

**QUIMICA INDUSTRIAL. PLANTA PILOTO
TRABAJO PRACTICO N° 2
TRANSFERENCIA DE CALOR
INTERCAMBIADORES DE CALOR**

1) OBJETIVOS

Interiorizar a los alumnos sobre la operación y control de intercambiadores de calor a escala piloto y el manejo de elementos de planta no vistos en la anterior práctica.

Determinar experimentalmente el coeficiente global de transferencia de calor en un intercambiador de calor de escala planta piloto. Compararlo con el valor estimado a partir de correlaciones de bibliografía.

Evaluar la pérdida de calor al medio ambiente del equipo en cuestión.

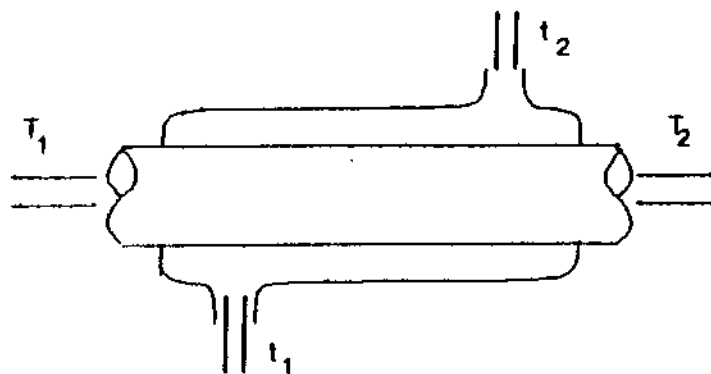
2) CONOCIMIENTOS TEORICOS NECESARIOS

Mecanismos de transferencia de calor: conducción y convección. Coeficientes peliculares de transferencia de calor. Estimación de los mismos a partir de correlaciones. Números adimensionales relacionados. Resolución de la Serie de Problemas.

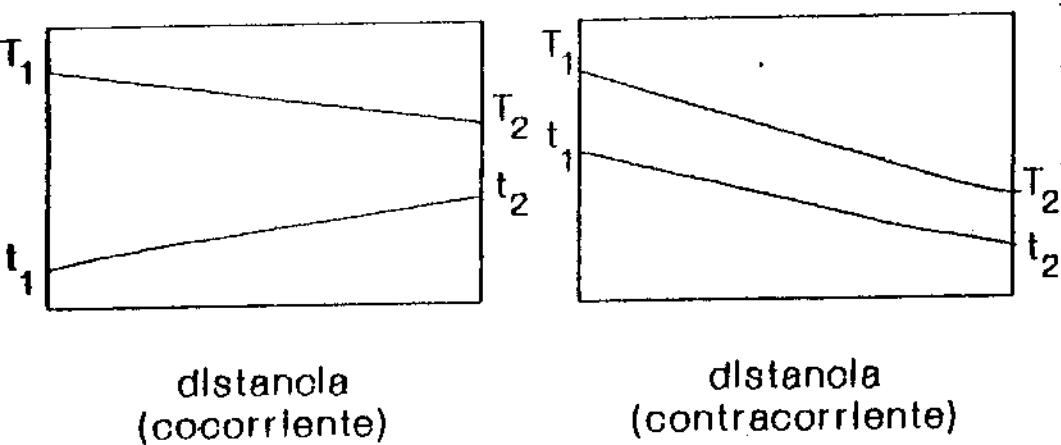
Intercambiadores de calor: ecuación de diseño. Área de intercambio. Coeficientes globales de transferencia de calor. Diferencia media logarítmica. Factores de ensuciamiento. Tipos de intercambiadores. Resolución de la Serie de Problemas.

3) INTRODUCCION

Un intercambiador de calor, como su nombre lo indica y como se ha visto en las clases teóricas, es un dispositivo a través del cual se busca la transferencia de calor de un fluido a otro. El equipo más simple que se utiliza para lograr esta transferencia sin que los fluidos se mezclen es el llamado intercambiador de calor de doble tubo o de tubos concéntricos. En la Fig. 1 se esquematiza este equipo; uno de los fluidos circula por el tubo interno y el otro por la sección anular que lo rodea. Estos fluidos pueden circular en cocorriente o en contracorriente. La fuerza impulsora de la transferencia de calor dependerá de este sentido de circulación. Si se grafica la temperatura de los fluidos frío y caliente en función de la distancia recorrida por ellos, se obtendrán gráficos similares a los esquematizados en la Fig. 2.



- Figura 1 -



- Figura 2 -

Las cantidades netas de calor por unidad de tiempo cedida por el fluido caliente y absorbida por el fluido frío, respectivamente, son:

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot c_{p_c} \cdot (T_1 - T_2)$$

$$Q_f = \dot{m}_f \cdot c_{p_f} \cdot (t_1 - t_2)$$

La diferencia entre Q_c y Q_f corresponde a las pérdidas de calor al medio ambiente. El calor intercambiado entre ambos fluidos a través del equipo se puede expresar como:

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

donde

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \frac{(T_1 - t_1)}{(T_2 - t_2)}}$$

En el caso de un intercambiador de calor de doble tubo, este Q debe coincidir con el absorbido o cedido por el fluido que circula por el tubo interno; "A" es el área del tubo interno, pues es el área a través de la cual se produce la transferencia de calor entre los dos fluidos. Se puede tomar el área interna del tubo, el área externa del mismo o un área promedio (considerando un diámetro de tubo promedio). De acuerdo al área que se tome, U será el coeficiente global externo, interno o medio. Este coeficiente global puede medirse experimentalmente o estimarse teóricamente a partir de los coeficientes peliculares de cada uno de los fluidos, los cuales a su vez se estiman a partir de correlaciones de bibliografía desarrolladas en equipos similares.

Si se desprecia la resistencia a la transferencia de calor por conducción en la pared a través de la cual se produce el intercambio de calor, el coeficiente global a partir de los coeficientes peliculares se puede calcular como:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$$

donde además, se ha supuesto que el área de transferencia externa es aproximadamente igual a la interna.

Si alguno de los fluidos cambia de fase, su temperatura permanecerá constante a lo largo del intercambiador y la cantidad de calor por unidad de tiempo cedida o absorbida por dicho fluido será aproximadamente igual al calor latente de cambio de fase pues la variación de temperatura posterior al mismo puede despreciarse.

El intercambiador de calor de doble tubo es el equipo más simple pero uno de los menos utilizados pues es poco eficiente, ya que el volumen que ocupa es muy grande en relación al área de transferencia disponible. Otros equipos comúnmente utilizados, que fueron diseñados para aumentar esta eficiencia son los intercambiadores de calor de carcasa y tubos y los intercambiadores de calor de placas.

En este trabajo práctico se utilizará un intercambiador de calor de placas para determinar experimentalmente un coeficiente global de transferencia de calor.

Intercambiadores de calor de placas: está formado por un conjunto de placas corrugadas, verticales, cercanamente espaciadas. Estas son desmontables y se pueden acoplar de diversas maneras, obteniéndose así una gran variedad de "arreglos" de flujo. Se construyen comúnmente de acero inoxidable, aunque también se pueden emplear en su construcción bronce, cobre, níquel y diversas aleaciones. Estos intercambiadores poseen una gran área de transferencia por unidad de volumen.

Frente a los intercambiadores de calor de doble tubo y de carcasa y tubos, presentan:

Ventajas

- Tienen mayores coeficientes globales de transferencia de calor (3,8 veces más altos para agua/agua y 2,5 veces más altos para aceite/aceite).
- Ocupan menor volumen (de 0,1 a 0,5 veces el espacio de una unidad tubular) y no más de 1/4 de su peso.
- Se produce en ellos turbulencia a bajos Re (10 - 400), dependiendo del espacio entre placas. Se pueden emplear con éxito para fluidos muy viscosos (hasta 1000 cp).
- Son muy versátiles pues se pueden sacar, cambiar y poner placas de acuerdo a los requerimientos.
- Menor inversión inicial.
- Factores de ensuciamiento bajos debido a la gran turbulencia, a tal punto de poder emplearse para suspensiones (ver Tabla 1).
- Baja retención de líquido.
- Bajas pérdidas de calor puesto que sólo los bordes de las placas están expuestas a la atmósfera. Estas pérdidas, en general, son despreciables y, en consecuencia, no se necesita aislación.

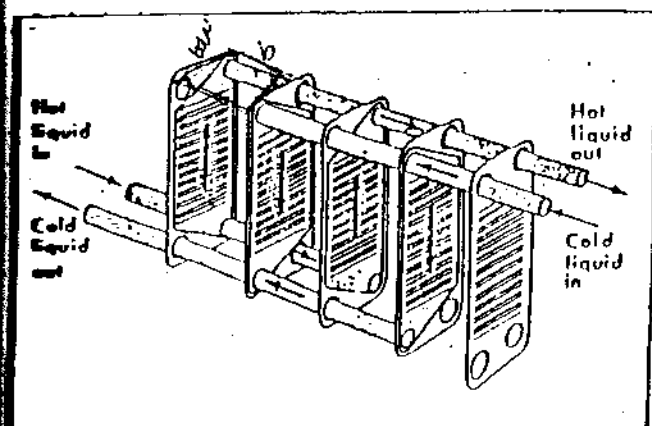
Desventajas:

- Los límites de operación para temperatura (260°C) y presión (10 - 15 atm) son considerablemente menores.
- Para un dado diseño de placas, el tamaño del orificio de entrada o salida está fijo, lo que limita el flujo a emplear.
- La posibilidad de manipulación de grandes caudales de vapor y gases está restringida, debido al tamaño limitado de las entradas y salidas.

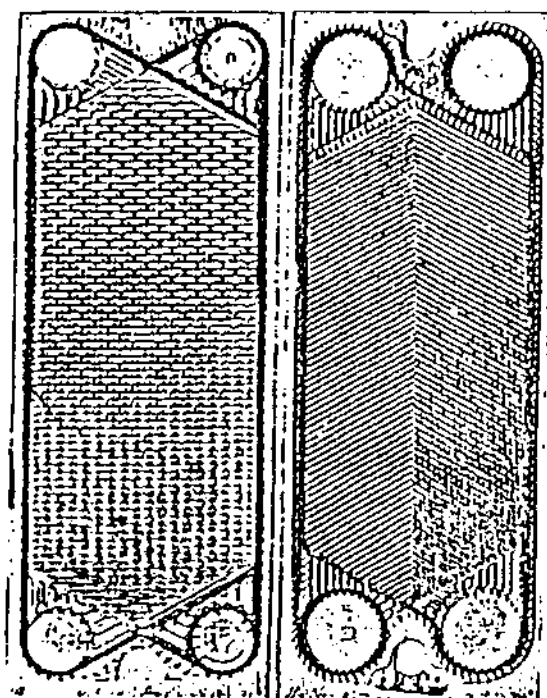
Tabla 1. Factores de ensuciamiento en intercambiadores de calor de placas

Fluido	Factores de ensuciamiento (°C.h.m²/Kcal)
Agua desmineralizada o destilada	0,00001
Agua de ciudades (blanda)	0,00002
Agua de ciudades (dura)	0,00005
Agua de torres de enfriamiento (tratadas)	0,00004
Agua de mar (costa o estuario)	0,00005
Agua de mar (océano)	0,00003
Agua de río, canal, etc.	0,00005
Aceites lubricantes	0,00002-0,00005
Aceites vegetales	0,00002-0,00006
Solventes orgánicos	0,00001-0,00003
Vapor	0,00001
Fluidos de procesos en general	0,00001-0,00006

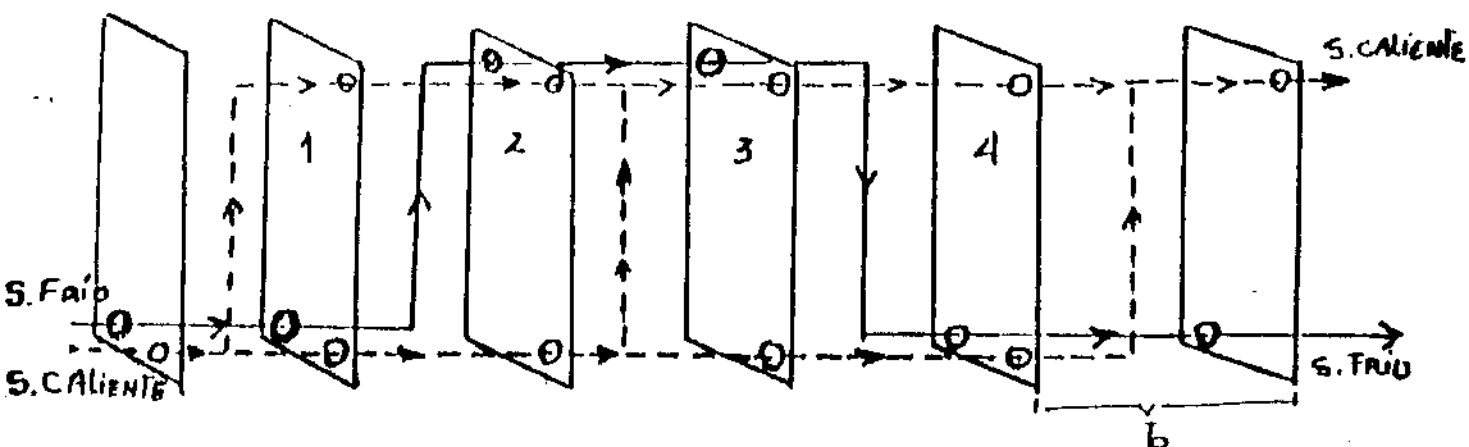
En la Fig.3 se muestra un esquema del intercambiador que se utilizará en este trabajo práctico. El mismo está compuesto por 4 placas térmicas corrugadas. El corrugado de cada placa está formado por 178 casquetes de 1cm de radio de hueco y 0,3 cm de profundidad.



-Figura 3a. Esquema del intercambiador de calor de placas.

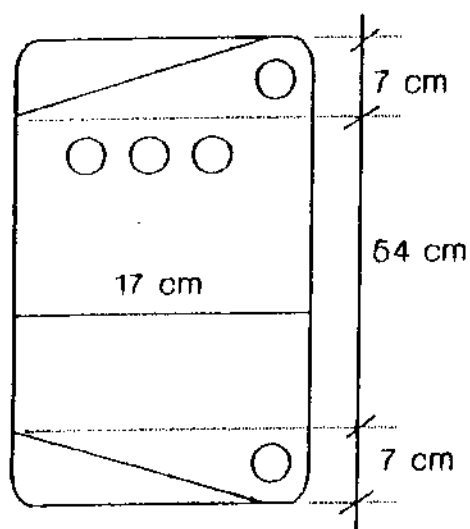


-Figura 3b. Placas corrugadas.

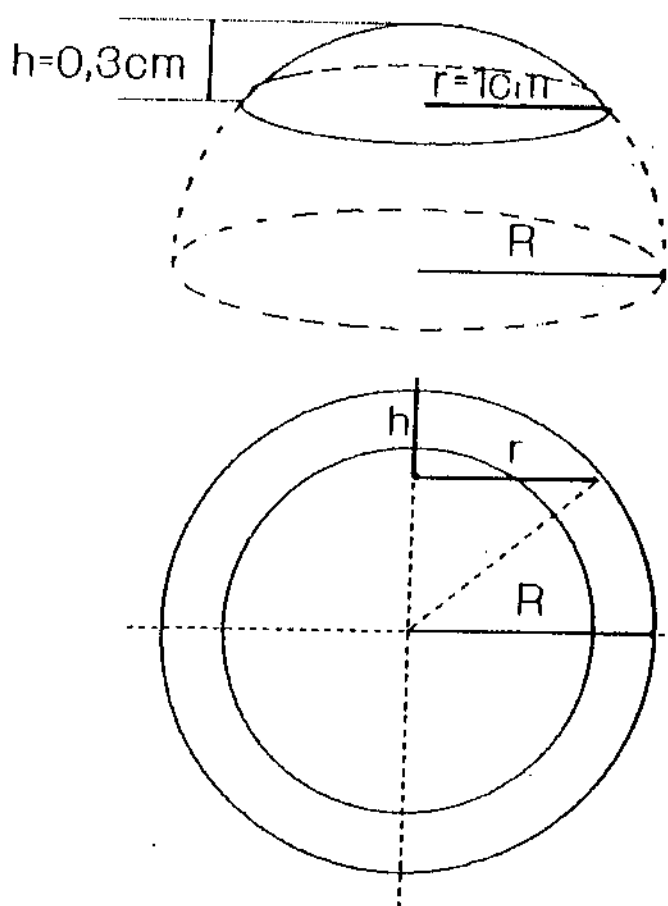


-Figura 3c. Esquema del arreglo de flujo en el intercambiador de calor utilizado en la práctica.

La diferencia fundamental entre este intercambiador y el de doble tubo radica en el área de transferencia, A. En este caso, la misma corresponde a la superficie de las placas corrugadas y puede calcularse de la siguiente manera: En primer lugar se determina el área de los casquetes que sobresalen de la placa. Esto puede hacerse teniendo en cuenta las Fig. 4a y 4b.



-Figura 4a. Esquema de la placa corrugada.



-Figura 4b. Esquema de un casquete.

A partir de la mismas, se tiene que:

$$R^2 = r^2 + (R - h)^2 = r^2 + R^2 - 2.R.h + h^2$$

$$r^2 = 2.R.h - h^2$$



$$R =$$

$$\frac{r^2 + h^2}{2.h}$$

$$2.h$$

Luego, el área de un casquete es:

$$A_c = 2.\pi.R.h = \pi.(r^2 + h^2)$$

En segundo lugar, se determina el área de un hueco:

$$A_h = \pi.r^2$$

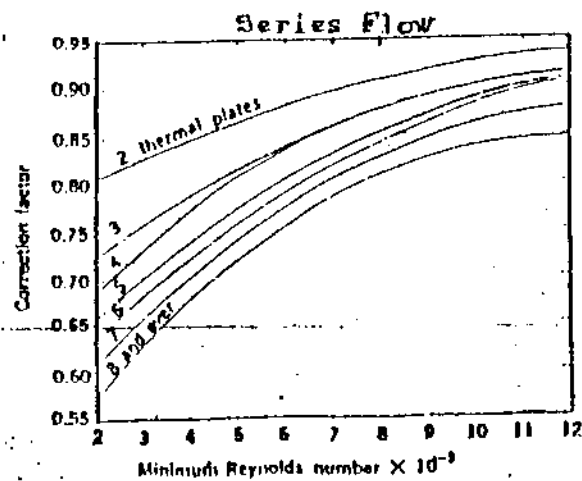
Con ellas se obtiene el área de una placa según:

$$A_p = (\text{largo} \times \text{ancho} - 178 A_h + 178 A_c)$$

y por último, el área total multiplicando A_p por el número de placas utilizadas:

$$A = n \times A_p$$

Otra diferencia de este intercambiador de calor con respecto al de doble tubo es que el flujo de los fluidos no es ni estrictamente cocorriente ni contracorriente. En esos casos, la fuerza impulsora que va en la ecuación de diseño se determina de la siguiente manera: Se evalúa el ΔT_{ml} considerando flujo en contracorriente y luego se lo multiplica por un factor de corrección (F_l) que, para el caso de intercambiadores de calor de placas, puede determinarse a partir del gráfico de la Fig.5 de acuerdo al número de placas empleadas.



-Figura 5. Factor de corrección para el diseño de intercambiadores de calor de placas.

Finalmente, la expresión para obtener el calor intercambiado en estos equipos viene dada por:

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

Para realizar una estimación teórica del coeficiente global, U , se puede utilizar la siguiente correlación de bibliografía (Marrit, 1971), con la cual se pueden calcular los coeficientes peliculares de un intercambiador de calor de placas como el utilizado en esta práctica:

$$Nu = 0,1 \cdot Re^{0,668} \cdot Pr^{0,333}$$

donde

$$Nu = \frac{h \cdot d_h}{k} \quad Re = \frac{G_m \cdot d_h}{\mu} \quad Pr = \frac{\mu \cdot cp}{k}$$

h : coeficiente pelicular de transferencia de calor [cal/s.cm².°C]

k : conductividad térmica del fluido [cal/s.cm.°C]

μ : viscosidad del fluido [g/cm.s]

cp : calor específico del fluido [cal/g.°C]

G_m : flujo másico del fluido \equiv caudal másico/ sección de flujo [g/s.cm²]

d_h : diámetro hidráulico equivalente; para un intercambiador de calor de placas:

$d_h = 2b$ [cm] , b : distancia entre placas = 0,25cm para el equipo utilizado en esta práctica.

Las propiedades físicas de los fluidos utilizados, necesarias para el cálculo de los números adimensionales, se evalúan a una temperatura media entre las temperaturas de entrada y de salida al intercambiador del fluido correspondiente.

Una vez obtenidos los coeficientes peliculares, el coeficiente global se puede estimar según:

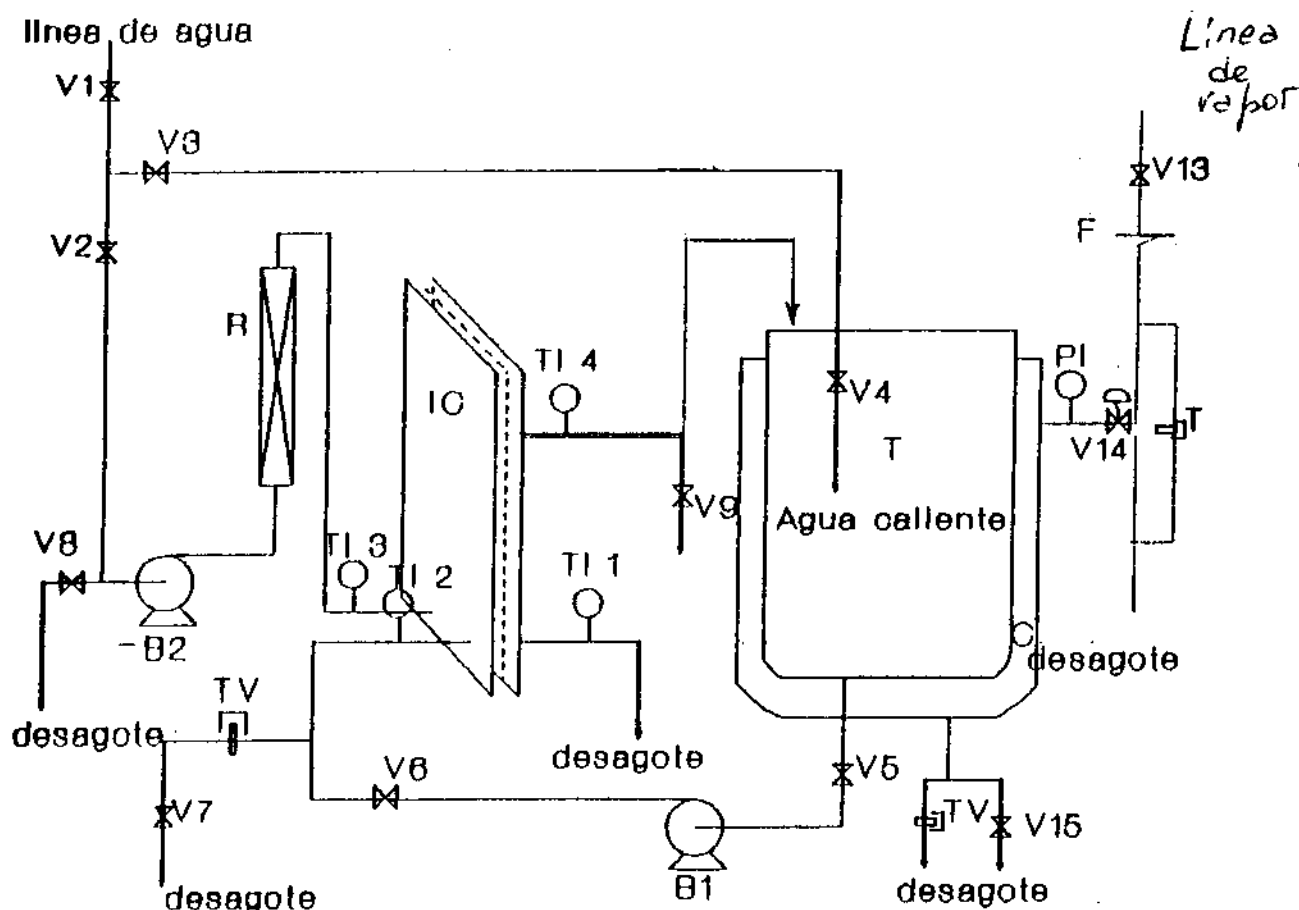
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_i}$$

4) ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA PRACTICA

La práctica consiste en determinar experimentalmente el coeficiente global de un intercambiador de calor de placas a partir de la medición del calor intercambiado por dos fluidos. Los fluidos utilizados serán agua fría y agua caliente.

El equipo consta de una línea de vapor que se utiliza para calentar el agua, que será el fluido caliente del intercambiador de calor, y una línea de agua fría para llenar el tanque y ser utilizada en el intercambiador de calor como fluido frío. También puede utilizarse el equipo trabajando directamente con vapor como fluido caliente.

Un diagrama más detallado del intercambiador de calor de placas utilizado se ha esquematizado en la Fig. 3 de la introducción. En la misma figura se muestra el arreglo de flujo de los dos fluidos que se utilizarán y algunos detalles de diseño del equipo.



-Figura 6. Esquema del equipo utilizado en la práctica. IC: intercambiador de calor de placas; B1, B2: bombas centrífugas; R: rotámetro; T: tanque de agua caliente; C: camisa de vapor para calentar el agua del tanque; TV: trampas de vapor; F: filtros de vapor; T1, T2, t1, t2: indicadores de temperatura; VS: válvula de seguridad; PI: indicadores de presión; V: válvulas esclusas y VG: válvulas globo.

Línea de vapor:

a) **Medidores de presión (PI)** : los instrumentos de medición de presión se basan en comparaciones de fuerzas o en mediciones de las deformaciones que las mismas

5) REALIZACION DE LA PRACTICA

- 1) Llenar el tanque T con agua de línea. Para ello abrir y cerrar las válvulas necesarias de la línea de agua.
- 2) Encender el agitador para el agua del tanque.
- 3) Abrir la válvula de ingreso de vapor a la camisa C, leyendo la presión que hay en la misma en el manómetro de burdón. Regularla de tal manera que no supere los 0,5 Kg/cm. Dejar que el vapor caliente el agua del tanque hasta que la misma alcance los 80°C. Cuidar que la presión en la camisa no sobrepase el límite deseado.
- 4) Abrir las válvulas correspondientes de las líneas de agua caliente y fría y encender las bombas centrífugas regulando los caudales de ambos fluidos con las válvulas globo.
- 5) Dejar circular los fluidos observando las temperaturas a la entrada y a la salida del intercambiador hasta que éstas no varíen. Esto es indicio de haber alcanzado el estado estacionario. En ese momento registrar los valores de las 4 temperaturas y de los caudales en los respectivos rotámetros.
- 6) Variar el caudal de los fluidos, dejar que el equipo alcance el estado estacionario y volver a tomar las medidas necesarias. Variar en primer lugar el caudal de uno de los fluidos, manteniendo el del otro constante. Posteriormente modificar también el caudal que se había mantenido constante y volver a realizar las mediciones.
- 7) Determinar las cantidades de calor por unidad de tiempo cedidas por el fluido caliente y absorbidas por el fluido frío para todos los caudales utilizados, teniendo en cuenta las diferencias de temperatura correspondientes.
- 8) A partir de los resultados calculados en (6), determinar la cantidad de calor perdida al medio ambiente en cada caso.
- 9) Obtener los coeficientes globales a partir de las mediciones experimentales para cada uno de los caudales utilizados y compararlos con los estimados a partir de la correlación de bibliografía sugerida.
- 10) Realizar el informe.

6) BIBLIOGRAFIA

R.A.Buonofane, R.A.Troufe, J.C.Morgan, "Heat transfer design method for Plate Heat Exchangers" Cheen. Engng. Progr. 59/7 57-61 (July 1963).

F.J.Lawrey, "Plate type Heat Exchangers" Cheen. Engng. 66/13 89-941 112 (29-06-59).

J.Marriot "Where and how to use Plate Heat Exchangers" Chem. Engng. 79/7 127-34 (5-4-71).

P.Q.Kern, "Proccess Heat Transfer"

Perry, "Chemical Engineering Handbook"