

OPERACIONES UNITARIAS

2023

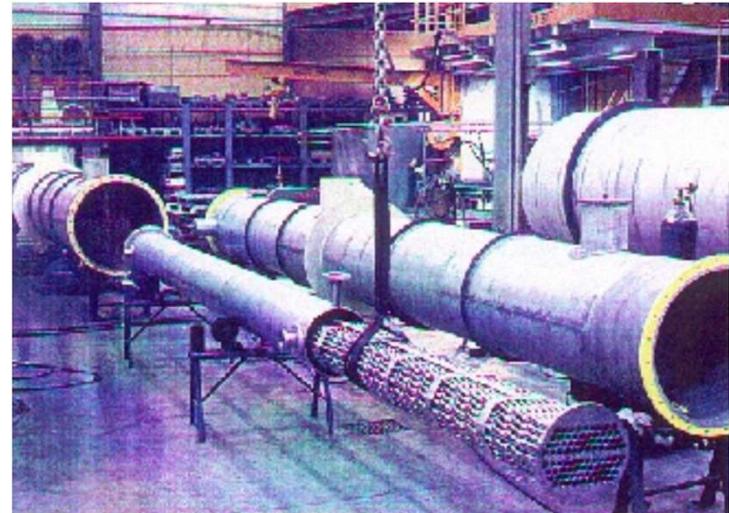


UT 1 - *CALOR: CONVECCION c-*



CONVECCION DEL CALOR

INTERCAMBIADORES DE CALOR



CONVECCION DEL CALOR

Normas constructivas



- Código ASME
- Normas TEMA

- Se definen tres clases:
 - ❖ Clase R: Condiciones de servicio rigurosas
 - ❖ Clase C: Condiciones de servicio moderadas
 - ❖ Clase B: Para la industria química de procesos

- Otro código: API 660 (industria petrolera)

INTERCAMBIADORES DE CALOR

***EQUIPO QUE INTERCAMBIA CALOR ENTRE
DOS CORRIENTES DE UN PROCESO SIN
CAMBIO DE FASE***

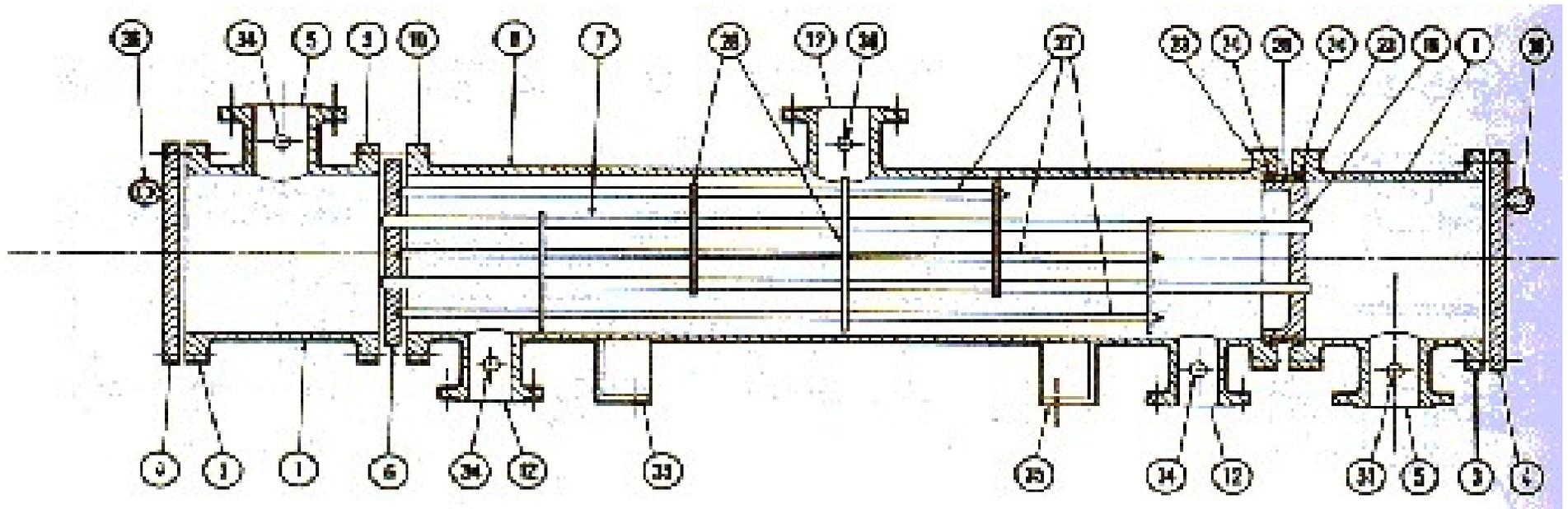
$$Q_s = M c_p \Delta T^{\circ}$$

$$Q = M_f c_{p_f} (T_{f2} - T_{f1})$$

$$Q = M_c c_{p_c} (T_{c2} - T_{c1})$$

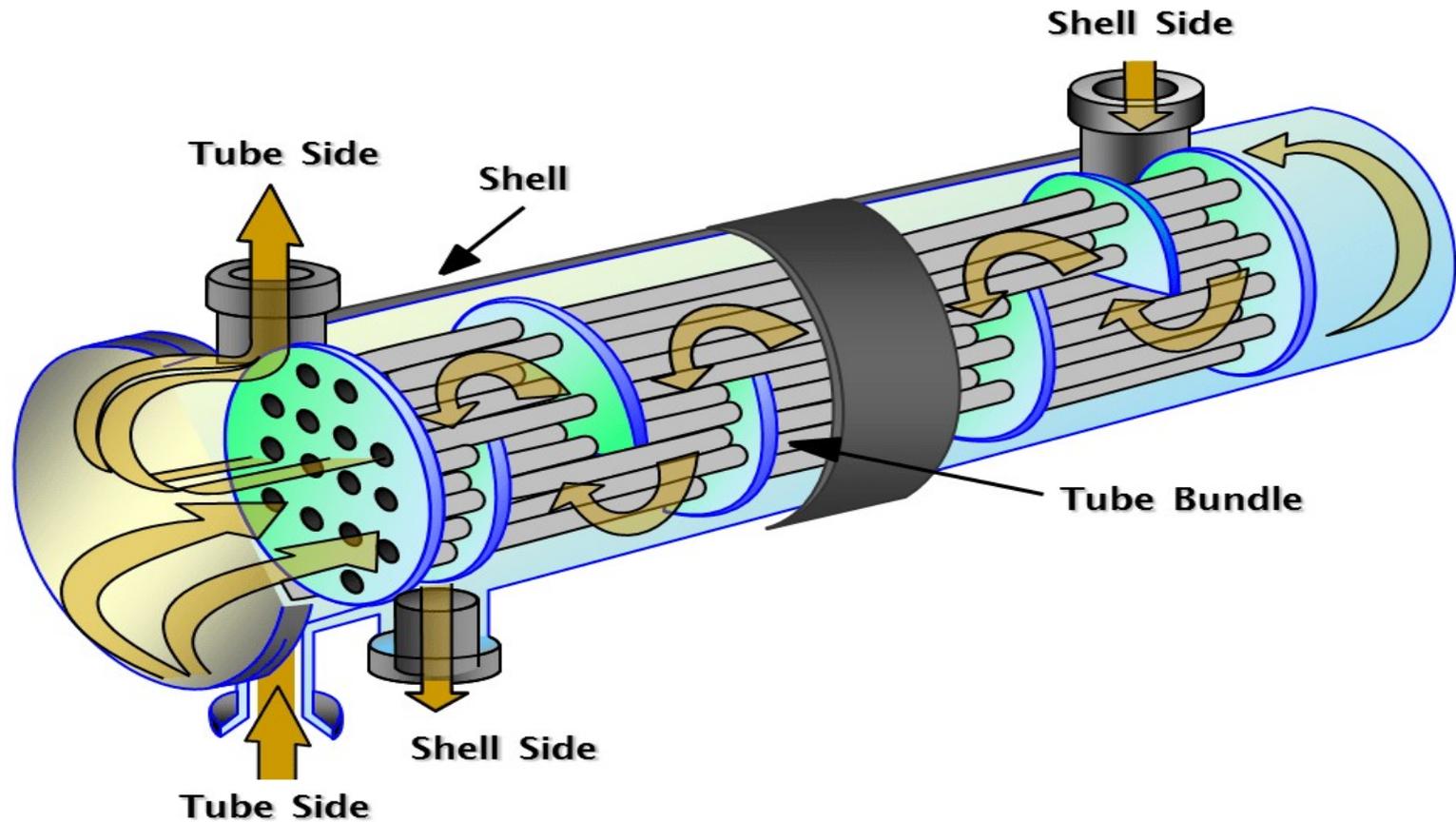
$$M_f c_{p_f} (T_{f2} - T_{f1}) = M_c c_{p_c} (T_{c2} - T_{c1})$$

TUBOS Y CORAZA



- **Coraza**
- **Placas portatubos**
- **Tubos internos**
- **Unión hermética entre tubos y placas**
- **Cabezales**
- **Superficie de intercambio (sup. de los tubos)**

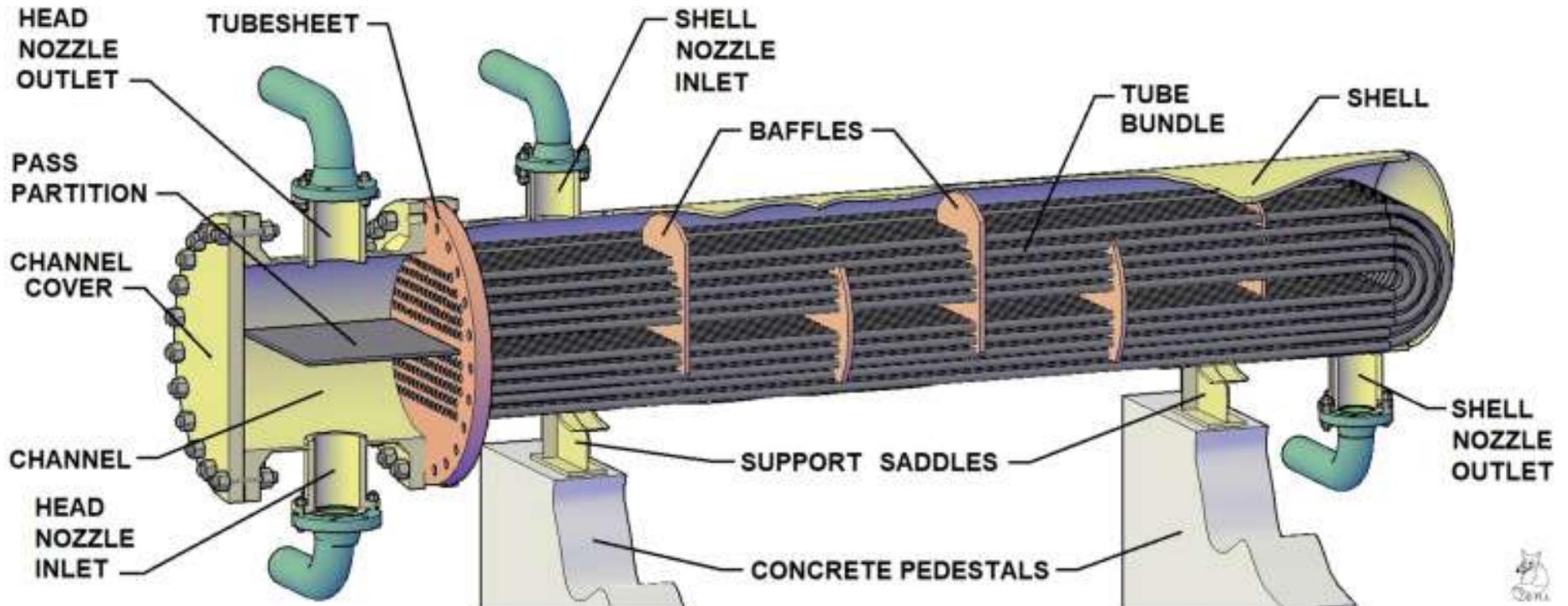
TUBOS Y CORAZA



- **Coraza**
- **Placas portatubos**
- **Tubos internos**

- **Unión hermética entre tubos y placas**
- **Cabezales**
- **Superficie de intercambio (sup. de los tubos)**

TUBOS Y CORAZA



- **Coraza (Shell)**
- **Placas portatubos (tubesheet)**
- **Tubos internos (Tube Bundle)**

- **Unión hermética entre tubos y placas**
- **Cabezales (Head)**
- **Superficie de intercambio (sup. de los tubos en U)**

ECUACIÓN CINÉTICA DE TRANSMISIÓN DE CALOR



$$Q=U \cdot A \cdot \Delta T$$

Esta fórmula es válida para geometría simple, en caso del intercambiador de tubo y coraza, un solo paso por los tubos y un solo paso por la coraza.

TIPOS DE CIRCULACIÓN



CONTRACORRIENTE

CO-CORRIENTE

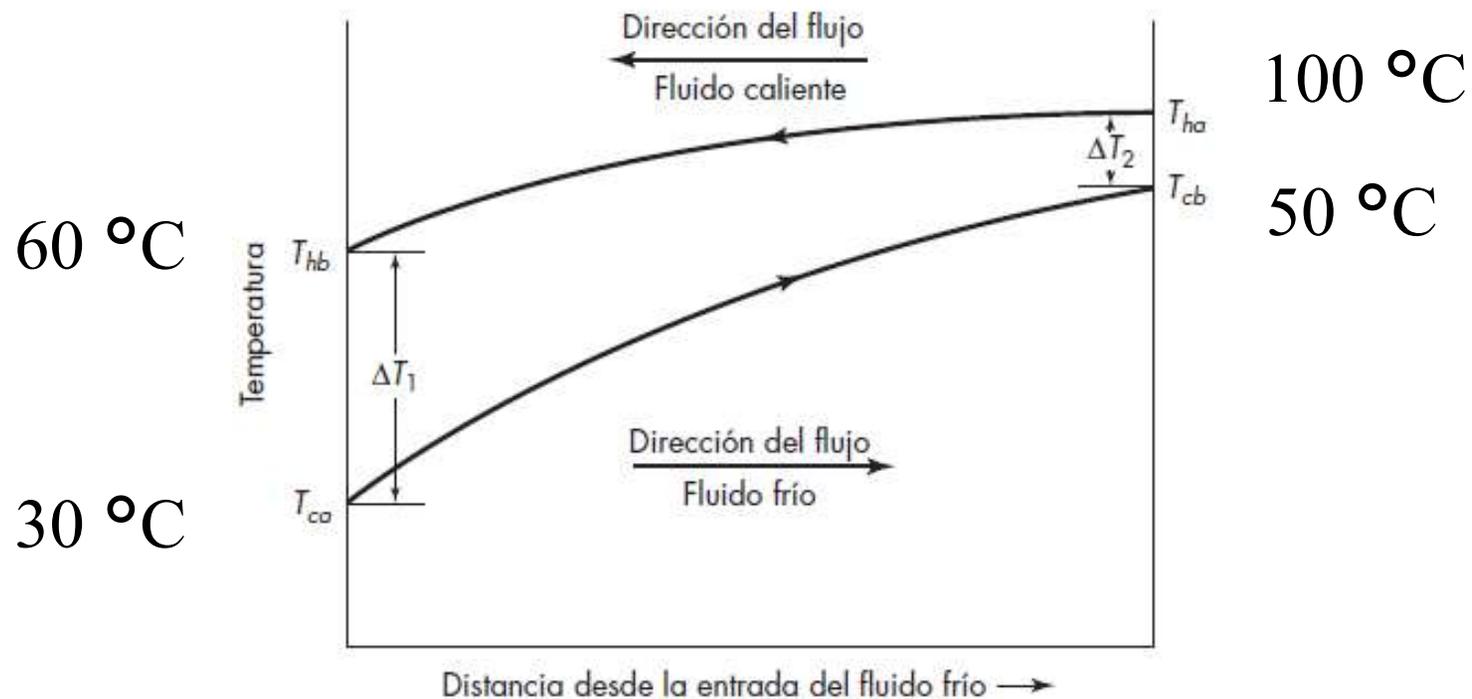
El intercambio es menor en co-corriente a igualdad de condiciones.

En contracorriente, se puede lograr que el fluido frío, salga a mayor temperatura que la salida del fluido caliente.

En la industria es más común que uno de los fluidos tenga más de un paso por el equipo.

TIPOS DE CIRCULACIÓN

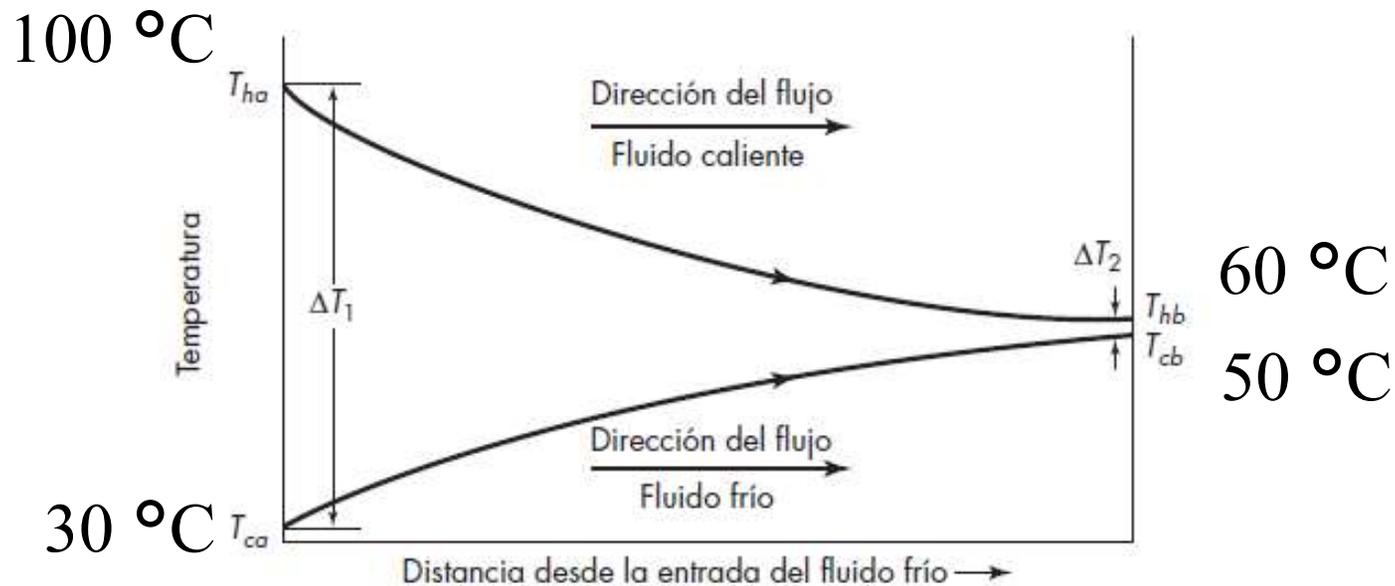
CONTRACORRIENTE



$$\Delta T = \frac{(100 - 50) - (60 - 30)}{\ln \frac{50}{30}} = 39,15^{\circ}$$

TIPOS DE CIRCULACIÓN

CO-CORRIENTE



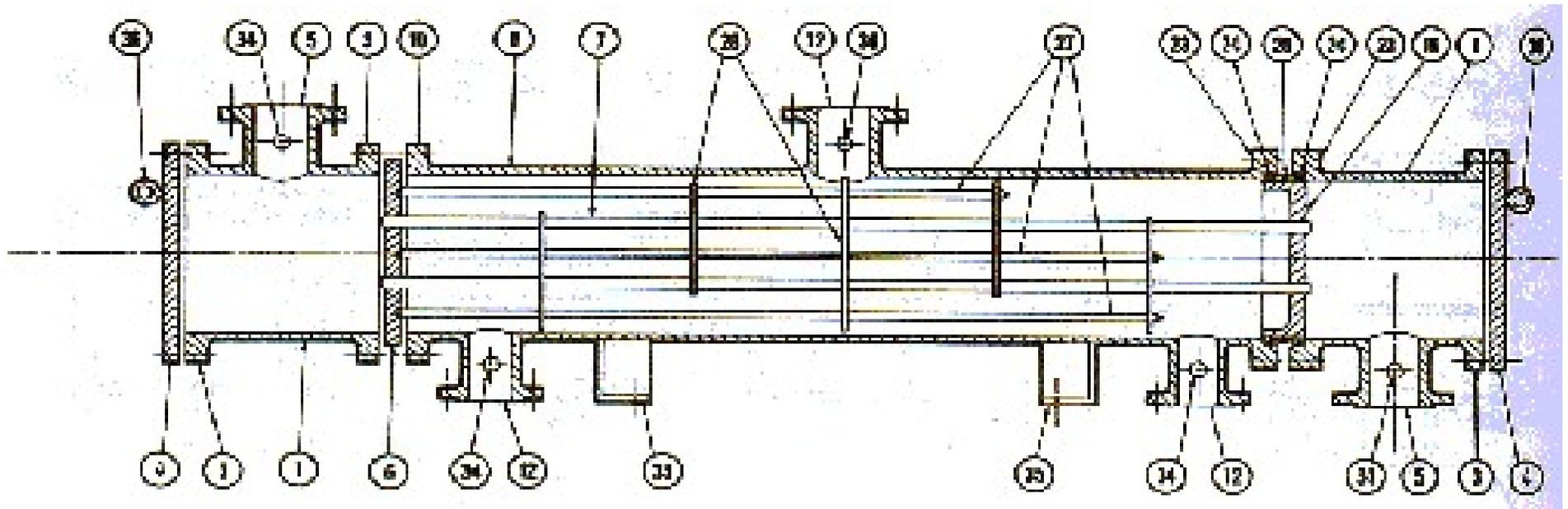
$$\Delta T = \frac{(70 - 10)}{\ln \frac{70}{10}} = 30,83^\circ$$

INTERCAMBIADORES DE CALOR



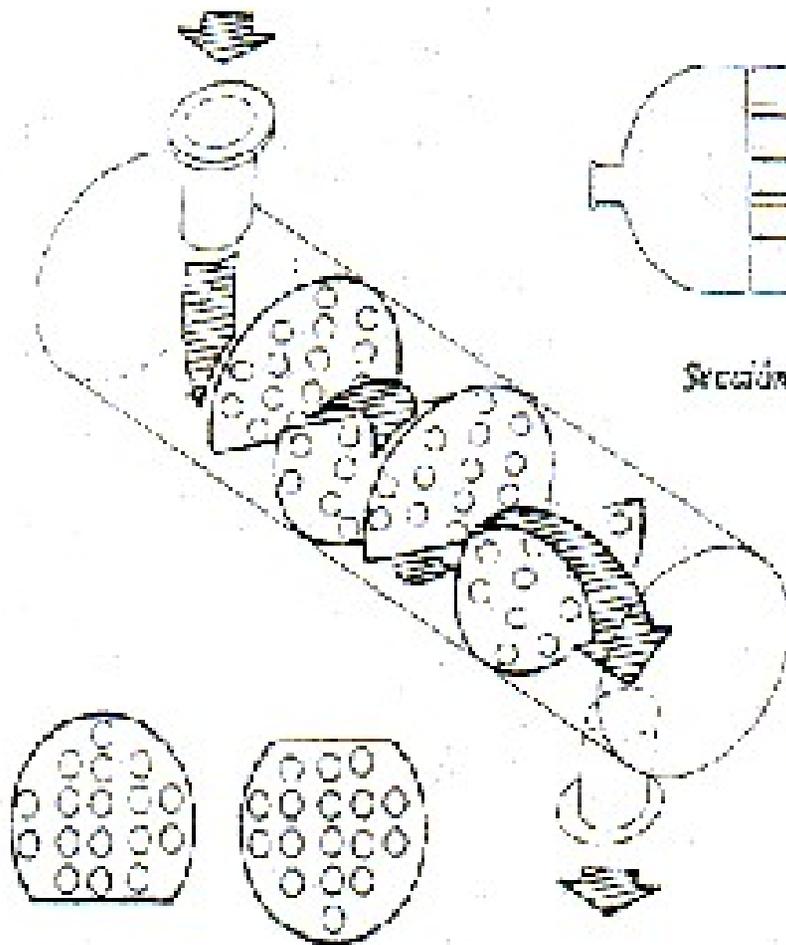
- INTERCAMBIADORES DE TUBO Y CORAZA***
- INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBOS
RETORCIDOS***
- INTERCAMBIADOR DE CALOR SPIRAL***
- INTERCAMBIADORES DE PLACA***
- INTERCAMBIADORES DE SUPERFICIE
RASCADA***

TUBOS Y CORAZA

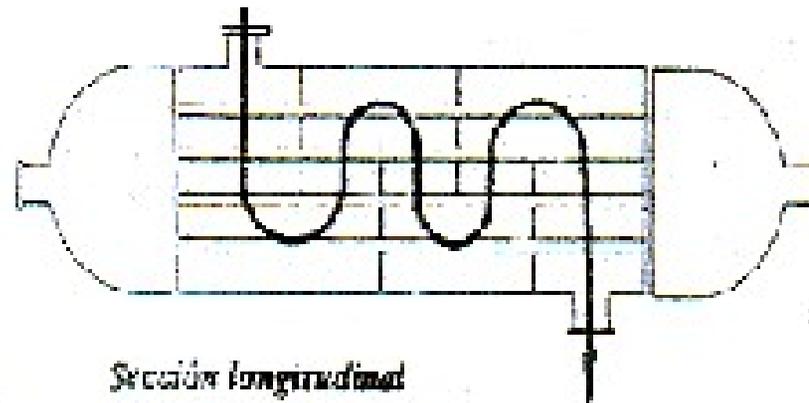


- **Coraza**
- **Placas portatubos**
- **Tubos internos**
- **Unión hermética entre tubos y placas**
- **Cabezales**
- **Superficie de intercambio (sup. de los tubos)**

DEFLECTORES O BAFFLES



Los baffles consecutivos



Sección longitudinal

Aumenta la velocidad de los fluidos debido a la turbulencia, por lo tanto los coeficientes de transferencia de calor crecen

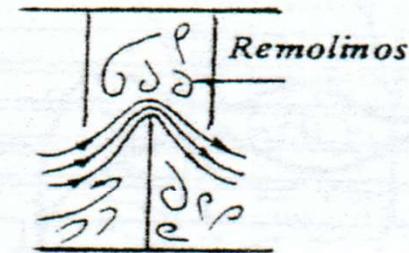
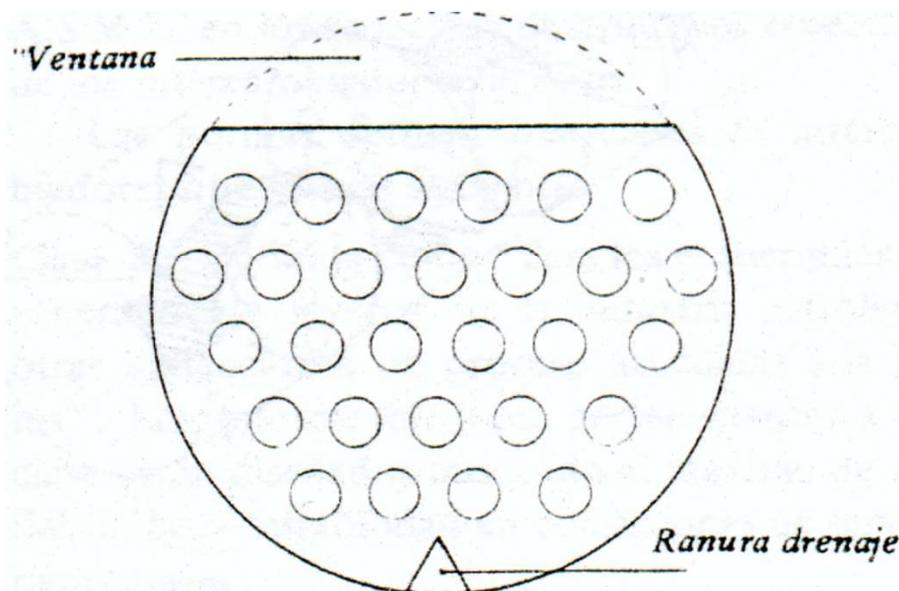
DEFLECTORES O BAFFLES

Tipos de flujo que pueden tener lugar para diferentes cortes de baffles:



a
pequeño corte del deflector o gran espaciado.

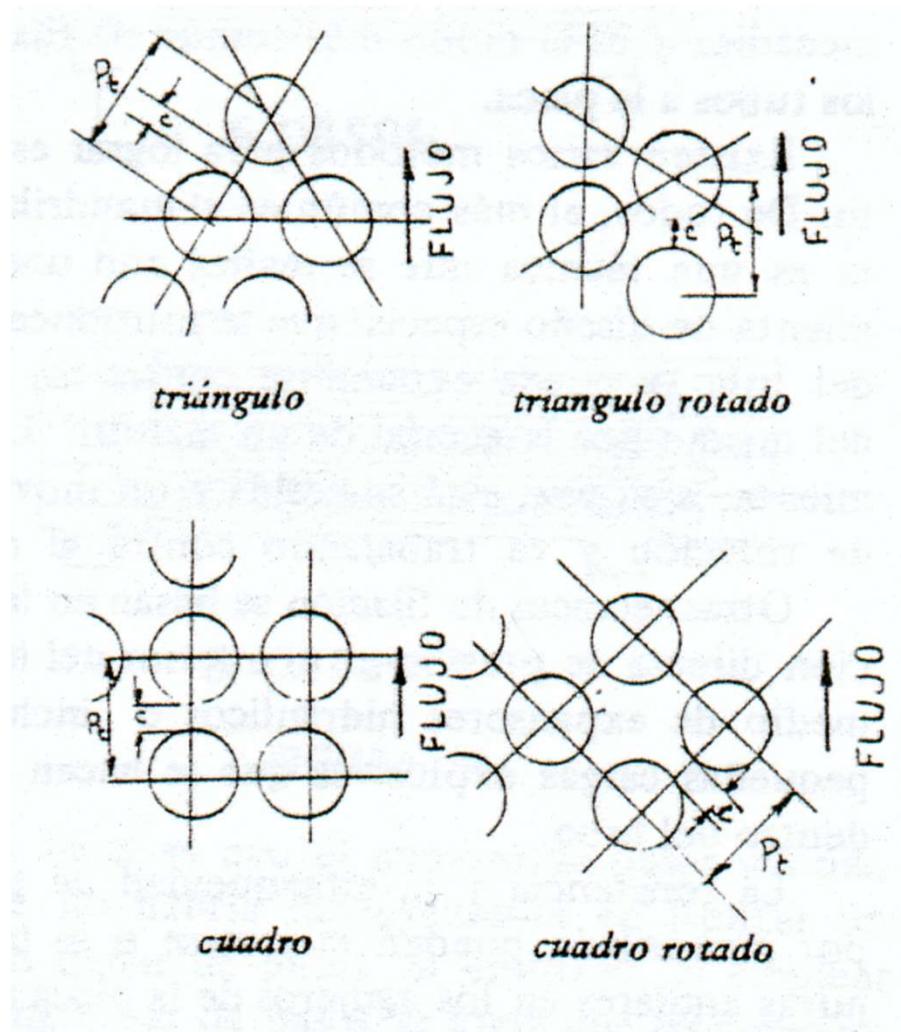
b
corte y espaciado normales.



c
gran corte o espaciado reducido.

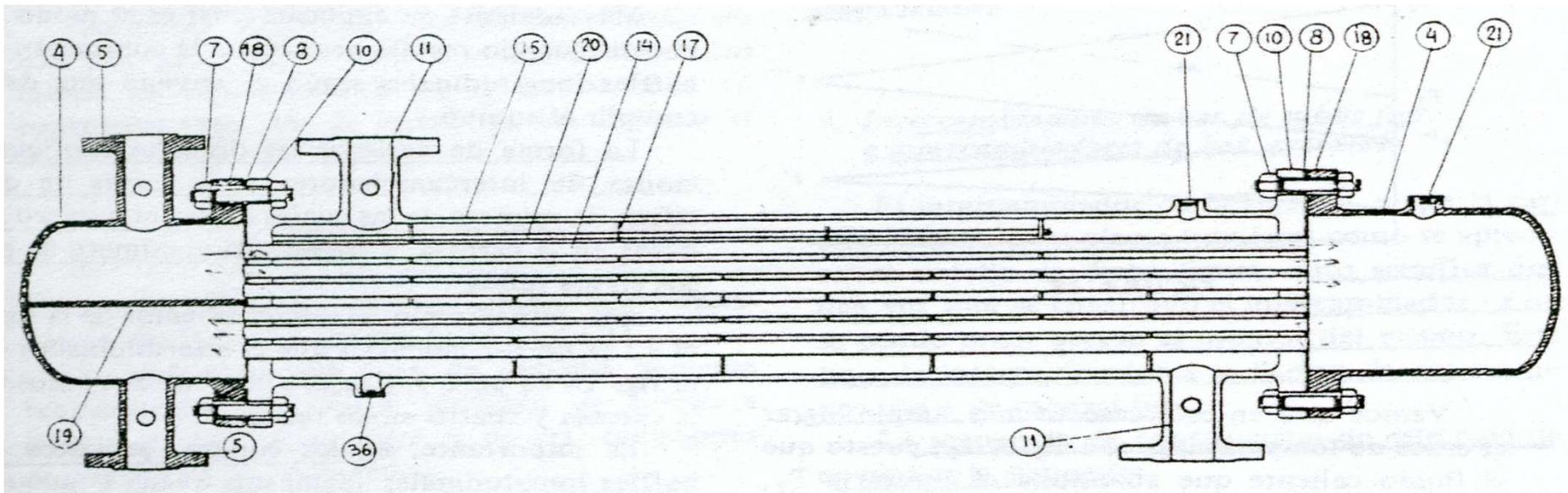
FIGURA 3

ARREGLOS



INTERCAMBIADORES MULTIPASO

***Pueden ser de dos pasos,
cuatro, seis y ocho***



***Se logran mayores velocidades y por lo
tanto mayores coeficientes peliculares de
transmisión de calor***

INTERCAMBIADORES DE CALOR



***CALCULO DE UN
INTERCAMBIADOR DE TUBOS Y
CORAZA DE MAS DE UN PASO
POR LOS TUBOS Y CORAZA***

INTERCAMBIADORES DE CALOR

CONDICIONES DE PROCESO REQUERIDAS:

***FLUIDO CALIENTE: T°_{c1} , T°_{c2} , M_c , c_p , ρ , μ , λ ,
 R_{dc} , ΔP***

FLUIDO FRIO: T°_{f1} , T°_{f2} , M_f , c_p , ρ , μ , λ , R_{df} , ΔP

INTERCAMBIADORES DE CALOR

ESPECIFICACIONES REQUERIDAS DEL INTERCAMBIADOR :

LADO DE LA CORAZA:

- Di***
- Espacio entre Deflectores***
- Pasos***

LADO DE LOS TUBOS:

- Nº y Longitud***
- De, Longitud, Arreglo***
- Pasos***

INTERCAMBIADORES DE CALOR

HERRAMIENTAS DE CALCULO:

BALANCE DE CALOR

$$***M_f \text{ } cp_f (T_{f2} - T_{f1}) = M_c \text{ } cp_c (T_{c2} - T_{c1})***$$

***DIFERENCIA VERDADERA DE
TEMPERATURA***

MLDT

DIFERENCIA VERDADERA DE TEMPERATURA

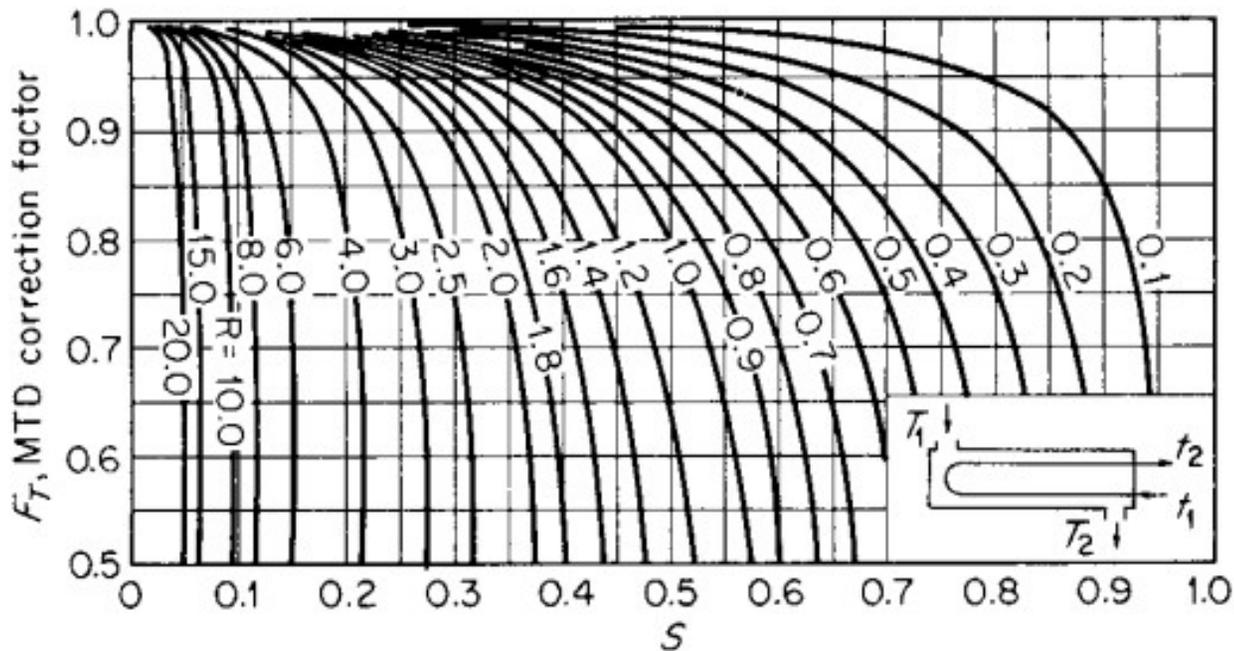


Factor de corrección Ft

- ***Se usa ya que las $MLDT_{contrac.}$ y $MLDT_{co-corr.}$ no son aplicables, porque no conocemos las temperaturas intermedias.***
- ***Ft nos da una medida del aprovechamiento del área de intercambio disponible.***
- ***$0 < Ft < 1$ $Ft = f(R, S, \text{arreglo})$***
 - R: cociente de las capacidades calóricas***
 - S: parámetro de la eficiencia térmica de un intercambiador***

DIFERENCIA VERDADERA DE TEMPERATURA

Factor de corrección Ft



$$\Delta T_{\text{verdadero}} = \Delta T \cdot F_T$$

$$Q = U \cdot A \cdot F_T \cdot \text{MLDT}$$

Para un intercambiador bien diseñado: $F_T > 0,75$

Ensuciamiento (fouling factor)

- ***La deposición de suciedad, se convertirá en un material aislante.***
- ***Se ve afectada la distribución de velocidades cercanas a la capa límite, reduciéndose la transferencia de calor.***
- ***En los manuales se encuentran tabuladas las resistencias de ensuciamiento. Dependen de: tipo de fluido, temperatura, y tiempo de operación***

Ensuciamiento (fouling factor)



Ensuciamiento (fouling factor)



Ensuciamiento (fouling factor)

TABLA 12. FACTORES DE OBSTRUCCION *

Temperatura del medio calefactor	Hasta 240°F		240-400°F †	
	125°F o menos		Más de 125°F	
Temperatura del agua	Velocidad del agua, pps		Velocidad del agua, pps	
	3 pies o menos	Más de 3 pies	3 pies o menos	Más de 3 pies
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Salmuera natural	0.002	0.001	0.003	0.002
Torre de enfriamiento y tanque con rocío artificial :				
Agua de compensación tratada	0.001	0.001	0.002	0.002
Sin tratar	0.003	0.003	0.005	0.004
Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos)	0.001	0.001	0.002	0.002
Grandes Lagos	0.001	0.001	0.002	0.002
Agua de río:				
Mínimo	0.002	0.001	0.003	0.022

Ensuciamiento (fouling factor)

Vapores superiores en condensadores enfriados por agua:		Del tanque flash (sin reflujo apreciable) . . .	0.003
De la torre de burbujeo (condensador final) . . .	0.001	Aceite delgado	0.002
Del tanque flash	0.04	Vapores superiores	0.001
Cortes intermedios :		Gasolina	0.0005
Aceite	0.001	Debutanizador, Depropanizador, Depentanizador y unidades de Alkilación:	
Para agua	0.002	Alimento	0.001
Fondos residuales, menos de 20" API	0.005	Vapores superiores	0.001
Fondos residuales, más de 20" API	0.002	Enfriadores de producto	0.001
Estabilizador de gasolina natural :		Calderetas de producto	0.002
Alimento	0.0005	Alimento del reactor	0.002
Vapores superiores	0.0005	Unidades de tratamiento de lubricantes :	
Enfriadores de producto e intercambiadores	0.0005	Alimento de aceite solvente	0.002
Calderetas de producto	0.001	Vapores superiores	0.001
		Aceite refinado	0.001
		Intercambiadores calenta-	

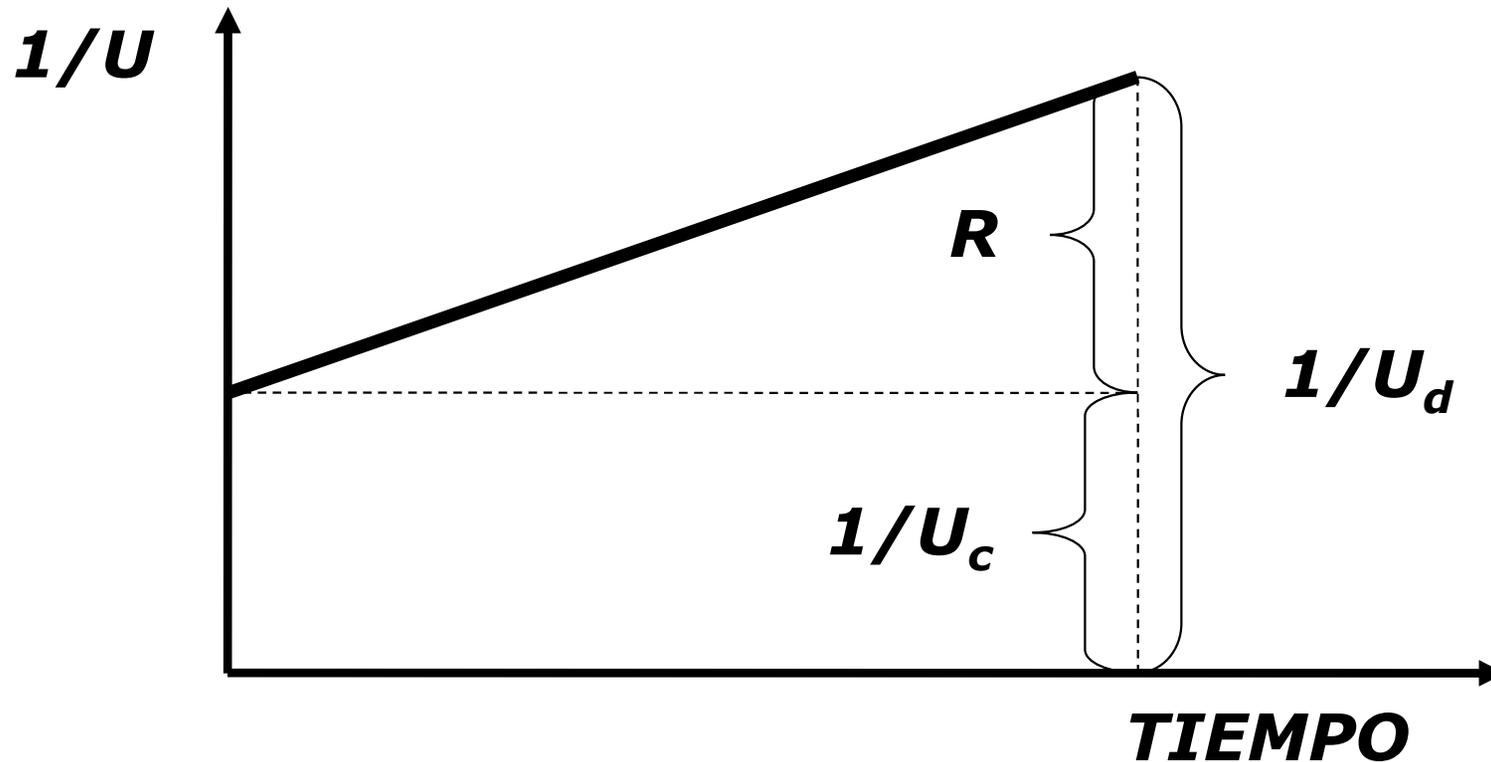
INTERCAMBIADORES DE CALOR

EXPRESION FINAL DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION DE CALOR

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i (D_i / D_o)} + Ri + \frac{2/3 D_o}{2 k_m} \log \frac{D_o}{D_i} + Re + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_d$$

APRECIACION DE UN INTERCAMBIADORES DE CALOR



***TIEMPO MAXIMO DE TRABAJO DEL
INTERCAMBIADOR***

INTERCAMBIADORES DE CALOR

PERDIDAS DE CARGA

EXPANSION

COMPRESION

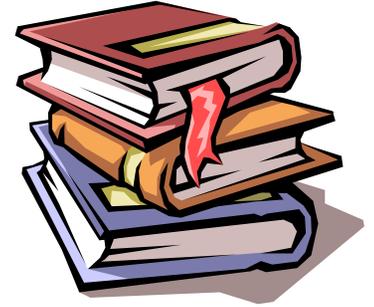
CAMBIO DIRECCION

ROZAMIENTO

$$\Delta P = a f Re^{-\mu}$$

$$\Delta P < 0,7 \text{ atm/m}^2$$

BIBLIOGRAFIA



- **Apuntes de la cátedra de Operaciones Unitarias.**
- **PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR – Donald Q. Kern.**
- **TRANSMISIÓN DEL CALOR - Cao.**



Los Profesores de la Cátedra OPERACIONES UNITARIAS

**i Agradecemos
su asistencia !**