

# Equipos de Transferencia de Calor

## Intercambiadores

### Coraza y Tubo

#### *Generalidades. Configuración 1:2*



*Prof. Jesús F. Ontiveros*

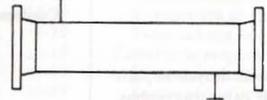
# Estructura

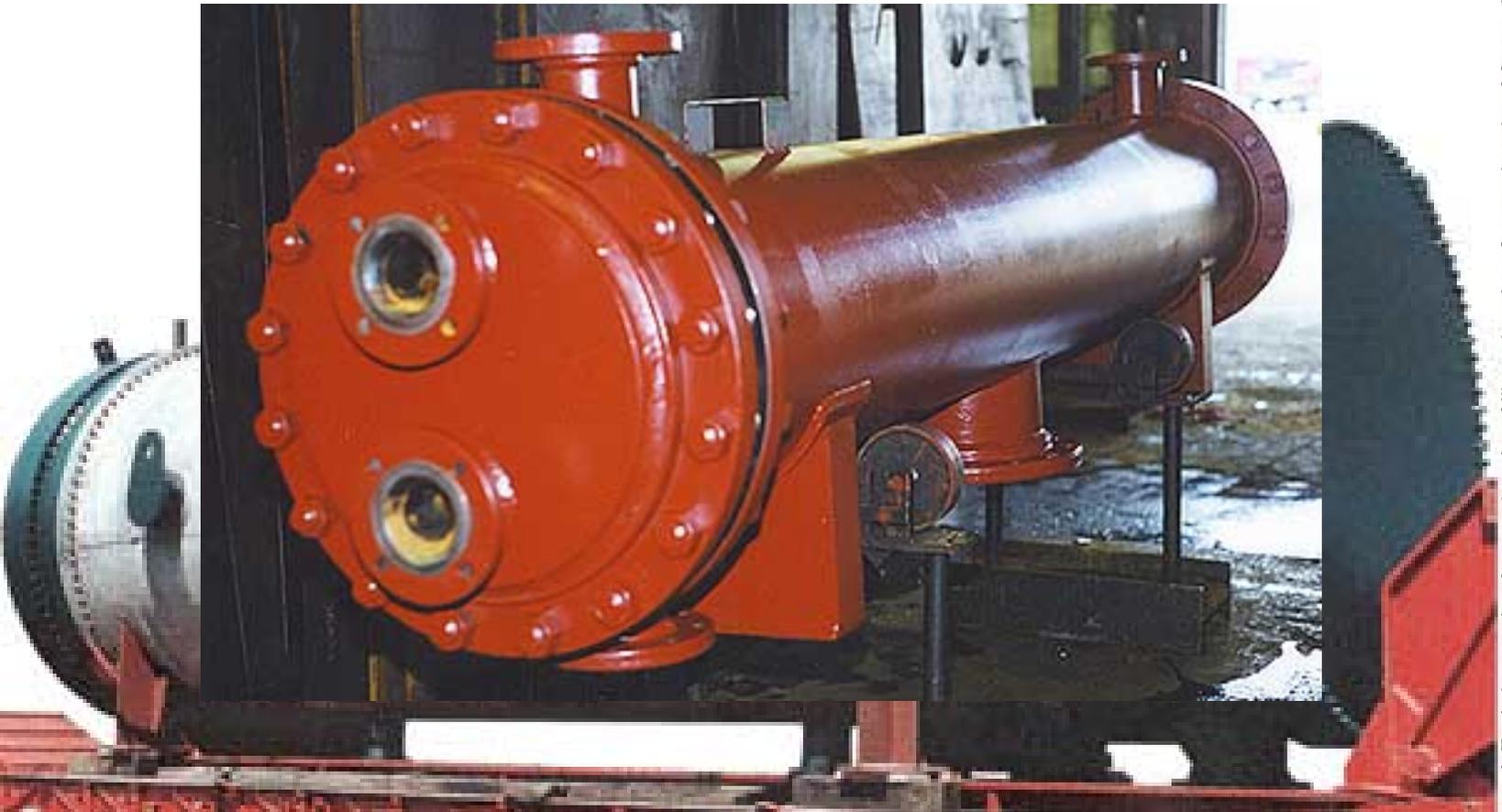
## Definición

- ☀ Intercambiador más utilizado en la industria de procesos
- ☀ Áreas entre 50 y 700m<sup>2</sup>.
- ☀ Mayor rigurosidad en el diseño "T.E.M.A."

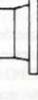


# Coraza

TIPOS DE CORAZAS	
E	




VAL


...

D
A

o

# Tubos

## ☀ Características

$\frac{1}{4}$  ;  $\frac{3}{8}$ ;  $\frac{1}{2}$ ;  $\frac{5}{8}$ ;  $\frac{3}{4}$ ; 1;  $1\frac{1}{4}$  y  $1\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro

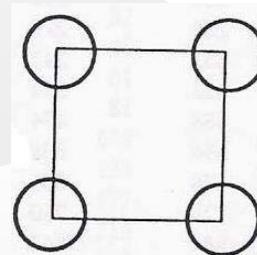
8,12,16 y 20 pies de longitud

Espesor de acuerdo a estándar BWG.

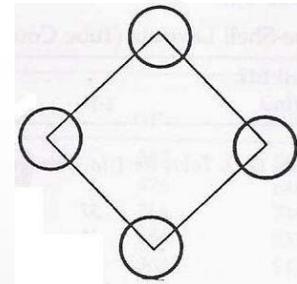
## ☀ Número de Tubos

## ☀ Espaciado entre tubos. Arreglo Espacial

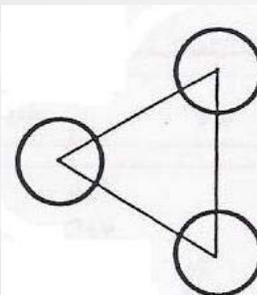
Cuadrado



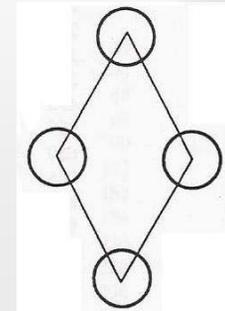
Cuadrado Rotado



Triangular 30°



Triangular 60°



# Cabezales

## ☀ Partes

Cubierta, Canal

☀ Espejo Fijo

☀ Cabezal Anterior

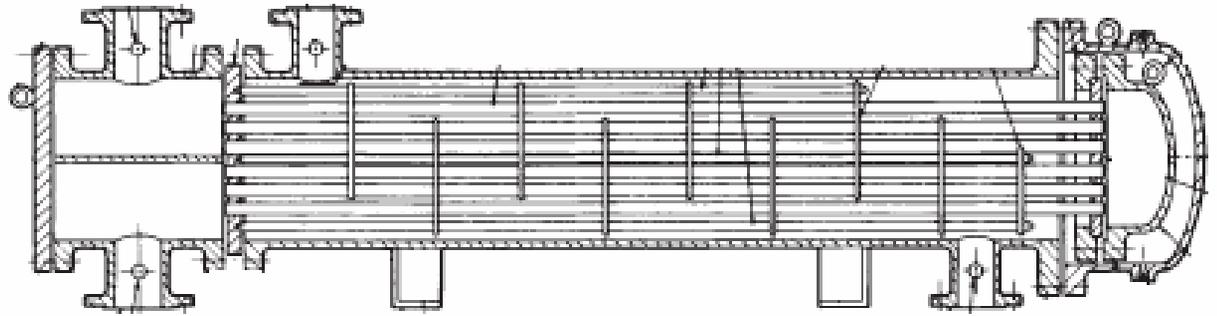
☀ Cabezal Posterior

Cabezales fijos

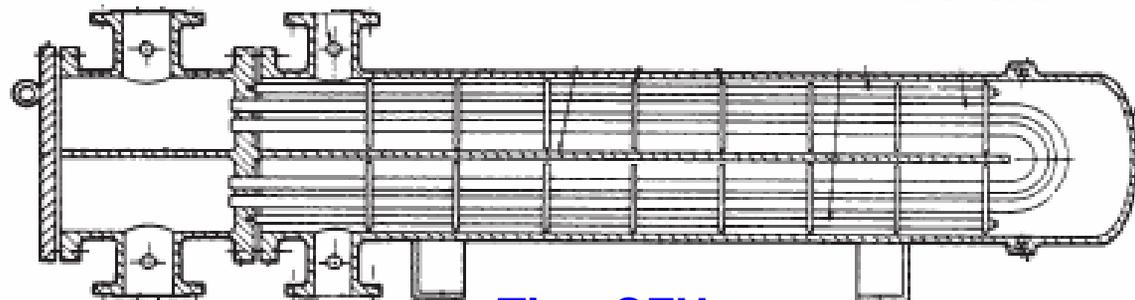
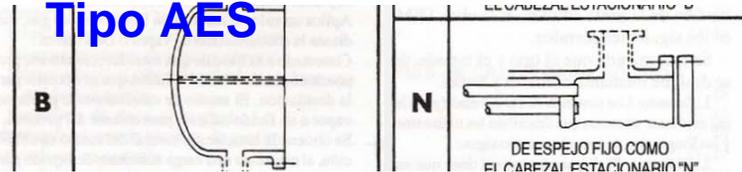
Cabezales flotantes

TIPOS DE CABEZAL ESTACIONARIO,

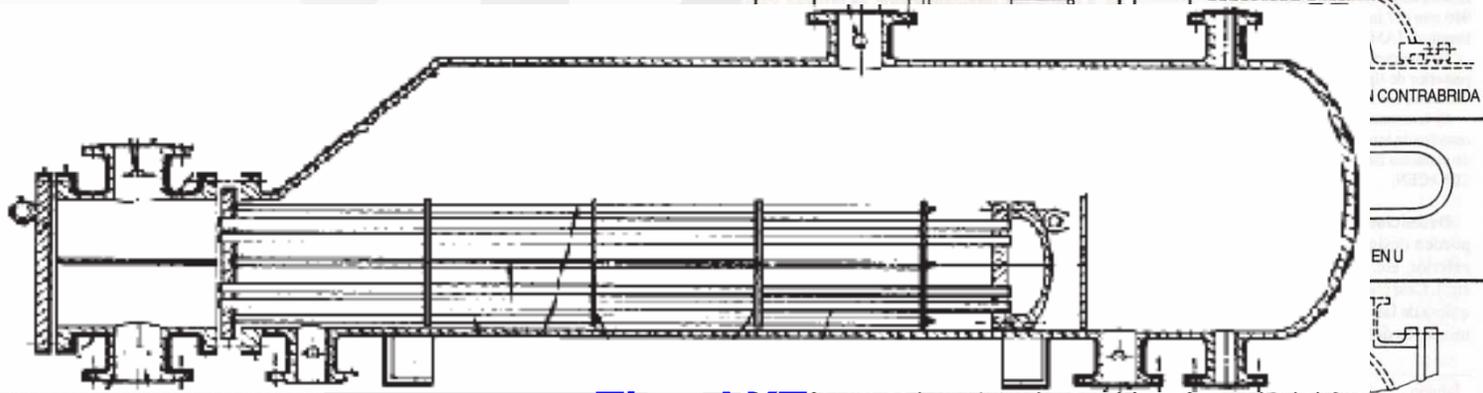
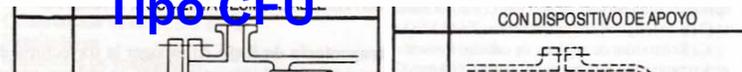
TIPOS DE CABEZALES,



Tipo AES



Tipo CFU

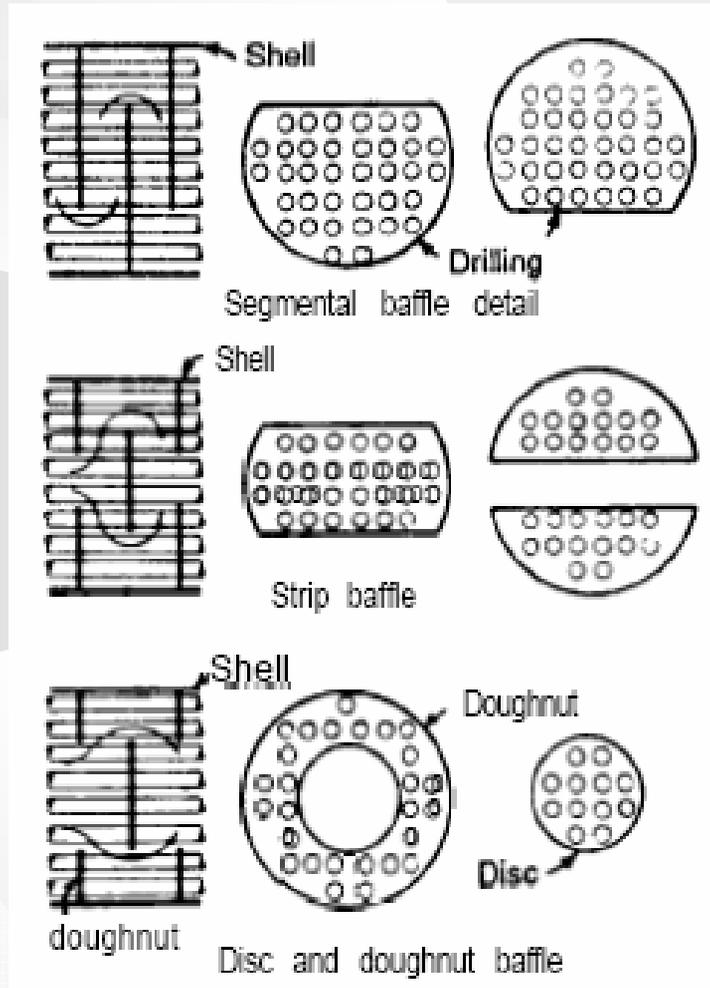


Tipo AKT

CIERRE ESPECIAL A ALTA PRESIÓN

ESPEJO FLOTANTE SELLADO EXTERNAMENTE

# Deflectores



## Deflectores Transversales

☀ Definición

☀ Tipos

1. Longitudinal

2. Transversal

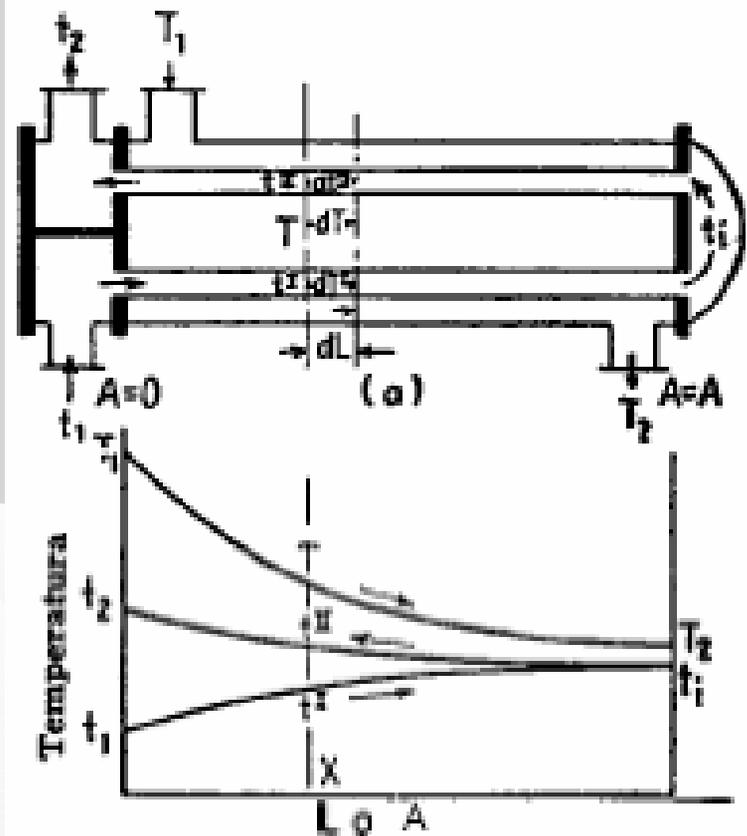
Inducir Turbulencia, soporte del haz de tubos.

3. Choque

Prevenir daños por alta velocidad del fluido, Distribución de flujo, eliminación de heterogeneidades.

# Perfil de Temperatura

Veamos el perfil de Temperatura en un intercambiador 1:2



Existe un segmento  
en Contracorriente y otro  
en paralelo

El MLDT no es representativo  
de la diferencia de  
temperatura existente

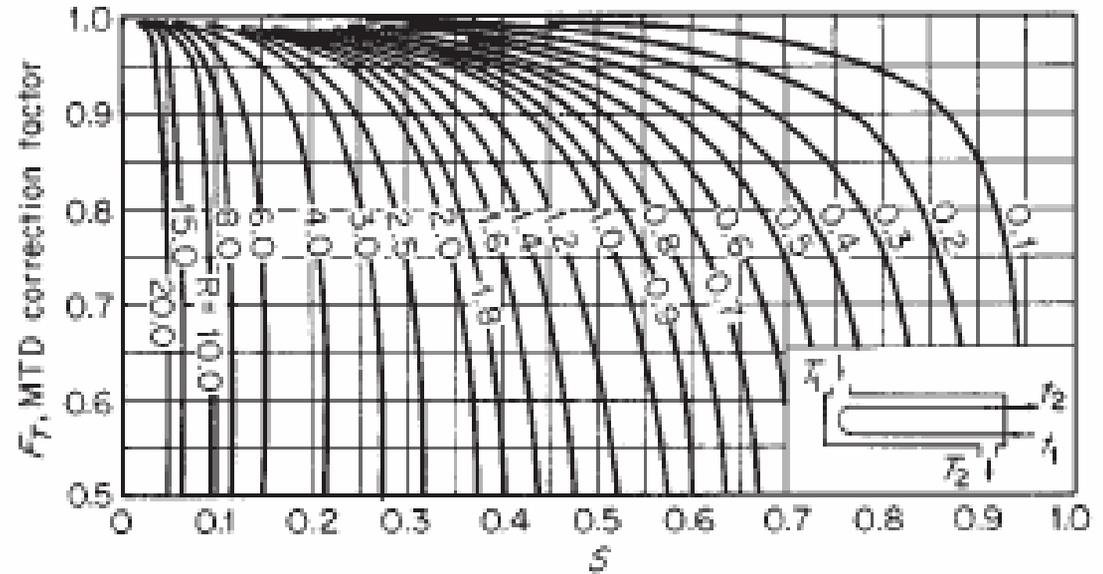
$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

# Factor "F<sub>T</sub>"

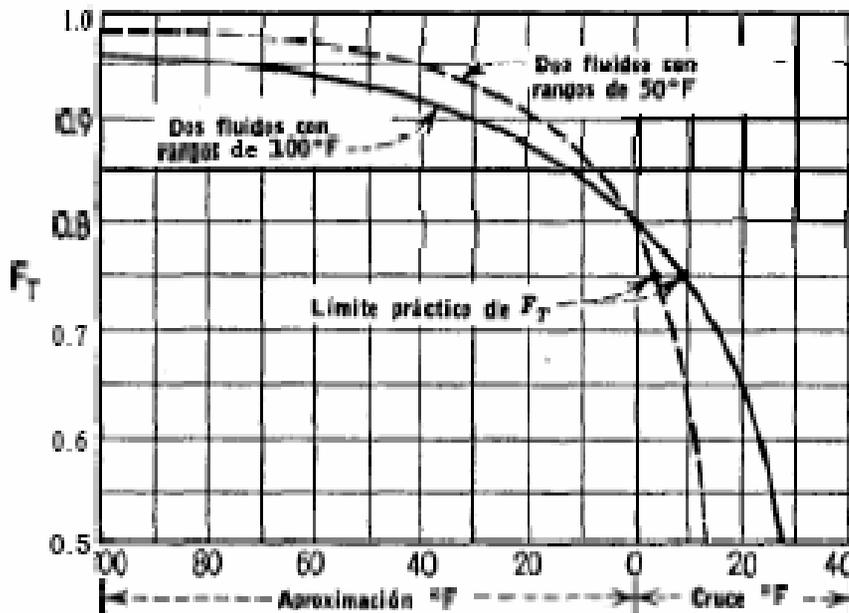
- Significado
- Estimación

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

- Generalización



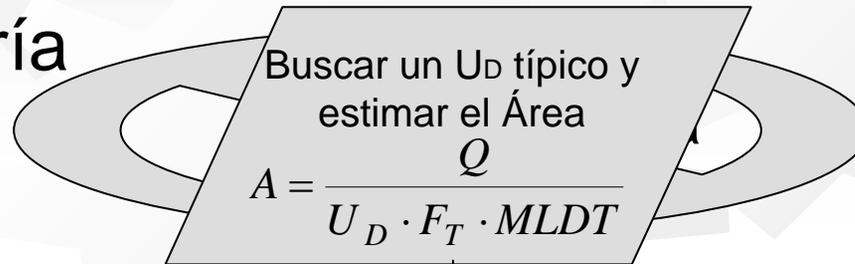
FT vs R y S para configuración 1:2



Los intercambiadores 1:2 se usan cuando  $T_2 > t_2$  o cuando  $F_T > 0.75$

# Dimensionamiento

- ☀ Balance de Energía
- ☀ Elegir qué fluido va por cada lado
- ☀ Geometría



¡Alta  
complejidad!

Elegir el diámetro nominal de los tubos , BWG, longitud  
y arreglo espacial

Calcular el número de tubos  $N_T = \frac{A}{L \cdot (\Pi D_{1e}) \cdot N_c}$

Con el número de tubos y el número de pasos  
por el lado tubo leer de las tablas adecuadas  
el tamaño de la coraza

# ☀ Determinación del Coeficiente de Película en el lado tubo

Calcular el área transversal de flujo

$$a_t = \frac{N_t \cdot D_{1i}}{N_{pt}}$$

Calcular el flujo por unidad de área

$$G_t = \frac{M_t}{a_t}$$

Calcular el Reynolds y el Prandtl

$$\text{Re}_t = \frac{G_t D_{1i}}{\mu_t} \quad \text{Pr}_t = \frac{C_{p_t} \mu_t}{k_t}$$

De acuerdo al régimen de flujo elegir la correlación adecuada y estimar el Nusselt

$$10000 < \text{Re} < 5 \cdot 10^6$$

$$Nu = \frac{(f/2) \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}}{1.07 + 12.7 \cdot (f/2)^{0.5} \cdot (\text{Pr}^{2/3} - 1)}$$

$$2300 < \text{Re} < 10000$$

$$Nu = \frac{(f/2) \cdot (\text{Re} - 1000) \text{Pr}}{1 + 12.7 \cdot (f/2)^{0.5} \cdot (\text{Pr}^{2/3} - 1)}$$

$$\text{Re} < 2300$$

$$Nu = 1.86 \cdot \left( \frac{\text{Re} \cdot \text{Pr} \cdot d}{L} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

# ☀ Determinación del Coeficiente de Película en la Coraza

Calcular el área transversal de flujo y el flujo por unidad de área

$$a_c = \frac{Dc \cdot C \cdot B}{P_T \cdot N_{pc}} \qquad G_c = \frac{M_c}{a_c}$$

Calcular el diámetro equivalente

$$\left\{ \begin{array}{l} \square \quad D_e = \frac{4(Pt^2 - \pi D_{1e}^2 / 4)}{\pi D_{1e}} \\ \triangle \quad D_e = \frac{4 \left( \frac{P_T^2 \sqrt{3}}{4} - \frac{\pi D_{1e}^2}{8} \right)}{\pi D_{1e} / 2} \end{array} \right.$$

Calcular el Reynolds y el Prandtl

$$\text{Re}_a = \frac{G_a D_e}{\mu_a} \qquad \text{Pr}_a = \frac{Cp_a \mu_a}{k_a}$$

# ☀ Determinación del Coeficiente de Película en la Coraza

Calcular el Nusselt, asumiendo que  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$  es 1.

$$Nu = \frac{h_o \cdot D_e}{k} = 0.36 \cdot Re^{0.55} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

Con  $h_o$  y  $h_{io}$  estimar la temperatura de la pared  $t_w$

Fluido frío en tubo  $\longrightarrow$  
$$t_w = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

Fluido frío fuera del tubo  $\longrightarrow$  
$$t_w = T_c - \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

Buscar la viscosidad a  $t_w$  y calcular  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$

Estimar de nuevo el Nusselt y el con éste el coeficiente de película  $h_o$

# ☀ Determinación del Desempeño térmico

Calcular el coeficiente global de transferencia de calor limpio y sucio

$$\frac{1}{U_c} = \left( \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} \right) \quad \frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_D$$

Con el coeficiente “sucio” calcular el área de transferencia mínima

$$A_{U_D} = \frac{Q}{U_D \cdot F_T \cdot MLDT}$$

**Sí**

¿ $A > A_{U_D}$ ?

**No**

Calcular el Sobrediseño

$$\%S = \frac{A_{efectiva} - A_U}{A_U} \cdot 100$$

Desempeño Hidráulico

Con  $U_D$  , recalcular una nueva área y suponer otra geometría

# ☀ Determinación del Desempeño Hidráulico

Lado Coraza

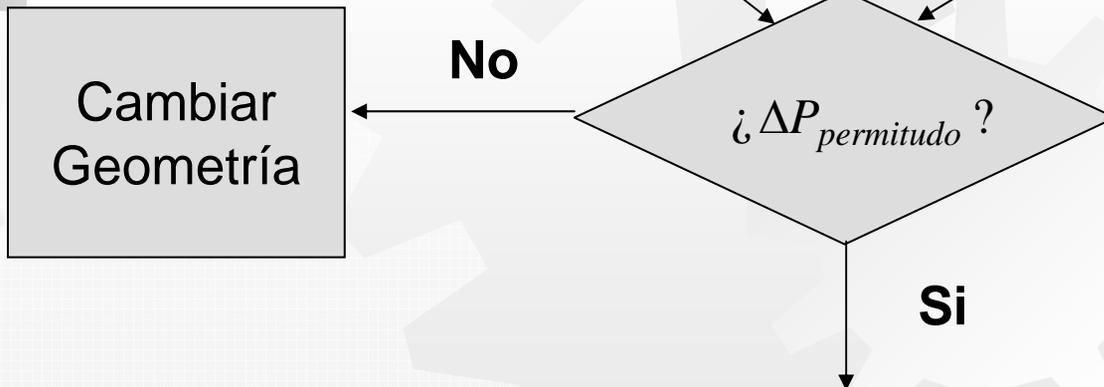
$$f = \exp(0.576 - 0.19 \ln(\text{Re}_c))$$

$$\Delta P_c = \frac{f \cdot G_c^2 \cdot (N_B + 1) D_c N_c \cdot N_{pc}}{2 \rho D_e \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}}$$

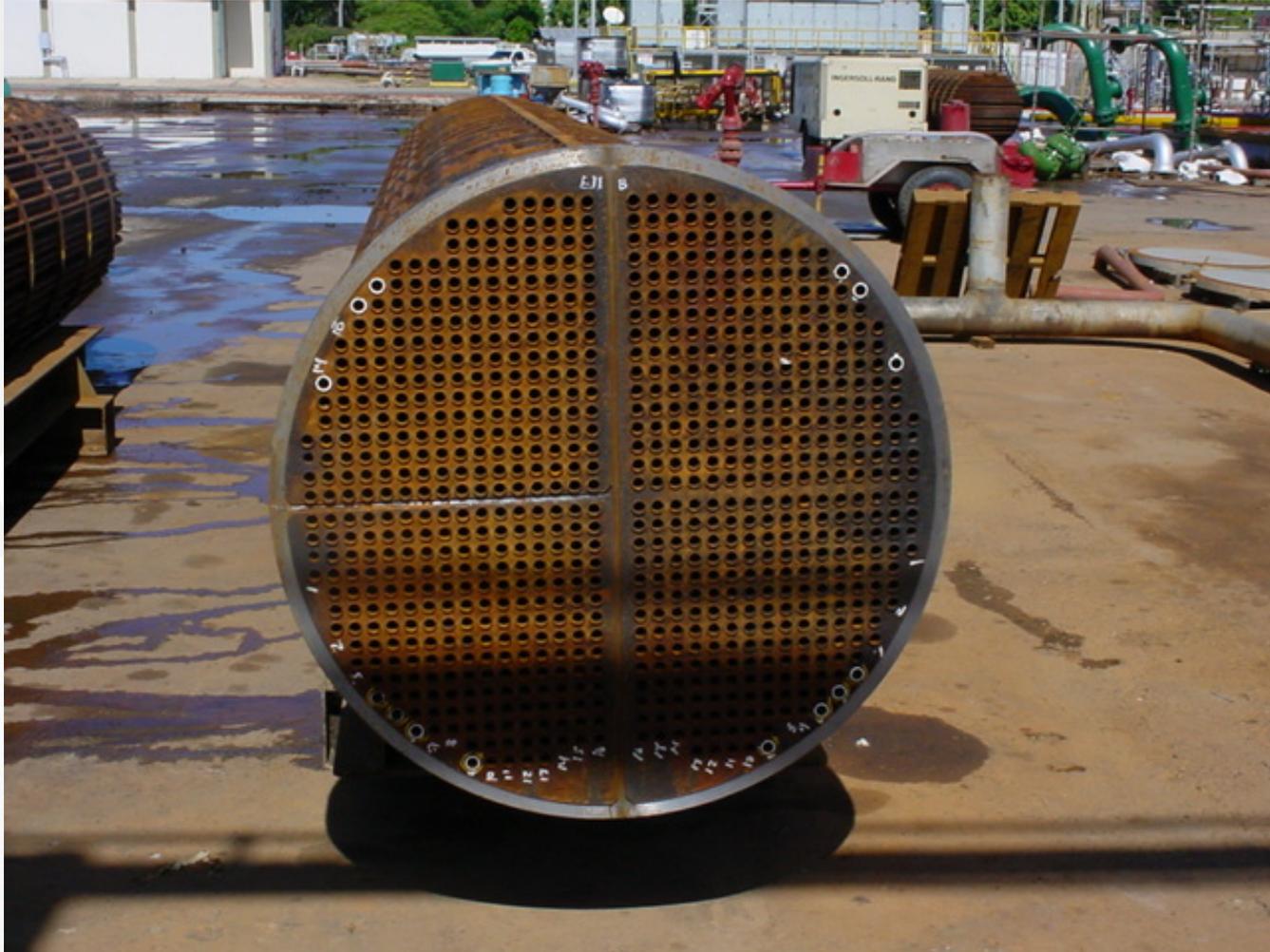
Lado Tubo

$$f = (1.58 \cdot \ln(\text{Re}) - 3.28)^{-2}$$

$$\frac{\Delta P_t}{\rho_t} = \left( 4f \cdot \frac{LN_{pt} \cdot N_c}{D_{li}} + 4N_{pt} N_c \right) \frac{v_t^2}{2}$$



# Imágenes



Espejo de un intercambiador coraza y tubo.



**Banco de Tubos de un intercambiador coraza y tubo.**

# Referencias

- [1] Perry. *“Manual del Ingeniero Químico”*. Sexta Edición. Mc Graw-Hill. (1997). Pág. 11-3 y ss, 10-24 y ss.
- [2] Kern, D. *“Process Heat Transfer”*. Mc Graw-Hill (1950). Pág. 102 y ss, 127 y ss., 221 y ss.
- [3] Kakaç, S. & Liu, H., *“Heat Exchangers, Selection, Rating and Thermal Design”*. Department of Mechanical Engineering, University of Miami. CRC Press. (1995). Pág. 53 y ss