



UNIVERSIDAD  
DE LOS ANDES  
MERIDA-VENEZUELA

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**TRANSFERENCIA DE CALOR**

## **TEMA 4**

# **INTERCAMBIADORES DE CALOR**

**PROF. FRANZ RAIMUNDO**

# Contenido

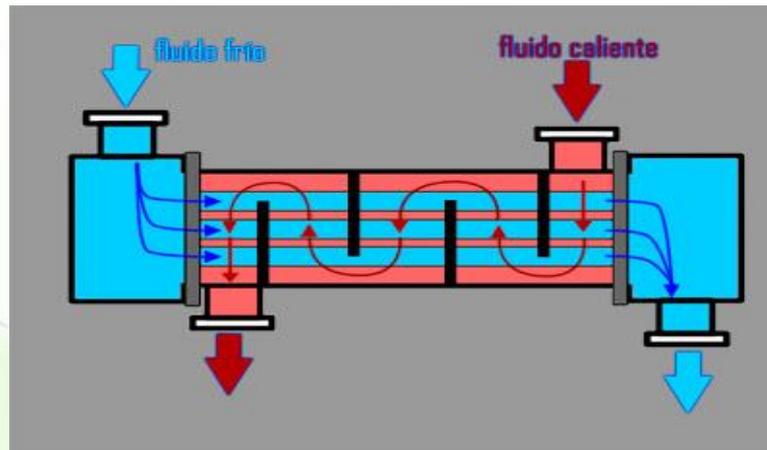
---

- Introducción
- Tipos de intercambiadores de calor
- Fluido mezclado y no mezclado
- Coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ )
- Métodos de análisis:
  - Diferencia de temperatura media logarítmica ( $\Delta T_{ml}$ )
  - Efectividad – Número de unidades de transferencia ( $\varepsilon - NUT$ )

# Introducción

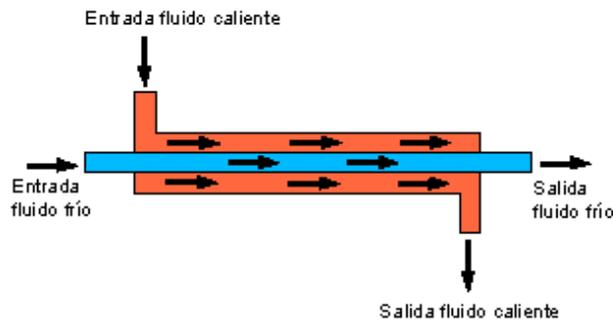
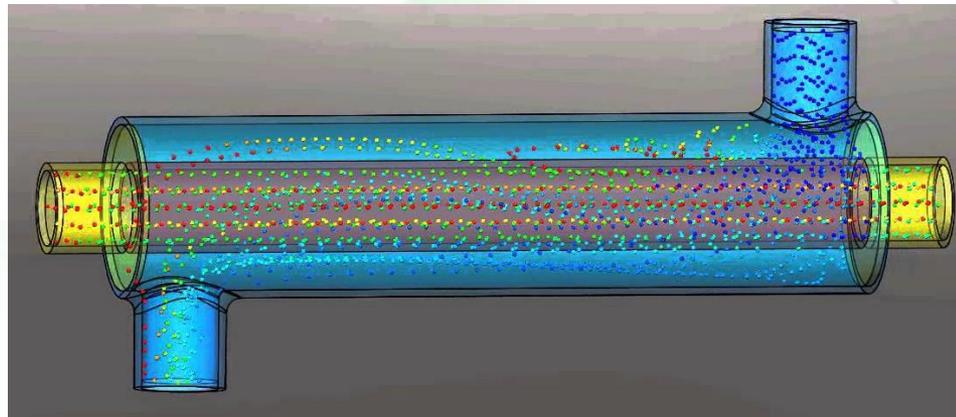
- Definición y aplicaciones

Es un dispositivo que permite el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes , separados por una superficie sólida.

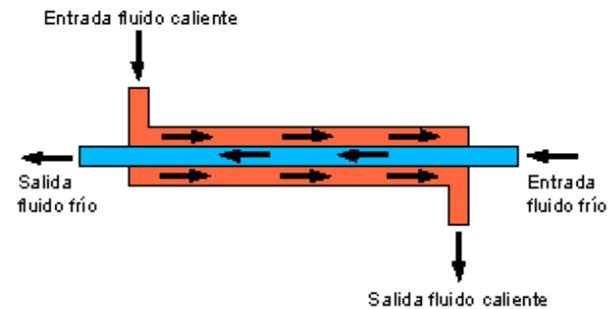


# Tipos de Intercambiadores

## Doble tubo



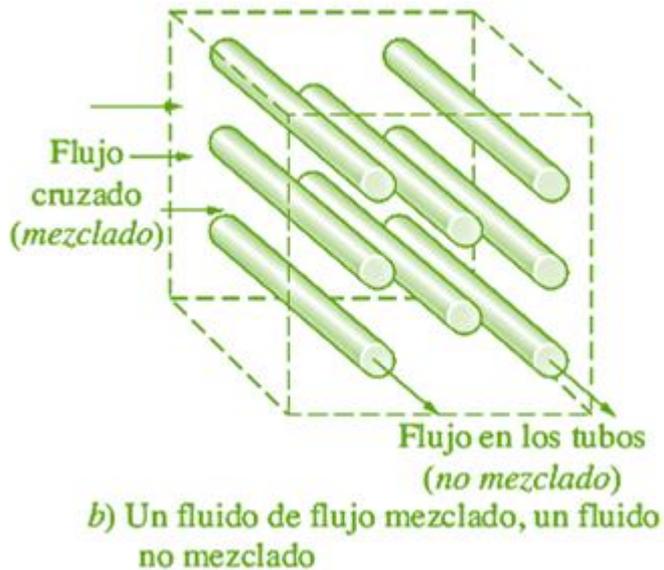
a) Configuración en flujo paralelo



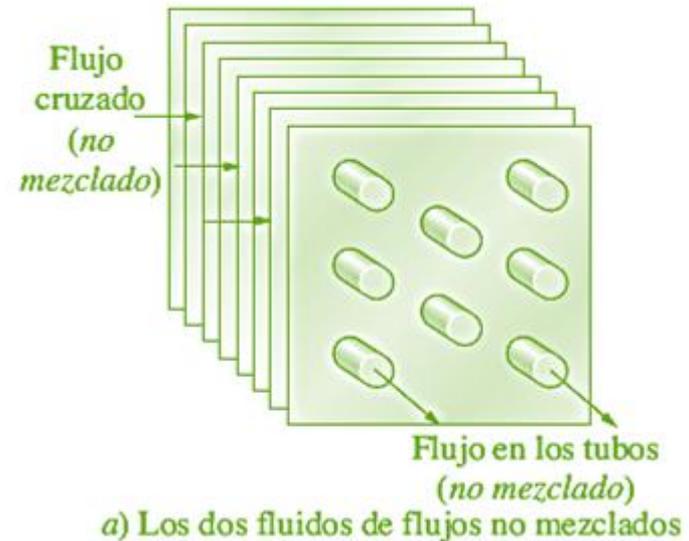
b) Configuración en contraflujo

# Tipos de Intercambiadores

## Banco de tubos



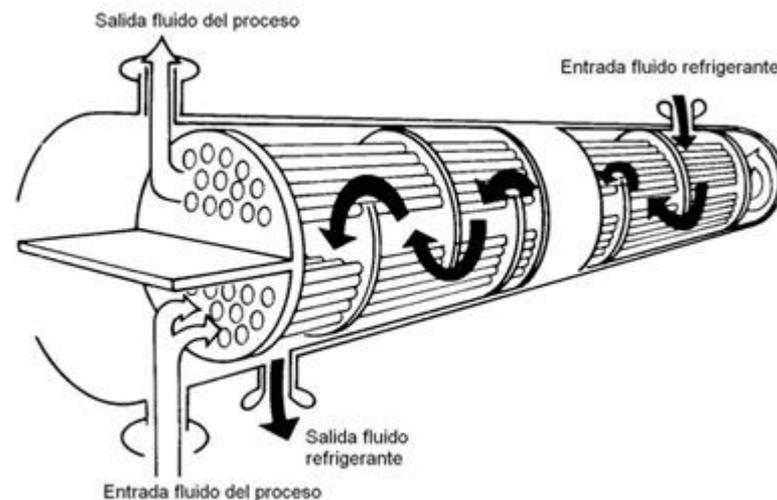
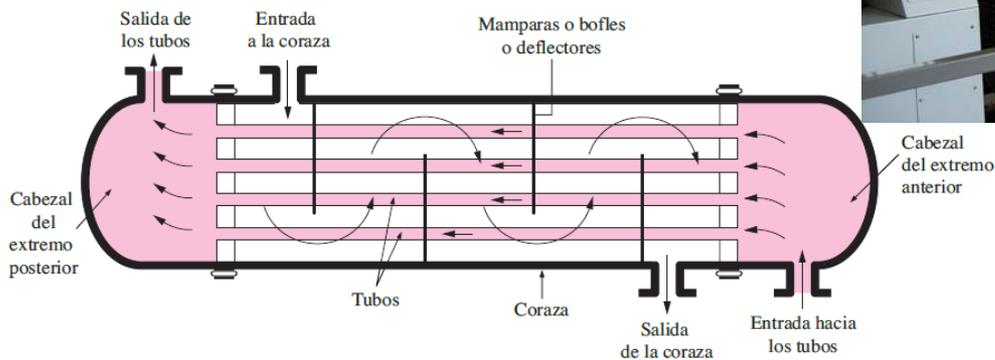
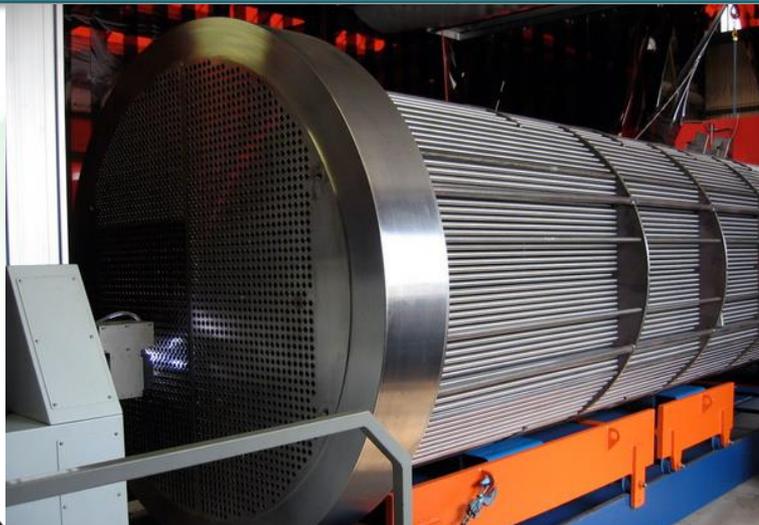
Mezclado



No mezclado

# Tipos de Intercambiadores

## Coraza y tubos



# Tipos de Intercambiadores

Compacto

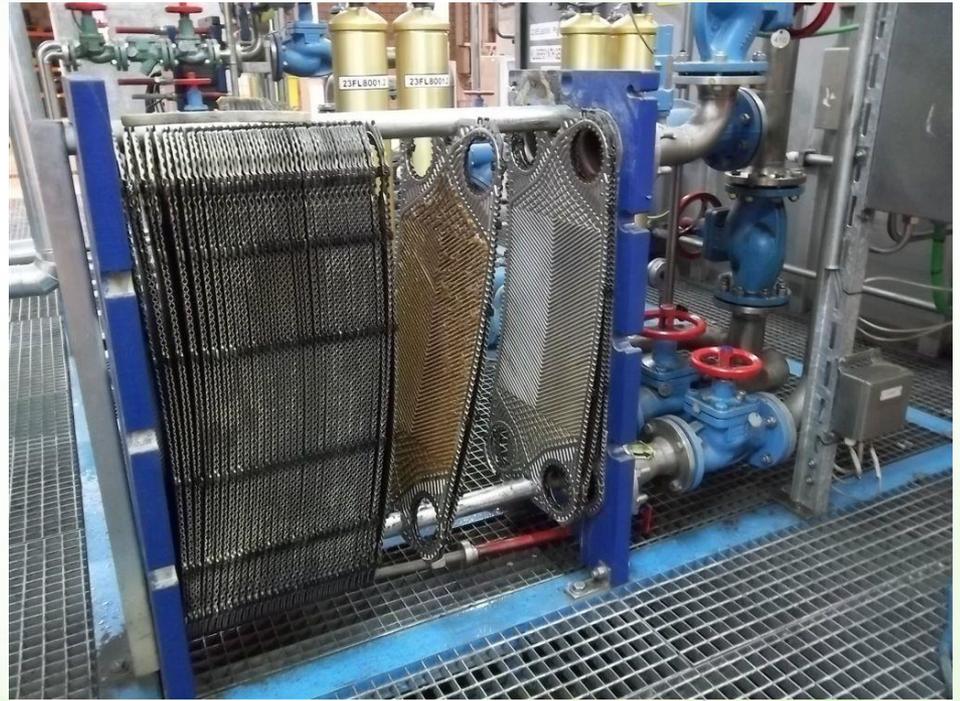
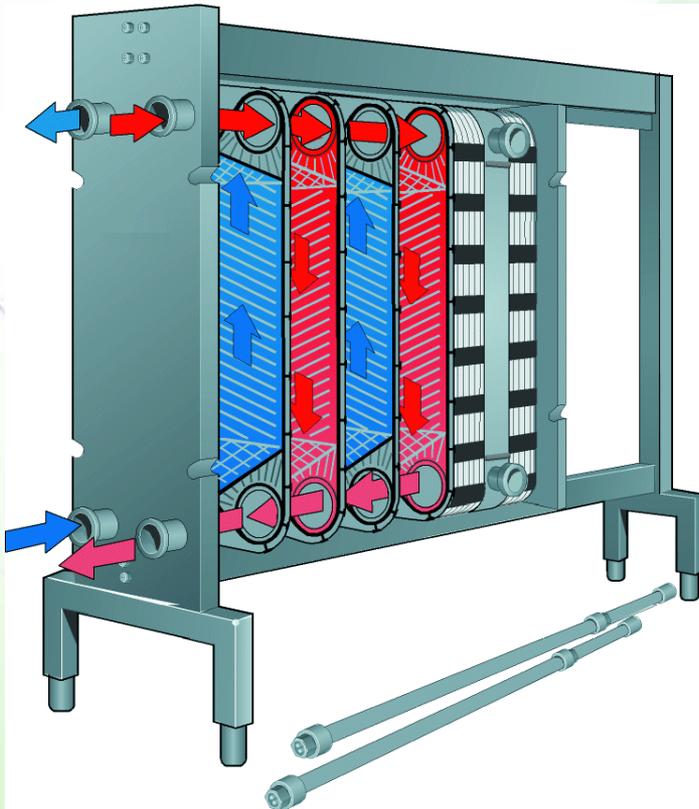
Densidad de área

$$700 \frac{m^2}{m^3}$$



# Tipos de Intercambiadores

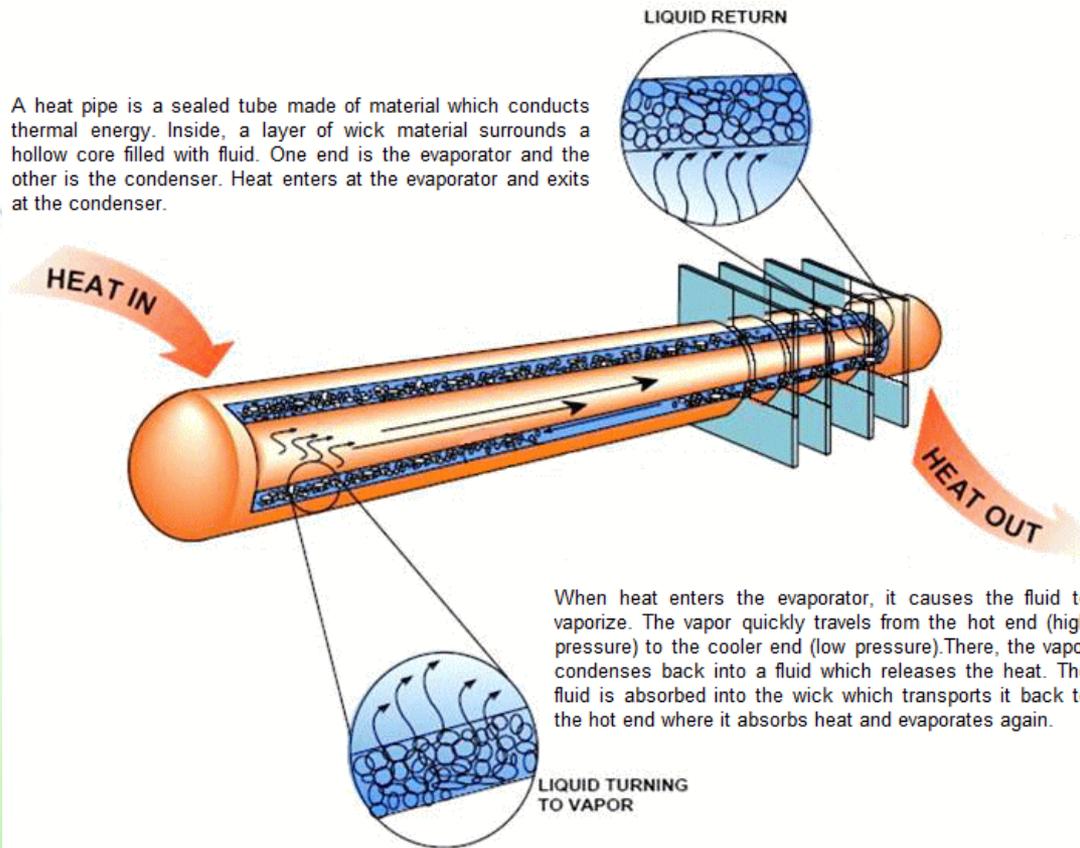
## Placas paralelas



# Tipos de Intercambiadores

## Heat pipe

A heat pipe is a sealed tube made of material which conducts thermal energy. Inside, a layer of wick material surrounds a hollow core filled with fluid. One end is the evaporator and the other is the condenser. Heat enters at the evaporator and exits at the condenser.



When heat enters the evaporator, it causes the fluid to vaporize. The vapor quickly travels from the hot end (high pressure) to the cooler end (low pressure). There, the vapor condenses back into a fluid which releases the heat. The fluid is absorbed into the wick which transports it back to the hot end where it absorbs heat and evaporates again.

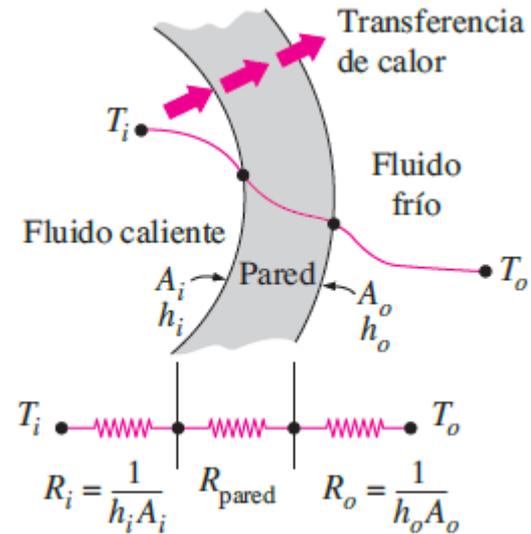
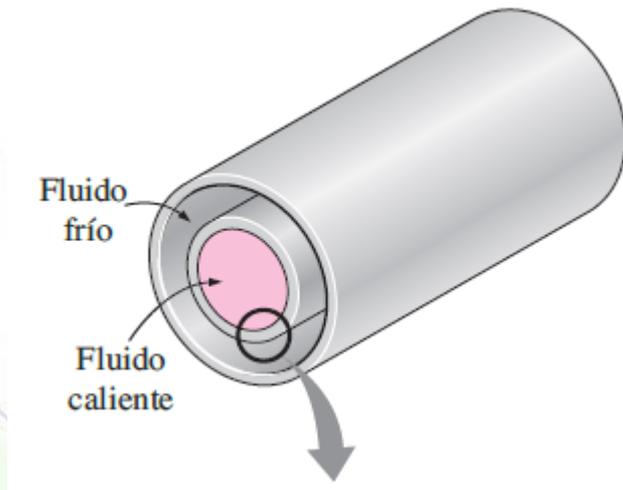


# Tipos de Intercambiadores

Heat pipe



# Coeficiente global de transferencia de calor U



$$U = \frac{1}{\sum R t * A}$$

A= Área de convección asociada al fluido caliente o al fluido frío

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

## Diseño o análisis

- Temperaturas de entrada y salida de los fluidos.
- Coeficiente global de transferencia de calor.
- Área superficial total para el intercambio de calor.

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

## Condiciones de operación

- Flujo másico de cada fluido constante.
- Propiedades del fluido como la temperatura, constantes en la entrada y salida.
- Cambios de energía cinética y potencial despreciables.
- Calor específico se puede considerar constante en un valor promedio de temperaturas.

APARATOS DE FLUJO ESTACIONARIO

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

## Método de la diferencia de temperatura media logarítmica ( $\Delta T_{ml}$ )

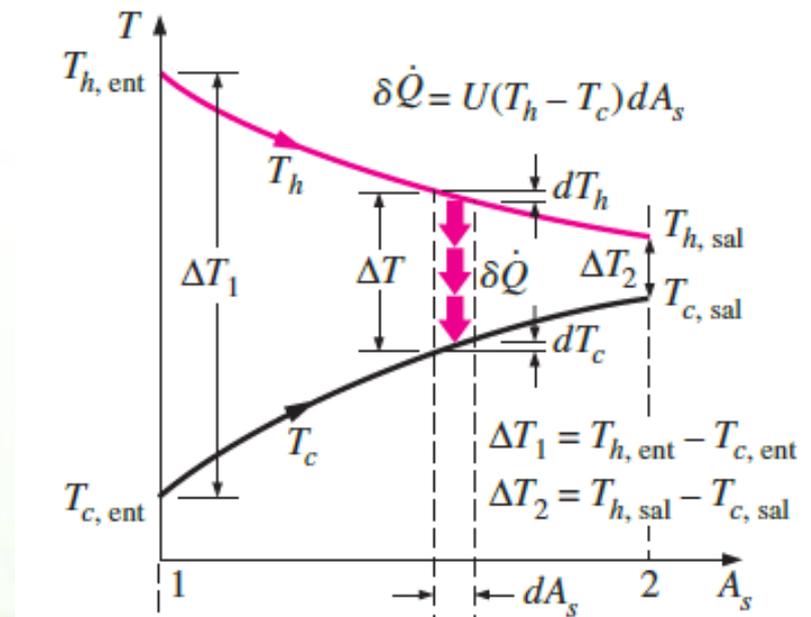
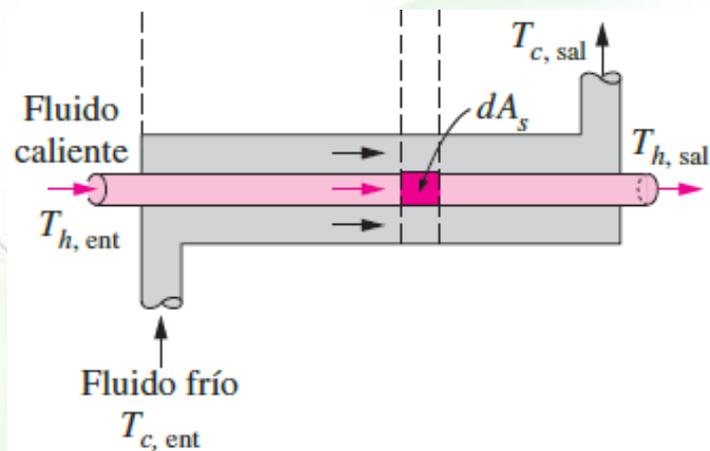
Intercambio de calor entre el fluido caliente y frío

$$Q = U * A * \Delta T_m$$

$\Delta T_m$  debe ser un promedio de temperatura adecuado, la cual represente la forma en que varía la temperatura a través del intercambiador.

# Métodos de análisis de intercambiadores

Determinación de  $\Delta T_{ml}$  para un intercambiador de doble tubo, flujo paralelo.



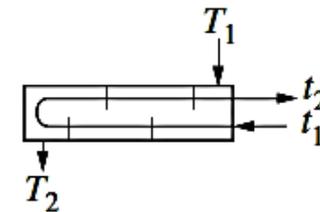
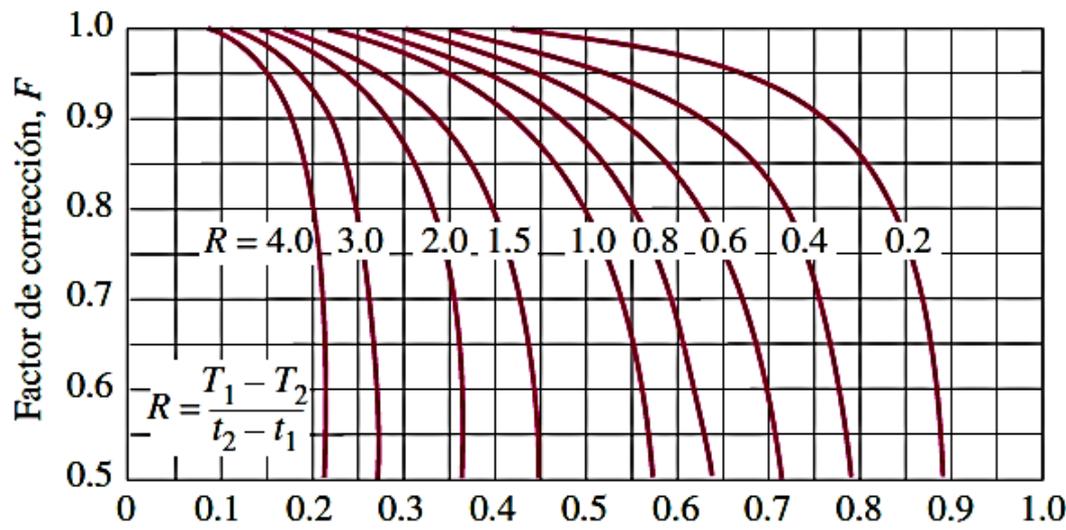
$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

# Métodos de análisis de intercambiadores

Determinación de  $\Delta T_{ml}$  para un intercambiador de coraza y tubos

$$\Delta T_{ml} = F * \Delta T_{ml_{CF}}$$

F: Factor de corrección para varias configuraciones de intercambiadores de calor

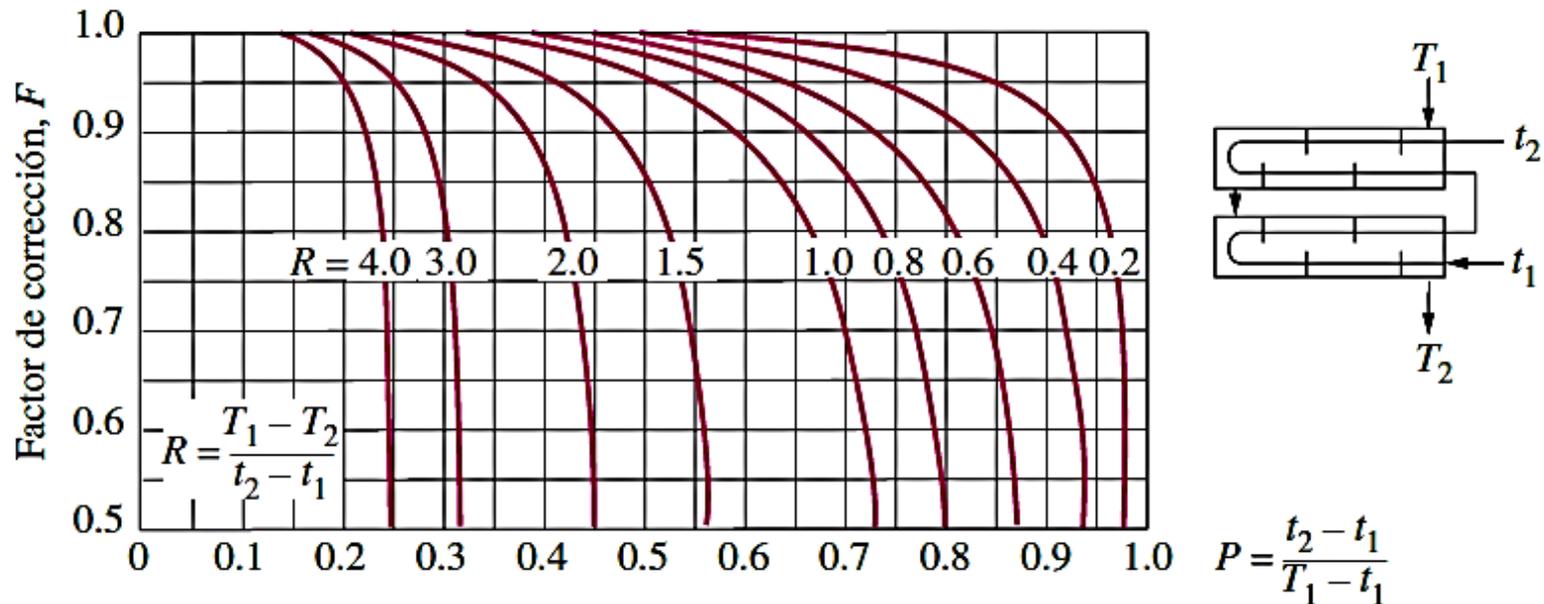


$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

a) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, etc. (cualquier múltiplo de 2) pasos por los tubos

# Métodos de análisis de intercambiadores

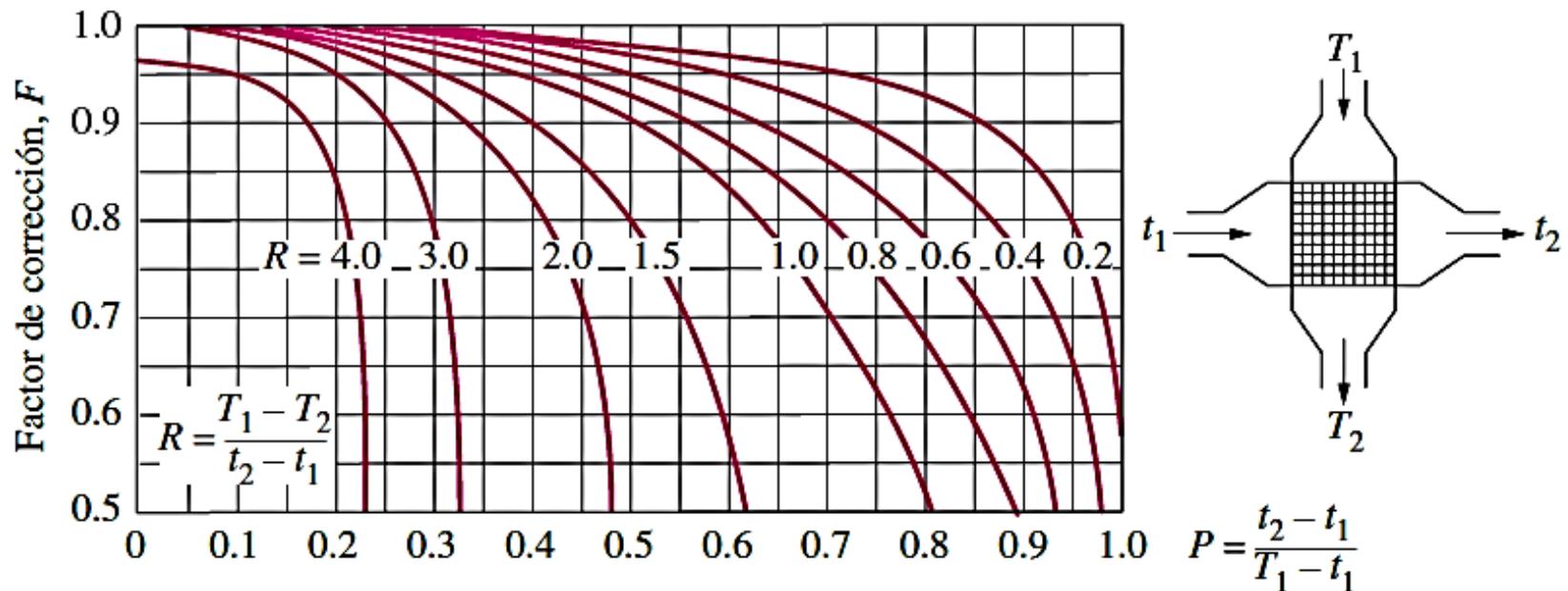
Determinación de  $\Delta T_{ml}$  para un intercambiador de coraza y tubos



b) Dos pasos por la coraza y 4, 8, 12, etc. (cualquier múltiplo de 4) pasos por los tubos

# Métodos de análisis de intercambiadores

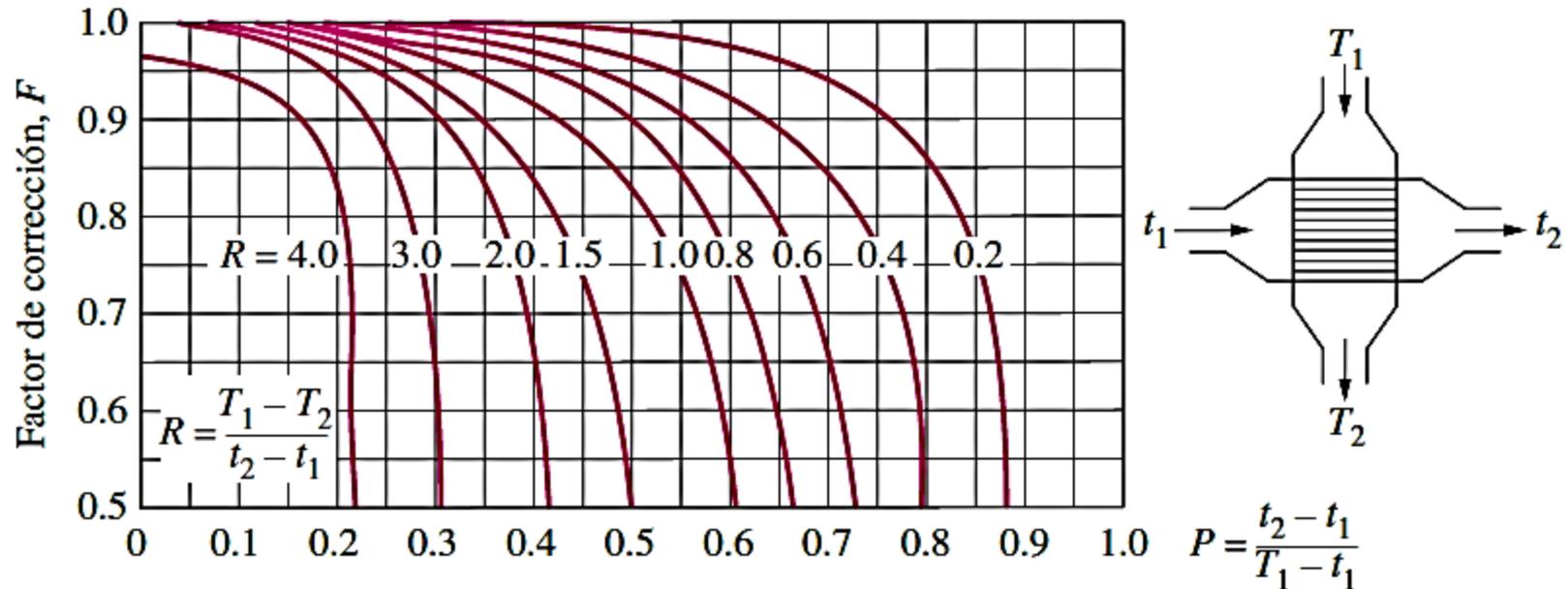
Determinación de  $\Delta T_{ml}$  para un intercambiador tipo banco de tubos



c) Flujo cruzado de un solo paso con los dos fluidos de flujo no *mezclado*

# Métodos de análisis de intercambiadores

Determinación de  $\Delta T_{ml}$  para un intercambiador tipo banco de tubos



d) Flujo cruzado de un solo paso con uno de los fluidos de flujo mezclado y el otro no mezclado

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

## Método de la efectividad( $\epsilon$ ) - NUT

Este método resulta conveniente cuando no se conocen las temperaturas de salida de los fluidos.

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{\textit{Calor real}}{\textit{Calor m\acute{a}ximo}}$$

$$Q = \epsilon * Q_{m\acute{a}x}$$

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

El calor máximo corresponde a la diferencia de temperatura máxima dentro del intercambiador.

$$\Delta T_{m\acute{a}x} = T_{EC} - T_{EF}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = C_{m\acute{i}n} * \Delta T_{m\acute{a}x}$$

$C_{m\acute{i}n}$  = *Capacitancia térmica mínima* ( $\dot{m} * C_p$ )  
entre el fluido caliente y frío.

# Métodos de análisis de intercambiadores

---

La efectividad es función del Número de Unidades de Transferencia y la relación entre capacitancias térmicas.

$$\varepsilon = f \left( NUT, \frac{C_{min}}{C_{máx}} \right)$$

El Número de Unidades de Transferencia se define cómo:

$$NUT = \frac{U * A}{C_{min}}$$

# Métodos de análisis de intercambiadores

**TABLA 11-4**

Relaciones de la efectividad para los intercambiadores de calor:  
 $NTU = UA_s/C_{\min}$  y  $c = C_{\min}/C_{\max} = (\dot{m}c_p)_{\min}/(\dot{m}c_p)_{\max}$

Tipo de intercambiador  
de calor

Relación de la efectividad

1 *Doble tubo:*

Flujo paralelo

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + c)]}{1 + c}$$

Contraflujo

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - c)]}{1 - c \exp[-NTU(1 - c)]}$$

2 *Tubos y coraza:*

Un paso por la coraza y

2, 4, . . . pasos por  
los tubos

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + c + \sqrt{1 + c^2} \frac{1 + \exp[-NTU\sqrt{1 + c^2}]}{1 - \exp[-NTU\sqrt{1 + c^2}]} \right\}^{-1}$$

3 *Flujo cruzado*

(*un solo paso*):

Los dos fluidos en  
flujo no mezclado

$$\varepsilon = 1 - \exp \left\{ \frac{NTU^{0.22}}{c} [\exp(-c NTU^{0.78}) - 1] \right\}$$

$C_{\max}$  mezclado,  
 $C_{\min}$  no mezclado

$$\varepsilon = \frac{1}{c} (1 - \exp\{1 - c[1 - \exp(-NTU)]\})$$

$C_{\min}$  mezclado,  
 $C_{\max}$  no mezclado

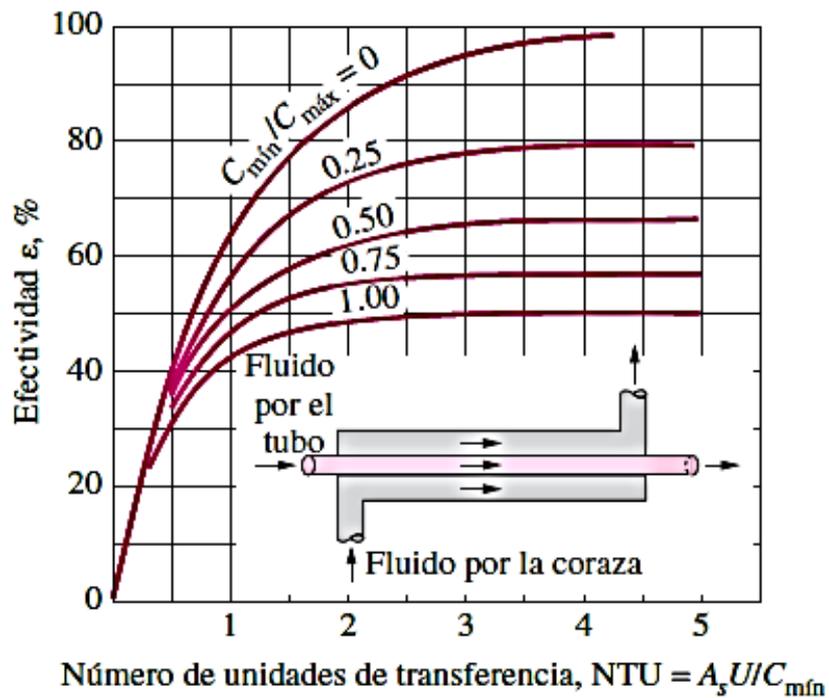
$$\varepsilon = 1 - \exp \left\{ -\frac{1}{c} [1 - \exp(-c NTU)] \right\}$$

4 *Todos los  
intercambiadores  
con  $c = 0$*

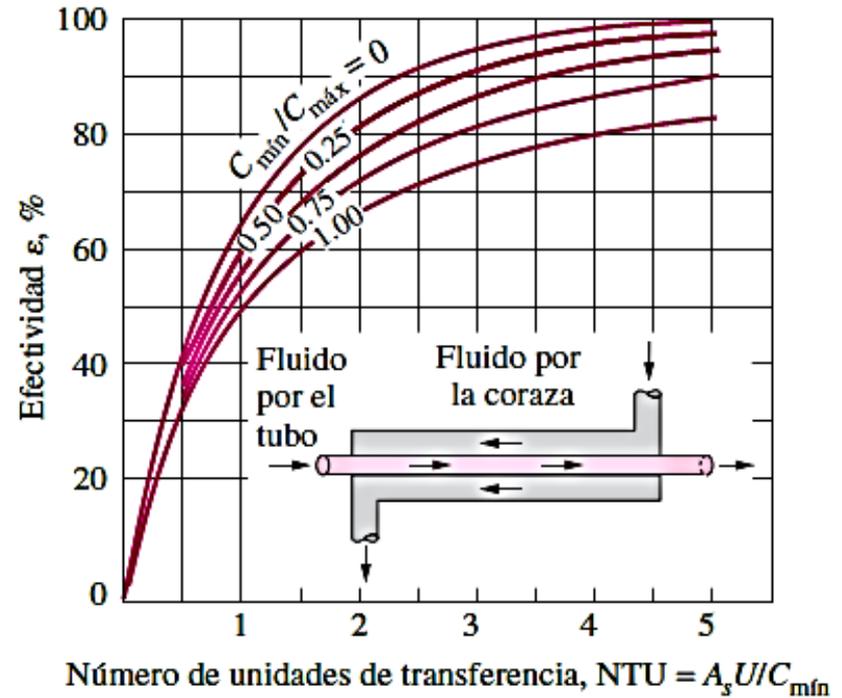
$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU)$$

# Métodos de análisis de intercambiadores

## DOBLE TUBO



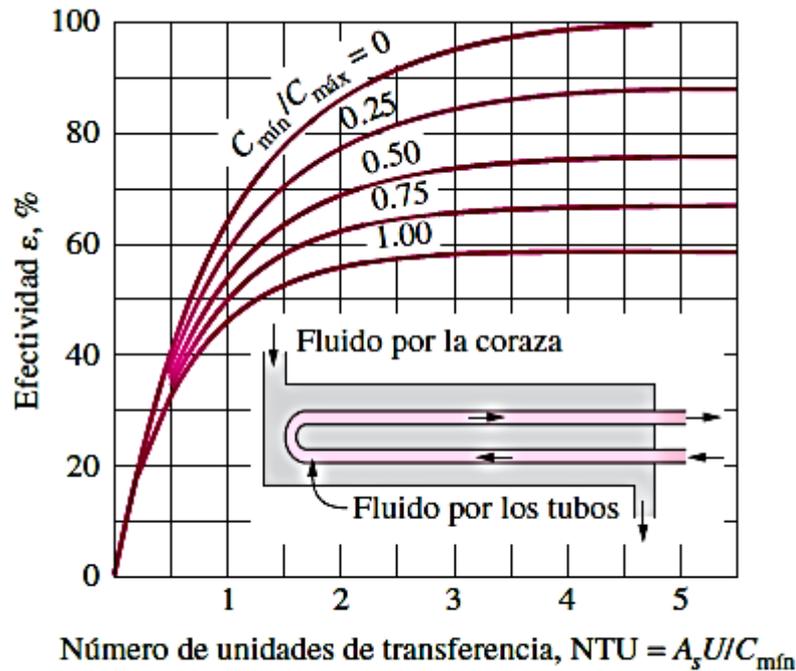
a) Flujo paralelo



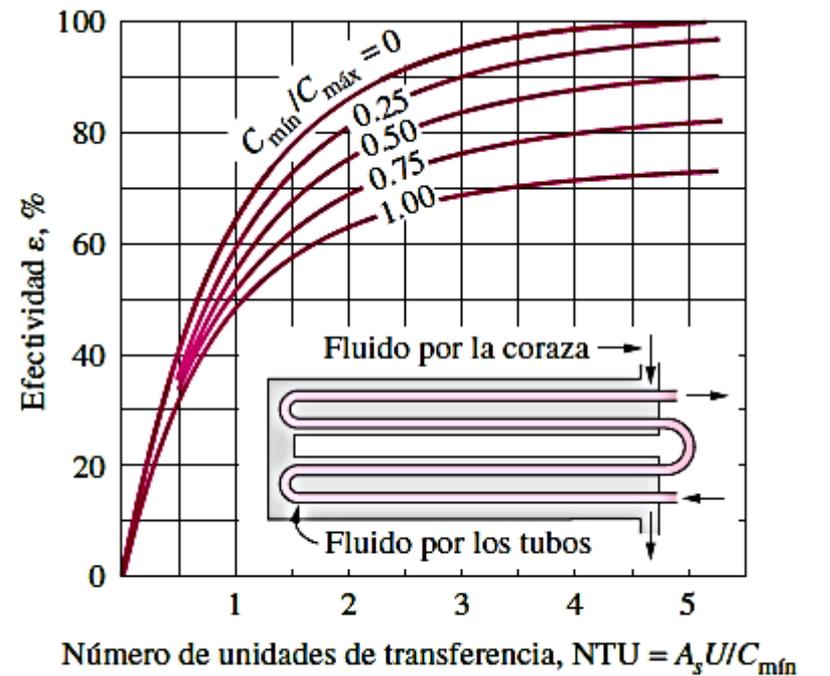
b) Contraflujo

# Métodos de análisis de intercambiadores

## CORAZA Y TUBOS



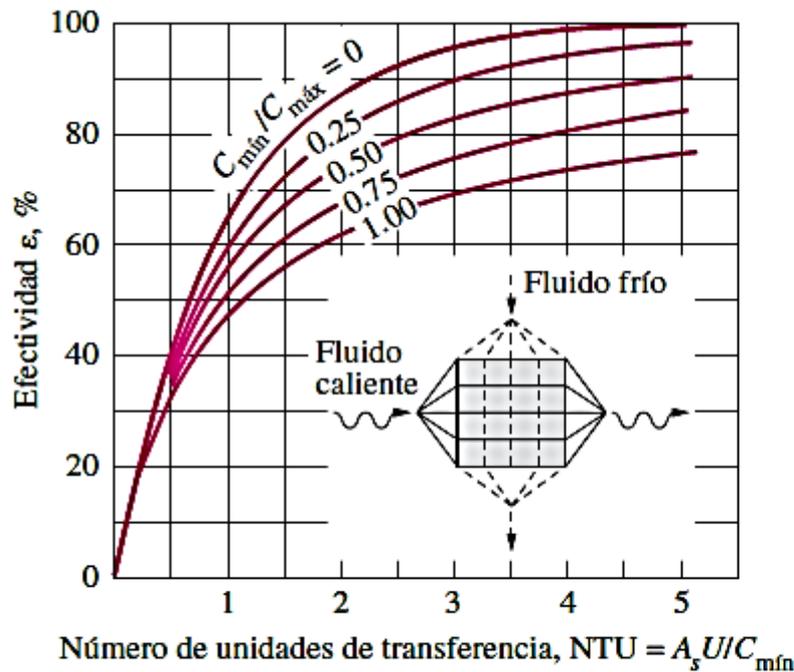
c) Un paso por la coraza y 2, 4, 6, ... pasos por los tubos



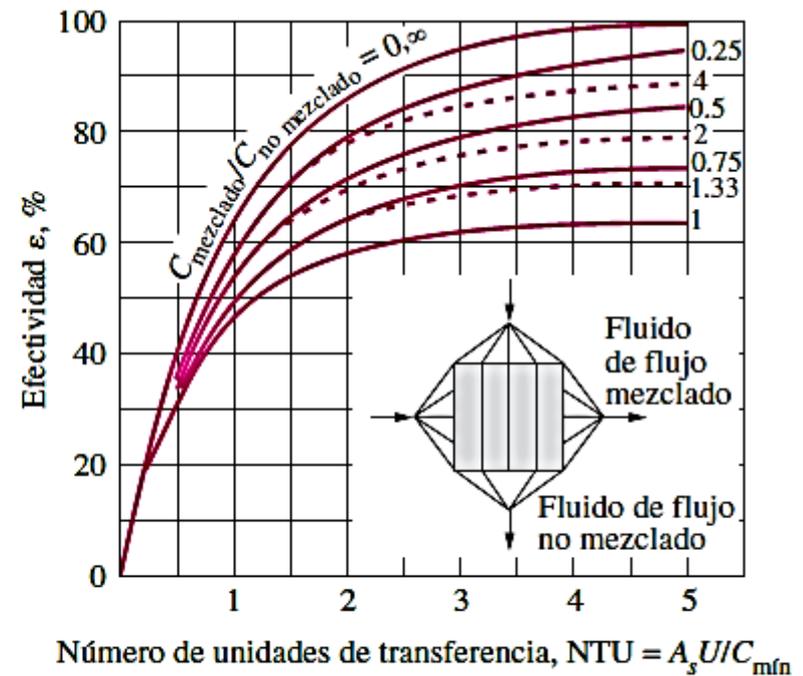
d) Dos pasos por la coraza y 4, 8, 12, ... pasos por los tubos

# Métodos de análisis de intercambiadores

## BANCO DE TUBOS



e) Flujo cruzado con los dos fluidos de flujo no mezclado



f) Flujo cruzado con uno de los fluidos de flujo mezclado y el otro no mezclado

# Métodos de análisis de intercambiadores

**TABLA 11-5**

Relaciones del NTU para los intercambiadores de calor,  $NTU = UA_s/C_{\min}$   
 y  $c = C_{\min}/C_{\max} = (\dot{m}c_p)_{\min}/(\dot{m}c_p)_{\max}$

Tipo de intercambiador de calor	Relación del NTU
1 <i>Doble tubo:</i> Flujo paralelo	$NTU = -\frac{\ln [1 - \varepsilon(1 + c)]}{1 + c}$
Contraflujo	$NTU = \frac{1}{c - 1} \ln \left( \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon c - 1} \right)$
2 <i>Tubos y coraza:</i> Un paso por la coraza y 2, 4, . . . pasos por los tubos	$NTU = -\frac{1}{\sqrt{1 + c^2}} \ln \left( \frac{2/\varepsilon - 1 - c - \sqrt{1 + c^2}}{2/\varepsilon - 1 - c + \sqrt{1 + c^2}} \right)$
3 <i>Flujo cruzado (un solo paso):</i> $C_{\max}$ mezclado, $C_{\min}$ no mezclado	$NTU = -\ln \left[ 1 + \frac{\ln (1 - \varepsilon c)}{c} \right]$
$C_{\min}$ mezclado, $C_{\max}$ no mezclado	$NTU = -\frac{\ln [c \ln (1 - \varepsilon) + 1]}{c}$
4 <i>Todos los intercambiadores con <math>c = 0</math></i>	$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$