

# Cambiador de calor de carcasa y tubos



## Objetivos de la práctica

- Determinar las características geométricas de un cambiador de calor de carcasa y tubos con objeto de calcular su área efectiva de intercambio.
- Estudiar la operación del cambiador en régimen estacionario.
- Estimar indirectamente el área de transmisión de calor a partir de los datos de operación y el del coeficiente global de transmisión de calor.
- Manejar ecuaciones empíricas que correlacionan los coeficientes individuales de transmisión de calor con las variables del sistema para estimar el coeficiente global de transmisión de calor.

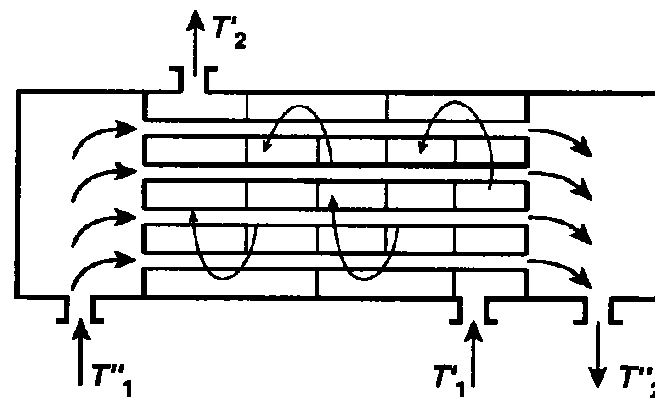
## Fundamento teórico

Los equipos donde se intercambia energía entre fluidos calientes y fríos se denominan “intercambiadores de calor”, o más abreviadamente, “cambiadores de calor”. Bajo el punto de vista del diseño y aplicación, las consideraciones técnicas principales de un cambiador de calor son: el cálculo del área necesaria (y, por tanto, el tamaño del equipo) para una determinada operación y el tipo de cambiador utilizado para ello.

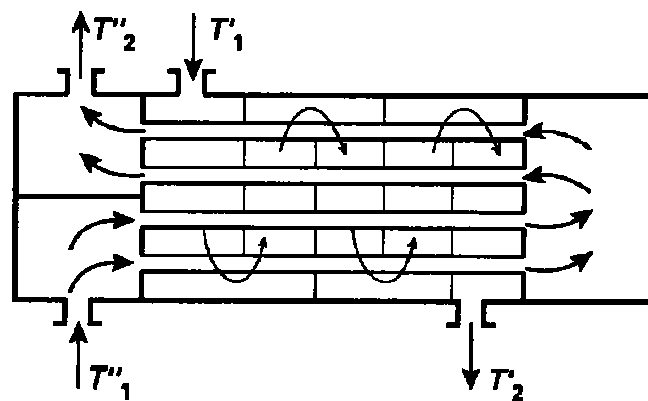
El dispositivo más sencillo para intercambiar calor entre un fluido frío y uno caliente es el cambiador de calor de “tubos concéntricos”. Uno de los fluidos circula por el tubo interior, mientras que el otro lo hace por el espacio anular entre los dos tubos, pudiendo ser los flujos en paralelo o contracorriente. Este tipo de cambiador, de fácil construcción, se utiliza solamente para caudales pequeños.

Existen también otros tipos de cambiadores de calor en los que se busca aprovechar mejor el área de contacto en dispositivos más compactos y eficientes. Uno de los más comunes es el grupo de los cambiadores de calor multitubulares, de “carcasa y tubos”. En este caso uno o los dos fluidos pueden realizar múltiples recorridos o “pasos” por el cambiador. En la **Figura 1** se muestran los dos ejemplos más sencillos. Cuando los fluidos pasan una sola vez por los tubos y una sola vez por la carcasa, bañando exteriormente los tubos, el cambiador se denomina **1-1**. Si el fluido pasa dos veces por los tubos a lo largo del cambiador, éste se denomina **1-2**, pudiéndose comprobar que en este caso los dos fluidos circulan en contracorriente en la mitad del cambiador y en paralelo en la otra mitad. En general, este tipo de

cambiadores se representa por  $n-n'$  ( $n$  pasos en carcasa -  $n'$  pasos en tubos).



Cambiador 1-1



Cambiador 1-2

Figura 1

En todos estos cambiadores, el fluido exterior que circula por la carcasa se ve obligado a atravesar el bloque de tubos con flujo cruzado, más que paralelo, forzado por la presencia de unos “tabiques deflectores” perpendiculares a los tubos. De esta forma se consigue una mayor turbulencia y, por tanto, un valor más alto del coeficiente de transmisión de calor para el fluido exterior.

En cuanto a la disposición de los tubos, puede ser de diferentes tipos, siendo las disposiciones más utilizadas la triangular y la cuadrada (ver **Figura 2**) que, a su vez, pueden ser normales o rotadas respecto a la dirección del flujo.

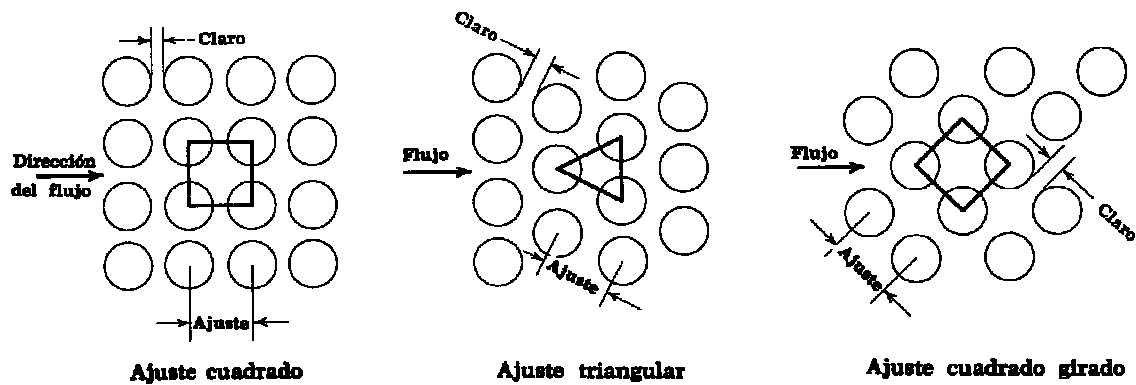


Figura 2

### Ecuación de diseño

Para obtener la ecuación de diseño de un cambiador de calor de carcasa y tubos se considerará inicialmente un cambiador de tubos concéntricos, al que se aplicará la ecuación diferencial de diseño:

$$dQ = -U \Delta T dA = U (T' - T'') dA \quad (1)$$

donde  $T'$  representa la temperatura del fluido caliente y  $T''$  la del fluido frío y el coeficiente global de transmisión de calor  $U$  se considerará constante a lo largo del cambiador.

Esta ecuación puede integrarse teniendo en cuenta que la relación entre las variables  $Q$  y  $\Delta T$  viene dada por un balance diferencial de energía en cada uno de los fluidos, considerando constantes las capacidades caloríficas:

$$dQ = -m' C_p' dT' = m'' C_p'' dT'' \quad (2)$$

ecuación que integrada entre los dos extremos del cambiador (considerando los cambios de temperatura en cada uno de los fluidos, individualmente):

$$Q = m' C_p' (T_1' - T_2') = m'' C_p'' (T_2'' - T_1'') \quad (3)$$

Por otro lado, el balance diferencial de energía también puede escribirse de la forma:

$$dQ = \frac{-dT'}{1/m'C_p'} = \frac{dT''}{1/m''C_p''} = \frac{-(dT' - dT'')}{\frac{1}{m'C_p'} + \frac{1}{m''C_p''}} = \frac{-d(T' - T'')}{\frac{1}{m'C_p'} + \frac{1}{m''C_p''}} \quad (4)$$

Comparando la ecuación [4] con la ecuación diferencial de diseño, [1], se obtiene, operando convenientemente:

$$\frac{d\Delta T}{\Delta T} = -U \left( \frac{1}{m'C_p'} + \frac{1}{m''C_p''} \right) dA \quad (5)$$

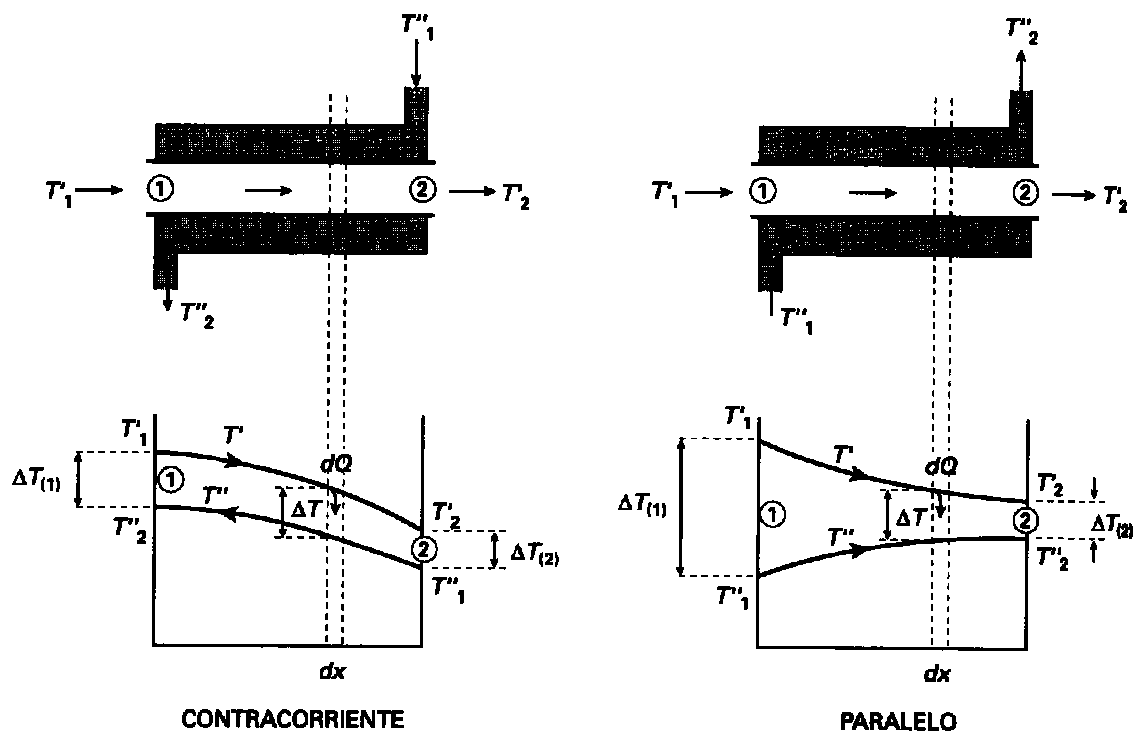


Figura 3

La integración de esta ecuación entre los extremos del cambiador (considerando los cambios de temperatura de los dos fluidos, simultáneamente) permite obtener:

$$\ln \frac{\Delta T_{(2)}}{\Delta T_{(1)}} = -U A \left( \frac{1}{m'C_p'} + \frac{1}{m''C_p''} \right) \quad (6)$$

siendo los subíndices de  $\Delta T$  los correspondientes a los extremos del cambiador de calor.

Obsérvese que, según puede aclararse a partir de la **Figura 3**, las expresiones

de  $\Delta T_{(1)}$  o  $\Delta T_{(2)}$  son distintas, según se trate de flujo en contracorriente o en paralelo pero, como se verá en seguida, este hecho no impedirá obtener una ecuación general.

Teniendo en cuenta el balance de energía integrado, el contenido del paréntesis del segundo miembro puede sustituirse por su equivalente en función de la temperatura:

$$\ln \frac{\Delta T_{(2)}}{\Delta T_{(1)}} = - \frac{U A}{Q} [ (T_1' - T_1'') - (T_2' - T_2'') ] \quad (7)$$

Obsérvese, de nuevo, que el contenido del corchete siempre podrá reordenarse de forma que coincida su valor con los correspondientes a  $\Delta T_{(1)}$  y  $\Delta T_{(2)}$ , por lo que siempre se podrá poner (independientemente de que el cambiador opere en paralelo o en contracorriente):

$$\ln \frac{\Delta T_{(2)}}{\Delta T_{(1)}} = \frac{U A}{Q} [ \Delta T_{(2)} - \Delta T_{(1)} ] \quad (8)$$

obteniéndose, por tanto, la ecuación de diseño integrada para el cambiador de tubos concéntricos:

$$Q = U A \frac{\Delta T_{(2)} - \Delta T_{(1)}}{\ln \frac{\Delta T_{(2)}}{\Delta T_{(1)}}} = U A \Delta T_{ml} \quad (9)$$

El término  $\Delta T_{ml}$  se conoce como “diferencia de temperatura media logarítmica” entre los dos extremos del cambiador de tubos concéntricos.

#### *Ecuación de diseño corregida para cambiadores multitubulares*

Cuando el cambiador es multitubular, la integración de la ecuación diferencial de diseño resulta extraordinariamente compleja, por lo que Bowman, Mueller y Nagle propusieron como ecuación de diseño una formalmente igual a la anterior, pero introduciendo un factor de corrección  $F_T$ , de la forma:

$$Q = U A F_T \Delta T_{ml} \quad (10)$$

El factor de corrección  $F_T$  se ha calculado experimentalmente para diversos tipos

de cambiadores multitubulares, habiéndose representado gráficamente en función de dos parámetros adimensionales:

- Relación de capacidades caloríficas,  $Z$ :

$$Z = \frac{m'' C_p''}{m' C_p'} = \frac{T_1' - T_2'}{T_2'' - T_1''} = \frac{\text{Enfriamiento del fluido caliente}}{\text{Calentamiento del fluido frío}} \quad (11)$$

- Rendimiento de calefacción,  $\eta_c$ :

$$\eta_c = \frac{m'' C_p'' (T_2'' - T_1'')}{m'' C_p'' (T_1' - T_1'')} = \frac{T_2'' - T_1''}{T_1' - T_1''} = \frac{\text{Calor transmitido al fluido frío}}{\text{Calor transmisible máximo}} \quad (12)$$

En la **Figura 4** se muestra una gráfica de este tipo para un cambiador 1-1. Obsérvese que, en general, no es recomendable utilizar cambiadores de calor en condiciones para las que resulte  $F_T < 0,75$ , debido a su ineficacia.

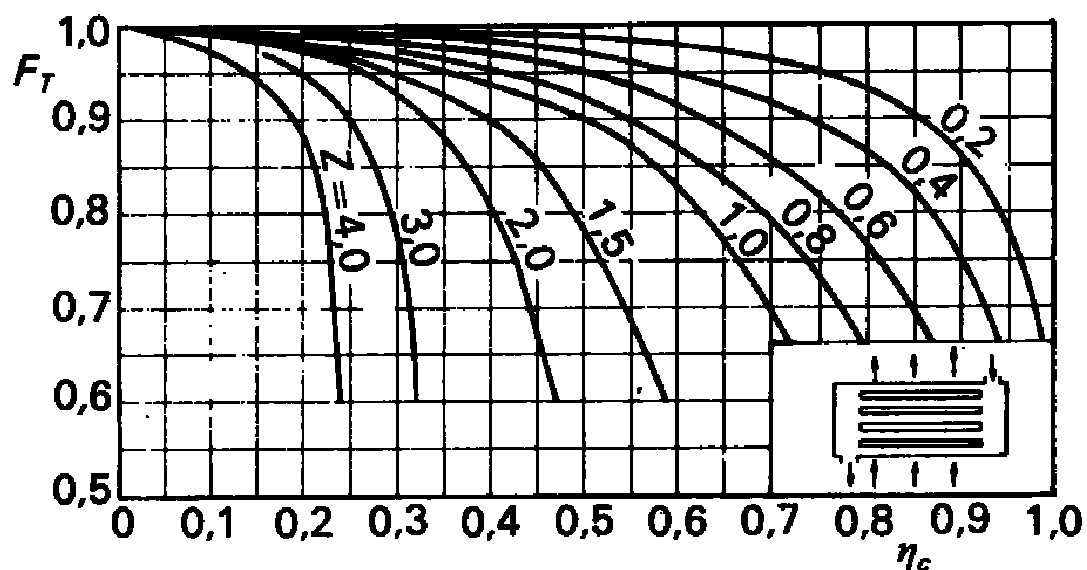


Figura 4

*Coeficiente global de transmisión de calor*

La ecuación de diseño permitirá obtener el área necesaria del cambiador de calor si se conoce el valor del coeficiente global de transmisión de calor,  $U$ .

Teniendo en cuenta que  $U$  generalmente contiene tres resistencias en serie, también es posible estimar su valor a partir de ellas, por lo que será necesario, en principio, identificar dichas resistencias.

Las resistencias térmicas que se oponen al intercambio de energía entre los fluidos frío y caliente a lo largo del cambiador se representan en la **Figura 5**. Obsérvese que las dos resistencias de convección que corresponden a los fluidos vienen caracterizadas por los respectivos coeficientes individuales de transmisión de calor,  $h'$  y  $h''$ , mientras que la de conducción, correspondiente a la pared del tubo, está caracterizada por la conductividad térmica del material,  $k$ , y se deduce de la ley de Fourier en coordenadas cilíndricas. Si se expresa la resistencia total en función de un coeficiente global  $U$  referido a un área genérica  $A$ , se podrá poner:

$$\frac{1}{U dA} = \frac{1}{h' dA'} + \frac{e}{k dA_{mi}} + \frac{1}{h'' dA''} \quad (13)$$

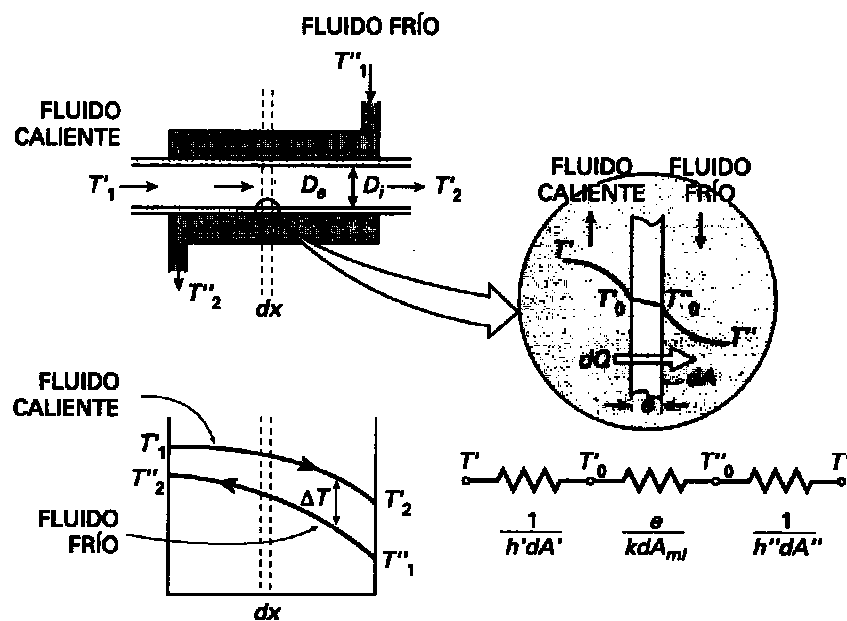


Figura 5

Si se hace extensiva esta resistencia a todo el cambiador se podrá poner:

$$\frac{1}{U A} = \frac{1}{h' A'} + \frac{e}{k A_{mi}} + \frac{1}{h'' A''} \quad (14)$$

o bien:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h' \frac{A'}{A}} + \frac{e}{k \frac{A_{ml}}{A}} + \frac{1}{h'' \frac{A''}{A}} \quad (15)$$

El valor del coeficiente global **U** generalmente se refiere de forma concreta a las áreas interna o externa de los tubos, con lo cual, teniendo en cuenta que la longitud de éstos es constante, podrá ponerse:

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{h'} + \frac{e}{k \frac{D_{ml}}{D'}} + \frac{1}{h'' \frac{D''}{D'}} \quad (16)$$

$$\frac{1}{U''} = \frac{1}{h' \frac{D'}{D''}} + \frac{e}{k \frac{D_{ml}}{D''}} + \frac{1}{h''} \quad (17)$$

### *Coefficientes individuales de transmisión de calor*

La necesidad de disponer de coeficientes de transmisión de calor globales para la aplicación de la ecuación de diseño ha hecho que el estudio de la transmisión de calor entre fluidos y sólidos se haya orientado siempre al establecimiento de correlaciones que permitan el cálculo de los coeficientes de transmisión individuales en función de todas las variables que los afectan en cada caso particular.

A continuación se hará un resumen de un extenso estudio bibliográfico realizado con el fin de obtener las correlaciones más aptas para calcular coeficientes individuales de transmisión de calor para cambiadores.

En lo que sigue, todas las propiedades físico-químicas se entenderán obtenidas a la temperatura media del fluido, salvo indicación en contrario, utilizándose los módulos adimensionales siguientes:

Módulos	Variables
$Re = \frac{D G}{\mu}$	D: diámetro [m] G: velocidad másica [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$Pr = \frac{C_p \mu}{k}$	$\mu$ : viscosidad [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ] $C_p$ : capacidad calorífica [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]
$Nu = \frac{h D}{k}$	k: conductividad térmica [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] h: coeficiente individual de transmisión de calor [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]

Asimismo, **todas** las ecuaciones que siguen son susceptibles de ser corregidas mediante un factor de viscosidad definido por Sieder y Tate, de la forma:

$$\left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (18)$$

donde  $\mu$  representa la viscosidad del fluido a la temperatura media de éste y  $\mu_w$  la viscosidad a la temperatura de la pared sólida que separa ambos fluidos. Este factor se introduce debido a que la viscosidad es la propiedad que mayor variación experimenta con la temperatura y es conveniente estimar previamente su valor en condiciones conservativas para confirmar la necesidad de su uso, ya que si éste fuese necesario, obligaría a efectuar tanteos en los cálculos de los coeficientes individuales.

Coeficientes individuales de transmisión de calor para <b>Flujo Interno</b>		
Autores	Ecuación	Condiciones
Sieder y Tate	$Nu = 1,86 Re^{\frac{1}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left( \frac{D}{L} \right)^{\frac{1}{3}}$	Régimen laminar $Re < 2.000$
Hausen	$Nu = 0,116 \left( Re^{\frac{2}{3}} - 125 \right) Pr^{\frac{1}{3}} \left[ 1 + \left( \frac{D}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$	Régimen de transición $2.000 < Re < 10.000$
Dittus - Boelter	$Nu = 0,023 Re^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$	Régimen turbulento $Re > 10.000$ ( $Pr^{2/5}$ para calentamiento)

Coeficientes individuales de transmisión de calor para <b>Flujo Externo</b>			
Autores		Ecuación	
Varios (Perry & Chilton)		$Nu = a Re^m Pr^{\frac{1}{3}}$	
Condiciones			
<b>Re</b> calculado con <b>D<sub>o</sub></b> (diámetro externo de los tubos individuales) y <b>G<sub>máx.</sub></b> (velocidad másica a través del área mínima libre entre hileras de tubos, normal al flujo).			
Re	m	a = f(disposición); con deflectores	
		Alineada	Alternada
1 -100	0,410	0,513	0,650
100 - 300	0,508	0,329	0,416
> 3000	0,600	0,156	0,198

## Dispositivo experimental

El dispositivo experimental está formado por el cambiador de calor y una instalación complementaria para el suministro de agua fría y caliente y para la medida de sus caudales y de las temperaturas necesarias.

El **cambiador** está formado por una carcasa cilíndrica de acero cerrada por dos cabezales desmontables en ambos extremos, a los que va sujeto mediante un largo pasador, el haz de tubos interno. Este conjunto se fija mediante dos tuercas a ambos extremos del pasador, asegurándose su estanqueidad mediante sendas juntas tóricas. El haz de tubos de latón [**k = 100 W/(m·K)**] es extraíble para su limpieza y estudio geométrico.

Las entradas y salidas de fluido a la carcasa y al haz de tubos se efectúa mediante tuberías de acero de ½", dotadas cada una de ellas de una llave de paso, un racor con los cierres de goma apropiados para la instalación de un termómetro de vidrio o de un termopar, y un acople a una manguera flexible, cerrada con una pinza de Hoffman, que permite la purga del aire retenido en el interior del dispositivo. La entrada a los tubos dispone asimismo de una derivación con llave para facilitar el vaciado del bloque de tubos; en el fondo de la carcasa existe una pequeña llave de

purga para facilitar el vaciado de la carcasa.

El cuerpo del cambiador está recubierto de varias capas de tejido de amianto y de una lámina de aluminio, con objeto de reducir al mínimo las pérdidas de calor al exterior por conducción y radiación. Por el mismo motivo, cada uno de los cabezales está forrado con dos piezas de corcho, sujetas mediante una brida exterior.

La **instalación complementaria** está formada por las conducciones de agua, la conducción de gas y los elementos de medida. El agua se impulsa mediante una bomba centrífuga desde un tanque de nivel constante. A la salida de la bomba hay una derivación (*by-pass*) hacia el tanque de alimentación, regulable mediante una llave, que permite ajustar el paso de agua a los medidores de caudal. A continuación se bifurca la conducción, dando lugar a las líneas de agua fría y caliente, cuyos caudales se miden mediante los rotámetros instalados (y calibrados) a tal fin. El agua fría entra directamente en la carcasa del cambiador, mientras que la otra conducción pasa por un calentador de agua y se introduce, caliente, en los tubos del cambiador.

El calentador de agua está alimentado por dos botellas de butano conectadas en paralelo, que se encuentran sumergidas en el tanque de agua de alimentación, con objeto de evitar el brusco enfriamiento que se produce al expandirse el butano, lo que provocaría considerables fluctuaciones de su caudal de entrada al calentador, y, por tanto de la temperatura del agua caliente que se introduce en el cambiador. La conducción de butano está dotada de los correspondientes manorreductores y válvula de cierre. Unos mandos en el calentador permiten regular su funcionamiento, haciendo posible obtener una temperatura determinada en el agua caliente de salida (entrada al cambiador).

Las salidas de agua del cambiador se conducen directamente a un desagüe.

En las entradas y salidas del cambiador se dispone de los correspondientes termómetros o termopares. En este último caso, todos ellos están conectados mediante los cables respectivos a una unidad central de medida, que permite presentar las señales eléctricas recibidas como temperaturas.

## Realización práctica

Con el cambiador de calor desmontado, efectuar sobre el haz de tubos las siguientes medidas referentes a su geometría con ayuda de un calibrador y de una cinta

métrica:

Lado de los tubos	Lado de la carcasa
Número de pasos	Número de pasos
Diámetro interno	Diámetro del eje central
Diámetro externo	Diámetro del haz
Longitud	Separación entre deflectores
Número de tubos	
Distancia entre tubos (claro)	
Distancia entre centros (ajuste)	
Tipo de disposición	

### *Operación del cambiador*

Montar el haz de tubos en el interior del cambiador. Introducir el pasador por el tubo central y fijar a él los dos cabezales mediante las tuercas correspondientes. Cuidarse la correcta colocación de las juntas tóricas que sirven de cierre en el interior de los cabezales. Cubrir los cabezales con las piezas de corcho, fijándolas mediante las correspondientes bridas.

Abrir las válvulas de las botellas de butano, abrir la llave de entrada de gas al calentador y encender éste. Encender la bomba de impulsión de agua teniendo la precaución de que la derivación a su salida se encuentre parcialmente abierta. Abrir lentamente las llaves de acceso a los rotámetros y esperar a que ambas corrientes de agua comiencen a fluir a través del cambiador, comprobando que no se produzcan fugas en los acoples de los cabezales. Abrir cuidadosa y alternativamente las mangueras de purga, con objeto de extraer el aire que pueda quedar en el interior de las conducciones o del cambiador. Dirigir las purgas de agua hacia el tanque de almacenamiento.

Una vez purgado el cambiador, regular las llaves de entrada a los rotámetros de forma que permitan alimentar sendas corrientes de agua de **340 l/h** al cambiador. En caso necesario, ciérrase la derivación de la salida de la bomba si no se logra alcanzar dichos caudales. Manipular los mandos del calentador de agua de forma que la temperatura de entrada al cambiador sea de unos **50°C**. Esperar a que el sistema

alcance el estado estacionario, manteniendo constantes los caudales de alimentación. Cuando todas las medidas de temperatura sean constantes (después de aproximadamente unos veinte minutos), anotar todas ellas junto con los valores de los caudales.

Una vez finalizadas la medidas, apagar la bomba de agua, cerrar las llaves de los rotámetros, apagar el calentador de agua y cerrar todas las válvulas de la conducción de gas. Vaciar de agua el cambiador: abrir la llave de la entrada de los tubos que lleva al depósito de alimentación y la manguera de purga de la salida de los tubos (vaciado de los tubos); abrir la llave de purga del fondo de la carcasa y la manguera de purga de la entrada de la carcasa (vaciado de la carcasa).

Una vez vaciado de agua el cambiador, liberar los cabezales de su aislamiento y sujeción y extraer el haz de tubos.

#### *Datos complementarios*

Propiedades físicas del agua a 1 atm ( <i>Ocón/Tojo</i> )				
T [°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu \cdot 10^3$ [kg/(m·s)]	$C_p$ [kJ/(kg·K)]	k [W/(m·K)]
0	999,8	1,794	4,2134	0,570
10	999,7	1,310	4,1884	0,585
20	998,2	1,009	4,1779	0,600
30	995,7	0,800	4,1742	0,615
40	992,2	0,654	4,1746	0,630
50	988,1	0,549	4,1725	0,644
60	983,2	0,470	4,1800	0,658
70	977,8	0,407	4,1842	0,673
80	971,8	0,357	4,1925	0,687

#### Presentación de los resultados

1. Realizar un esquema gráfico de la instalación experimental, identificando los distintos elementos que la componen.
2. A partir de las medidas de las características geométricas realizadas, obtener las superficies de intercambio de calor, interna y externa. Calcular asimismo el

área mínima libre entre hileras de tubos como un rectángulo, uno de cuyos lados es la distancia entre deflectores y el otro el resultado de restar al diámetro del haz el del orificio central y el de los ocho tubos de los que se compone el diámetro del haz de tubos. Para determinar el tipo de disposición de los tubos en el haz, se recomienda hacer una calcografía de la zona central del haz de tubos, utilizando papel y lápiz.

3. Representar gráficamente los valores de las propiedades físicas del agua frente a la temperatura. Analizar la variación máxima de cada una de dichas propiedades en el intervalo de temperatura de operación, expresando los resultados en tantos por ciento. Comentar los posibles errores que podrían cometerse al tomar los valores de las propiedades a las temperaturas medias de las corrientes.
4. A partir de los datos de caudales y de temperaturas obtenidas de la operación del cambiador en estado estacionario, calcular el caudal de calor transmitido por el fluido caliente y el calor recibido por el fluido frío. ¿Coinciden ambos valores? ¿Por qué?
5. Con ayuda de la gráfica de temperatura del cambiador, obtener los valores de  $\Delta T$  en ambos extremos del mismo. ¿Qué indica el resultado de la comparación de estos dos valores?
6. Considerando que el coeficiente global de transmisión de calor medio para este cambiador es de unos **400 W/(m<sup>2</sup>·K)**, estimar el área media de transmisión de calor. Comparar este valor con las superficies de intercambio obtenidas a partir de los datos geométricos. ¿Qué sugiere esta comparación?
7. Analizar el posible valor del factor de corrección de los coeficientes individuales debido a la viscosidad. Para ello se necesitan los valores de esta propiedad a la temperatura media del fluido y a la temperatura de la pared. Con ayuda de la gráfica de temperaturas del cambiador, obténgase la temperatura media de cada fluido y estímesese en cada caso la máxima que le podría corresponder a la pared. Calcúlense los factores de corrección en ambos casos. Si la corrección que se introduce es del orden del 5%, despréciese. Posteriormente, una vez calculados los coeficientes individuales, podrá estimarse la verdadera temperatura de la pared y analizar el posible error que se ha introducido.

8. Obténgase el régimen de circulación de ambos fluidos (módulo de Reynolds) y con ayuda de las ecuaciones correspondientes, calcúlense los coeficientes individuales del lado de los tubos y del lado de la carcasa.
9. La temperatura de la pared puede obtenerse integrando la ecuación diferencial de diseño ([1]) en un área de cambiador en que las temperaturas de cada fluido se consideran iguales a sus valores medios respectivos, de tal forma que:

$$Q_o = \frac{T' - T''}{\frac{1}{UA}} = \frac{T' - T'_w}{\frac{1}{h' A'}} = \frac{T'_w - T''_w}{\frac{e}{k A_{ml}}} = \frac{T''_w - T''}{\frac{1}{h'' A''}} = \frac{T' - T''}{\frac{1}{h' A'} + \frac{e}{k A_{ml}} + \frac{1}{h'' A''}} \quad (19)$$

Conocidos los coeficientes individuales, calcular las temperaturas de la pared interna y externa de los tubos (analícese el valor relativo de la resistencia de la propia pared). Calcular de nuevo los factores de corrección de la viscosidad y analícese su posible influencia sobre el valor de los coeficientes individuales (obsérvese que la ecuación [19] puede simplificarse para operar con diámetros).

10. Proponer un procedimiento de cálculo por tanteo para obtener los coeficientes individuales si no fuese despreciable el factor de corrección de la viscosidad.
11. Calcular los coeficientes globales para el interior y el exterior de los tubos, a partir de los coeficientes individuales (analícese de nuevo el valor relativo de la resistencia de la pared). Comparar los resultados obtenidos con el valor del coeficiente global utilizado para estimar el área del cambiador.

## Bibliografía

- Calleja, G. (ed.); "Introducción a la Ingeniería Química", Ed. Síntesis, Madrid (1999).
- Costa, E. y otros; "Ingeniería Química IV. Transmisión de calor", Ed. Alhambra, Madrid (1985).
- Foust, A.S. y otros; "Principios de Operaciones Unitarias", C.E.C.S.A., México (1972).
- Vian, A. y Ocón, J.; "Elementos de Ingeniería Química", Ed. Aguilar, Madrid (1972).

