



FACTOR DE ENSUCIAMIENTO EN INTERCAMBIADORES DE CALOR

Pablo Doria – Roberto Naranjo
Operadores de Planta
HANOVER ARGENTINA

INTRODUCCIÓN

La siguiente presentación es complementaria al trabajo principal y tiene como objetivo, hacer conocer la importancia de este variable en los intercambiadores de calor como así también comprender prácticamente el efecto sobre el equipo y el método aplicado para llevar un seguimiento del mismo.

Se ha mencionado que una de las formas para realizar un seguimiento de los intercambiadores de calor es a través del factor de ensuciamiento.

Para comprender de donde proviene éste, desarrollemos brevemente la teoría de diseño de intercambiadores de calor.

Como sabemos en el diseño del intercambiador de calor se tienen en cuenta muchas variables entre las cuales se encuentran:

- a. Energía calórica a intercambiar
- b. Área de intercambio.
- c. Disposición de los tubos.
- d. Perdida de carga a través del mismo
- e. Viscosidad de las soluciones.
- f. Corrosión.
- g. Coeficiente de ensuciamiento

Sin embargo de todas ellas nos centraremos en:

- a. El coeficiente de ensuciamiento.

Nos ocuparemos a continuación de presentar las variables que intervienen en el proceso de transferencia de calor y la importancia de controlar el factor de ensuciamiento.

ACERCAMIENTO AL DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Usualmente los pasos a seguir para el diseño de intercambiadores de calor son los siguientes:

- a. Se establecen las condiciones de proceso tales como: composición del fluido, caudal, temperaturas y presiones)
- b. Las propiedades de los fluidos en un rango determinado deberán ser determinadas.



- c. Estimación preliminar del área del intercambiador, verificando la pérdida de carga en el mismo y la cantidad de calor intercambiado.

La ecuación básica de diseño de intercambiadores de calores:

$$\delta Q = \delta A * U * \Delta T$$

Donde

dQ = es la cantidad de calor diferencial para el dA

dA = es el área de intercambio

ΔT = diferencia de temperatura entre las dos corrientes responsable de la transferencia de calor

U = es el coeficiente global de transferencia de calor.

El coeficiente global de transferencia de calor tiene en cuenta el fenómeno de transferencia por convección y conducción. El efecto de convección se presenta cuando existe una transferencia de calor por el contacto de un fluido con un sólido. La conducción se presenta cuando el calor es transmitido entre cuerpos sólidos en contacto.

Dado que este último coeficiente es de importancia nos detendremos en conocer con mas detalle al mismo.

Este resulta de calcularse como:

$$U = \text{efecto.de.la.convección} + \text{efecto.de.la.conducción} + \text{efecto.de.la.convección}$$

$$U = \left[\frac{1}{h_o} + \sum \frac{x_i}{k_i} + \frac{1}{h_n} \right]^{-1}$$

En los métodos numéricos de calculo de intercambiadores de calor se considera de que U cambia a lo largo del intercambiador cuando varían las propiedades del fluido. Esto se debe a que

$$h_o = f(\mu, \rho, Re, \Delta T, Cp) \quad \text{Coeficiente de transm. de calor o coef. de película.} \left[\frac{kcal}{m^2.hs.^{\circ}C} \right]$$

$$k = \text{es el la conductividad térmica del material} \left[\frac{kcal}{m.hs.^{\circ}C} \right]$$

por lo tanto debemos tener presente que lo que tenemos calculado es una aproximación del valor real.

Además debemos tener presente que se lo diseña al equipo para que trabaje un cierto tiempo, antes de ser sometido a un mantenimiento. El lapso de tiempo esta definido por el coeficiente de ensuciamiento dado en el diseño. Dado que



$$\frac{1}{U_f} = \frac{1}{U_i} + R_d$$

U_f = es el coeficiente teniendo en cuenta las condiciones finales, es decir con un equipo en condiciones de ser sometido a limpieza.

U_i = es el coeficiente con el equipo limpio

R_d = es el coeficiente de ensuciamiento.

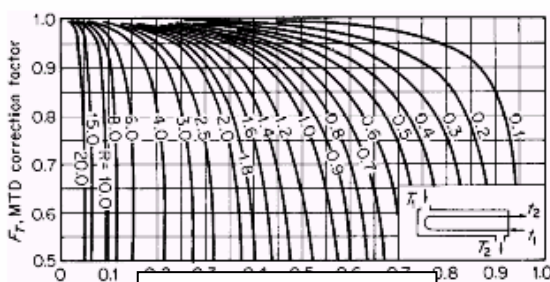
Trabajaremos con el U_f , para determinar por diferencia el valor de R_d del equipo y poder de esta forma evaluar cual es la situación actual del mismo.

Otro efecto a tener presente en estos equipos es el cálculo del ΔT , el cual resulta de considerar las ecuaciones diferenciales de transferencia de calor en un equipo en contracorriente, de la cual resulta la siguiente expresión.

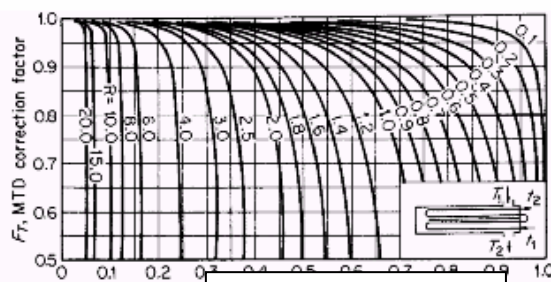
$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Esta expresión resulta debido a que la diferencia de temperatura varia punto a punto en un equipo. Debemos mencionar que el análisis se realizo en contracorriente debido a que es la configuración que proporciona mejor transferencia de calor.

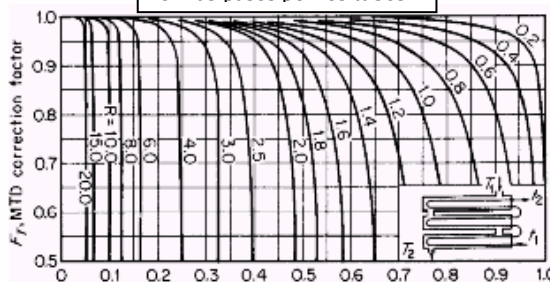
Por último debido a las distintas configuraciones de intercambiadores, como por ejemplo los de carcaza y tubo, el ΔT es corregido dependiendo de las configuraciones como ser:



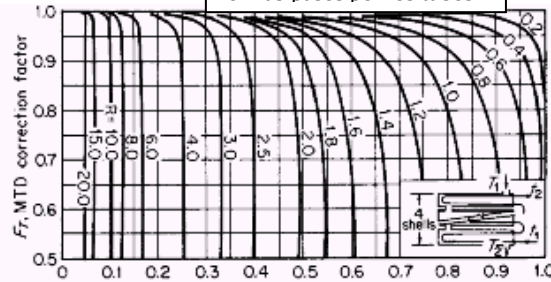
Un paso por carcaza y dos
o mas pasos por los tubos



Dos paso por carcaza y 4
o mas pasos por los tubos



Tres pasos por carcaza y 6
o mas pasos por los tubos



Cuatro pasos por carcaza y 8
o mas pasos por los tubos



En síntesis podemos calcular el intercambiador como:

$$Q = U * A * \Delta T_{ln} * F$$

Resumen de cálculo

1° El calor absorbido por el fluido, antes de producirse el ensuciamiento es posible conocerlo por los datos del equipo. Si esto no fuera posible y teniendo en cuenta las pérdidas por convección y en menor medida por radiación con el medio exterior, es que se realiza el calculo, en base a la energía efectiva que absorbió el fluido “frío”.

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

m = caudal del fluido.

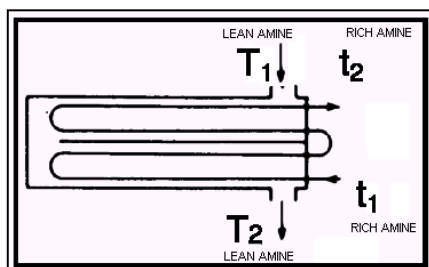
C_p = calor específico del fluido.

$\Delta T = T_{out} - T_{in}$. Salto de temperatura del fluido “frío” por el calentamiento que sufre.

2° Cálculo de ΔT_{ln} (temperatura media logarítmica) del intercambiador.

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

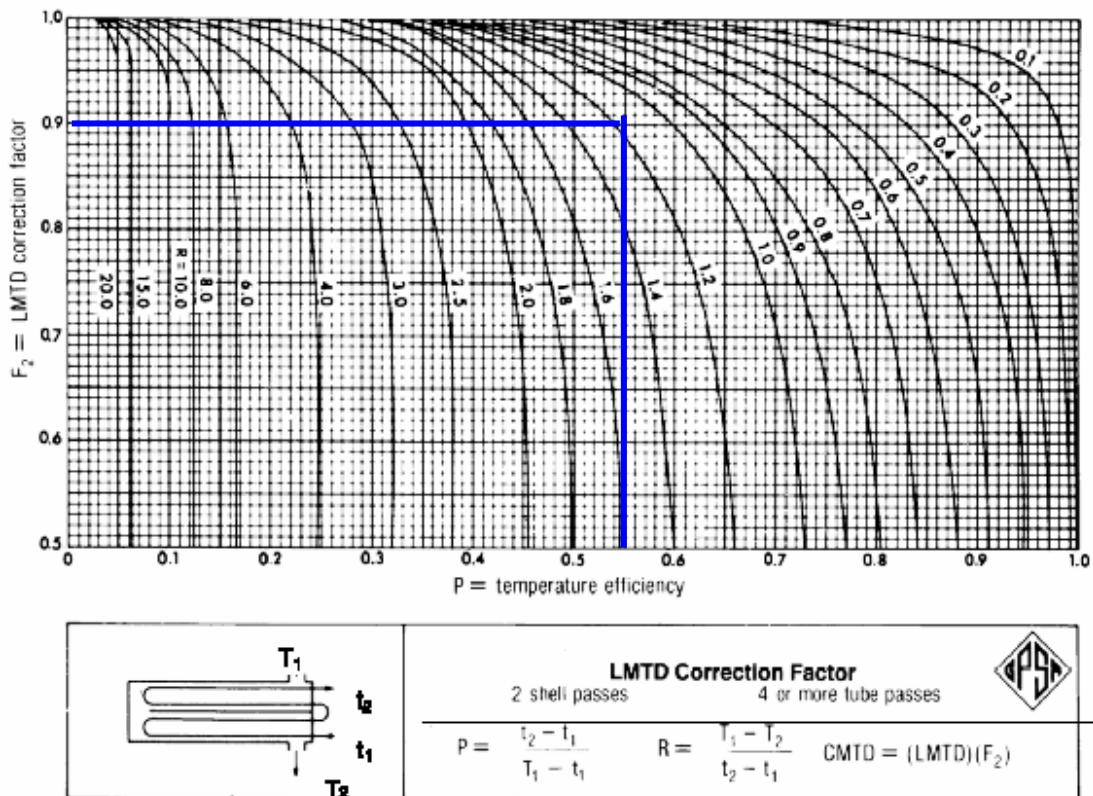
donde



$$\Delta T_1 = T_2 - t_1$$

$$\Delta T_2 = T_1 - t_2$$

3° El cálculo del factor F. Teniendo en cuenta el tipo de intercambiador se debe seleccionar la gráfica y con ello podremos estimar los coeficientes P y R que sirven para determinar a F



en el ejemplo tenemos para un $P = 0,55$ y $R = 1,2$ obtenemos $F = 0,9$

4º Cálculo del coeficiente inicial o de diseño

$$U_i = \frac{Q}{A * \Delta T_{ln} * F}$$

En el caso particular de la Planta Aguarague, se disponía de los datos del coeficiente global de transferencia de calor del equipo.

5º En las actuales condiciones de operación es posible calcular el calor intercambiado.

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

Luego:

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$



finalmente

$$U_f = \frac{Q}{A * \Delta T_{ln} * F}$$

6° Dado que se define

$$\frac{1}{U_f} = \frac{1}{U_i} + R_d$$

Por lo tanto el coeficiente o factor de ensuciamiento:

$$R_d = \frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_i}$$

A partir de este ultimo se podrá realizar una mejor evaluación del funcionamiento del intercambiador de calor, pues con el control del equipo se podrá apreciar si existe o no una tendencia ascendente del ensuciamiento del equipo.



BIBLIOGRAFÍA

1. Perry Chemical Engineer
2. GPSA Data Book
3. Heat Transfer Process. Autor Kern