

# Equipos de Transferencia de Calor



*Prof. Jesús F. Ontiveros*

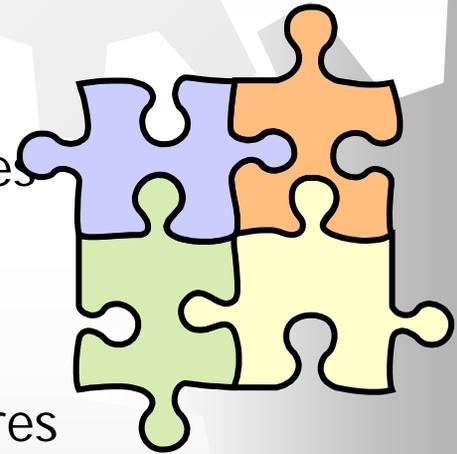
# Equipos de Transferencia de Calor

- ☀ Clasificación
- ☀ Etapas del Dimensionamiento
  - Coeficiente de Película
  - Ensuciamiento
  - Caída de Presión
- ☀ Rating o Evaluación
- ☀ LMDT vs. NTU

# Clasificación

☀ Según su función<sup>[1,2]</sup>

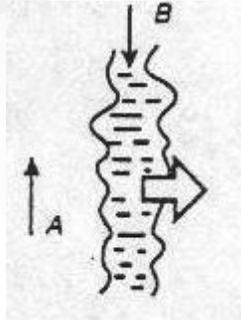
Evaporadores  
Calentadores  
Enfriadores  
Intercambiadores  
Refrigeradores  
Condensadores  
Rehervidores  
Sobrecalentadores  
Calderas



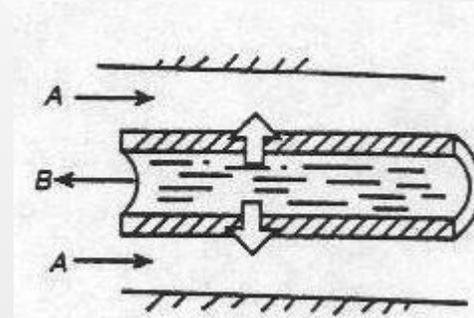
# Clasificación

## ☀ Según el proceso de Transferencia<sup>[3]</sup>

Contacto Directo

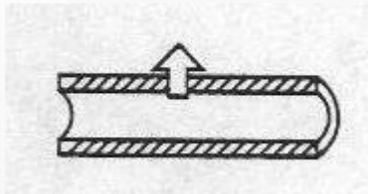


Contacto Indirecto

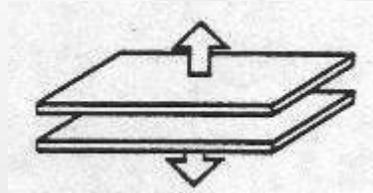


## ☀ Según la geometría de construcción<sup>[3]</sup>

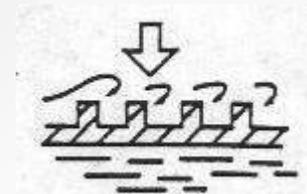
Tubos



Platos



Superficies Extendidas



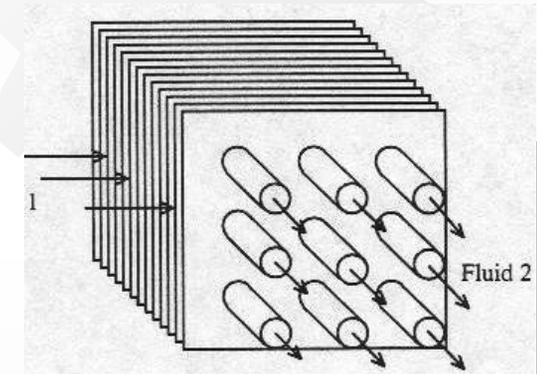
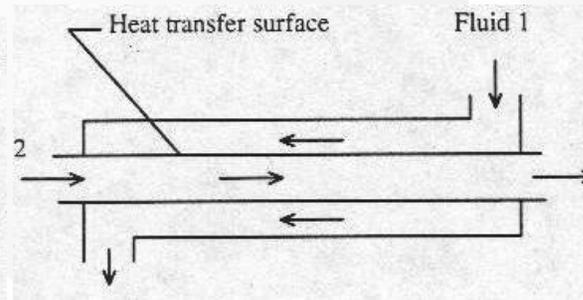
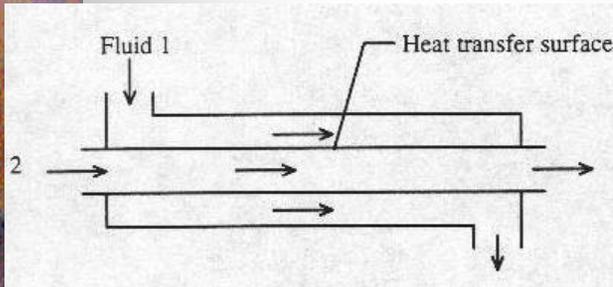
# Clasificación

## ☀ Según el arreglo del flujo<sup>[3]</sup>

Paralelo

Contracorriente

Flujo Cruzado

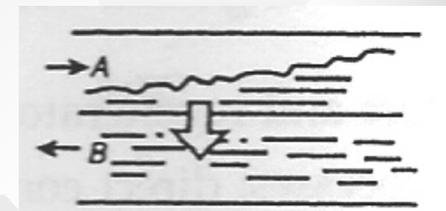
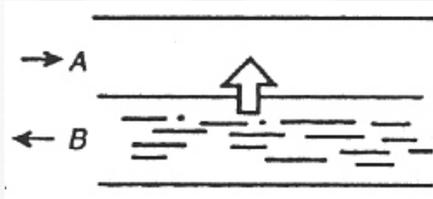


## ☀ Según el mecanismo involucrado<sup>[3]</sup>

Monofásico

Evaporación

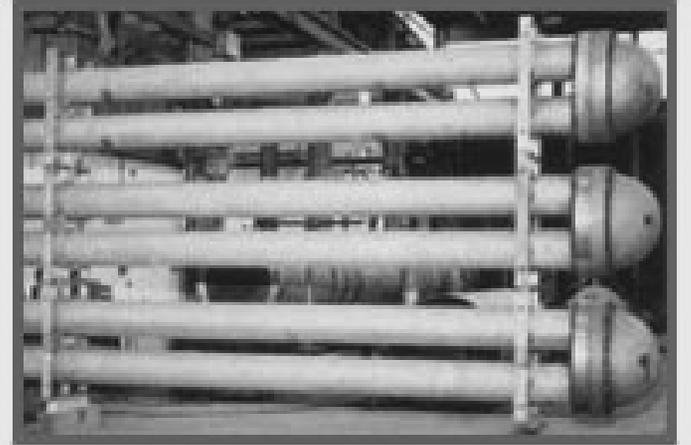
Condensación



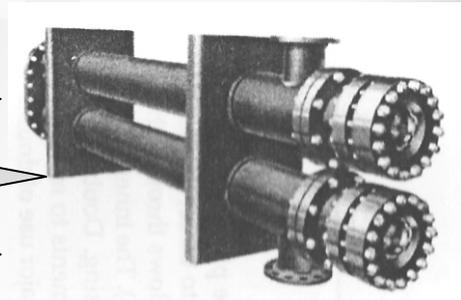
# Intercambiadores Tubulares

## ☀ Doble Tubo<sup>[2,3]</sup>

- Se usa cuando el área de intercambio es menor a  $50\text{m}^2$
- Configuración adecuada para manejar fluidos a altas presiones.
- Arreglos en serie y en paralelo
- Adición de aletas en tubo interno



- × Costosos
- × Dificiles de limpiar por el lado tubo
- × Ocupan mucho espacio

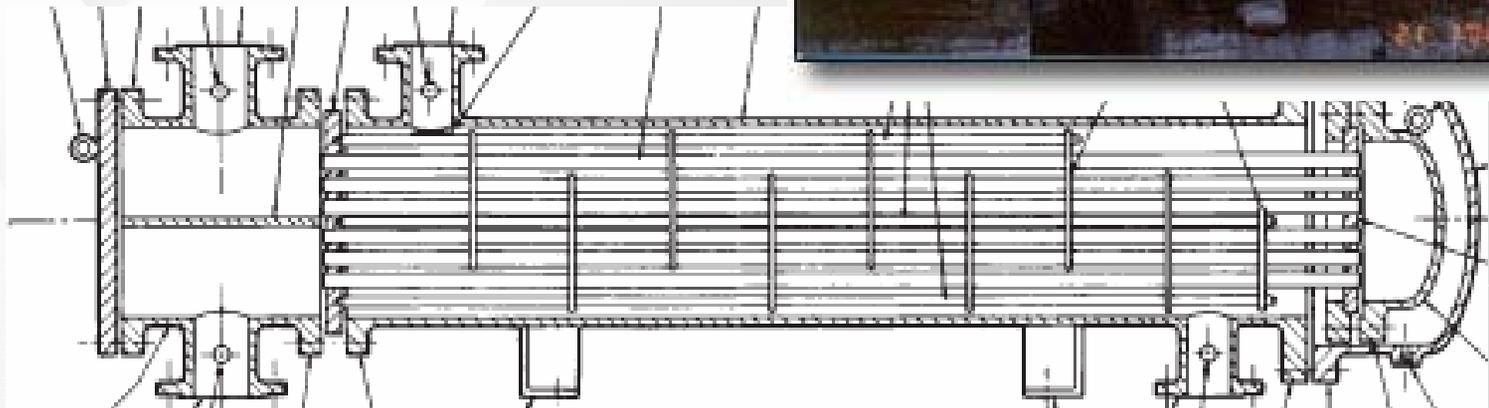
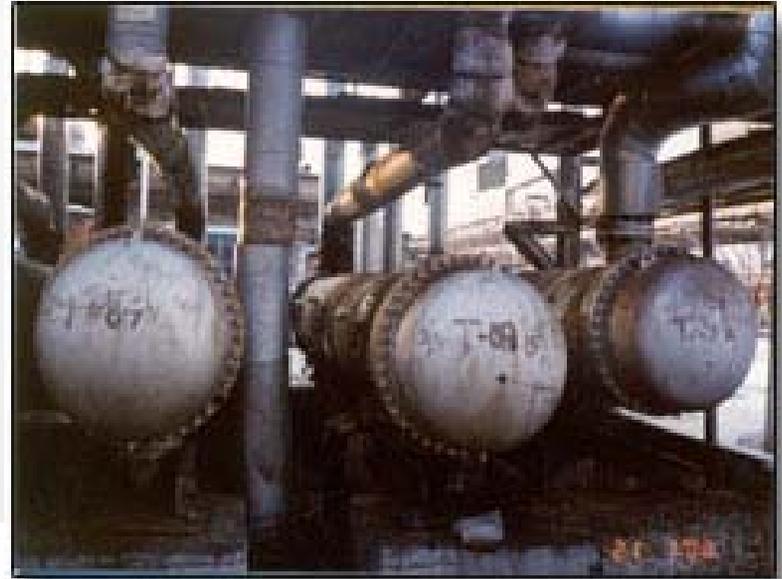


Int. Multitubo

# Intercambiadores Tubulares

## ☀ Coraza y Tubo<sup>[2,3]</sup>

- 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."



Int. Coraza y Tubo tipo AES

# Intercambiadores Tubulares

## Características Geométricas Coraza y Tubo

Corazas : D entre 8 y 48 pulgadas

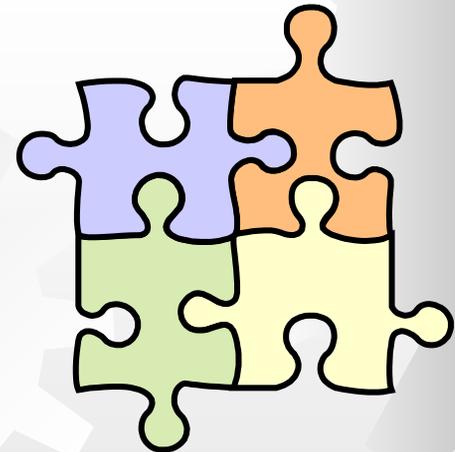
Tubos : D  $\frac{3}{4}$  y 1 pulgada

Longitud : 8,10,16,20 pies



## ☀ Espiral<sup>[3]</sup>

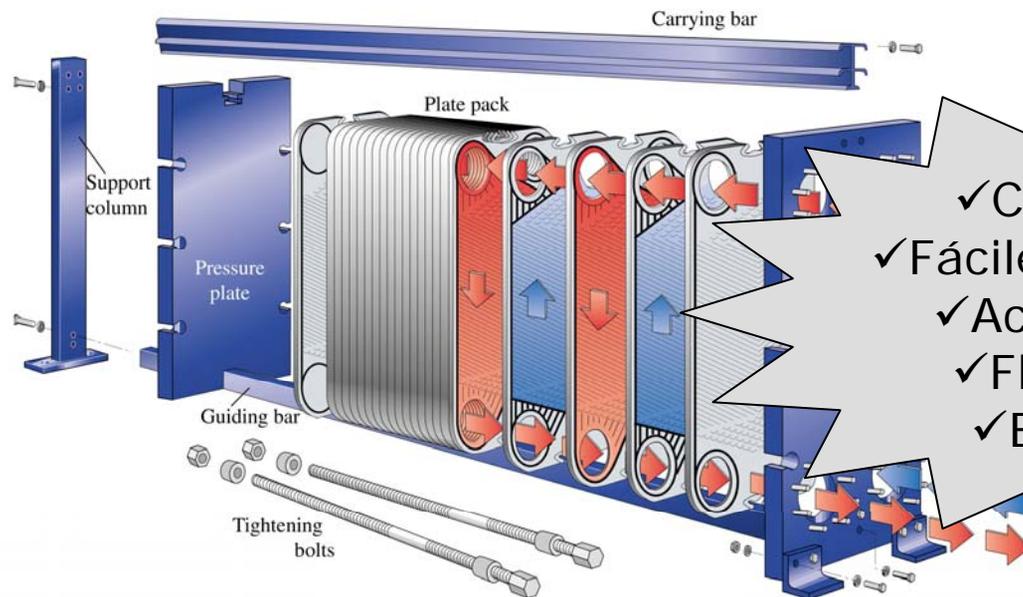
- Condensadores y evaporadores coaxiales
- Fluidos Limpios



# Intercambiadores de Plato

## ☀ Intercambiador de Placas y Juntas<sup>[3,4]</sup>

- Áreas de hasta  $2000\text{m}^2$ .
- Presiones de hasta 350psi(25bar) y T inferiores a  $250^\circ\text{C}$
- Amplia aplicación en la industria de alimentos.

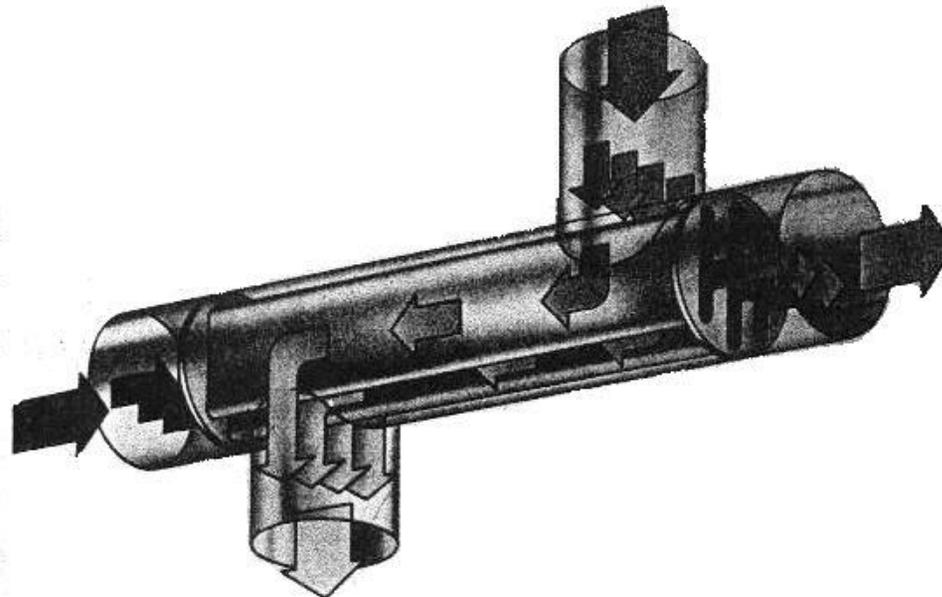


- ✓ Compactos
- ✓ Fáciles de Limpiar
- ✓ Accesibilidad
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Economía

# Intercambiadores de Plato

## ☀ Lamelar

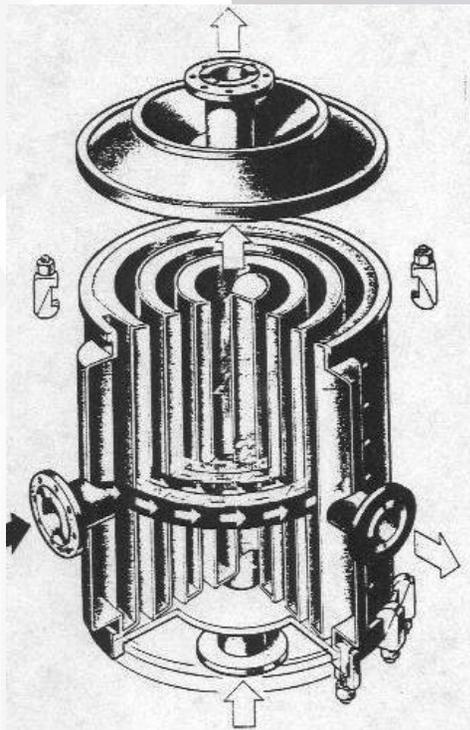
- Estructura similar a un coraza y tubo 1:1
- Áreas de hasta  $m^2$
- Presiones de hasta 500psi(35bar) y T inferiores a  $500^{\circ}C$
- Poco ensuciamiento



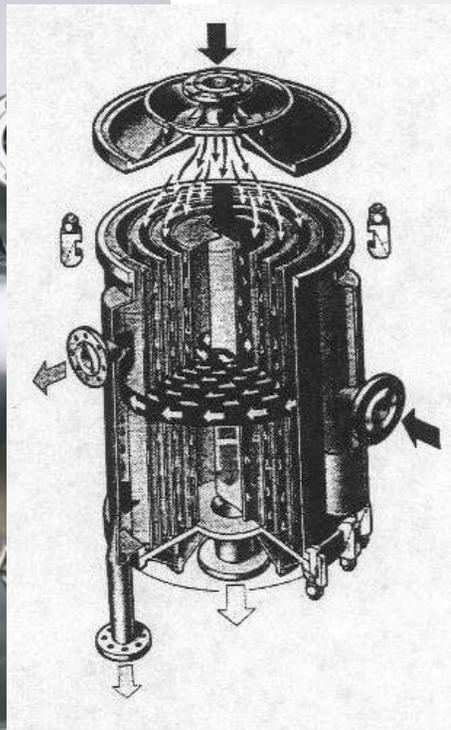
# Intercambiadores de Plato

## ☀ Espiral

- Áreas de hasta  $500\text{m}^2$ .
- Presiones de hasta 220psi(15bar) y T inferiores a  $500^\circ\text{C}$



Tipo I

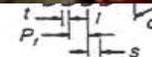
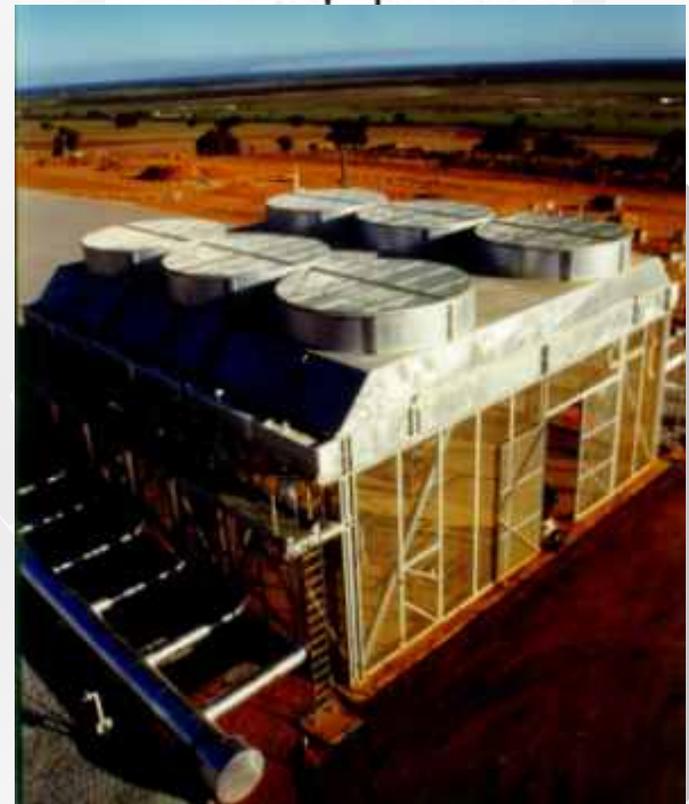
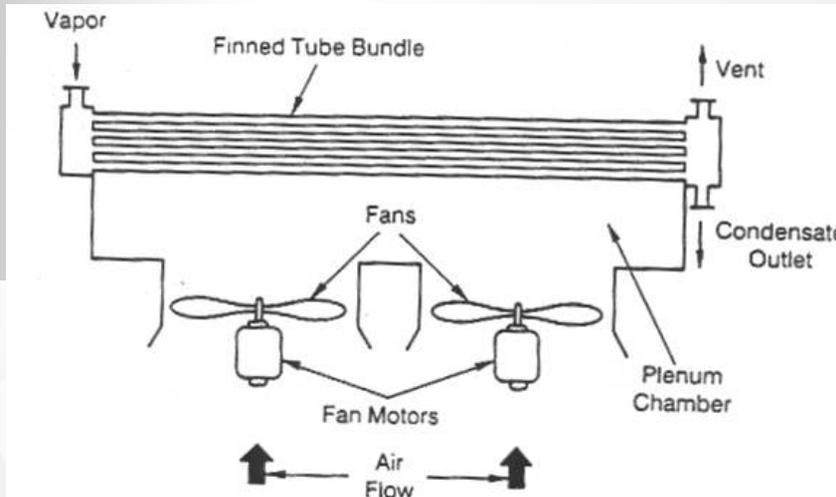


Tipo II

# Intercambiadores de Superficie Extendida

## ☀ Tubos Aletados<sup>[3]</sup>

- Calentamiento, refrigeración, sistemas de aire acondicionado, intercambiadores de aire.



# Etapas del Dimensionamiento

Definición del Problema



Selección del Tipo de Intercambiador



Selección de un conjunto tentativo de parámetros de diseño



Cálculo del Desempeño Térmico



Cálculo de la Caída de Presión

No

Evaluación

Si



¿Con qué materiales?  
Diseño mecánico de cada pieza  
¿Cuánto cuesta?

# Coeficiente de Película

## ☀ Análisis de las Resistencias Involucradas

Geometría Tubular →

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_i} \cdot \frac{r_e}{r_i} + \frac{r_e \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{k} + \frac{1}{h_o} \right]}$$

Geometría Placas →

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_i} \cdot \frac{A_e}{A_i} + \frac{A_e \cdot \Delta x}{k \cdot A} + \frac{1}{h_o} \right]}$$

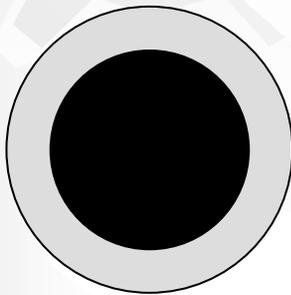
- ☀ Simplificaciones
- ☀ ¿Cómo determinar “h”?

# Coeficiente de Película

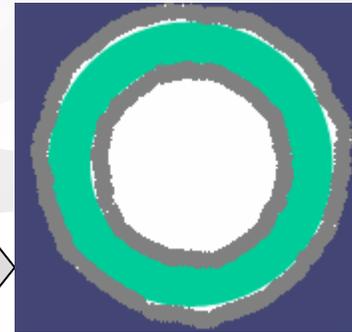
Correlación	Ecuación	Restricciones
Correlación de Prandtl	$Nu = \frac{(f/2) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 8.7 \cdot (f/2)^{0.5} \cdot (Pr-1)}$ $f = (1.58 \cdot \ln(Re) - 3.28)^{-2}$	Régimen Turbulento. Tuberías Circulares.
Correlación de Gnielinski	$Nu = \frac{(f/2) \cdot Re \cdot Pr}{1.07 + 12.7 \cdot (f/2)^{0.5} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$	10000 < Re < 5000000, 0.5 < Pr < 200 Tuberías Circulares
Correlación Modificada de Dittus-Boelter	$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.5}$	0.5 < Pr < 1; Re > 5000. Gases. Tuberías Circulares
Correlación de Sieder- Tate	$Nu = 1.86 \cdot \left( \frac{Re \cdot Pr \cdot d}{L} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$	0.48 < Pr < 16700 Régimen Laminar Líquidos. Tuberías Circulares
---	$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$	L/D > 60, Pr > 0.6 Régimen Turbulento Líquidos. Tuberías Circulares
---	$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \left( \frac{T_w}{T} \right)^n$ $T_w/T < 1 \rightarrow n = 0$ $T_w/T > 1 \rightarrow n = -0.55$	30 < L/D < 120, 7000 < Re < 300000 Régimen Turbulento Aire. Tuberías Circulares

# Ensuciamiento

## ☀ Definición



Primer día de  
operación



Tiempo después



## ☀ Categorías <sup>[3]</sup>

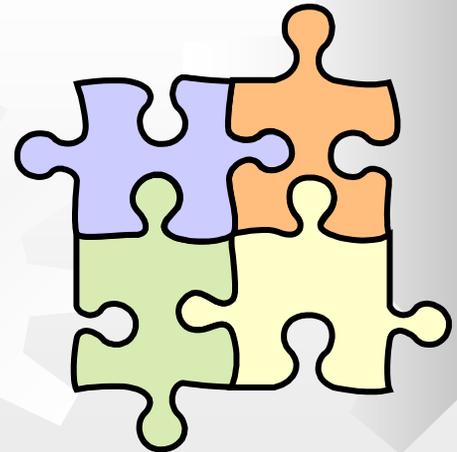
**Particulado**

**Biológico**

**Corrosión**

**Cristalización**

**Químico**



# Ensuciamiento

☀ A nivel de cálculo :

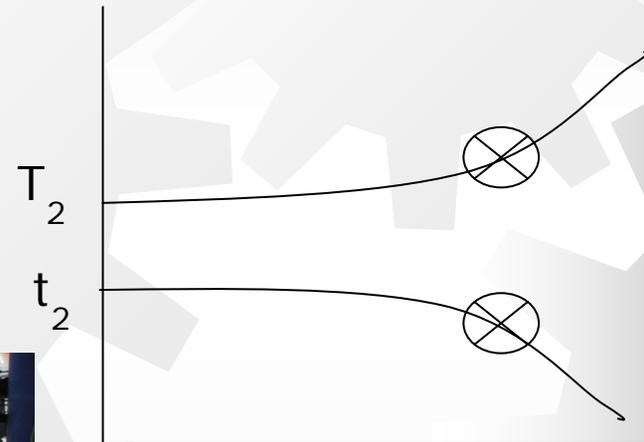
$$\frac{1}{U_D} = \left( \frac{r_o}{hi \cdot r_i} + \frac{1}{ho} + R_D \right)$$

$$R_D = R_{i_n} + R_{out}$$



☀ A nivel práctico

Disminución del calor transferido



Tiempo



# Caída de Presión

¿Por qué es importante la caída de presión que genera un intercambiador?

Costos de bombeo

Fluido	Caída de Presión Disponible (psi/kPa)
Gas alta presión	5-10 / 34.46-68.92
Gas baja presión	2-5 / 13.79-34.46
Gases a presión atmosférica	0.5-2 / 3.44-13.79
Aplicaciones al vacío	<0.5 / <3.44
Líquidos	10 / 68.92

# 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
- [4] Carlson, J., *“Understand the Capabilities of Plate-and\_Frame Heat Exchangers”*. Chemical Engineering Progress., 26-31 July 1992.