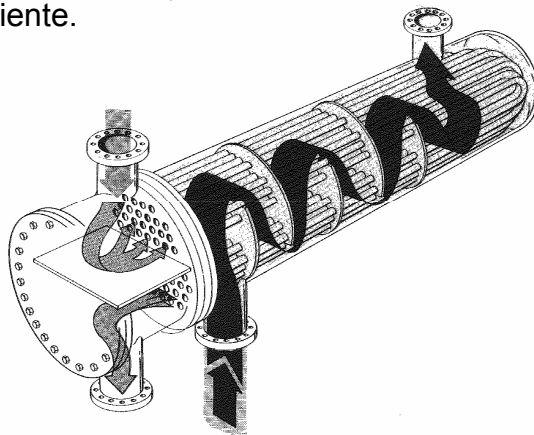


INTERCAMBIADORES DE TUBO Y CARCAZA

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 número de Reynolds ($R_{et} = diG_p/\mu ; G/\pi e^2$) se duplica.
- Incrementando el número de Reynolds se incrementa la turbulencia, se incrementa el número de Nusselt y finalmente se incrementa el coeficiente de convección, aunque la región en flujo paralelo resulte en una baja efectividad de ΔT , el incremento del coeficiente de transferencia de calor compensará esto, y el intercambiador será más pequeño para un servicio.
- Las mejoras conseguidas con los intercambiadores multipaso son suficientemente grandes que ellos son más 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

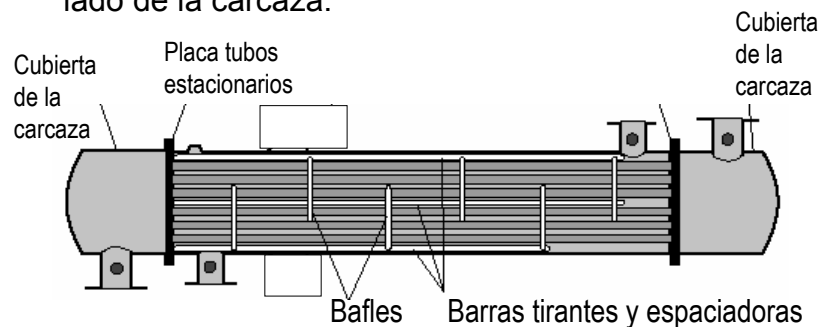
- 1) De cabezal fijo
- 2) Tubos en forma de U
- 3) De cabezal flotante

Componentes

- Coraza (Shell)
- Cubierta de la coraza (Shell cover)
- Tubos (Tubes)
- Cabezal (Channel)
- Cubierta de cabezal (Channel cover)
- Espejo de tubos (tubesheet)
- Baffles-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.

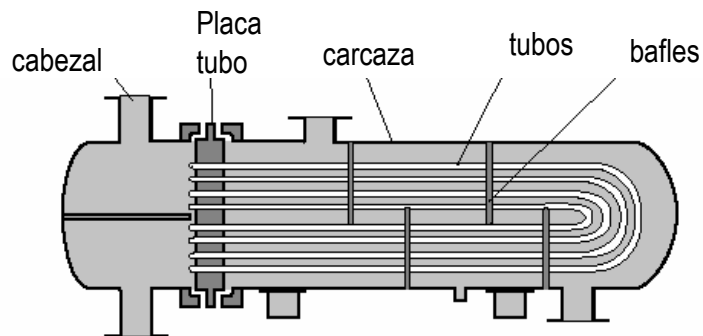


Cabezal fijo: características

- 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 carcaza 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 carcaza 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 carcaza 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.





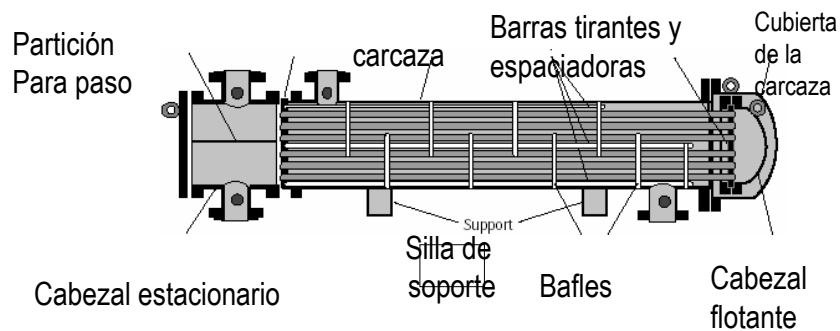
Tubos en forma de U

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



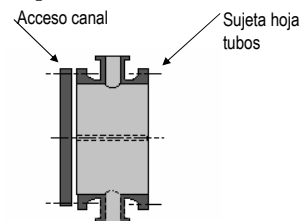
Cabezal flotante

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

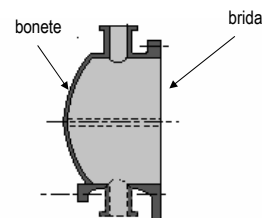


Caberales fijos, tipos y aplicaciones

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



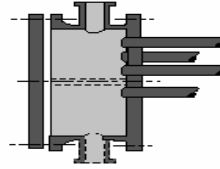
Tipo B: Consiste en un barril cilíndrico con un bonete soldado en un extremo y una brida en otro, sujeta con pernos a al espejo de tubos.



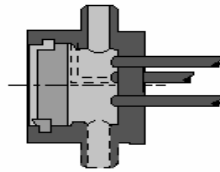
Ambos se usan con placa de tubo fija, tubos en forma de U y bancos de tubo removible

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.



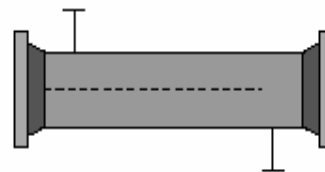
Tipo D: Es utilizado especialmente para altas presiones. El canal y la placa de tubo tienen construcción forjada integral



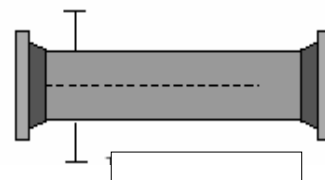
\

Tipo y características de las carcazas

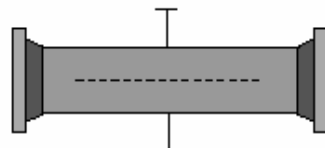
Tipo E (1 paso): Es la construcción mas usada en intercambiadores de carcasa y tubo

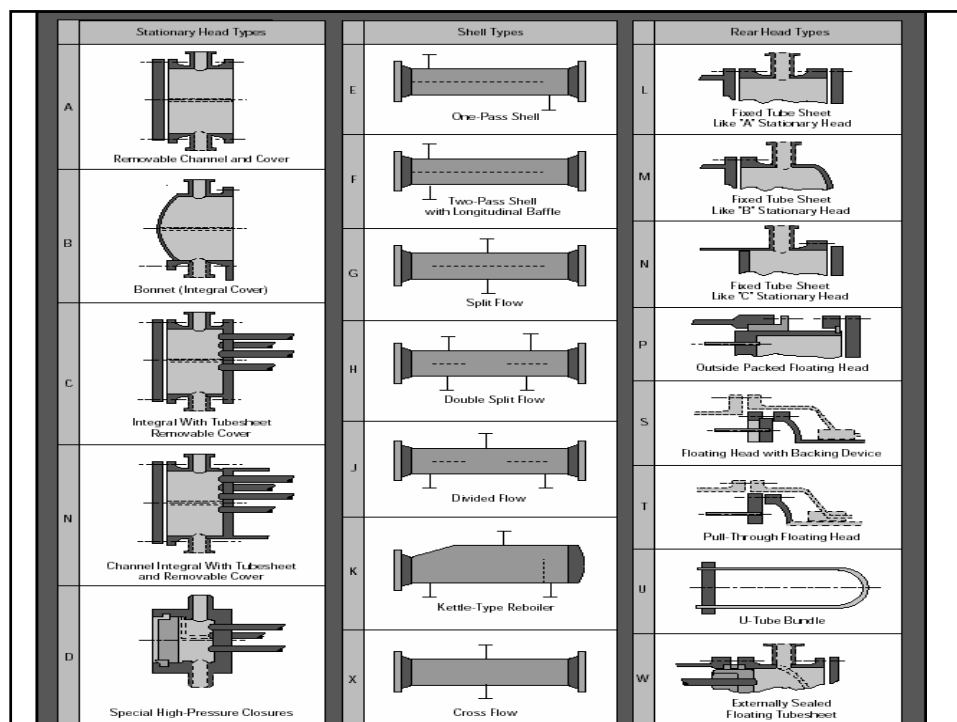


Tipo F (2 pasos): Esta construcción requiere del uso de deflectores longitudinales. Las boquillas de entrada y salida se sitúan en el lado de placa de tubos fijos.



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





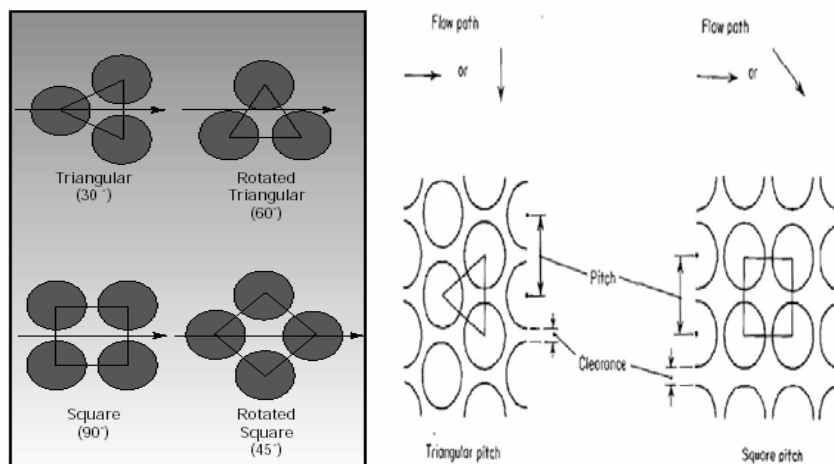
Tubos

- 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 groesos de pared, definidos por el calibrador Birmingham para alambre, que en la practica se denomina BGW del tubo.
- Los tubos $\frac{3}{4}$ 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 $0.002 \text{ pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}/\text{BTU}$. Se utiliza en cualquier régimen de flujo. Son mas económicos que los arreglos cuadrados. Preferido para servicios limpios.
Cuadrado 90°	a) Se utiliza cuando el factor de ensuciamiento en la carcaza es $>0.002 \text{ pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}/\text{BTU}$. b) Cuando la limpieza mecánica es critica 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 _{ext} tubos	Arreglo triangular Pt (pulg)	Arreglo cuadrado Pt (pulg)
3/4	15/16	
3/4	1	1 1/4
1 1/2	1 7/8	1 7/8
>1 1/2	Min. de 1.25 * D _{ext} tubo	1.25 * D _{ext} 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.

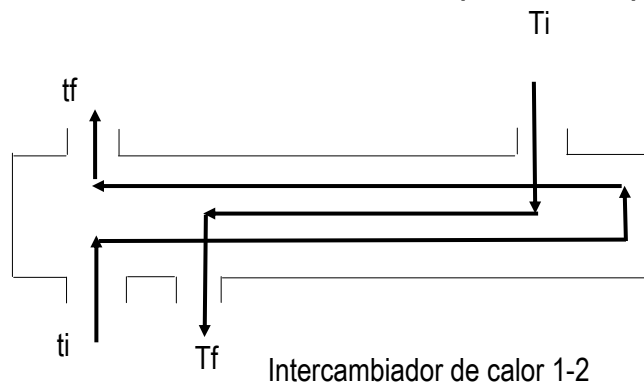
Por tanto el PITCH se debe incrementar sólo en circunstancias excepcionales, tales como reducir la caída de presión por la coraza.

Arreglo de tubos: Número de Tubos

El numero de tubos que pueden ser colocados dentro de una carcaza 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 carcaza. 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

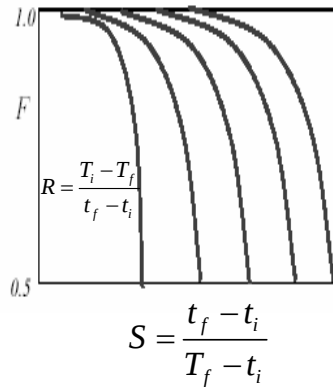


Intercambiador de calor 1-2

2 pasos en tubo 1 carcaza

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

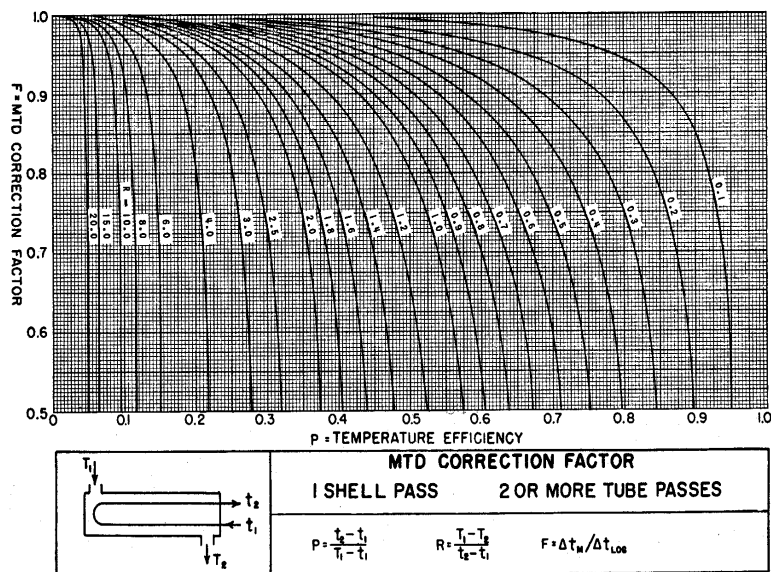
$$MTD = F_T * LMTD$$



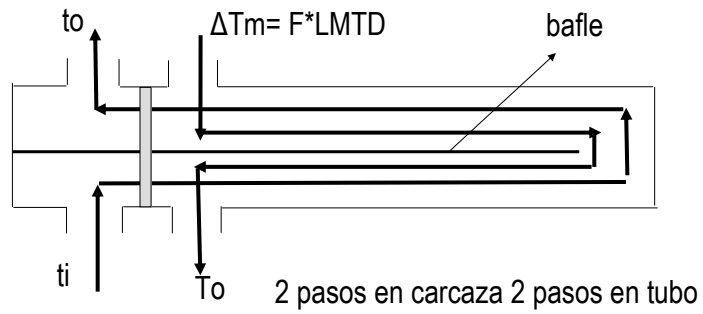
F_T correlacionado con dos parametros:

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

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

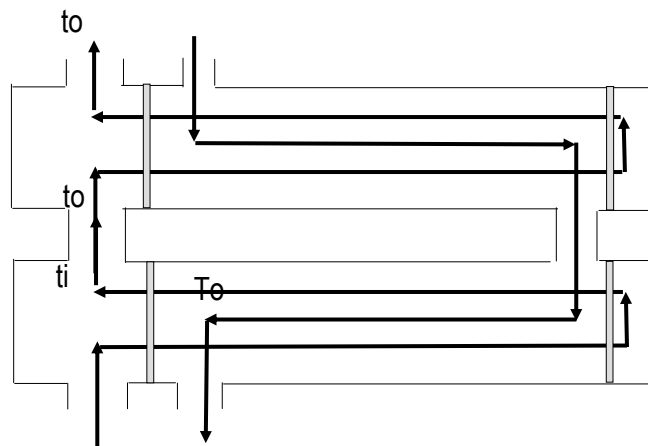


Intercambiadores coraza tubo 2-2



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 carcasa originando turbulencia para lograr mayores efectos de transferencia de calor.

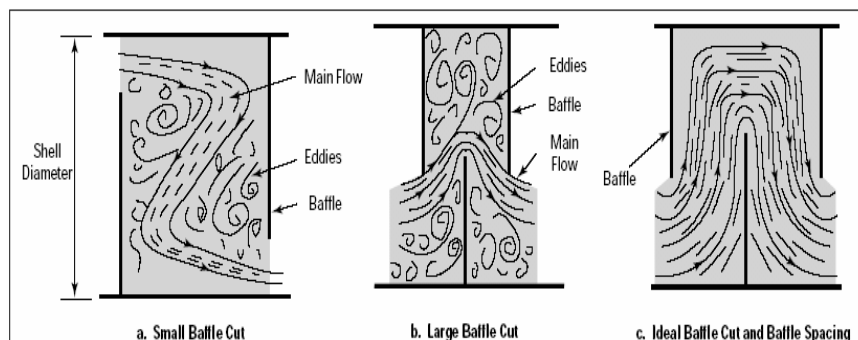
El espaciado centro a centro entre deflectores se llama espaciado de deflectores. El espaciado mínimo es el 20 % ó $1/5$ del diámetro interno de la carcasa o 2 plg, el que resulte mayor, el máximo no debe exceder el diámetro interno de la carcasa. ESTE PARÁMETRO ES VITAL EN EL DISEÑO.

Deflectores

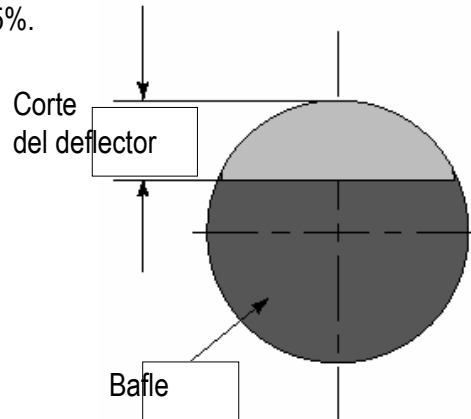
Un espaciado bajo entre baffles resulta en una penetración muy pobre del fluido en la coraza, y dificulta la limpieza mecánica de los tubos.

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

El espaciado óptimo entre baffles 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 carcasa



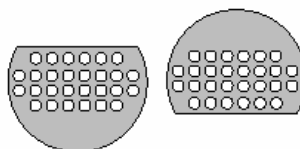
Segmentado



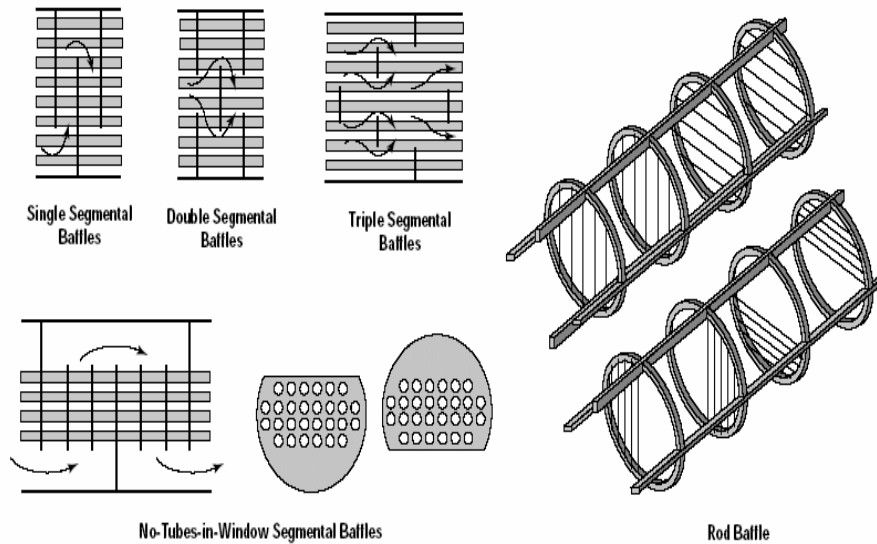
Segmentado
doble



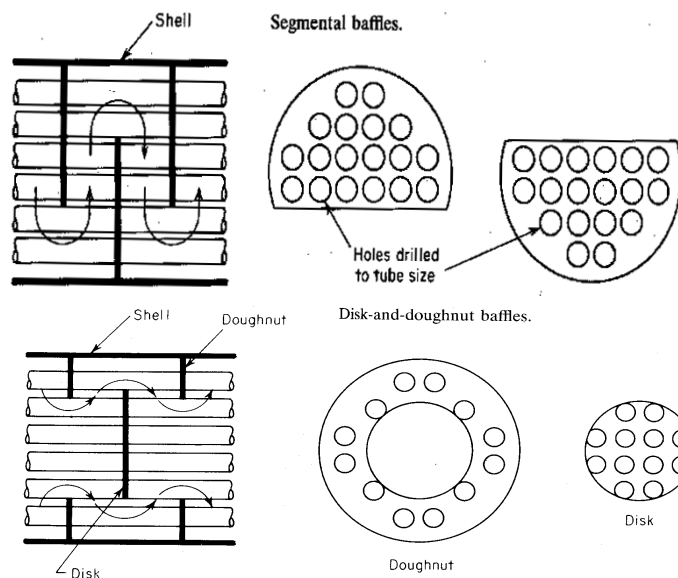
Segmentado
triple



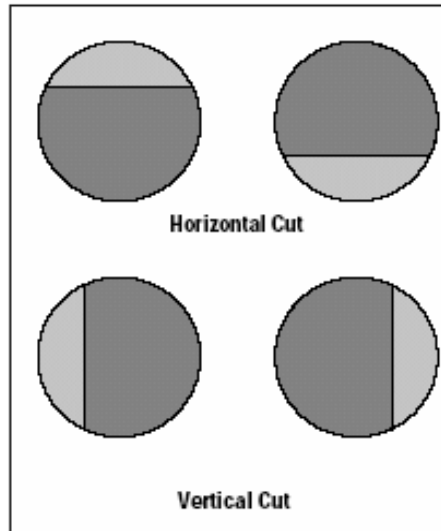
Deflectores segmentados



Deflectores segmentados



Deflectores segmentados: Orientación



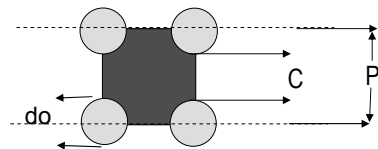
Localización de los fluidos a través de los tubos o carcaza

- ✱ 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 carcaza el fluido experimenta mayor turbulencia a menor velocidad que en el tubo.

Carcaza Diametro equivalente



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

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.

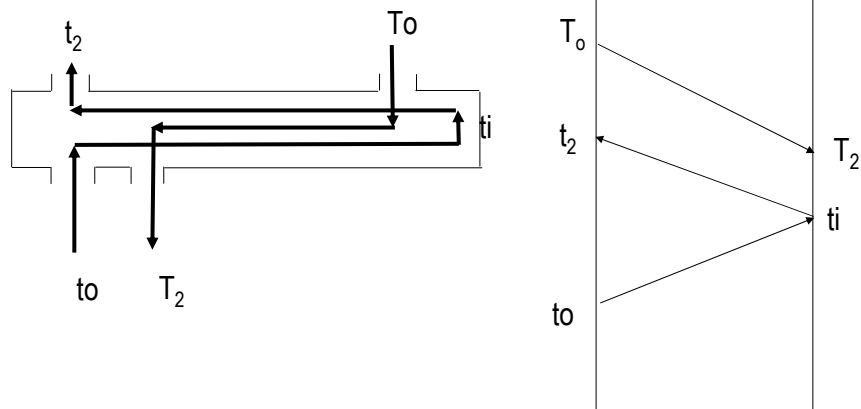
Para intercambiadores con deflectores, el alto coeficiente de calor resulta del incremento de la turbulencia. Las correlaciones obtenidas para flujos en tubos no son aplicables para flujo con deflectores.

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 carcasa tubo



Intercambiador 1-2 carcaza tubo

Variable	Tubo Interior	Anulo	unidad
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	$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}$		
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	$a_t = (\pi d_i^2 / 4) \cdot N_t / NP$	$a_a = D_i^2 C \cdot B / Pt$	pies
Velocidad masica	$G_t = w / a_t$	$G_a = w / a_a$	Lb/(h)pie
Viscosidad μ a tc y Tc	Figura 14(cpoise) $\mu_t = \mu \cdot 2.42$	Figura 14 $\mu = \mu \cdot 2.42$	Lb/pieh
Reynolds (Re)	$Re_t = d_i G_t / \mu$	$Re_a = D_e G_a / \mu$	
Calor Especifico Cp	Tabla o figura 2 Cp	Tabla o figura 2 usar Tc	Btu/.lb F

Variable	Tubo Interior	Anulo	unidad
Conductividad térmica k	Tablas usar tc	Tablas Usar Tc	Btu/h(pie²)(F/pie)
T_w	$T_w = 1/2((T_1+T_2)/2+(t_1+t_2)/2)$		F
Viscosidad a T.pared μ_w	μ_{wt}	μ_{wa}	Lb/pieh
J_{ha}, J_{ht}	Figura 24	Figura 28	
Pr ($C_p \mu / k$)	Pr_t	Pr_a	
h_o coraza	$\frac{h_o D_e}{k_a} = 0.36 * \left(\frac{D_e G_a}{\mu_a} \right)^{.55} (Pr_a)^{1/3} \left(\frac{\mu_a}{\mu_w} \right)^{0.14}$		Btu/hpie²F
Nut	Usar correlación respectiva		
h_i tubo	$h_i = \frac{N_{ut} * k_t}{d_i}$		Btu/hpie²F

Variable	Tubo Interior	Anulo	unidad
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 ² F
Area	A=Q/(Uf*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	$dPt = \left(4 * ft \frac{L * Np}{di} + 4Np \right) * \frac{\rho_t}{2} * (Vt(m/s \text{ o pie/hr}))^2 \text{ Pa}$ $dPt = \left(4 * ft \frac{L * Np}{di} + 4Np \right) * \frac{\rho_t}{2 * 4.18 * 10^8 * 144} * (Vt)^2 \text{ Psi}$		

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 térmica

Soluciones de líquidos orgánicos: Usese conductividad por peso

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

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

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

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 líquido dispersor

Emulsiones: uses 0.9 veces la conductividad del líquido 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 está referido al estado cristalino.

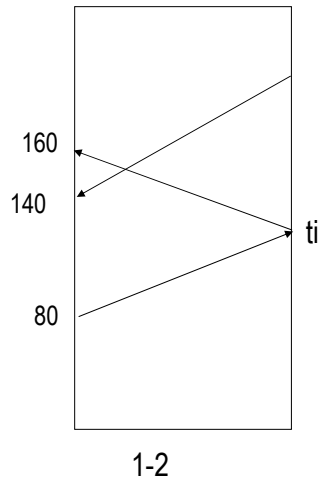
Viscosidad

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

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

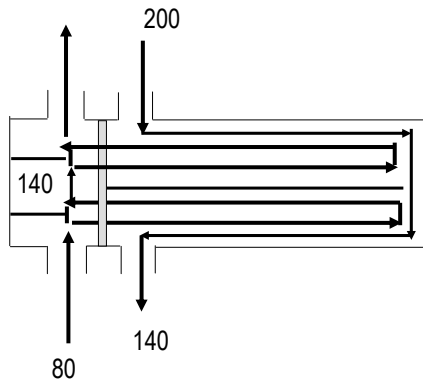
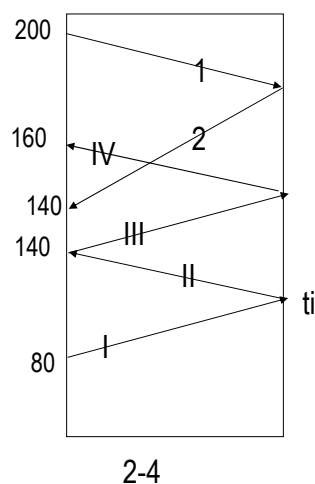
Sales en agua donde la concentración no exceda el 30%: usese el doble de la viscosidad del agua

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 frío calentado 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 enfría en realidad se calienta, esto es llamado recalentar

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

- ✱ Cálculo de la cantidad de calor intercambiado Q a partir de las consideraciones del proceso
- ✱ Cálculo de la diferencia de temperatura media efectiva
- ✱ Asunción del coeficiente global de transferencia de calor U_o .
- ✱ Cálculo 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.
- ✱ Cálculo 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
- ✱ Cálculo 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

- ✱ Cálculo del área de transferencia basada en U_o 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_o el cual incluye el factor de obstrucción, como guía usar tabla 10
- ✱ Se debe asumir el arreglo del intercambiador. Utilice gráficas (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)

$$MTD = F_t \cdot LMTD$$

Método de solución.. cont

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

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

- Se debe calcular el numero de tubos

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

Ste= Superficie pie lineal tabla

L = longitud de tubos

- Determinar diámetro carcaza por tablas

Método de solución.. cont

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

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

D_i = Diámetro interno de la carcaza (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

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

Nt = numero de tubos

NP = numero de pasos

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

DI carcaca 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

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

Lado tubo

Calcular No Nusselt por correlacion

Calcular hi

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

- ✱ 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 carcasa. 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	Vel. Max. = $\left[\frac{\text{Vel. Max.}}{\text{Per. para agua}} \right] \left[\frac{\text{Densidad Agua}}{\text{Densidad liquido}} \right]^{0.5}$	
Gases y vapores secos	Velocidad (pie/s) = $\frac{1800}{\sqrt{(\text{Presion Psia})(\text{Peso Molecular})}}$	

Combinación numero de pasos y espaciado en deflectores

- El número 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

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

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

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

- Coeficiente de película hi mayor -> mayor transferencia calor

- Pero

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

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

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

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

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

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

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 ²	1.34	1.03	0.79
Coeficiente de transferencia calor coraza	2578	2498	2372
Coeficiente de transferencia calor tubo kcal/hm ² C	1402	1402	1402

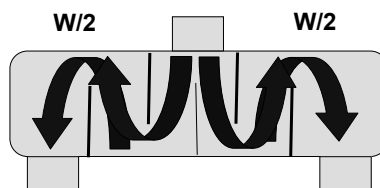
TIPS

- 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 U_d 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 Δt multiplicando MLTD for Ft obtenido para un intercambiador 1-2

- Un intercambiador 2-4 se usa cuando Ft de menor de 0.75 en un intercambiador 1-2. Si el valor de Ft 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 Ud alto que bajo
- Si disminuyo Ud, 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 corriente fría no puede exceder la temperatura de salida de la corriente caliente