

# INTERCAMBIADORES DE TUBO Y CARCAZA

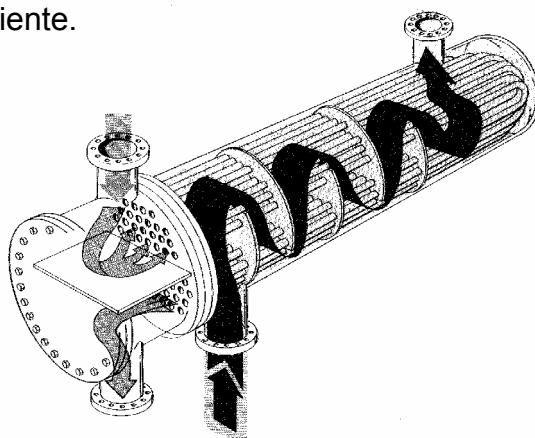
## Intercambiador de tubo y coraza

- Con el fin de incrementar el área para la convección relativa al volumen del fluido, es común diseñar intercambiadores con múltiples tubos dentro de un simple intercambiador. Con múltiples tubos es posible arreglar el flujo de manera que una región estará en paralelo y otra región en contracorriente.

Intercambiador 1 - 2

Pasos en coraza

Pasos en tubo



## Intercambiador de tubo y coraza multipaso

- La razón principal para usar diseños multipasos es el incremento en la velocidad promedio del fluido en el tubo. En un arreglo de dos pasos el fluido va hacia únicamente la mitad de los tubos , por lo que el numero de Reinolds ( $R_{et} = d_i G_p / \mu ; G/\text{pie}^2$ ) se duplica.
- Incrementando el numero de Reinold se incrementa: la turbulencia, se incrementa el numero de Nusselt y finalmente se incrementa el coeficiente de convección, aunque la región en flujo paralelo resulte en una baja efectividad de  $\Delta T$ , el incremento del coeficiente de transferencia de calor compensara esto, y el intercambiador será mas pequeño para un servicio.
- Las mejoras conseguidas con los intercambios multipaso son suficientemente grandes que ellos son mas comunes en la industria que los intercambiadores en paralelo o contracorriente.

## Clasificación

Los intercambiadores de calor de carcasa y tubos se clasifican en tres tipos de acuerdo a los estándares generales que contienen información sobre diseño, fabricación y materiales de construcción del equipo.

- 1- Clase **R** para petróleo y aplicaciones relacionadas
- 2- Clase **C** para aplicaciones de propósitos generales
- 3- Clase **B** servicios químicos

Independientemente del tipo, los intercambiadores de acuerdo a su construcción mecánica, pueden ser

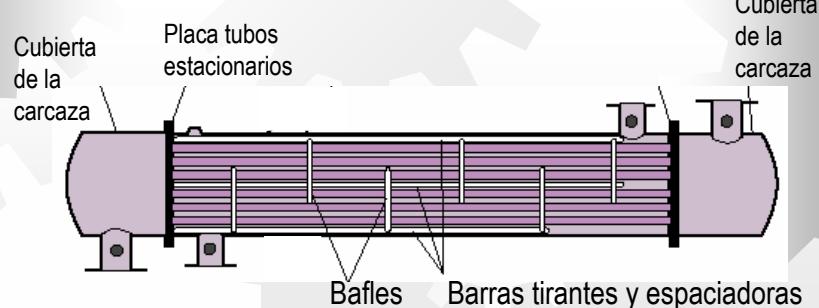
- 1) De cabezal fijo
- 2) Tubos en forma de U
- 3) De cabezal flotante

## Componentes

- Coraza (Shell)
- Cubierta de la coraza (Shell cover)
- Tubos (Tubes)
- Cabezal (Channel)
- Cubierta de cabezal (Channel cover)
- Espejo de tubos (tubesheet)
- Bafles-deflectores (baffles)
- Boquillas de entrada de fluidos. (Nozzles)

## Cabezal fijo

Se caracterizan por tener dos placas de tubos soldadas a la carcasa, el interior de los tubos se puede limpiar mecánicamente después de remover la tapa del canal. El banco de tubos no se puede extraer y su limpieza exterior se debe realizar químicamente. Se utiliza para fluidos limpios, por el lado de la carcasa.

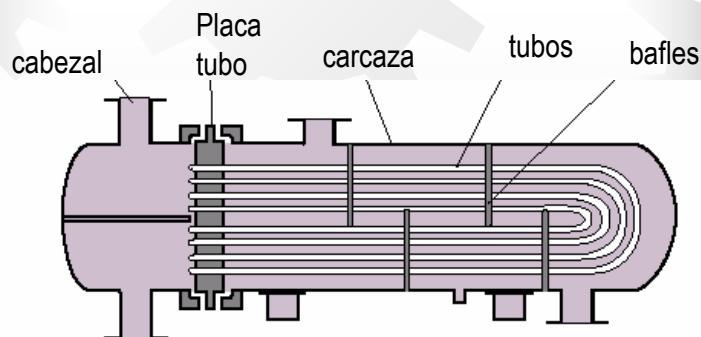


## Cabezal fijo: características

- No presentan uniones internas por lo cual se elimina partes potenciales de fugas, los tubos internos se pueden colocar muy cerca de la cara interna de la carcasa y por lo tanto el numero de tubos para un determinado diámetro es mayor que para cualquier otro tipo de intercambiador.
- Se puede usar para altas presiones y fluidos tóxicos.
- La combinación de temperaturas y coeficientes de expansión de la carcasa y los tubos durante el servicio causan una expansión diferencial que si no puede ser absorbida por el equipo es recomendable usar otro intercambiador.

## Tubos en forma de U

Se caracteriza por tener solo una placa de tubos en forma de U, que tienen la particularidad de moverse libremente con relación a la carcasa lo que elimina el problema de la expansión diferencial. Los bancos de tubos se pueden remover para limpieza mecánica, pero el interior de estos se limpia en general químicamente.





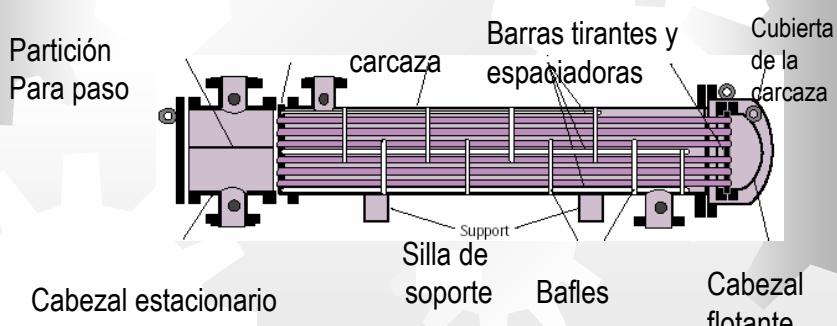
## Tubos en forma de U

- Se utilizan cuando el fluido que circula por los tubos es limpio, los fluidos sucios circulan por la carcaza.
- Estos intercambiadores no tienen uniones internas y los tubos periféricos se pueden colocar muy cerca de la cara interna de la carcaza, pero como existe una limitación mecánica en el radio de los tubos interiores, el numero de tubos que se puede colocar en una carcaza de diámetro dado es menor a la de placa de tubos fijos.



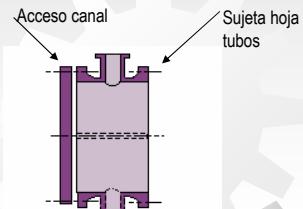
## Cabezal flotante

Se caracteriza por tener una hoja de tubos fijas, mientras que la otra flota libremente permitiendo el movimiento diferencial entre la carcasa y los tubos, se puede extraer todo el haz de tubos para la limpieza

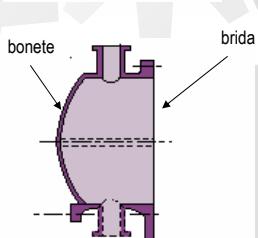


## Cabezales fijos, tipos y aplicaciones

Tipo A: Es un barril cilíndrico o canal con bridas en ambos extremos, uno de los cuales permite el acceso al canal y el otro se sujeta con pernos a la hoja de tubos fija.



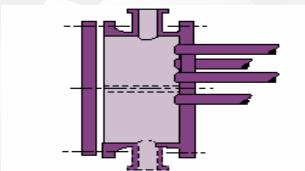
Tipo B: Consiste en un barril cilíndrico con un bonete soldado en un extremo y una brida en otro, sujetada con pernos a al espejo de tubos.



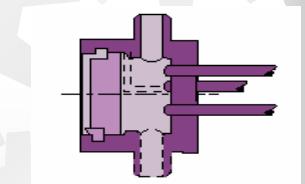
Ambos se usan con placa de tubo fija, tubos en forma de U y bancos de tubo removible

## Cabezales fijo, tipos y aplicaciones

Tipo C: Una brida se sujeta con pernos y permite el acceso al canal y el otro extremo esta soldado a la hoja de tubos. Presenta problemas de mantenimiento.



Tipo D: Es utilizado especialmente para altas presiones. El canal y la placa de tubo tienen construcción forjada integral



## Tipo y características de las carcazas

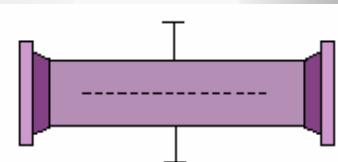
Tipo E (1 paso): Es la construcción mas usada en intercambiadores de carcaza y tubo

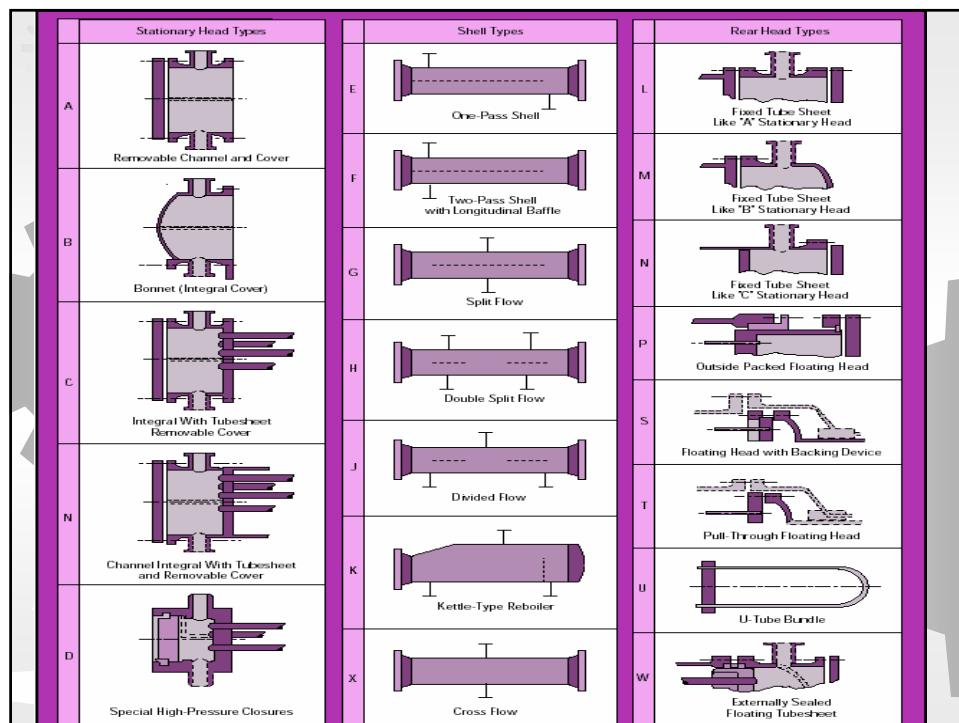


Tipo F (2 pasos): Esta construcción requiere del uso de deflectores longitudinales. Las boquillas de entrada y salida se sitúan en el lado de placa de tubos fijos.



Tipo J (flujo dividido) : Se usa para reducir la caída de presión.





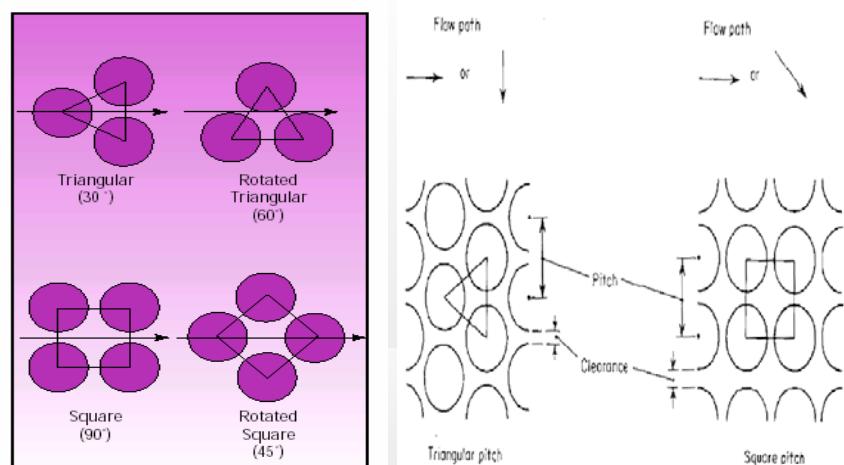
## Tubos

- Son conocidos como tubos para condensadores. Se encuentran disponibles en varios metales, los que incluyen acero, cobre, 70-30 cobre níquel, aluminio-bronce etc.
- Se pueden obtener en diferentes gruesos de pared, definidos por el calibrador Birmingham para alambre, que en la práctica se denomina BGW del tubo.
- Los tubos ¾ y 1 plg son los mas comunes en el diseño de intercambiadores de calor.

## Arreglo de tubos

Tipo de Arreglo	Aplicaciones
Triangular 60°	Poco usado por las altas caídas de presión que origina.
Triangular 30°	Arreglo preferido para factores de ensuciamiento menores de 0.002 pie <sup>2</sup> °F/BTU. Se utiliza en cualquier régimen de flujo. Son más económicos que los arreglos cuadrados. Preferido para servicios limpios.
Cuadrado 90°	a) Se utiliza cuando el factor de ensuciamiento en la carcasa es >0.002 pie <sup>2</sup> °F/BTU. b) Cuando la limpieza mecánica es crítica c) Con flujo turbulento en casos limitados por caída de presión
Cuadrado 45°	Idem a, b y cuando el flujo es laminar Re<2000

## ARREGLO DE LOS TUBOS



## Espaciado en tubo: Tube Pitch

Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno de otro, porque debilitaría estructuralmente el cabezal. La distancia mas corta entre dos orificios adyacentes es el **claro o ligadura**.

El **espaciado de los tubos Pt**, es la distancia menor de centro a centro en tubos adyacentes

D <sub>ext.</sub> tubos	Arreglo triangular Pt (pulg)	Arreglo cuadrado Pt (pulg)
3/4	15/16	
3/4	1	1 1/4
1 1/2	17/8	17/8
>1 1/2	Min. de 1.25 * D <sub>ext</sub> tubo	1.25 * D <sub>ext</sub> tubo

## Espaciado en tubo: Tube Pitch

Los diseñadores prefieren utilizar el espaciado entre tubos (Pitch) mínimo recomendado, puesto que permite obtener el menor diámetro de la coraza para un número dado de tubos.

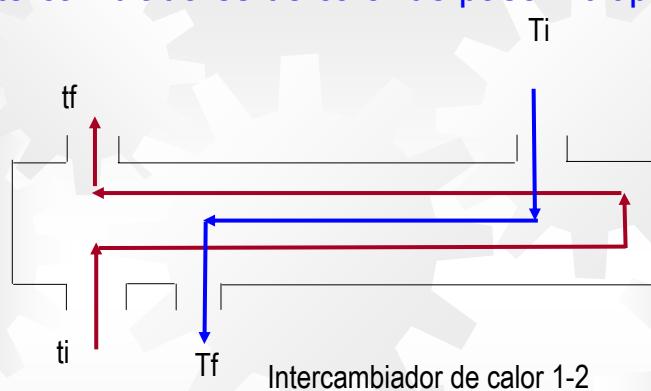
Por tanto el PITCH se debe incrementar sólo en circunstacias excepcionales, tales como reducir la caída de presión por la coraza.

## Arreglo de tubos: Número de Tubos

El numero de tubos que pueden ser colocados dentro de una carcasa depende del arreglo de los tubos, del diámetro externo de los tubos, del espaciado de tubos, y del número de pasos y diámetro de la carcasa. Existen tablas donde se especifican el numero máximo de tubos de acuerdo a las especificaciones dadas.

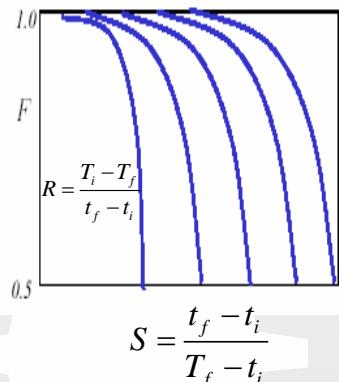
Carcaza DI	1-P	2-P	4-P	6-P	8-P
Tubos 3/4					
8	37	30	24	24	
10	61	52	40	36	
12	92	82	76	74	

## Intercambiadores de calor de paso multiple



$F_t = 1$  Flujo equivalente a contracorriente  
 $F_t < 1$  debido a que la configuración en paralelo no es tan efectiva como la contracorriente

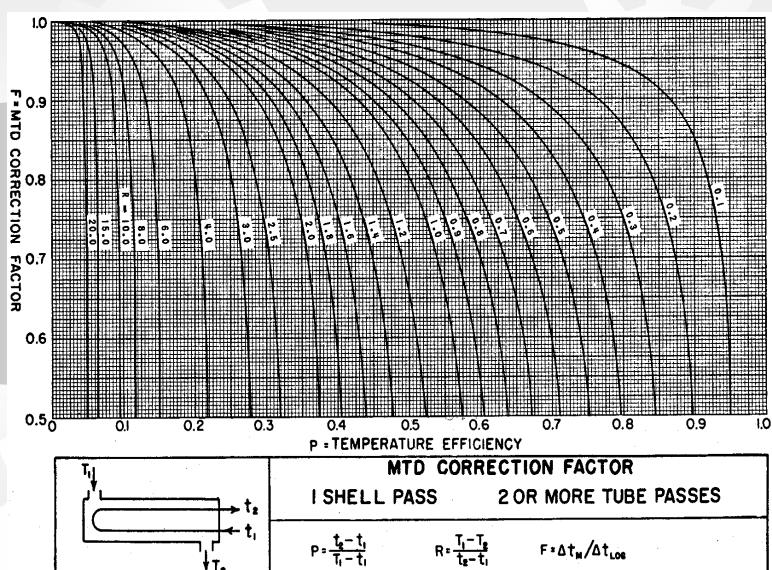
$$MTD = F_T * LMTD$$



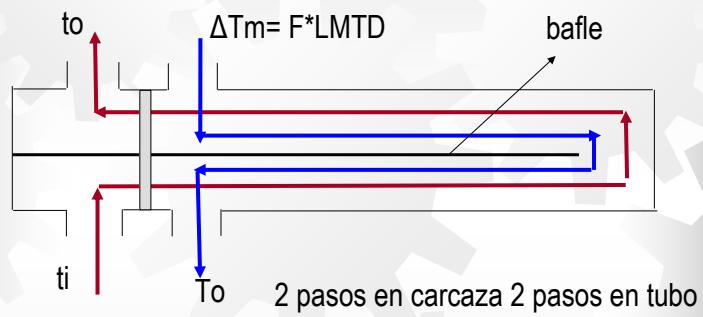
$F_T$  correlacionado con dos parametros:

$$R = \frac{\text{Rango de fluido en coraza}}{\text{Rango de fluido en tubos}}$$

$$S = P = \frac{\text{Rango de fluido en tubos}}{\text{diferencia de temperatura maxima}}$$

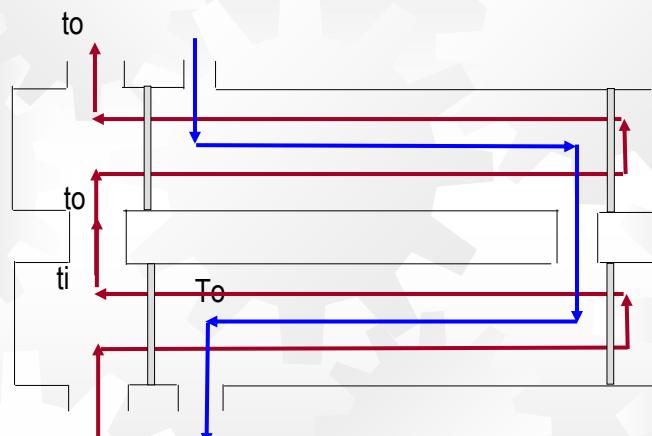


### Intercambiadores coraza tubo 2-2



Baffles longitudinales: permiten obtener flujos siempre en contracorrientes

### Intercambiador 1-2 en serie: O intercambiador 2-4



## Deflectores

Los deflectores tienen las funciones:

- Soportar haz de tubos.
- Restringir la vibración de los tubos debido a los choques con el fluido.
- Canalizar el flujo por la carcaza originando turbulencia para lograr mayores efectos de transferencia de calor.

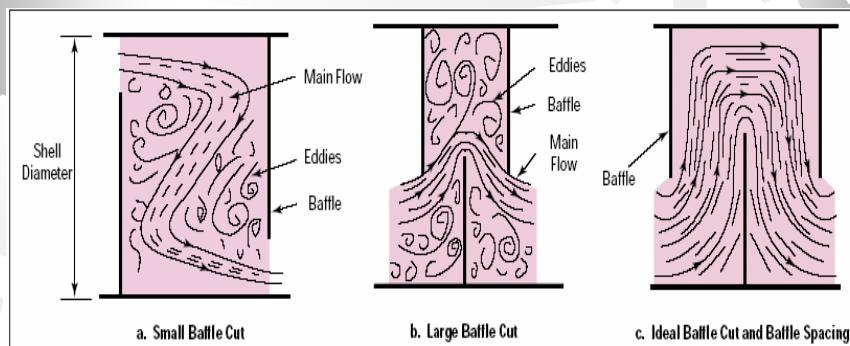
El espaciado centro a centro entre deflectores se llama **espaciado de deflectores**. El espaciado mínimo es el 20 % ó 1/5 del diámetro interno de la carcaza o 2 plg, el que resulte mayor, el máximo no debe exceder el diámetro interno de la carcaza. ESTE PARÁMETRO ES VITAL EN EL DISEÑO.

## Deflectores

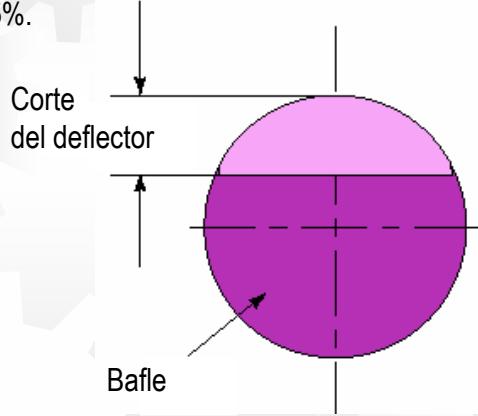
Un espaciado bajo entre bafles resulta en una penetración muy pobre del fluido en la coraza, y dificulta la limpieza mecánica de los tubos.

Un espaciado muy alto entre bafles tiende a producir flujo longitudinal, que es menos eficiente que el flujo cruzado.

El espaciado óptimo entre bafles está entre 30 a 60%.

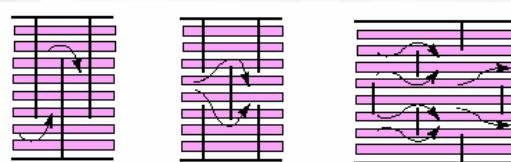


**Corte del deflector:** permite el paso del fluido a través del deflector y se expresa como el cociente entre la altura del corte y el diámetro interno de la carcasa. Varía entre 15 y 45% del diámetro interno de la coraza. Se recomienda usar entre 20 y 35%.



### Deflectores segmentados

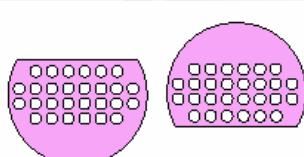
Son los mas comunes, consisten en hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente un 75% del diámetro interno de la carcaza



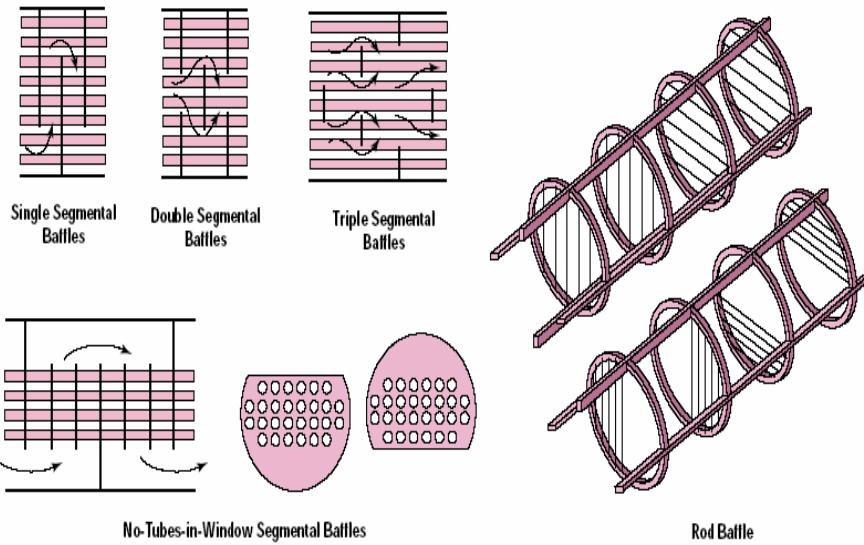
Segmentado

Segmentado  
doble

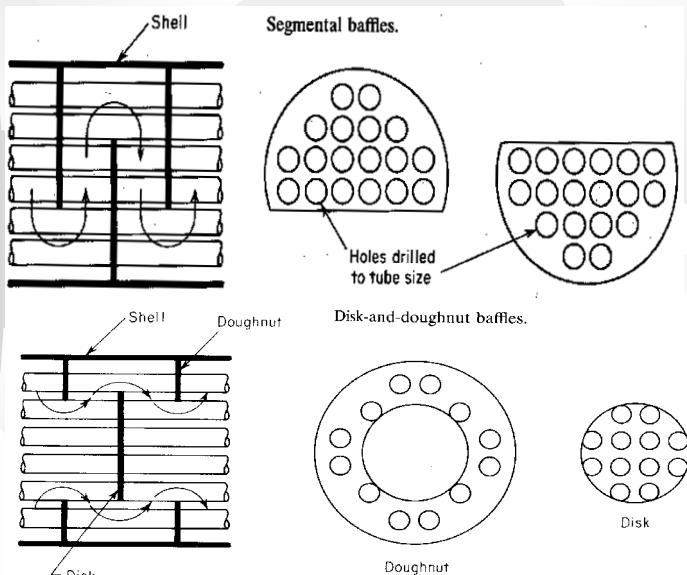
Segmentado  
triple



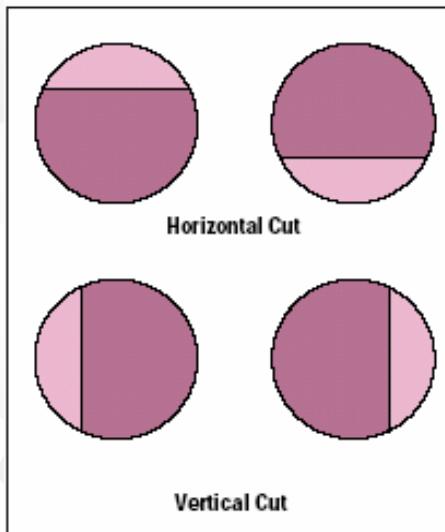
## Deflectores segmentados



## Deflectores segmentados



## Deflectores segmentados: Orientación



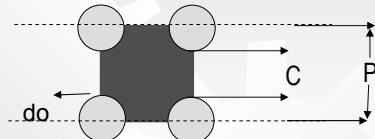
## Localización de los fluidos a través de los tubos o carcaza

- Corrosión: colocar el fluido mas corrosivo en los tubos
- Ensuciamiento: colocar el fluido con mayor tendencia a la formación de depósitos en los tubos. En los tubos es mejor el control de la velocidad, mayor velocidad menor ensuciamiento
- Temperatura: recomendable fluido caliente en los tubos
- Presión: colocar la corriente de mayor presión en los tubos requiere menor componentes de alta presión
- Caída de presión: fluido con menor caída de presión permisible debería colocarse en los tubos

## Localización de los fluidos a través de los tubos o carcaza

- Viscosidad: Mayores flujos de transferencia de calor son obtenidos colocando un fluido viscoso en la carcaza
- Características toxicas y letales: generalmente el fluido toxico debe colocarse en los tubos, para minimizar fugas.
- Velocidad de flujo: al colocar el fluido con menor flujo en la caracaza, generalmente origina un diseño mas económico. La razón de ello se debe a que en la caracaza el fluido experimenta mayor turbulencia a menor velocidad que en el tubo.

## Carcaza Diametro equivalente



$$De = \frac{4 * \text{Radio hidraulico}}{\text{perímetro húmedo}}$$

Cuadrado

$$De = \frac{4(P_T^2 - \pi d_o^2 / 4)}{\pi d_o}$$

Triangular

$$De = \frac{4 \left( \frac{P_T^2 \sqrt{3}}{4} - \frac{\pi d_o^2}{8} \right)}{\pi d_o / 2}$$

Area transversal

$$A = \frac{D_i C * B}{P_T}$$

B=espaciado deflectores

## Caída de Presión

- ★ La caída de presión en un intercambiador es producto de:
  - Fricción debido al flujo
  - Cambios en la dirección del flujo
  - Expansión y contracción en las entradas y salidas de las boquillas y tubos.
- ★ Velocidades másicas altas permiten coeficientes de transferencia mayor y un área menor, pero se requiere una caída de presión mayor

## Caídas de Presión típicas

Intercambiadores de carcaza y tubo, doble tubo	
Gases y vapores alta P	35-70 kPa
Gases y vapores baja P	15-35 kPa
Gases y vapores P atmosf.	3.5-14KPa
Vapores vacío	< 3.5 kPa
Líquidos	70-170 KPa
1psi= 6.8943 KPa	

## Caída de Presión en coraza

- Es proporcional al numero de veces que el fluido cruza el haz entre deflectores y la distancia a través del haz. Si L es la longitud en pies (B espaciado en plg) , el numero de cruces

$$Nb+1 = 12*L/B \quad N \text{ numero de deflectores}$$

$$dP_s = \frac{f_s * G_s^2 * Di * (Nb+1)}{2 * \rho_s * De * (\mu_s / \mu_s)^{0.14}}$$

## Caída de Presión en tubos

La caída de presión en tubos es calculada con el numero de pasos y la longitud L del intercambiador. La caída de presión en el lado de tubos es dada por la ecuación:

$$\Delta P_t = \left( 4 * f_t \frac{L * N_p}{d_i} \right) * \frac{\rho_t}{2} * (V_t)^2$$

El cambio de dirección por los pasos introduce una caída de presión adicional, debido a las expansiones y contracciones que el fluido experimenta durante el retorno, que equivale a cuatro cabezales de velocidad por paso

$$\Delta P_r = (4N_p) * \frac{\rho_t}{2} * (V_t)^2$$

## Coeficiente de transferencia en coraza

Cuando se emplea deflectores o baffles el coeficiente de transferencia de calor es mas alto que cuando no se emplean. En este ultimo caso el coeficiente de transferencia de calor es calculado con el diámetro equivalente  $D_e$ , calculado para intercambiadores de doble-tubo.

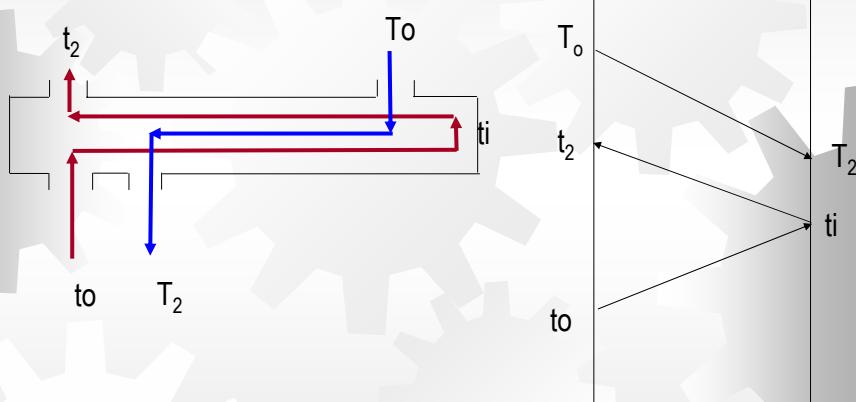
Para intercambiadores con deflectores, el alto coeficiente de calor resulta del incremento de la turbulencia. Las correlaciones obtenidas para flujos en tubos no son aplicables para flujo con deflectores.

Kern sugiere la siguiente correlación:

$$\frac{h_o D_e}{k} = 0.36 \left( \frac{D_e G_s}{\mu} \right)^{0.55} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Para  $2 \times 10^3 < Re < 10^6$

## Intercambiador 1-2 carcaza tubo



## Intercambiador 1-2 carcaza tubo

Variable	Tubo Interior	Anulo	undidad
Calor Q	$Q=m_a \cdot C_p a (T_1 - T_2)$	$Q=m_t \cdot C_p t (t_1 - t_2)$	BTU/h
LMTD		$LMTD = \frac{\Delta T_h - \Delta T_c}{\ln(\Delta T_h / \Delta T_c)}$	
MTD	P, R grafica MTD=F*LMTD		
Tc, tc, Kc	$T_{c(hot)} = T_{salida} + F_c (T_{entrada} - T_{salida})$ $t_{c(cold)} = t_{entrada} + F_c (t_{salida} - t_{entrada})$		F
Area flujo	$a_t = (\pi d_i^2 / 4) * N_t / N_P$	$a_a = D_i^2 C * B / P_t$	pies
Velocidad masica	$G_t = w / a_t$	$G_a = w / a_a$	$Lb / (h^2) pie$
Viscosidad $\mu$ a tc y Tc	Figura 14(cpoise) $\mu_t = \mu * 2.42$	Figura 14 $\mu = \mu * 2.42$	Lb/pieh
Reynolds (Re)	$R_{et} = d_i G_p / \mu$	$R_{ea} = D_e G_a / \mu$	
Calor Especifico Cp	Tabla o figura 2 Cp	Tabla o figura 2 usar Tc	Btu/lb F

Variable	Tubo Interior	Anulo	undidad
Conductividad termica k	Tablas usar tc	Tablas Usar Tc	Btu/h(pie <sup>2</sup> )(F/pie)
T <sub>w</sub>	$T_w = 1/2((T_1 + T_2)/2 + (t_1 + t_2)/2)$		F
Viscosidad a T.pared $\mu_w$	$\mu_{wt}$	$\mu_{wa}$	Lb/pieh
J <sub>ha</sub> , J <sub>ht</sub>	Figura 24	Figura 28	
Pr (Cp $\mu$ /k)	Pr <sub>t</sub>	Pr <sub>a</sub>	
h <sub>o</sub> coraza	$\frac{h_o D_e}{k_a} = 0.36 * \left( \frac{D_e G_a}{\mu_a} \right)^{0.55} \left( Pr_a \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_a}{\mu_w} \right)^{0.14}$		Btu/hpie <sup>2</sup> F
Nut	Usar correlacion respectiva		
h <sub>i</sub> tubo	$h_i = \frac{N_{ut} * k_t}{d_i}$		Btu/hpie <sup>2</sup> F

Variable	Tubo Interior	Anulo	undidad
Uf	$U_f = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_i} + \frac{d_o}{d_i} R_{fi} + d_o \frac{\ln(d_o/d_i)}{k} + R_{fo} + \frac{1}{h_o}}$		Btu/hpie <sup>2</sup> F
Area	$A=Q/(U_f * MTD)$		
Factor fricción f	$f = (1.58 \ln Re_t - 3.28)^{-2}$	$f = \exp(0.576 - 0.19 \ln Re_a)$	
Caída presión coraza	$dPs = \frac{f_s * G_s^2 * Di * (Nb+1)}{2 * \rho_s * De * (\mu_s / \mu_w)^{0.14}} \text{ (Pa)}$ $dPs = \frac{f_s * G_s^2 * Di * (Nb+1)}{2 * \rho_s * De * (\mu_s / \mu_w)^{0.14} (4.18 * 10^8 * 144)} \text{ (psi)}$		
Caída presión tubo	$dPt = \left( 4 * \frac{ft}{di} \frac{L * Np}{di} + 4Np \right) * \frac{\rho_t}{2} * (Vt(m/s \text{ o pie/hr}))^2 \text{ Pa}$ $dPt = \left( 4 * \frac{ft}{di} \frac{L * Np}{di} + 4Np \right) * \frac{\rho_t}{2 * 4.18 * 10^8 * 144} * (Vt)^2 \text{ Psi}$		

### INTERCAMBIADORES QUE USAN AGUA

- Es corrosiva del acero particularmente a altas temperaturas ( se usa tubos de cobre, latón rojo, aluminio, aluminio al bronce ).  
Usualmente las corazas son de acero por lo que el agua se maneja por los tubos.
- Cuando el agua se mueve a baja velocidad a través de los tubos el lodo que resulta de la acción microbiana se adhieren a los tubos. Deben evitarse velocidades menores a 3 pie/s.

## INTERCAMBIADORES PARA SOLUCIONES

### Conductividad termica

Soluciones de líquidos orgánicos: Usese conductividad por peso

$$\text{Solución 30\% C}_4\text{H}_{10} \ k = .3 * K_{\text{butano}} + 0.7 * K_{\text{agua}}$$

Soluciones de sales y agua circuladas a través de coraza: uses 0.9 veces la conductividad del agua hasta concentraciones 30%.

$$k = 0.9 * k_{\text{agua}}$$

Soluciones de sales y agua circuladas a través de tubos y que no exceda el 30%: usese figura 24 con conductividad de 0.8 veces la del agua

Dispersiones coloidales: usese 0.9 veces la conductividad del liquido dispersor

Emulsiones: uses 0.9 veces la conductividad del liquido que rodea las gotitas.

## INTERCAMBIADORES PARA SOLUCIONES

### Calor específico

Soluciones orgánicas: Usese calor específico por peso

Soluciones orgánicas en agua: usese el calor específico por peso.

Soluciones de sales y agua: usese el calor específico por peso donde el calor específico en la sal esta referido al estado cristalino.

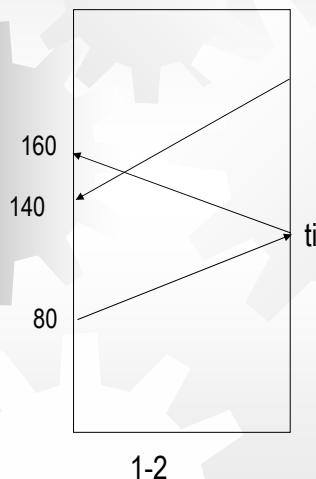
### Viscosidad

Substancias orgánicas en líquidos orgánicos: usese el reciproco de la suma de los términos (fracción peso/viscosidad) para cada componente

Líquidos orgánicos en agua: usese el reciproco de la suma de los términos (fracción peso/viscosidad) para cada componente.

Sales en agua donde la concentración no excede el 30%: usese el doble de la viscosidad del agua

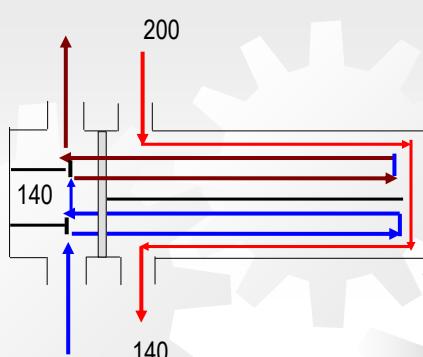
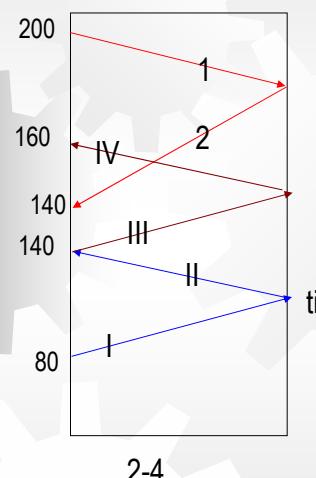
## Disposición de flujos para aumentar la recuperación de calor



El fluido caliente que abandona la coraza a 140 F es forzado a pasar sobre tubos que llevan fluidos fríos calentados a 160 F. Por lo tanto el fluido de la coraza puede enfriarse en algún punto a menor temperatura que su salida. Cuando dos fluidos están cerca de su salidas, el fluido de la coraza que se enfria en realidad se calienta, esto es llamado recalentar

1-2

## Intercambiador 2-4



El fluido de la coraza a 140 F nunca esta en contacto con el fluido a la salida de los tubos que esta a 160 F . Los pasos I y II están únicamente contacto con 2, y los III y IV únicamente con 1

## Intercambiador 2-4

- Un intercambiador 2-4 puede usarse cuando las temperaturas del proceso dan un factor de corrección  $F_t$  de menos de 0.75 para un intercambiador 1-2.
- El cálculo de un intercambiador 2-4 difiere únicamente en tres aspectos del cálculo de un intercambiador 1-2
  - $F_t$  = se leerá de la figura 19
  - El área de flujo para los deflectores será la mitad de los valores computados ( área de coraza dividido entre dos)
  - El número de cruces para computar la caída de presión será el doble

## Intercambiadores en serie

Cuando dos intercambiadores se conectan en serie tanto la coraza como los tubos, forman un arreglo de temperatura tal que es idéntico con un intercambiador 2-4.

Cualquier arreglo que sea un número par múltiple de dos pasos en la coraza, tal como 2-4, 4-8 etc. Puede ser logrado mediante un número dado de intercambiadores 1-2 o por la mitad de estos intercambiadores 2-4

## **Procedimiento general de diseño**

- Calculo de la cantidad de calor intercambiado  $Q$  a partir de las consideraciones del proceso
- Calculo de la diferencia de temperatura media efectiva
- Asunción del coeficiente global de transferencia de calor  $U_o$ .
- Calculo del área basada en el coeficiente global de transferencia de calor  $U_o$ , supuesto.

## **Procedimiento general de diseño**

- Determine las dimensiones físicas del intercambiador de acuerdo al área calculada.
- Calculo de la caída de presión a través del intercambiador y modificación del diseño interno ( si se requiere) para obtener un balance razonable entre el tamaño del intercambiador y la caída de presión
- Calculo del coeficiente global de transferencia de calor  $U_o$  a partir de las propiedades físicas de los fluidos, factores de ensuciamiento y arreglo del intercambiador

## Procedimiento general de diseño

- Calculo del área de transferencia basada en  $U_0$  calculado y la diferencia de temperatura media efectiva
- Comparación del área de transferencia calculada en el punto anterior con la calculada inicialmente. Repetición de los cálculos hasta que las áreas sean iguales.

## Método de solución

- Se debe asumir un valor para el coeficiente total de transferencia de calor  $U_0$  el cual incluye el factor de obstrucción, como guía usar tabla 10
- Se debe asumir el arreglo del intercambiador. Utilice graficas (LMTD),para calcular el factor de corrección (FT). El factor debe satisfacer el criterio  $FT \geq 0.8$
- Se debe calcular la temperatura media efectiva (MTD)

$$MTD = FT * LMTD$$

## Método de solución.. cont

- Se debe calcular el área requerida para la transferencia de calor ( $A_{tc}$ )

$$A_{tc} = Q/(U_0 * MTD)$$

- Se debe calcular el numero de tubos

$$N_t = \frac{A_{tc}}{\pi S t_e}$$

$S t_e$ = Superficie pie lineal tabla

$L$  = longitud de tubos

- Determinar diámetro caraza por tablas

## Método de solución.. cont

- Se deben calcular las áreas de flujo (lado caraza) ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{D_i * C * B}{144 * P_t} \text{ (pie}^2\text{)}$$

$D_i$  = Diámetro interno de la caraza (plg)

$C$  = espaciado entre tubos (pg)

$P_t$  = distancia centro a centro (plg)

$B$  = espaciado deflectores (plg)

- El espaciado en deflectores debe estar ubicado en el siguiente rango:

Espaciado mínimo = 20%  $D_i$

Espaciado máximo =  $D_i$

## Método de solución.. cont

- Lado tubo At

$$A_t = \frac{Nt * (\pi d_i^2 / 4)}{NP * 144}$$

Nt = numero de tubos

NP = numero de pasos

- Utilice la siguiente tabla para determinar el numero de pasos:

DI caracaza Plg	No. pasos máximo recomendado
10	4
10<20	6
20<30	8
30<40	10
40<50	12
50<60	14

## Método de solución.. cont

- Se deben calcular velocidad másica

Lado carcaza (Gs)

$$G_s = \frac{m_s}{A_s}$$

Lado de tubos

$$G_t = \frac{m_t}{A_t}$$

- Calcular diámetro equivalente

- Calcular el numero de Reynold

Lado Carcaza

$$Re_s = \frac{G_s D e}{\mu_s}$$

Lado tubos

$$Re_t = \frac{G_t d_i}{\mu_t}$$

- Calcular los números de Prandt

- Calcular coeficientes de película

Lado coraza

$$\frac{h_o D_e}{k_a} = 0.36 * \left( \frac{D_e G_a}{\mu_a} \right)^{.55} \left( Pr_a \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_a}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Lado tubo

Calcular No Nusselt por correlacion

Calcular  $h_i$

$$h_i = \frac{N_{ut} * k_t}{d_i}$$

- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor

$$U_o = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i} \frac{1}{h_i} + \frac{d_o}{d_i} R_{fi} + d_o \frac{\ln(d_o/d_i)}{k} + R_{fo} + \frac{1}{h_o}}$$

- Se debe comparar el valor calculado U, con el supuesto. En caso que el valor calculado y el supuesto sean parecidos proseguir con el calculo de las caídas de presión, de lo contrario con el valor Uo, volver al paso 2.
- Se deben calcular las caídas de presión para los tubos y carcaza. Las caídas de presión calculadas deben ser menor que las permitidas, de lo contrario se deben efectuar modificaciones en el arreglo del intercambiador

### Velocidades máximas de diseño para fluidos dentro tubos

Fluido	Material	Velocidad (pie/s)
Agua	Acero carbono	10 ( 3m/s)
	Acero inoxidable	15
	Aluminio	6
	Cobre	6
	90-10 cobre-níquel	10
	70-30 cobre-níquel	15
	Titanio	>50
Velocidad minima	3 pie/s o 1 m/s	
Otros líquidos	$\text{Vel. Max.} = \left[ \frac{\text{Vel. Max.}}{\text{Per. para agua}} \right] \left[ \frac{\text{Densidad Agua}}{\text{Densidad líquido}} \right]^{0.5}$	
Gases y vapores secos	$\text{Velocidad (pie/s)} = \frac{1800}{\sqrt{(\text{Presion Psia})(\text{Peso Molecular})}}$	

## Combinación numero de pasos y espaciado en deflectores

- El numero de pasos en tubo puede variarse de 2 a 8 y en corazas muy grandes hasta 16.
- La velocidad en coraza puede alterarse hasta cinco veces entre el mínimo y máximo del espaciado en deflectores
- Para intercambiadores 1-2 el mínimo rendimiento se obtiene con dos pasos en los tubos y el máximo espaciado en los deflectores.

### Para el lado de tubos

$$hi \propto G^{0.8} \rightarrow G = w_t / a_t \quad a_t = \frac{Nt * (\pi d i^2 / 4)}{NP * 144}$$

$$hi \propto NP^{0.8}$$

$$\frac{hi_{(8 \text{ pasos})}}{hi_{(2 \text{ pasos})}} = \left(\frac{8}{2}\right)^{0.8} = \frac{3}{1}$$

- Coeficiente de película hi mayor-> mayor transferencia calor

• Pero

$$\Delta P_t \propto G^2 \rightarrow G = w_t / a_t \rightarrow a_t = \frac{Nt * (\pi d i^2 / 4)}{NP * 144}$$

$$\Delta P_t = \left( 4 * \frac{ft L * Np}{di} + 4Np \right) * \frac{G^2}{\rho_t}$$

$$\frac{\Delta P_{t(8 \text{ pasos})}}{\Delta P_{t(2 \text{ pasos})}} = \frac{8^2 * 8}{2^2 * 2} = \frac{64}{1}$$

Aunque el coeficiente de transferencia puede aumentar tres veces, para lograr esto la caída de presión debe aumentar 64 veces

### Para el lado de coraza

$$h_o \propto G^{0.5} \rightarrow G = w_t / a_t \quad As = \frac{Di * C * B}{144 * Pt}$$

$$h_o \propto 1/B$$

$$\frac{h_{o(\text{espaciado minimo})}}{h_{o(\text{espaciado maximo})}} = \left( \frac{5 * Di}{1 * Di} \right)^5 = \frac{2.23}{1}$$

Pero

$$\Delta P_s \propto G^2 (N+1) \rightarrow dP_s = \frac{f_s * G^2 * Di * (N+1)}{2 * \rho_s * De * (\mu_s / \mu_w)^{0.14}}$$

$$\frac{\Delta P_{s(\text{min})}}{\Delta P_{s(\text{max})}} = \frac{5^2 * 5}{1^2 * 1} = \frac{125}{1}$$

Aunque el coeficiente de película pueda aumentarse 2.23 veces la caída de presión aumentara 125

### Efecto de variar el espaciado de los deflectores

	A	B	C
Espaciado mm	300	350	400
Caída de Presión coraza kg/cm <sup>2</sup>	1.34	1.03	0.79
Coeficiente de transferencia calor coraza	2578	2498	2372
Coeficiente de transferencia calor tubo kcal/hm <sup>2</sup> C	1402	1402	1402

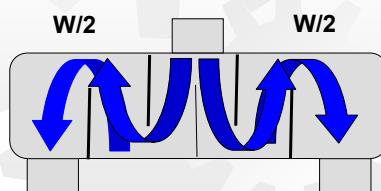
## TIPS

- Los tubos mas usados son  $\frac{3}{4}$  y 1 plg
- Evitar velocidades muy bajas, aumentar numero de paso aumenta la velocidad.
- Siempre es mejor usar un Ud alto que bajo
- Mínimo espaciado de deflectores origina valor mayor coeficiente de película
- Un intercambiador 2-4 se usa cuando  $F_t$  es menor de 0.75 en un intercambiador 1-2. Si el valor de  $F_t$  es mayor de 0.9 para el 2-4 es el adecuado si es menor deberán usarse mas pasos en coraza

## FLUJO DIVIDIDO

A veces no es posible cumplir con los requerimientos de caída de presión en los intercambiadores 1-2 o 2-4. Esto puede suceder:

- Cuando la diferencia de temperatura o  $U_d$  es muy grande, siendo indicado entonces un intercambiador pequeño para la cantidad de calor que debe transferirse.
- Uno de los flujos tiene un rango de temperatura demasiado pequeño comparado con el otro
- Se dispone de una caída de presión pequeña



### **Calculos:**

**1- El numero de deflectores deberá ser impar**

**2-  $G_{coraza} = \frac{1}{2} G_{as}$**

**3- Obtener  $\Delta t$  multiplicando MLTD for  $F_t$  obtenido para un intercambiador 1-2**

- Un intercambiador 2-4 se usa cuando  $F_t$  de menor de 0.75 en un intercambiador 1-2. Si el valor de  $F_t$  es mayor de 0.9 para el 2-4 es el adecuado si es menor deberan usarse mas pasos en coraza
- Use tubos  $\frac{3}{4}$  o 1 pulg longitud 16 pies.
- Con el arreglo y el DE tubo se obtiene el pitch tablas
- Evitar velocidades muy bajas, aumentar numero de paso aumenta la velocidad.
- Siempre es mejor usar un  $U_d$  alto que bajo
- Si disminuyo  $U_d$ , el intercambiador será mas grande
- Mínimo espaciado de deflectores origina valor mayor coeficiente de película
- % de sobre diseño no debe ser mayor a 35 %
- Los pasos aumentan la velocidad, el coeficiente y también las perdidas por fricción. En ocho pasos el coeficiente es cinco veces mayor que en un paso y la caída de presión es 300 veces mayor
- Los tubos van de 8,10,16,20, y 24 pies
- Los diametros en tubo mas comunes son  $\frac{3}{4}$  pulg y 1 pulg
- Los Pitch son 1 para  $\frac{3}{4}$  DE y  $1\frac{1}{4}$  para 1 pulg DE

Longitudes típicas de intercambiadores van desde 3m a 9 m  
Un intercambiador 1-2 la temperatura de salida de la correinte fria no  
puede exceder la temperatura de salida de la correinte caliente

