

Intercambiadores de carcasa y tubos: Método de Kern

Están formados por un haz de tubos que conduce uno de los fluidos y una carcasa o envolvente (usualmente cilíndrica) por la cual circula el segundo fluido.

Estos intercambiadores se pueden usar para prácticamente cualquier intercambio entre dos fluidos, incluyendo aquellos con cambio de fase.

El flujo en el interior de los tubos no presenta problemas para determinar los coeficientes convectivos. Para el flujo en la carcasa, la configuración es más complicada, y requiere nuevas correlaciones. El flujo del fluido en la carcasa no es paralelo al haz de tubos. Para aumentar el coeficiente de transferencia, se usan baffles o cortacorrientes que, bloquean parte de la sección transversal para el fluido en la carcasa e inducen en éste un movimiento de dirección alternante. El flujo es entonces una combinación de flujos cruzado y paralelo con respecto al haz de tubos. Los baffles son segmentos circulares con perforaciones para dejar pasar los tubos.

Existen diferentes tipos de carcasas y cabezales. Pueden combinarse carcasas y cabezales en infinidad de formas. Veremos con mayor detención tres tipos comunes:

-Intercambiador 1-1: Un paso por la carcasa, un paso por los tubos. Estos pueden hacerse funcionar en contracorriente.

-Intercambiador 1-2: Un paso por la carcasa, dos pasos por los tubos. El haz de tubos está dividido en dos, permitiendo el retorno del fluido, con entrada y salida de éste por el mismo terminal. Esto hace que una parte del haz esté en contracorriente y la otra en cocorriente.

-Evaporador tipo kettle: Un haz de tubos sumergido es calentado por algún medio (ej. vapor en condensación). El fluido que moja los tubos se evapora (ebullición). La carcasa está considerablemente expandida para dejar espacio para la separación de vapor y líquido.

Método de Kern para determinar coeficientes convectivos en carcasas.

La determinación de coeficientes convectivos para el fluido del lado de la carcasa, la realiza Kern mediante la siguiente ecuación, obtenida mediante extensos conjuntos de datos industriales:

$$\text{Nu} = \frac{h D_e}{k} = 0,36 (D_e G/\mu)^{0,55} \text{Pr}^{0,33} (\mu/\mu_p)^{0,14}$$

Para valores de Re entre 2000 y 10^7 . Para aplicar esta ecuación debe tenerse en cuenta que el flujo en carcasas es un flujo parcialmente cruzado con respecto al haz de tubos y parcialmente paralelo al haz. Ambas características del flujo influyen sobre los coeficientes de transferencia.

Para determinar la velocidad másica G se considera el flujo cruzado. $G = W/A$ en que W es el caudal másico total y A es el área de flujo. Esta área de flujo para flujo cruzado, se define como el área libre que queda en el espacio definido por dos baffles consecutivos en el plano medio horizontal de la carcasa. El área total de esta zona es $L_s \cdot DI$, en que L_s es el espaciado entre baffles y DI, el diámetro interno de la carcasa. Solo parte de esta área está disponible para el flujo. Si el diámetro exterior de los tubos es d_o y la distancia entre ejes de tubos es P, entonces el área de flujo será:

$$A = L_s DI (P - d_o)/P$$

En cambio, para determinar el diámetro equivalente, De , se usa la noción de flujo paralelo al haz de tubos. Las configuraciones unitarias de los arreglos de tubos cuadrado y triangular son respectivamente, un cuadrado de lado P y un triángulo equilátero de lado P. El diámetro equivalente se define en ambos casos como:

$$De = 4 A_1/p_m$$

en que A_1 es el área libre de flujo paralelo comprendida dentro de la configuración unitaria y p_m es el perímetro mojado de los sectores circulares de los tubos que limitan el área considerada.

Para arreglo cuadrado tenemos, en consecuencia:

$$A_1 = P^2 - \pi d_o^2/4$$

$$p_m = \pi d_o$$

Para arreglo triangular:

$$A_1 = P^2 \sqrt{3}/4 - \pi d_o^2/8$$

$$p_m = \pi d_o/2$$

Diferencia real de temperatura en intercambiadores de un paso por la carcasa y número par de pasos por los tubos:

La diferencia real de temperatura, ΔT se calculará de la siguiente manera:

$$\Delta T = \Delta T_{\log} \cdot F_T$$

en que ΔT_{\log} es la diferencia de temperatura que existiría si los fluidos se dispusieran en contracorriente y F_T es un factor de corrección que da cuenta del hecho de que los fluidos se cruzan parcialmente en contracorriente y parcialmente en cocorriente en un intercambiador 1-2. F_T es siempre menor que 1 ya que la disposición contracorriente es la que proporciona la máxima diferencia media de temperatura en un intercambiador.

Para intercambiadores de un paso por la carcasa, y número par de pasos por los tubos, Kern entrega una relación analítica para calcular F_T en función de las temperaturas terminales. Sea:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

T designa a las temperaturas del fluido en la carcasa y t a las del fluido en los tubos. R representa la razón de los productos W·C para los dos fluidos, y S es la razón entre el calor real transferido en el intercambiador, y el máximo calor que termodinámicamente sería posible transferir entre esos dos fluidos con temperaturas de entrada y caudales dados. El factor S se asimila entonces a la noción de "eficiencia del intercambiador de calor".

En función de estos parámetros,

$$F_T = \frac{\sqrt{(R^2 + 1)} \ln [(1 - S)/(1 - RS)]}{(R - 1) \ln \left[\frac{2 - S(R + 1 - \sqrt{(R^2 + 1)})}{2 - S(R + 1 + \sqrt{(R^2 + 1)})} \right]}$$

Se recomienda no usar aquellas disposiciones de tubos que generen valores de F_T inferiores a 0,8 (Para no reducir demasiado la diferencia de temperatura). Para más de 1 paso por la carcasa, deben utilizarse gráficas de F_T que aparecen en la mayoría de los textos de transferencia de calor.