

T17.- Intercambiadores de Calor. Método de la LMTD

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 28
<http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
Tfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

1

**XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR
MÉTODO DE LA (LMTD)**

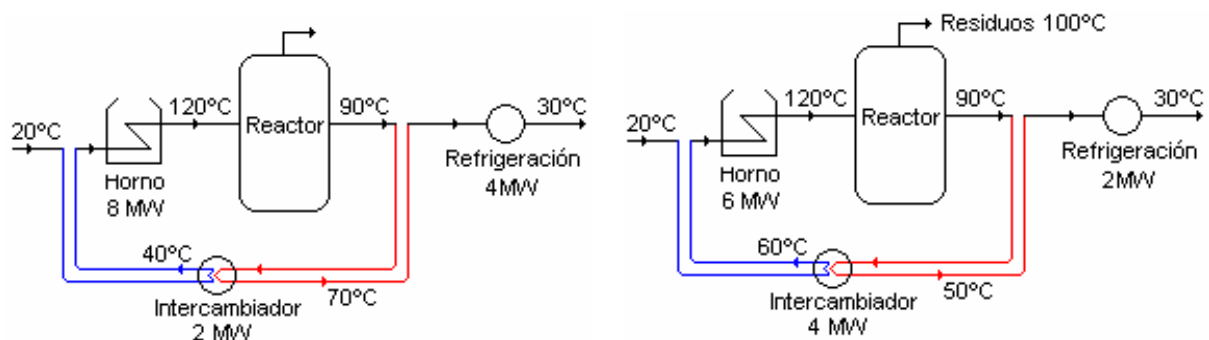
XVII.1.- INTRODUCCIÓN

Transferir calor entre dos fluidos

Gradiente de temperaturas

- Fluido caliente (cede calor)
- Fluido frío (adquiere calor)

Estudio económico: ahorro energético / coste equipo



2

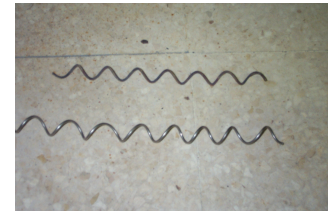
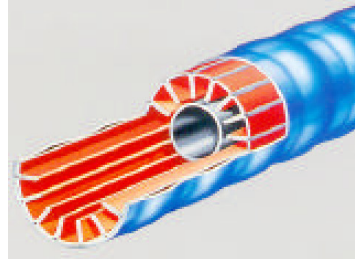
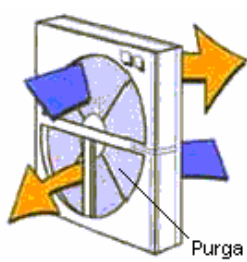
XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.2- TIPOS BÁSICOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (I)

Norma UNE-EN 247

Medios que intercambian

- Líquidos
- Gases (gran superficie, aletas, turbuladores)
- Líquido – Gas (aletas, turbuladores)



Disposición de la transferencia de calor

- Transferencia directa
- Con acumulación o regeneración (masa acumuladora)
- Lecho fluidizado

3

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.2- TIPOS BÁSICOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (II)

Método de transferencia de calor

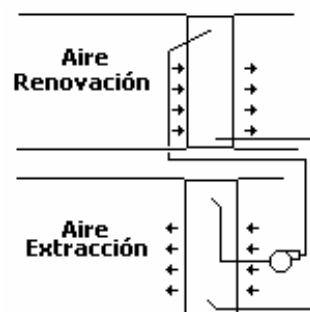
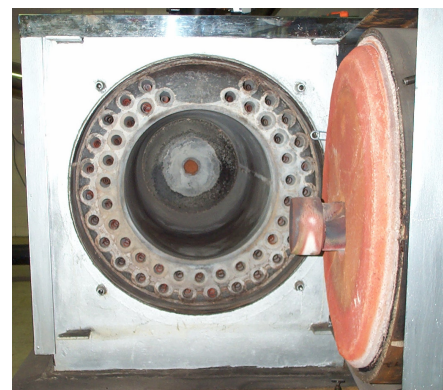
- Radiación
- Convección
- Mixto

Tipo de fluidos

- Monofásicos
- Bifásicos
- Monofásico-bifásico
- Con fluido intermedio

Posibilidades de limpieza

Posibilidad de dilatación



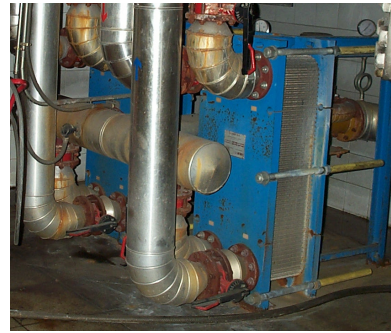
4

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.2- TIPOS BÁSICOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR (III)

Tipo de diseño

- Carcasa y tubo
- Placas
- Flujo cruzado



Intercambiador de placas

Las placas (no son planas) → Cavidades

Cavidades alternadas por fluido caliente y frío

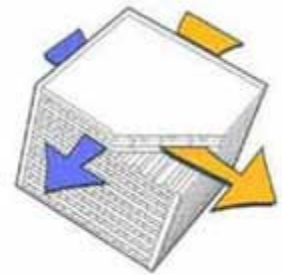
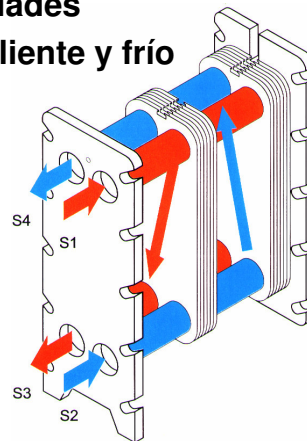
Flujo cruzado

Modulares y desmontables

(si no son soldadas)

Alta eficiencia

Serie o paralelo



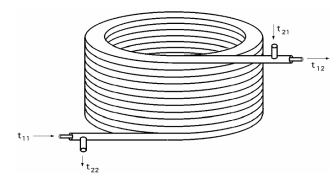
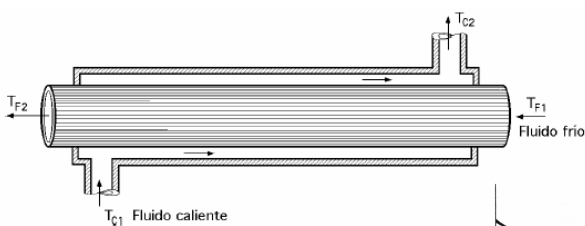
5

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

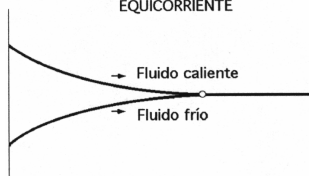
Intercambiador de carcasa y tubos (I)

Normas TEMA (TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION)

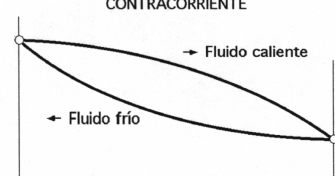
Tubo dentro de otro tubo (curvado, enrollado) (1-1)



EQUICORRIENTE



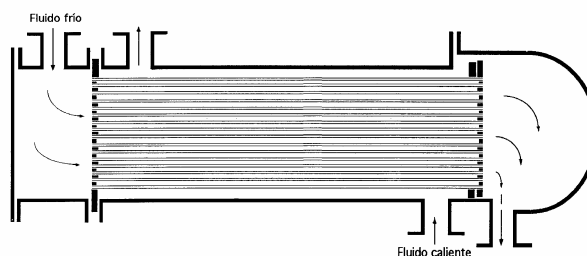
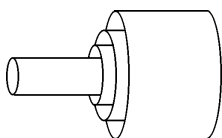
CONTRACORRIENTE



Equi o contracorriente

No apto para grades caudales

- Tubos concéntricos
- Haces de tubos



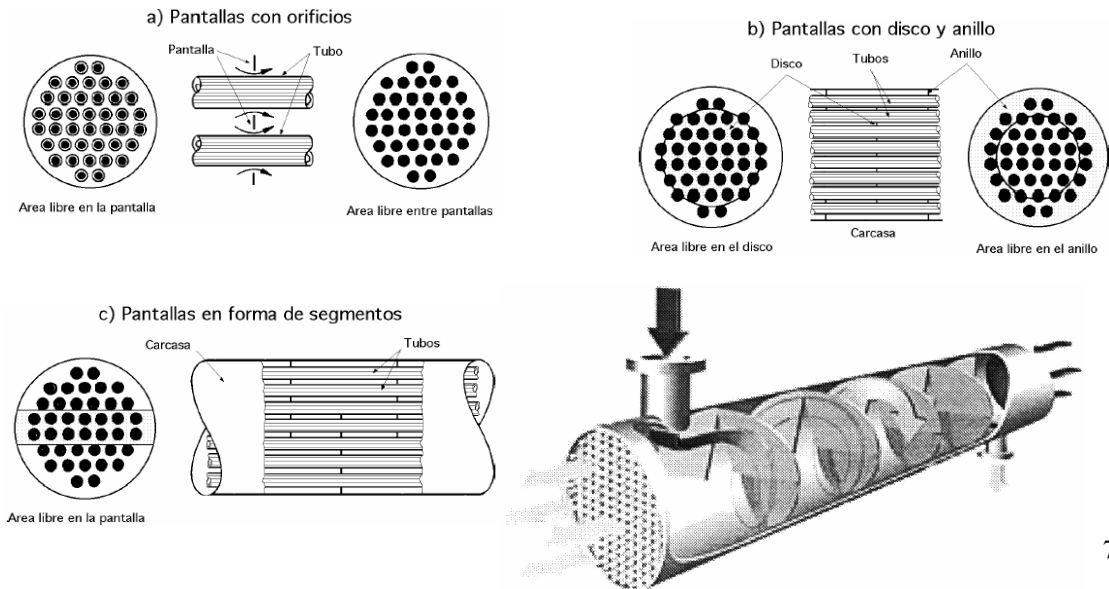
6

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

Intercambiador de carcasa y tubos (II)

Para incrementar la transmisión de calor:

– Lado de la carcasa: pantallas deflectoras, aumentar N° pasos

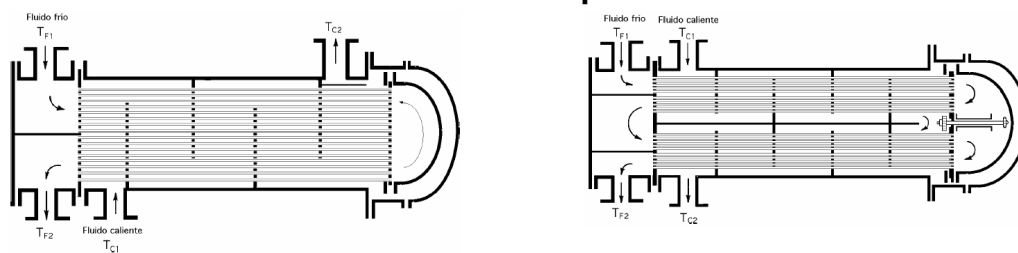


7

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

Intercambiador de carcasa y tubos (III)

– Lado de los tubos: aumentar N° pasos

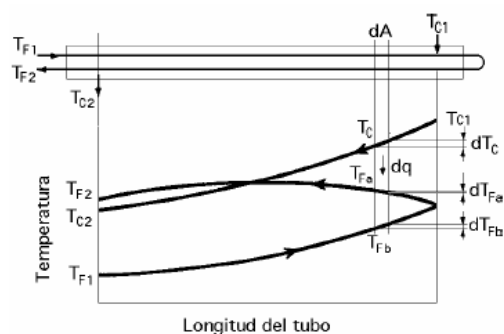
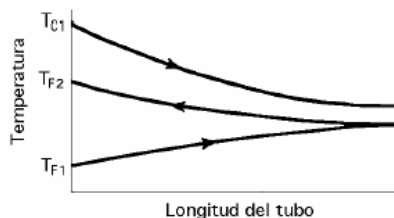


– Incremento de la pérdida de presión

$$hc (N_{pasos}) = hc (1paso) N^{0,8}$$

$$Per\ Roz (N_{pasos}) = Per\ Roz (1paso) N^{2,8}$$

– Equi o contracorriente

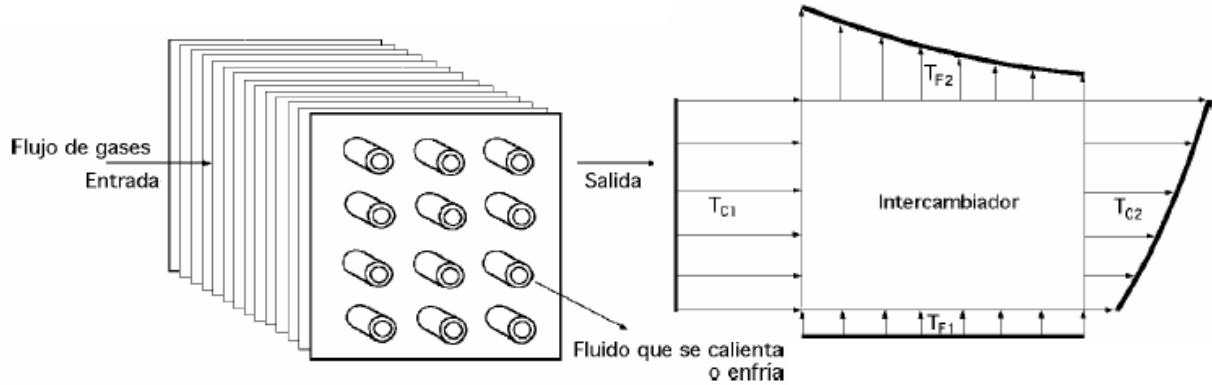


8

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

Intercambiador de flujos cruzados

- Aumenta el h_c
- Temperatura media a la salida



- Mezcla de fluidos o no

9

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

Intercambiador Híbrido

HYBRID HEAT EXCHANGERS

(a welded heat exchanger with a mix of tube and plate technology) have become popular for steam condensation and pre-heating of district water heating. This type can be used for high temperatures, heat recovery and high pressure environments where the gasketed types cannot be applied.

Trabajo (5-10 pg con ref.)

- hasta 1 pto al 1^{er} grupo de 3 que lo entregue
- hasta 2 ptos al 2^o grupo de 3 que lo entregue



XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

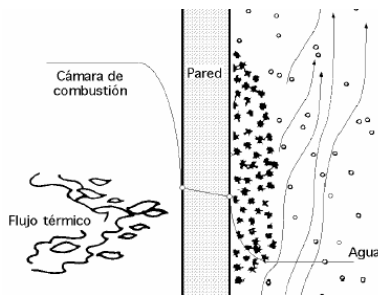
XVII.3- COEFICIENTE U DE TRANSFERENCIA TÉRMICA GLOBAL (I)

$$q = U A (T_C - T_F) \quad U A = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 R_i} = \frac{1}{\frac{1}{h_C A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_F A}}$$

Tubos: interior o exterior

$$U_e = \frac{1}{\frac{A_e}{h_{C_i} A_i} + \frac{A_e \ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \pi k L} + \frac{1}{h_{F_e}}} \quad U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{C_i}} + \frac{A_i \ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \pi k L} + \frac{A_i}{A_e h_{F_e}}}$$

Factor de suciedad (incrustaciones)



$$U_{func_e} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c_e}} + R_e + \frac{A_e \ln \frac{r_e}{r_i}}{2 \pi k L} + \frac{R_i A_e}{A_i} + \frac{A_e}{h_{c_i} A_i}}$$

11

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (I)

$$Q = m_C c_{pC} (T_{C1} - T_{C2}) = m_F c_{pF} (T_{F2} - T_{F1})$$

$$\Delta T = T_C - T_F$$

Contracorriente

$$dQ = U dA \Delta T = m_C c_{pC} dT_C = m_F c_{pF} dT_F$$

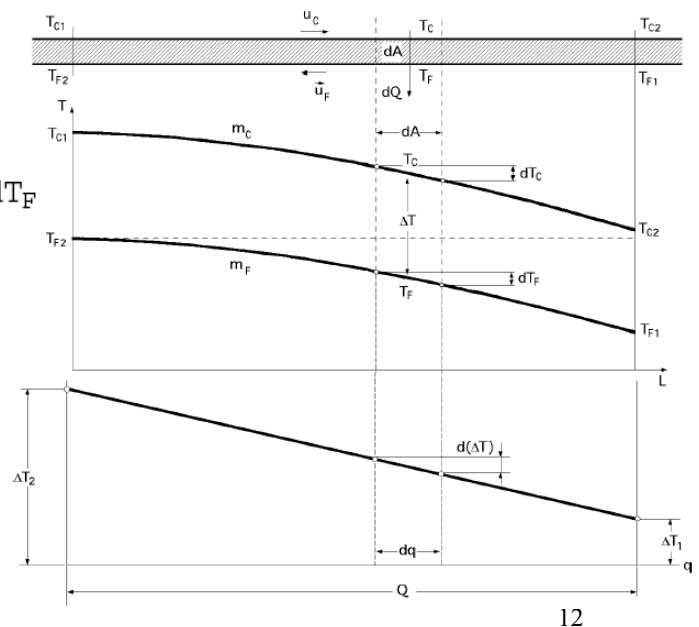
$$\phi = \frac{m_C c_{pC}}{m_F c_{pF}} = \frac{dT_F}{dT_C}$$

$$d(\Delta T) = dT_C - dT_F$$

$$\Delta T_1 = T_{C2} - T_{F1}$$

$$\Delta T_2 = T_{C1} - T_{F2}$$

$$Q = U A \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = U A (\text{LMTD})$$



XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (II)

$$dQ = U dA \Delta T = m_c c_{pC} dT_C = \frac{d(\Delta T)}{\frac{1}{1 - \phi}} = 1 - \frac{dT_F}{dT_C}$$

$$= m_c c_{pC} \frac{d(\Delta T)}{1 - \phi}$$

$$m_c c_{pC} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = U dA (1 - \phi)$$

$$m_c c_{pC} \int_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = U (1 - \phi) A$$

$$m_c c_{pC} \ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = U (1 - \phi) A$$

$$Q = U A \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = U A (\text{LMTD})$$

$$\phi = \frac{dT_F}{dT_C}$$

$$1 - \phi = \frac{dT_C}{dT_C} = \frac{dT_C - dT_F}{T_{C1} - T_{C2}} = \frac{(T_{C1} - T_{C2}) - (T_{F2} - T_{F1})}{T_{C1} - T_{C2}} = \frac{(T_{C1} - T_{F2}) - (T_{C2} - T_{F1})}{T_{C1} - T_{C2}} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{T_{C1} - T_{C2}}$$

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (III)

Intercambiador en equicorriente

$$d(\Delta T) = dT_C + dT_F \quad \Delta T_1 = T_{C2} - T_{F2}$$

$$\Delta T_2 = T_{C1} - T_{F1}$$

$$Q = U A \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = U A (\text{LMTD})$$

Caso que U varíe apreciablemente de un extremo a otro (I)

$$U = a + b \Delta T$$

$$\frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{Q} = \int \frac{d(\Delta T)}{dq} = \int \frac{d(\Delta T)}{U dA \Delta T} = \int \frac{d(\Delta T)}{(a + b \Delta T) dA \Delta T} =$$

$$= \frac{1}{A} \int \frac{1}{\frac{(a + b \Delta T)^2}{\Delta T} (a + b \Delta T)} d(\Delta T) = \frac{1}{a} \frac{1}{A} \int \frac{(a + b \Delta T) - (b \Delta T)}{(a + b \Delta T)^2} d(\Delta T) =$$

$$= \frac{1}{A} \left(\frac{1}{a} \ln \frac{\Delta T}{a + b \Delta T} \right)_{\Delta T_1}^{\Delta T_2}$$

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (IV)

Caso que U varíe apreciablemente de un extremo a otro (II)

$$Q = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\frac{1}{A} \left(\frac{1}{a} \ln \frac{\Delta T}{a + b \Delta T} \right)_{\Delta T_1}^{\Delta T_2}} = A (\Delta T_2 - \Delta T_1) \left(\frac{a}{\ln \frac{\Delta T}{a + b \Delta T}} \right)_{\Delta T_1}^{\Delta T_2} =$$

$$= A (\Delta T_2 - \Delta T_1) a \ln \frac{\frac{\Delta T_1}{a + b \Delta T_1}}{\frac{\Delta T_2}{a + b \Delta T_2}} = A (\Delta T_2 - \Delta T_1) a \ln \frac{\Delta T_1 (a + b \Delta T_2)}{\Delta T_2 (a + b \Delta T_1)}$$

$$U_1 = a + b \Delta T_1 \xrightarrow{(\Delta T_2)} \Delta T_2 U_1 = a \Delta T_2 + b \Delta T_1 \Delta T_2$$

$$U_2 = a + b \Delta T_2 \xrightarrow{(\Delta T_1)} \Delta T_1 U_2 = a \Delta T_1 + b \Delta T_1 \Delta T_2$$

$$\frac{\Delta T_2 U_1 - \Delta T_1 U_2}{\Delta T_2 U_1 - \Delta T_1 U_2} = a (\Delta T_2 - \Delta T_1)$$

$$Q = A \frac{U_1 \Delta T_2 - U_2 \Delta T_1}{\ln \frac{U_1 \Delta T_2}{U_2 \Delta T_1}}$$

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (V)

Factor corrector de la LMTD (I)

Intercambiadores complejos la ΔT no es sencilla
Expresiones complicadas, ej: Intercambiador (1-2)

$$Q = U A \frac{\sqrt{(T_{C1} - T_{C2})^2 + (T_{F2} - T_{F1})^2}}{\ln \frac{(T_{C1} + T_{C2}) - (T_{F1} + T_{F2}) + \sqrt{(T_{C1} - T_{C2})^2 + (T_{F2} - T_{F1})^2}}{(T_{C1} + T_{C2}) - (T_{F1} + T_{F2}) - \sqrt{(T_{C1} - T_{C2})^2 + (T_{F2} - T_{F1})^2}}}$$

Factor corrector: F $\Delta T = F$ (LMTD)

Coeficiente de efectividad, P = $\frac{T_{F1} - T_{F2}}{T_{F1} - T_{C1}}$

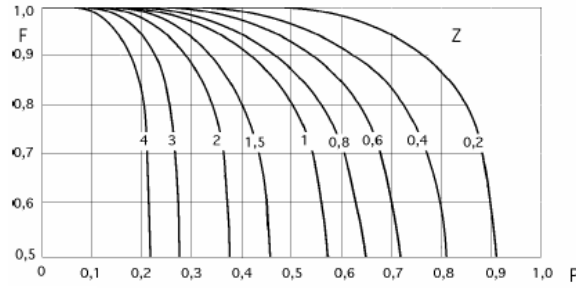
Relación de capacidades térmicas, Z = $\frac{m_F c_{pF}}{m_C c_{pC}} = \frac{C_F}{C_C} = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{F2} - T_{F1}}$

XVII.- INTERCAMBIADORES DE CALOR MÉTODO DE LA (LMTD)

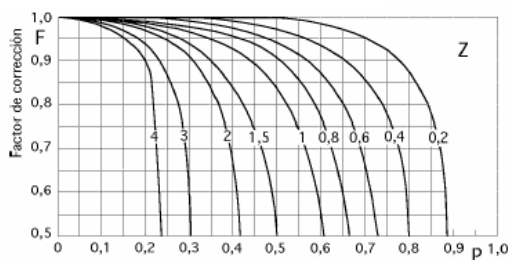
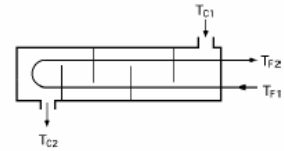
XVII.4- TRANSMISIÓN DE CALOR ENTRE FLUIDOS EN MOVIMIENTO, A TEMPERATURAS VARIABLES, A TRAVÉS DE UNA PARED (VI)

Factor corrector de la LMTD (II)

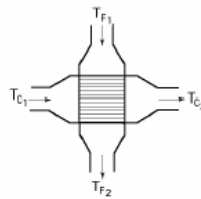
Gráficas



Factor de corrección de la (LMTD) para un intercambiador en contracorriente (1-2) o un múltiplo par de pasos de tubos



Factor de corrección de la (LMTD) para un intercambiador de flujos cruzados, con mezcla de un fluido en la parte de la carcasa y sin mezcla del otro fluido, y un paso de tubos



$$p = 0 \Rightarrow F = 1$$

$$(T_{F1} = T_{F2})$$

$$Z = 0 \Rightarrow F = 1$$

$$T_{C1} = T_{C2}$$

$$F = 1 \Rightarrow \text{Equi} = \text{CC}$$