo interior circula el fluido frío, el cual se va calentando a medida que atraviesa el tanque. Sólo se da aporte de calor al principio del proceso, por lo que es evidente que la temperatura del fluido caliente variará con el tiempo, así como la temperatura de salida del frío.

En cualquier cambiador la densidad del fluido de calor es proporcional a la diferencia de temperatura existente entre los fluidos:

Para los cambiadores continuos el coeficiente global de transmisión  $U$  es función de la longitud de cambiador, puesto que la diferencia de temperatura también lo es, pero los diversos valores de  $U$  no experimentan cambio alguno con el tiempo. Sin embargo, en el cambiador estudiado,  $U$  es función de la longitud y del tiempo como observaremos según las experiencias realizadas.

El objetivo de esta práctica es la determinación, para diversas condiciones experimentales (diferentes flujos y temperaturas iniciales del caliente), los coeficientes globales de transmisión de calor. Se discutirá la validez y utilidad de tales coeficientes.

Se dispondrá de un baño calorifugado en el que va introducido un cambiador por el que circula agua fría. Los termómetros indican la temperatura de entrada y salida del frío, y la temperatura del baño. El caudal del agua fría procedente del grifo se determinará con un rotámetro.

En primer lugar se enciende la calefacción para que se caliente el agua caliente hasta la  $T^a$  deseada, cuando se alcanza ese punto abrimos el grifo con el agua fría hasta un caudal determinado que se medirá con un rotámetro. En ese momento se anota la  $T^a$  de entrada del agua caliente y de la fría y se empieza a contabilizar el tiempo. Una vez pasado 30 segundos se anota las temperaturas de salida del agua fría y caliente y así cada 30 segundos. Se observará que las temperaturas varían hasta alcanzar la igualdad de temperaturas de ambos flujos por lo que se produce un intercambio de calor.

Este proceso se repite para cada temperatura con 3 caudales diferentes; 50, 100 y 150.

Tabla de los datos obtenidos:

Caudal				
l/h	T <sup>a</sup> C1	T <sup>a</sup> C2	T <sup>a</sup> F1	T <sup>a</sup> F2

Caudal				
l/h		T <sup>a</sup> C2	T <sup>a</sup> F1	T <sup>a</sup> F2

Caudal			T <sup>a</sup> F1	T <sup>a</sup> F2
l/h	T <sup>a</sup> C1			

Caudal	T <sup>a</sup>		T <sup>a</sup>	
l/h	T <sup>a</sup> C1	T <sup>a</sup> C2	T <sup>a</sup> F1	T <sup>a</sup> F2

Caudal	T <sup>a</sup>		T <sup>a</sup>	
l/h	T <sup>a</sup> C1	T <sup>a</sup> C2	T <sup>a</sup> F1	T <sup>a</sup> F2

### CUESTIONES.

Para determinar el coeficiente global de transmisión se hará uso de las siguientes ecuaciones:

$$A m = *123,9*(0,52-0,8)/(Ln(0,52/0,8))= 253,5 \text{ cm} = 2,53 \text{ m}^2$$

$$Cp = 75,4 \text{ J/mol } ^\circ\text{C} = 18,02 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C} = 1 \text{ cal/gr } ^\circ\text{C}$$

**Caudal 50 l/h a 30° la corriente caliente:**

- 30":

$$"1 = 27,67^\circ - 17^\circ = 10,67^\circ \quad "2 = 30^\circ - 22,2^\circ = 7,8^\circ$$

$$"Tm = (10,67 - 7,8) / (Ln(10,67/7,8)) = 9,16$$

- $Q = 1/2 * (1 * 1000 * 1 * (30 - 27,67) + 50 * 1000 * 1 * (22,2 - 17)) = 1,32 * 10^5 \text{ cal}$

- $Q = U * 2,53 * 9,16 = 23,17 * U \text{ cal}$

• = (2)

**U = 5,661 cal/m<sup>2</sup> °C = 5,7 cal/ m<sup>2</sup> °C**

• 1':

"1 = 24,67 - 22,2 = 2,47 "2 = 27,67 - 20,7 = 7,06

"Tm = (7,06 - 2,47) / (Ln (7,06/2,47)) = 4,33

• Q = 1/2 \* (1 \* 1000 \* 1 \* (27,67 - 24,67) + 50 \* 1 \* 1000 \* (22,2 - 20,7)) = 3,9 \* 10<sup>4</sup> cal

• Q = U \* 2,53 \* 4,33 = 10,96

• = (2)

**U = 3,6 cal/ m<sup>2</sup> °C**

**Caudal 50 l/h a 35° la corriente caliente:**

• 30":

"1 = 30,83 - 15 = 15,83 "2 = 35 - 23,67 = 11,33

"Tm = (11,83 - 15,83) / (Ln (11,33/15,83)) = 13,45

• Q = 1/2 \* (1 \* 1 \* 1000 \* (35 - 30,83) + 50 \* 1 \* 1000 \* (23,67 - 15)) = 2,2 \* 10<sup>5</sup> cal

• Q = U \* 2,53 \* 13,45 = 34,03 \* U

• = (2)

**U = 6,4 cal/ m<sup>2</sup> °C**

• 1':

"1 = 27,3 - 23,67 = 3,63 "2 = 30,83 - 21,96 = 8,87

"Tm = (8,87 - 3 - 63) / (Ln (8,87/3,63)) = 5,86

• Q = 1/2 \* (1 \* 1000 \* 1 \* (27,3 - 30,83) + 50 \* 1000 \* 1 \* (23,67 - 21,96)) = 4,5 \* 10<sup>4</sup> cal

• Q = U \* 2,53 \* 5,86 = 14,83 \* U

• = (2)

**U = 3,1 cal/ m<sup>2</sup> °C**

• 1'30":

"1 = 25,3 - 21,96 = 3,34 "2 = 27,3 - 20,6 = 6,7

$$T_m = (6,7-3,34)/(\ln(6,7/3,34))=4,82$$

- $Q = 1/2 \cdot (1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (27,3-25,3) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (21,96-20,6)) = 3,5 \cdot 10^4 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 4,82 = 12,19 \cdot U \text{ cal}$

$$(1) = (2)$$

$$U = 2,87 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 100 l/h a 35° la corriente caliente:**

- 30":

$$T_1 = 28,67 - 15 = 13,67 \quad T_2 = 35 - 20,57 = 14,43$$

$$T_m = (14,43 - 13,67)/(\ln(14,43/13,67)) = 14,046$$

- $Q = 1/2 \cdot (1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (35 - 28,67) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (20,57 - 15)) = 2,8 \cdot 10^5 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 14,046 = 35,54 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 7,88 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 50 l/h a 40° la corriente caliente:**

- 30":

$$T_1 = 34 - 15 = 19 \quad T_2 = 40 - 25,2 = 14,8$$

$$T_m = (14,8 - 19)/(\ln(14,8/19)) = 13,75$$

- (1)  $Q = 1/2 \cdot (1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (40 - 34) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (25,2 - 15)) = 2,6 \cdot 10^5 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 13,75 = 34,85 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 7,4 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- 1':

$$T_1 = 29,5 - 25,2 = 4,3 \quad T_2 = 34 - 22,8 = 4,3$$

$$T_m = (11,2 - 4,3)/(\ln(11,2/4,3)) = 7,21$$

$$(1) Q = 1/2 \cdot (1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (34 - 29,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (25,2 - 22,8)) = 6,2 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 7,21 = 18,27 \cdot U \text{ cal}$

• = (2)

**U = 3,41 cal/ m2 °C**

• 1'30":

"1 = 27 - 22,8 = 4,2 "2 = 29,5 - 21,4 = 8,1

"Tm = (8,1 - 4,2) / (Ln(8,1/4,2)) = 5,94

• Q = 1/2(1\*1000\*1\*(29,5-27)+50\*1000\*1\*(22,8-21,4)) = 3,63\*104 cal

• Q = U\*2,53\*5,94 = 15,05\*U cal

• = (2)

**U = 2,42 cal/ m2 °C**

• 2':

"1 = 25 - 21,4 = 3,6 "2 = 27 - 20,15 = 6,85

"Tm = (6,85 - 3,6) / (Ln(6,85/3,6)) = 5,05

(1) Q = 1/2(1\*1000\*1\*(27-25)+50\*1000\*1\*(21,4-20,15)) = 3,23\*104 cal

• Q = U\*2,53\*5,05 = 12,81\*U cal

• = (2)

**U = 2,52 cal/ m2 °C**

**Caudal 100 l/h a 40° la corriente caliente:**

A) 30":

"1 = 31,5 - 15 = 16,5 "2 = 40 - 20,7 = 19,3

"Tm = (19,3 - 16,5) / (Ln(19,3/16,5)) = 17,86

• Q = 1/2(1\*1000\*1\*(40-31,5)+100\*1000\*1\*(20,7-15)) = 2,89\*105 cal

• Q = U\*2,53\*17,86 = 45,27\*U cal

• = (2)

**U = 6,39 cal/ m2 °C**

**Caudal 50 l/h a 45 la entrada caliente:**

• 30":

$$t_1 = 38 - 17 = 21 \quad t_2 = 45 - 29,3 = 15,7$$

$$T_m = (15,7 - 21) / (\ln(15,7/21)) = 18,22$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (45 - 38) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (29,3 - 17)) = 3,11 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 18,22 = 46,18 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 6,74 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- $t_1'$ :

$$t_1 = 34 - 29,3 = 4,7 \quad t_2 = 38 - 26,4 = 11,6$$

$$T_m = (11,6 - 4,7) / (\ln(11,6/4,7)) = 7,64$$

- $Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (38 - 34) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (29,3 - 26,4)) = 7,45 \cdot 10^4 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 7,64 = 19,36 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 3,85 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- $t_1''$ :

$$t_1 = 30,5 - 26,4 = 4,1 \quad t_2 = 34 - 24,2 = 9,8$$

$$T_m = (9,8 - 4,1) / (\ln(9,8/4,1)) = 6,54$$

- (1)  $Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (34 - 30,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (26,4 - 24,2)) = 5,65 \cdot 10^4 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 6,54 = 16,57 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 3,41 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- $t_2'$ :

$$t_1 = 27 - 24,2 = 2,8 \quad t_2 = 31,5 - 22,6 = 8,9$$

$$T_m = (8,9 - 2,8) / (\ln(8,9/2,8)) = 5,27$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (31,5 - 27) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (24,6 - 22,6)) = 5,23 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 5,27 = 13,37 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

$$U = 3,9 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

• 2'30":

$$t_1 = 25,5 - 22,6 = 2,9 \quad t_2 = 27 - 21,1 = 5,8$$

$$T_m = (5,8 - 2,9) / (\ln(5,8/2,9)) = 4,18$$

$$Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (27 - 25,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (22,6 - 21,2)) = 3,57 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 4,18 = 10,59 \cdot U \text{ cal}$$

$$U = (2)$$

$$U = 3,37 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 100 l/h a 45° la corriente caliente:**

• 30":

$$t_1 = 36 - 16 = 20 \quad t_2 = 45 - 23,7 = 21,3$$

$$T_m = (21,3 - 20) / (\ln(21,3/20)) = 20,65$$

$$Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (45 - 36) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (23,7 - 16)) = 3,89 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 20,65 = 52,35 \cdot U \text{ cal}$$

$$U = (2)$$

$$U = 7,4 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

B) 1':

$$t_1 = 30,5 - 23,7 = 6,8 \quad t_2 = 36 - 21,3 = 14,7$$

$$T_m = (14,7 - 6,8) / (\ln(14,7/6,8)) = 10,25$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (36 - 30,5) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (23,7 - 21,3)) = 1,23 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 10,25 = 25,98 \cdot U \text{ cal}$$

$$U = (2)$$

$$U = 4,73 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 150 l/h a 45° la corriente caliente:**

• 30":

$$t_1 = 35,5 - 15 = 20,5 \quad t_2 = 45 - 21,2 = 23,8$$

$$T_m = (23,8 - 20,5) / (\ln(23,8/20,5)) = 22,10$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (45 - 35,5) + 150 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (21,2 - 15)) = 4,69 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$\bullet Q = U \cdot 2,53 \cdot 22,10 = 56,02 \cdot U \text{ cal}$$

$$\bullet = (2)$$

$$U = 8,4 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 50 l/h a 50° la corriente caliente:**

$$\bullet 30'':$$

$$T_1 = 41,5 - 16 = 25,5 \quad T_2 = 50 - 30,8 = 19,2$$

$$T_m = (19,2 - 25,5) / (\ln(19,2/25,5)) = 22,21$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (50 - 41,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (30,8 - 16)) = 3,74 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$\bullet Q = U \cdot 2,53 \cdot 22,21 = 56,2 \cdot U \text{ cal}$$

$$\bullet = (2)$$

$$U = 6,7 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\bullet 1':$$

$$T_1 = 35,5 - 30,8 = 4,7 \quad T_2 = 41,5 - 26,85 = 14,65$$

$$T_m = (14,65 - 4,7) / (\ln(14,65/4,7)) = 8,75$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (41,5 - 35,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (30,8 - 26,85)) = 1,02 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$\bullet Q = U \cdot 2,53 \cdot 8,75 = 22,15 \cdot U \text{ cal}$$

$$\bullet = (2)$$

$$U = 4,6 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\bullet 1'30'':$$

$$T_1 = 31,5 - 26,85 = 4,65 \quad T_2 = 35,5 - 24,75 = 10,75$$

$$T_m = (10,75 - 4,65) / (\ln(10,75/4,65)) = 7,28$$

$$\bullet Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (35,5 - 31,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (26,85 - 24,75)) = 5,45 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

$$\bullet Q = U \cdot 2,53 \cdot 7,28 = 18,41 \cdot U \text{ cal}$$

$$\bullet = (2)$$

$$U = 2,96 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

• 2':

$$t_1 = 28 - 24,75 = 3,25 \quad t_2 = 31,5 - 22,85 = 8,65$$

$$T_m = (8,65 - 3,25) / (\ln(8,65/3,25)) = 5,52$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (31,5 - 28) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (24,75 - 22,85)) = 4,92 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 5,52 = 13,96 \cdot U \text{ cal}$$

• = (2)

$$U = 3,53 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

• 2'30":

$$t_1 = 25,5 - 22,85 = 2,65 \quad t_2 = 28 - 21,05 = 6,95$$

$$T_m = (6,95 - 2,65) / (\ln(6,95/2,65)) = 4,46$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (28 - 25,5) + 50 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (22,85 - 21,05)) = 4,62 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 4,46 = 11,3 \cdot U \text{ cal}$$

• = (2)

$$U = 4,1 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Caudal 100 l/h a 50° la corriente caliente:**

• 30":

$$t_1 = 39,5 - 15 = 24,5 \quad t_2 = 50 - 25,3 = 24,7$$

$$T_m = (24,7 - 24,5) / (\ln(24,7/24,5)) = 24,6$$

$$Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (50 - 39,5) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (25,3 - 15)) = 5,2 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

$$Q = U \cdot 2,53 \cdot 24,6 = 62,2 \cdot U \text{ cal}$$

• = (2)

$$U = 8,4 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

• 1':

$$t_1 = 33,5 - 25,3 = 8,2 \quad t_2 = 39,5 - 22,45 = 17,05$$

$$T_m = (17,05 - 8,2) / (\ln(17,05/8,2)) = 12,1$$

$$(1) Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (39,5 - 33,5) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (25,3 - 22,45)) = 1,45 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 12,1 = 30,6 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

**$U = 4,75 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$**

- 1'30":

$t_1 = 28,5 - 22,45 = 6,05$   $t_2 = 33,5 - 20,5 = 13$

$t_{m} = (13 - 6,05) / (\ln(13/6,05)) = 9,1$

(1)  $Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (33,5 - 28,5) + 100 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (22,45 - 20,5)) = 1 \cdot 105 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 9,1 = 23,1 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

**$U = 4,33 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$**

**Caudal 150 l/h a 50° la corriente caliente:**

- 30":

$t_1 = 38 - 15 = 23$   $t_2 = 50 - 22,2 = 27,8$

$t_{m} = (27,8 - 23) / (\ln(27,8/23)) = 25,3$

- $Q = 1/2(1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (50 - 38) + 150 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (22,2 - 15)) = 5,46 \cdot 105 \text{ cal}$

- $Q = U \cdot 2,53 \cdot 25,3 = 64,1 \cdot U \text{ cal}$

- = (2)

**$U = 8,51 \text{ cal/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$**

	50 l/h	100 l/h	150 l/h

El coeficiente global de transmisión es cal/ m<sup>2</sup> °C.

Si observamos los valor obtenidos de U podemos llegar a la conclusión de que depende del tiempo que haya transcurrido de tal modo que a mayor tiempo menor será el valor de U, es independiente del caudal del agua y de la T<sup>a</sup> de la corriente caliente, aunque los datos difieran un poco.

**BIBLIOGRAFÍA.**

Información bajada de la red; buscador [www.google.com](http://www.google.com)

Elementos de Ingeniería Química. A. Vian y Ocon. Ed. Aguilar. Madrid 1979

DESAGUE

T1

T3

T2

AGITADOR MAGNÉTICO