

### **1.6.3– Intercambiadores de Calor:**

Se engloba a todos aquellos dispositivos utilizados para transferir energía de un medio a otro. Los radiadores de calefacción, los calentadores de agua, las baterías frigoríficas... son algunos ejemplos de cambiadores de calor.

#### **1.6.3.1– 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.

Pertenecen 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.

#### **1.6.3.2– 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.

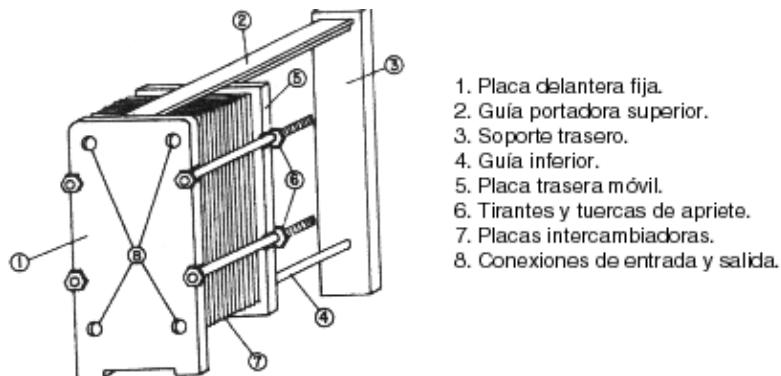
Los cambiadores de flujos paralelos, son generalmente utilizados en el intercambio térmico líquido–líquido, mientras que los de flujos cruzados se utilizan generalmente en el intercambio líquido–gas.

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.

#### 1.6.3.2.1– Cambiadores de placas:



Están integrados por una serie de placas metálicas, de tamaños normalizados, por cada constructor, que se acoplan unas a otras en mayor o menor número, según las necesidades térmicas, en un bastidor que las sostiene unidas.

Con objeto de que las placas queden correctamente enfrentadas unas a otras, están dotadas en su parte superior e inferior de dos aberturas, mediante las cuales pueden deslizarse a lo largo de las guías del bastidor. La abertura superior permite además que la placa quede suspendida de la correspondiente guía portadora.

En este tipo de cambiadores se denomina *paso* al conjunto de placas, montadas en paralelo, que son recorridas con el mismo sentido de flujo en cada fluido, como muestra la figura.

En cuanto a los materiales de que están construidos estos intercambiadores dependen fundamentalmente de las características de los fluidos que vayan a intercambiar calor; siendo las principales condiciones que deben tenerse en cuenta al seleccionar el material de las placas las siguientes:

- Facilidad de deformación por prensado.
- Pequeña resistencia térmica.
- Inatacabilidad por los fluidos a emplear.

Esta última condición limita a su vez al material empleado en las juntas entre las placas.

A la vista de estas condiciones, los materiales más usualmente empleados en la construcción de las placas son los aceros inoxidables y las aleaciones de níquel, cromo, y titanio, mientras que para las juntas se emplean siliconas, caucho natural y sintético.

#### 1.6.3.2.2– Ventajas e inconvenientes de la utilización de cambiadores de placas:

##### **Ventajas:**

- Elevada turbulencia en la circulación de fluidos, consiguiéndose regímenes turbulentos para números de Reynolds de aproximadamente de 10, frente al valor de 2300 correspondiente a la transición de régimen laminar a turbulento en cambiadores multitubulares. Esta elevada turbulencia permite velocidades de circulación menores en los fluidos, disminuyendo el peligro de ensuciamiento.
- Elevados valores del coeficiente de transmisión superficial, lo que conlleva valores muy elevados del

coeficiente global de transmisión del calor.

- Menores perdidas caloríficas, ya que sólo los bordes de las placas están expuestas al ambiente exterior y además de tener pequeños espesores pueden aislarse fácilmente.
- Menor espacio necesario que otros tipos de cambiadores dada su elevada relación superficie de intercambio / volumen total, lo que supone también que la cantidad de líquido contenido por unidad de superficie de intercambio es muy baja en comparación con otros intercambiadores, lo que da lugar a menores pérdidas de fluido al abrir el cambiador, así como a menores problemas de depósito de residuos, fermentaciones... en los períodos de funcionamiento, presentando menor inercia térmica en la puesta en marcha o en los cambios de régimen por la misma razón.
- Fácil accesibilidad a ambas caras de cada placa, lo que permite una mejor inspección y limpieza, lo que puede realizarse en el mismo lugar de su emplazamiento.
- Facilidad de sustituir elementos con la consiguiente ventaja de facilitar las reparaciones y realizar ampliaciones con máxima economía.
- En el caso de deterioro de las juntas, se produce escape de fluido hacia el exterior, siendo posible repararlas inmediatamente, evitándose mezclas o contaminaciones de los fluidos.

#### **Inconvenientes:**

- Limitación que imponen las juntas de unión entre placas, ya que no permiten trabajar con temperaturas superiores a 250°C o presiones mayores de 20 atm.
- Presentan mayor pérdida de presión en la circulación de fluidos.
- De no ser necesarios materiales especiales, el cambiador de placas es más caro que los multitubulares.

#### **1.6.3.2.3– Intercambiadores de haz tubular y carcasa:**

Este tipo de aparato es el más extendido. En principio, el haz alojado en el interior de una carcasa se ha mantenido en la construcción de condensadores y rehervidores igualmente. El aparato está constituido por un haz de tubos montados sobre dos placas tubulares que llevan un número determinado de placas deflectoras. Por cada extremo se fijan las cajas de distribución que aseguran la circulación del fluido por el interior del haz, en varias fases. El haz está alojado en una carcasa provisto de una tobera de entrada y otra de salida para el segundo fluido que circula por el exterior de los tubos, siguiendo el camino impuesto por las placas deflectoras. Todos los elementos que entran en la construcción de los intercambiadores, han sido objeto de una normalización publicada por T.E.M.A (Estándar of Tubular exchanger Manufactures Association), que especifica las características mecánicas y térmicas correspondientes a las diversas condiciones de funcionamiento.

#### **1.6.3.2.3.1– Carcasa:**

El material más usado para la construcción de las carcassas es el acero al carbono. Para diámetros inferiores a 24, en la carcasa se emplea un tubo de acero L.P.S (Schedule 30 hasta 12 y 1 cm de espesor entre 12 y 24), si la presión de servicio es inferior a 20 Kg/cm<sup>2</sup>.

Para más de 24 la carcasa se realiza con planchas de acero enrolladas y soldadas. Por cada extremo se sueldan las bridas que llevarán las tapas y las cajas de distribución. Las toberas de entrada y salida se sueldan, o no, con una placa de refuerzo según la presión de servicio. Por último la carcasa se podrá equipar con anillos para poder levantarla y llevará, además, la placa de identidad del aparato.

#### **1.6.3.2.3.2– Haz:**

Los tubos que constituyen el haz responden a las especificaciones del cuadro 2. El diámetro nominal corresponde al diámetro exterior, para el cual las tolerancias son severas. Las condiciones de funcionamiento, imponen la elección del material:

- Acero al carbono para uso general.
- Admiralty para agua de mar.
- Aceros aleados para productos corrosivos y temperaturas elevadas.
- Aluminio o cobre, para temperaturas muy bajas.

Los tubos se fijan a cada una de sus extremidades por mandriado (o ensanche) en las dos placas tubulares, como se puede ver en la figura.

Las perforaciones de los huecos en estas placas están normalizadas, efectuándose según una disposición, ya sea de paso cuadrado o paso triangular. Teniendo en cuenta la orientación del haz en relación a la dirección general del fluido que circula en la carcasa, se obtienen las cuatro disposiciones de las figuras siguientes.

El paso triangular permite colocar alrededor de un 10% de tubos más que en el paso cuadrado sobre una placa tubular de diámetro dado pero, en contrapartida, la disposición de los tubos hace imposible la limpieza exterior, introduciendo rascadores a través del haz. Para estos aparatos, es necesario recurrir a la limpieza química y reservar su empleo a productos limpios.

El haz de tubos lleva deflectoras transversales que tienen por finalidad alargar el camino del fluido que circular por la carcasa y mejorar así, la transmisión por el exterior de los tubos. Estas deflectoras están constituidas, generalmente, por un disco que tiene un diámetro ligeramente inferior al de la carcasa y que posee un segmento libre igual al 25% del diámetro interior de  $D_c$  de la carcasa. El espaciado  $B$ , entre deflectoras, que condiciona directamente la velocidad del fluido, está comprendida entre  $D_c/5$  y  $D_c$ .

Además estas reflectoras aseguran la rigidez del haz y son solidarias de la placa tubular fija por medio de unos tirantes.

En ciertos casos se emplean deflectoras longitudinales constituidas por una simple chapa inserta en el medio del haz. Esta disposición obliga a efectuar al fluido un ir y venir en la carcasa y se tiene en este caso, un aparato que se denomina dos pasos del lado carcasa.

#### 1.6.3.3– Estudio de la transferencia de calor:

- Ecuaciones fundamentales.

Para cualquiera que sea el tipo de aparato utilizado, si sólo se consideran las condiciones de entrada y de salida de los fluidos, se puede establecer el balance térmico global del aparato escribiendo que la cantidad de calor  $Q$  perdida por el fluido caliente es igual a la que gana el fluido frío, si se desprecian las pérdidas térmicas.

$$Q = M (H_1 - H_2) = m (h_2 - h_1)$$

Las letras mayúsculas se reservan para el fluido caliente y las minúsculas para el fluido frío, mientras que los índices 1 y 2 corresponden respectivamente, a las condiciones de entrada y de salida.  $M$  y  $m$  representan los caudales másicos horarios de los fluidos;  $H$  y  $h$  las entalpías de los fluidos en función de sus temperaturas,  $T$  y  $t$ .

Se puede aplicar la ecuación de Fourier al conjunto del aparato:

$$Q = U A \Delta t$$

$A$  = Superficie total de intercambio del aparato.

$U$  = Coeficiente de transmisión global.

$tm$  = Diferencia de temperatura media entre los dos fluidos.

- Diferencia media de temperatura.

La evolución de la temperatura de cada fluido a partir de la temperatura de entrada  $T_1$  y  $t_1$ , condiciona directamente el valor medio de  $tm$  que es función de:

- La naturaleza y caudales respectivos de los dos fluidos.
- El sentido del movimiento relativo de los dos fluidos que puedan circular, ya que a contracorriente pura o a corrientes paralelas, para los aparatos de varios pasos.

El estudio de la diferencia media de temperatura en un aparato se efectuará suponiendo que el coeficiente global de transmisión  $U$  es constante, así como los calores específicos de los fluidos y que no hay cambio de fase.

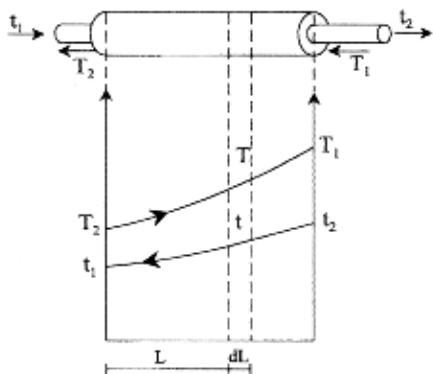
- Contracorriente pura.

Este tipo de movimiento sólo se realiza en los intercambiadores de doble tubo. Para el conjunto del aparato, la cantidad de calor intercambiada se escribe suponiendo un coeficiente de transmisión medio constante a todo lo largo del tubo.

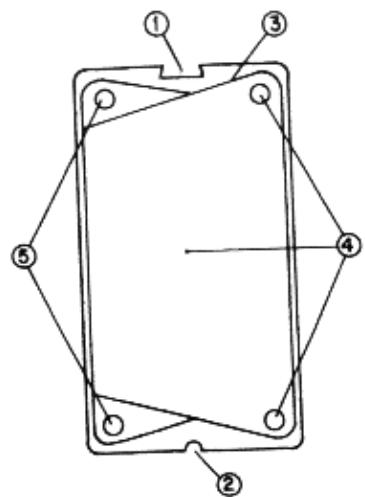
- Corrientes paralelas.

Si a un aparato de doble tubo se le cambia el sentido de circulación de uno de los fluidos, permitiendo la entrada y la salida, el intercambio se efectúa, ahora en corrientes paralelas.

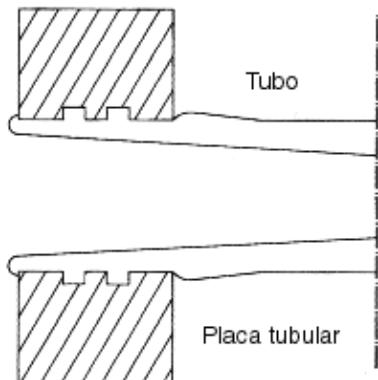
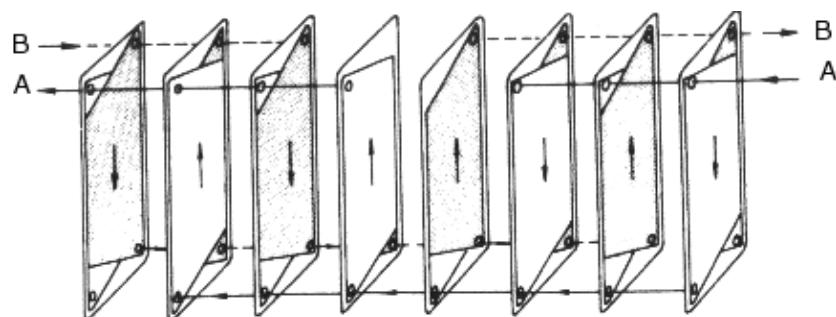
Las diferencias de temperaturas  $t_1 = T_1 - t_1$  y  $t_2 = T_2 - t_2$  en cada extremo, son muy diferentes.



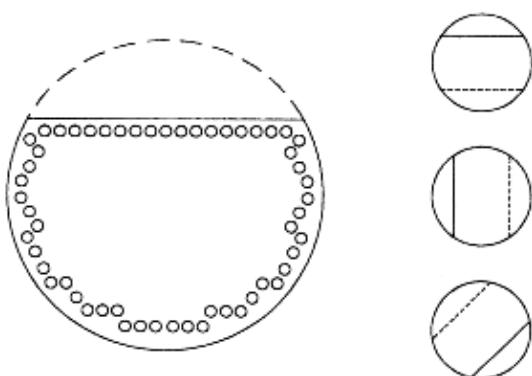
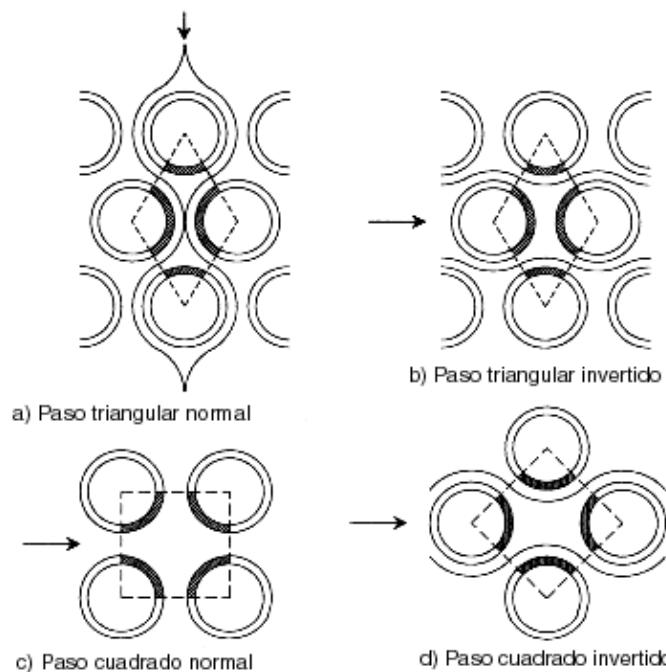
Intercambiador a contra corriente pura



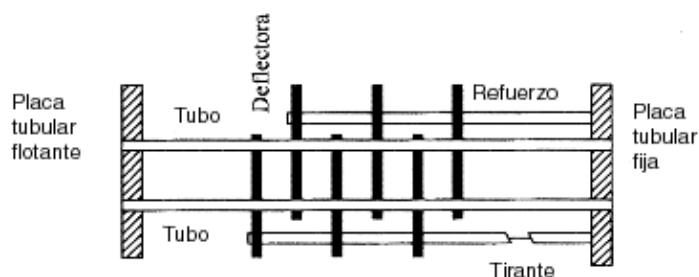
1. Abertura soporte.  
2. Abertura guía.  
3. Junta.  
4. Fluido A.  
5. Fluido B.



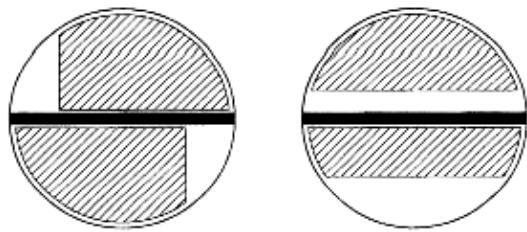
Mandrinado del tubo en la placa tubular



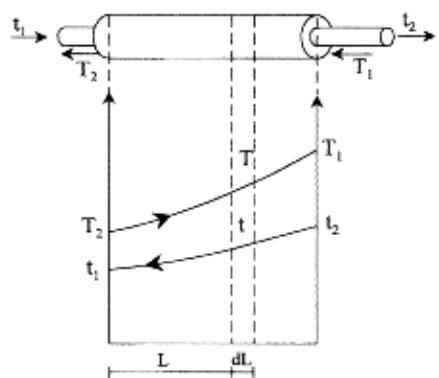
Deflectora transversal del haz



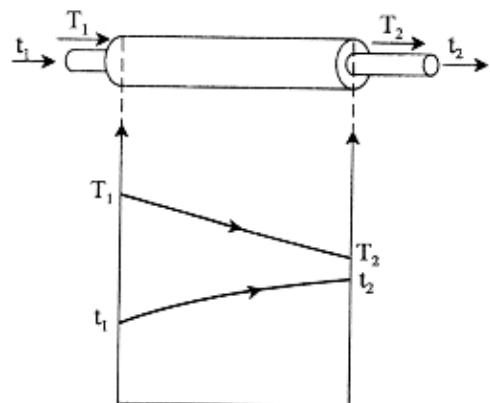
Fijación de las deflectoras transversales portatirantes



Deflectoras longitudinales



Intercambiador a contra corriente pura



Intercambiador de corrientes paralelas