



# INSTALACIONES TÉRMICAS, MECÁNICAS Y FRIGORÍFICAS

## INTERCAMBIADOR DE CALOR

Ing. Carlos Barrera - 2018

# OBJETIVOS

**Presentar los intercambiadores de calor como dispositivos que permiten el paso de energía calórica de un fluido caliente a otro fluido que se encuentra a menor temperatura a través de una pared metálica que los separa.**

**La transferencia de calor entre los fluidos puede realizarse de diferentes modos, siendo los más comunes los siguientes:**

### **Modos de transferencia de calor**

**Sin cambio de estado de los fluidos**

**Con cambio de estado de uno de los fluidos**

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o de un fluido a otro. Los **INTERCAMBIADORES DE CALOR** son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea.

La función básica de los intercambiadores es la transferencia de energía térmica entre dos o más fluidos a diferente temperatura.

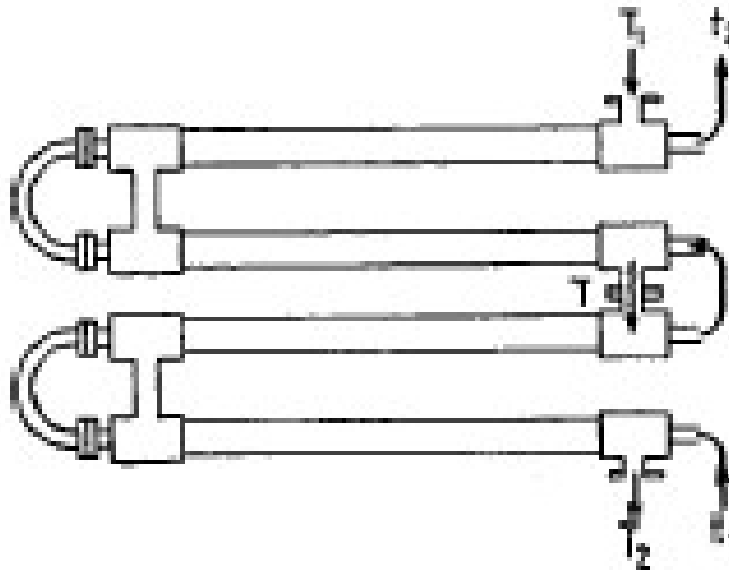
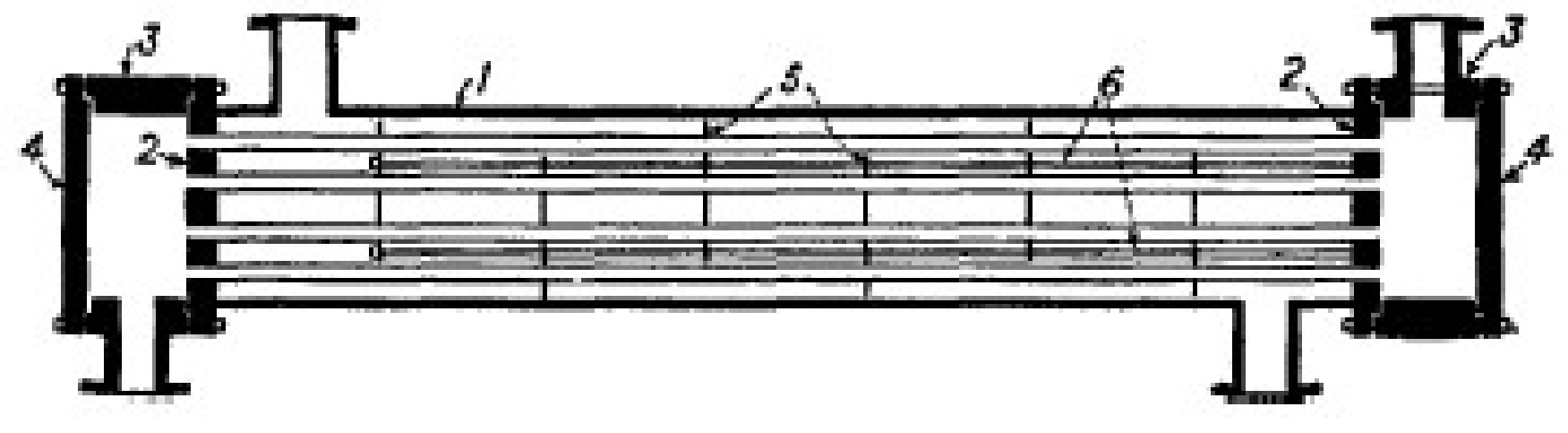
El calor fluye, como resultado del gradiente de temperatura, desde el fluido caliente hacia el frío a través de una superficie de separación

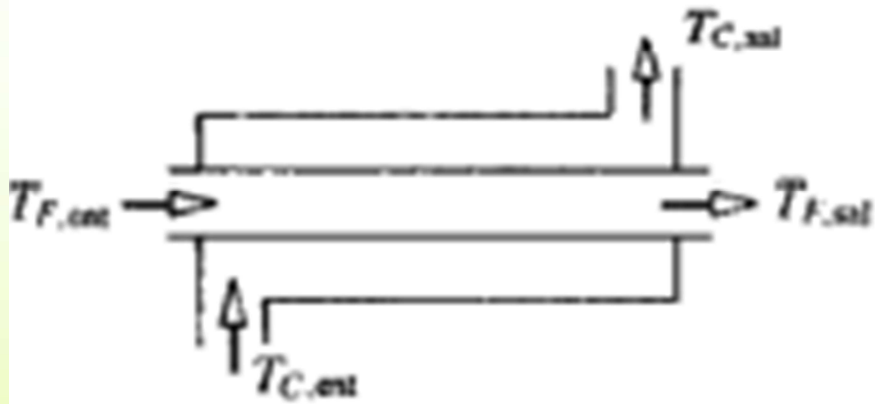
Se clasifican en:

- **FUNCIÓN DEL FLUJO**: flujo paralelo; contracorriente; flujo cruzado.
- **FUNCIÓN DE SU CONSTRUCCIÓN**: tubo y coraza; tubo en tubo, placas, etc.
- **FUNCIÓN DEL PASO**: paso simple, de múltiples pasos,

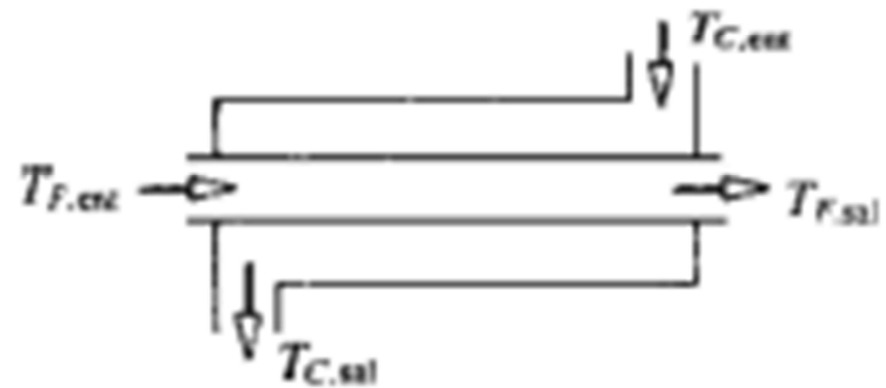
Entre las principales razones por las que se utilizan los intercambiadores de calor se encuentran las siguientes:

- **Calentar un fluido frío mediante un fluido con mayor temperatura.**
- **Reducir la temperatura de un fluido mediante un fluido con menor temperatura.**
- **Llevar al punto de ebullición a un fluido mediante un fluido con mayor temperatura.**
- **Condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío.**

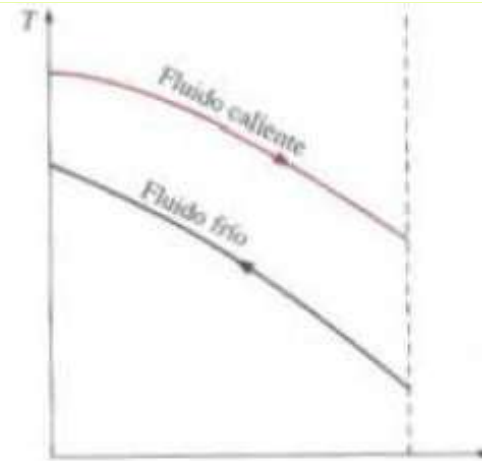
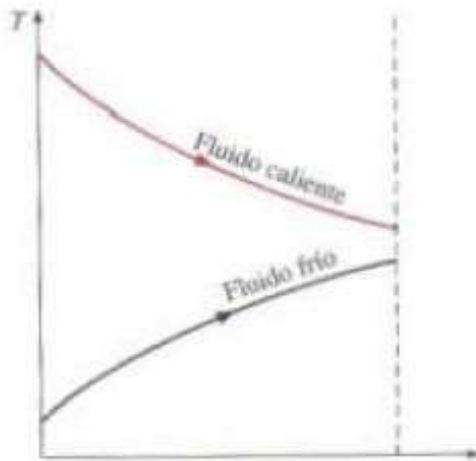




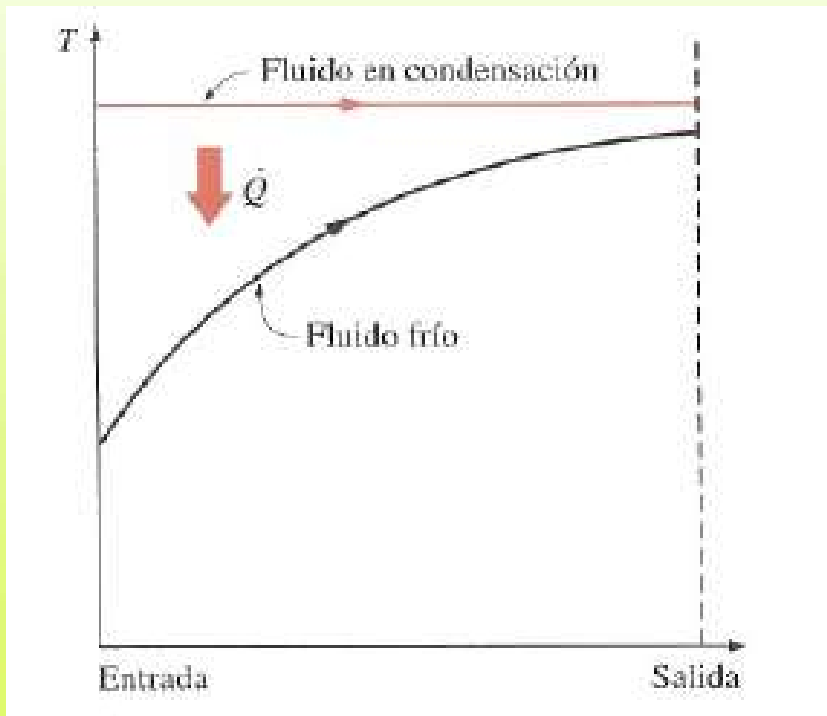
(b) Dos corrientes en flujo paralelo



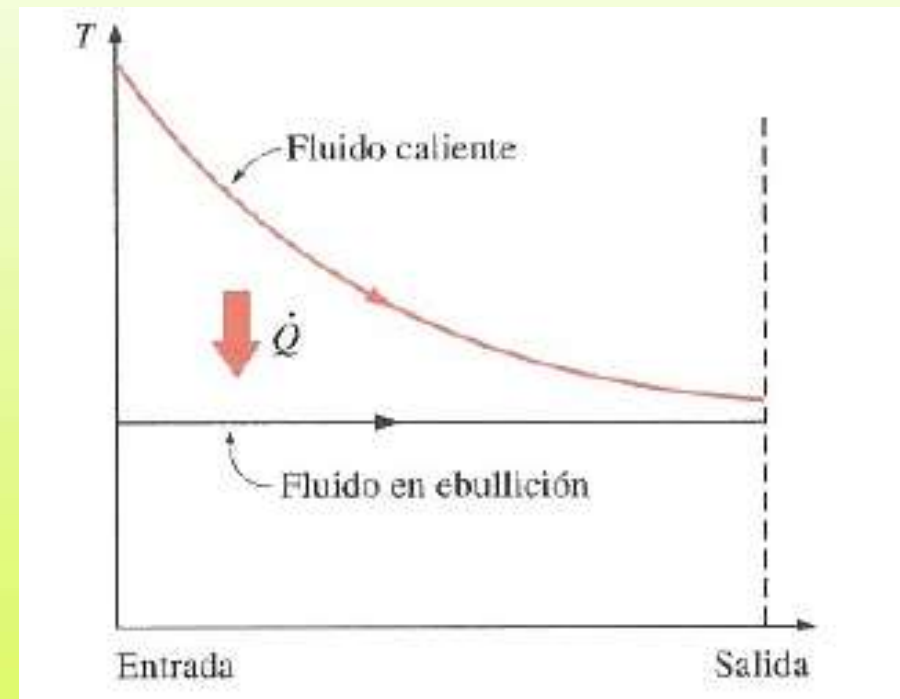
(c) Dos corrientes a contraflujo



En el caso de los intercambiadores de calor la temperatura de cada fluido no es constante, sino que varía punto a punto a medida que se desplazan desde la sección de entrada a la de salida, incluso en régimen estable en donde nos independizamos del tiempo y el flujo de calor variará a lo largo de la trayectoria del equipo, porque su valor depende de la diferencia de temperatura de los fluidos en la sección correspondiente.



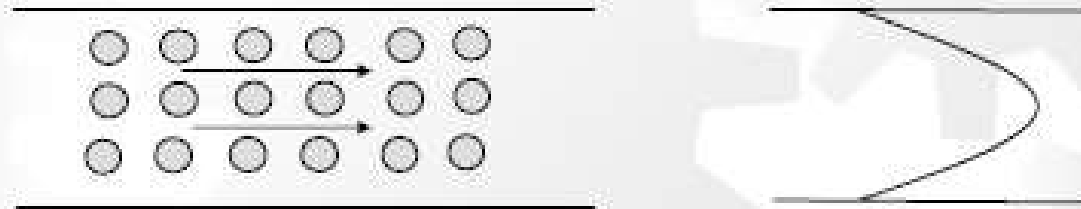
Distribución de temperatura en un condensador de un solo paso de tubos.



Distribución de temperatura en un evaporador de un solo paso de tubos.

## CONDICIONES DE FLUJO

**Flujo Laminar:** se caracteriza por un movimiento suave de capas de fluido, desplazándose una sobre la otra sin mezclarse, la velocidad en un punto dado es constante y sigue un perfil constante



**Flujo Turbulento:** se caracteriza por el intercambio y mezcla del fluido en la dirección radial de una parte del fluido a otra, la velocidad en un punto dado fluctúa en un valor promedio





## BALANCE CALORICO

El estudio se realiza para el caso de estado estable.

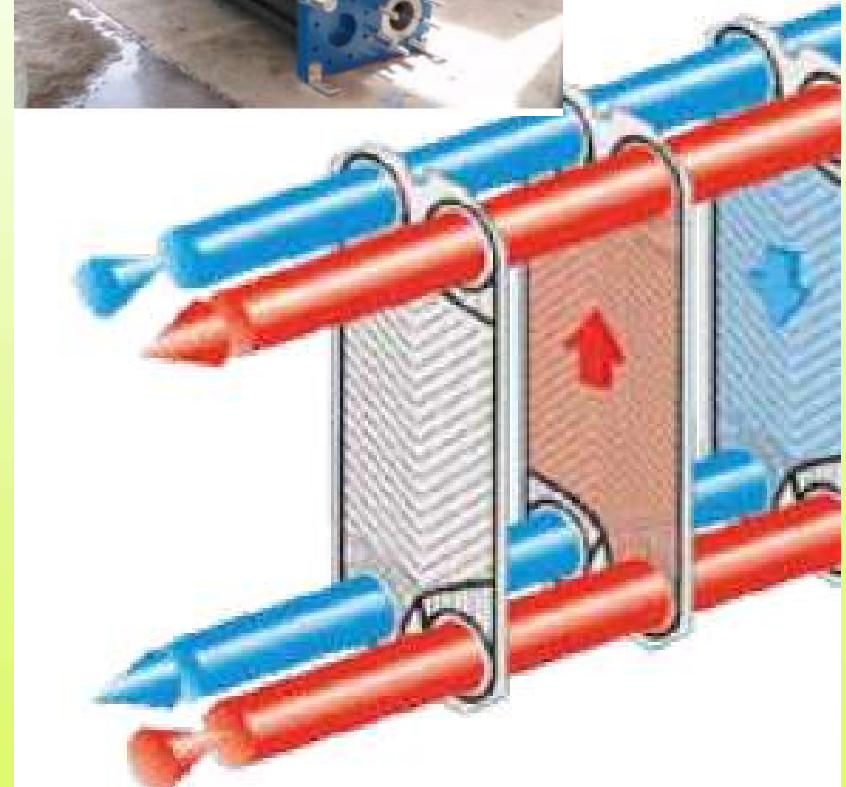
El calor total a intercambiar está dado por el calor que entrega el fluido que se enfría y/o condensa que tiene que ser igual al calor que gana el fluido que se calienta y/o evapora.

$$q = m_c * (i_{ce} - i_{cs}) = m_f * (i_{fs} - i_{fe})$$

$m_c$	Caudal másico del fluido caliente
$i_{ce}$	Entalpia del fluido caliente a la entrada.
$i_{cs}$	Entalpia del fluido caliente a la salida
$m_f$	Caudal másico del fluido frío
$i_{fe}$	Entalpia del fluido frío a la entrada
$i_{fs}$	Entalpia del fluido frío a la salida



Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcasa. El flujo de fluido dentro de los tubos se le denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcasa o fluido externo. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la carcasa



**B).- LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR DE FLUJOS CRUZADOS, EN ESTE CASO EL FLUIDO EXTERIOR ES UN GAS (GENERALMENTE AIRE), MIENTRAS QUE EL FLUIDO INTERIOR PUEDE SER UN FLUIDO CUALQUIERA GAS O LIQUIDO.**

- Los fluidos se mueven en forma perpendicular entre si, estos intercambiadores de calor pueden ser: tubulares con o sin aletas (placas), los fluidos pueden ser mezclados y sin mezclar. En la figura N° 2 se presentan estos tipos de intercambiadores de calor.

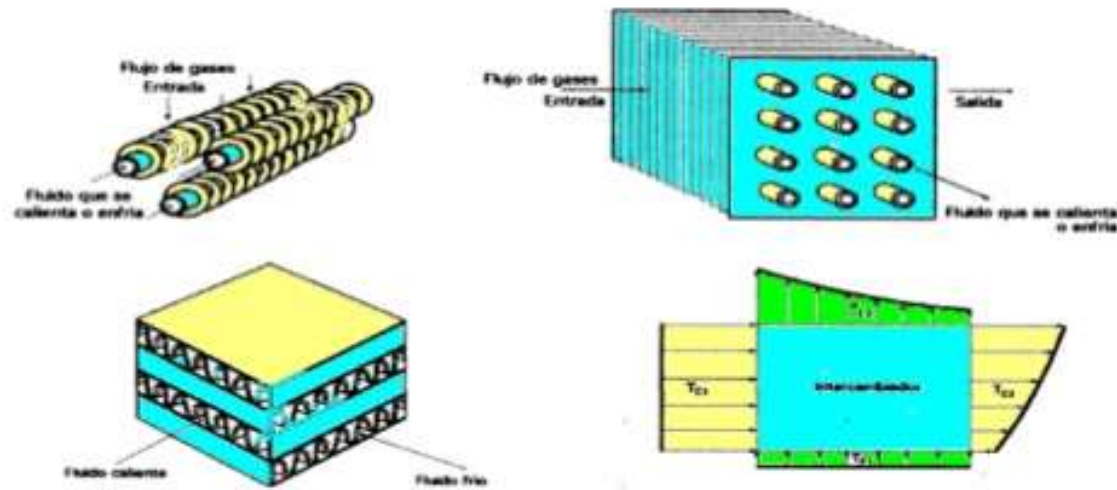
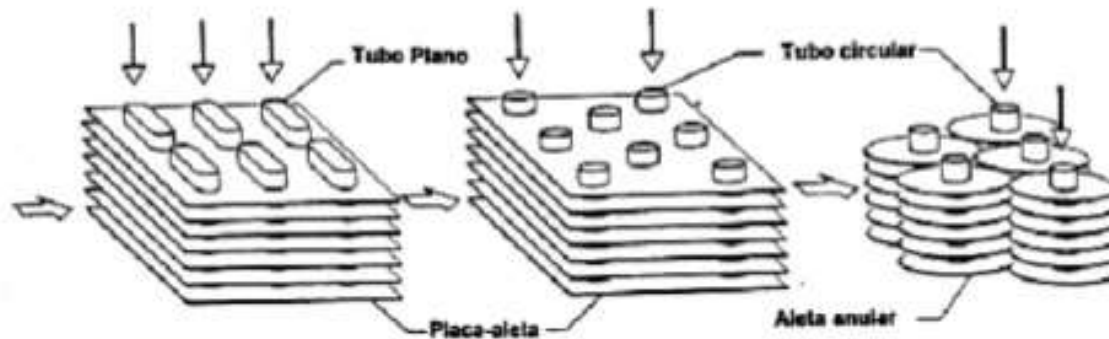


Figura N° 2

.- Intercambiadores de flujos cruzados

## Intercambiadores de calor compactos



## Cubiertas de intercambiadores de calor compactos



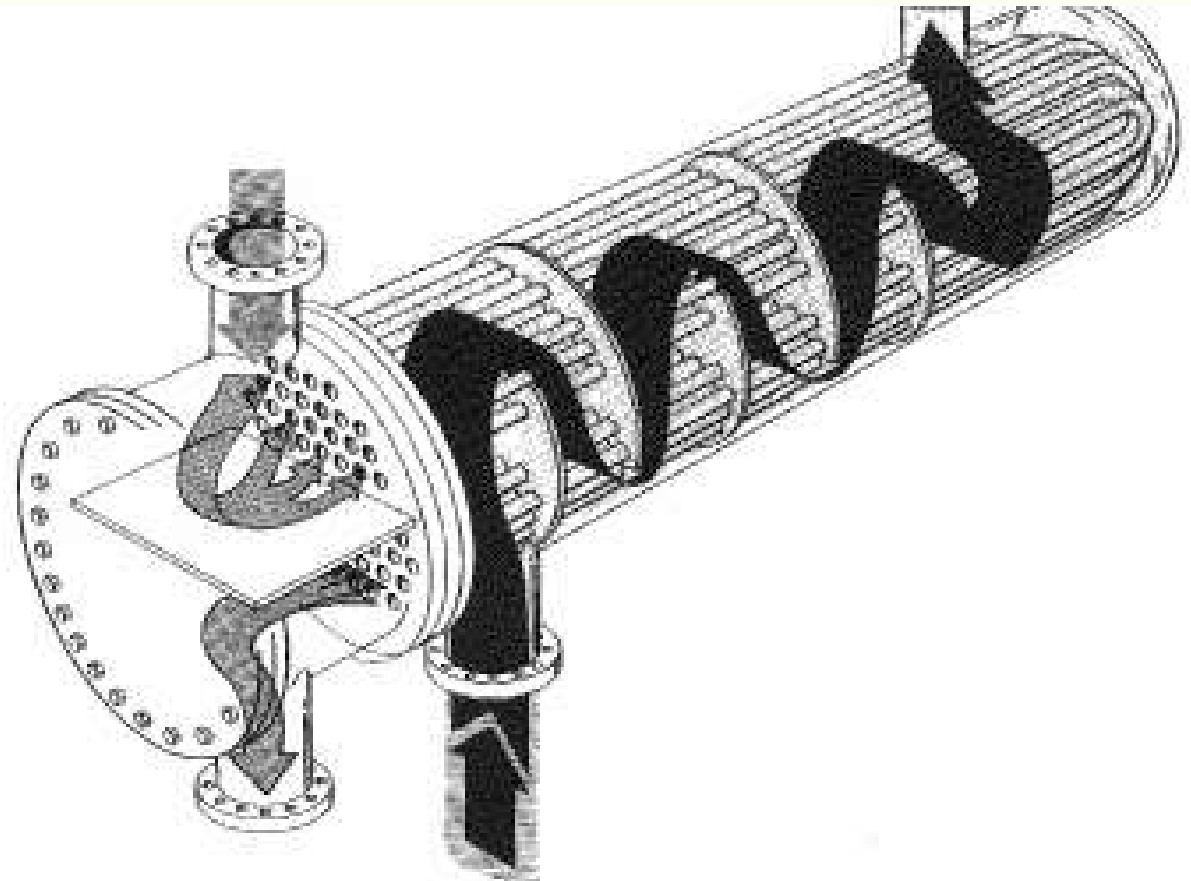
Intercambiador compacto, tipo espiral para alta presión (40 barg). Dimensiones 3.3 m de altura y 45 Tm de peso.



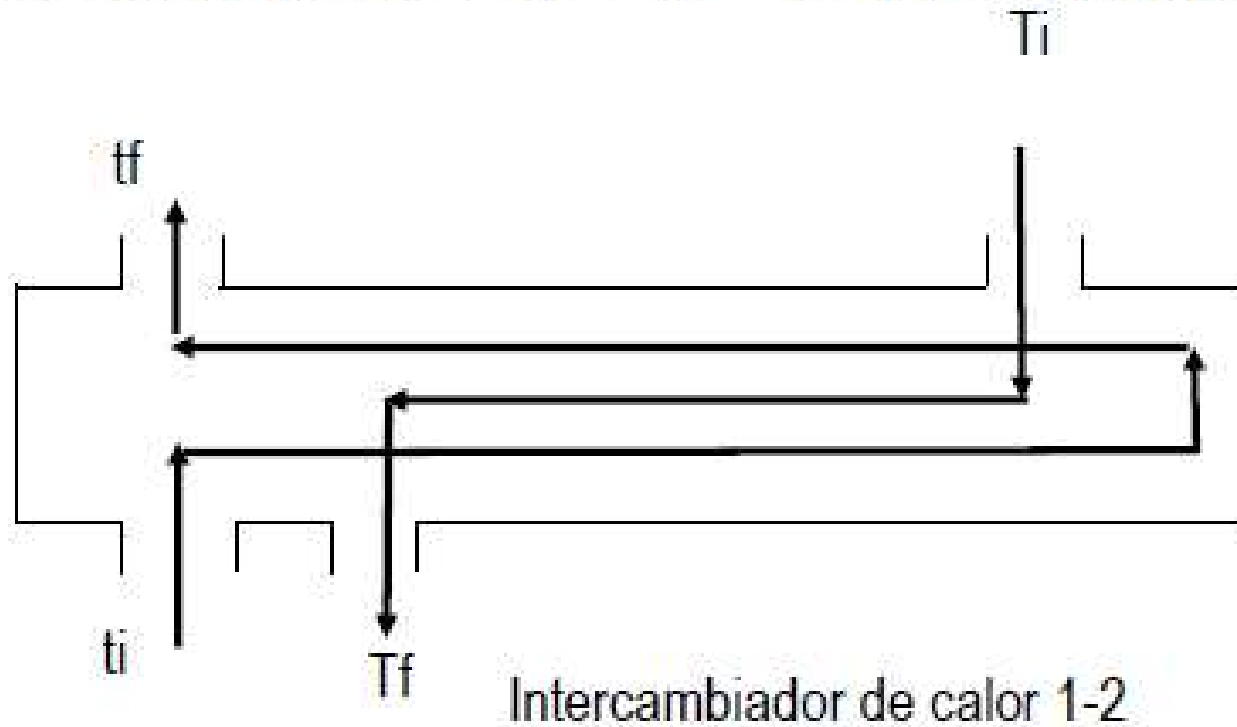
Intercambiador 1 - 2

Pasos en coraza

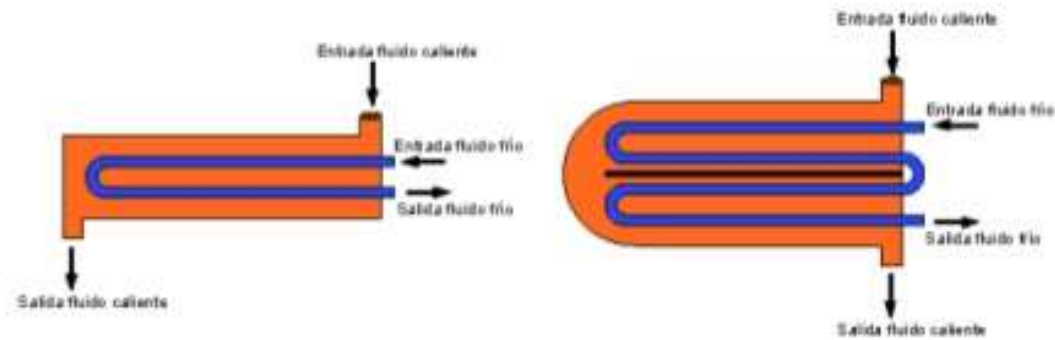
Pasos en tubo



## Intercambiadores de calor de paso multiple

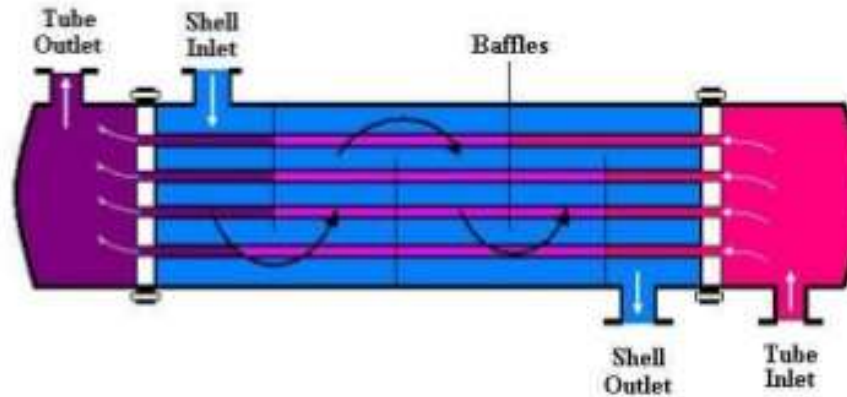


## Intercambiador de calor de tubo y coraza



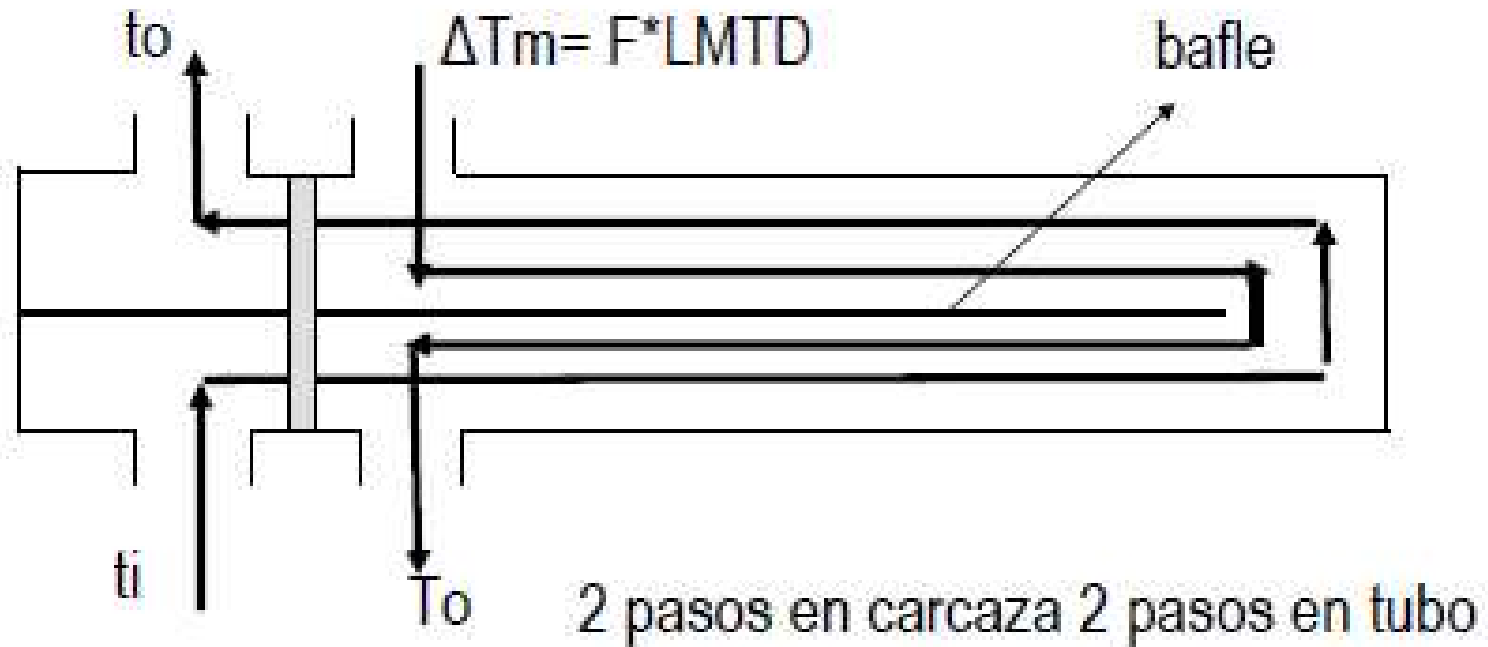
a) 1 PASO POR EL CASCO - 2 PASOS POR LOS TUBOS

b) 2 PASOS POR EL CASCO - 4 PASOS POR LOS TUBOS

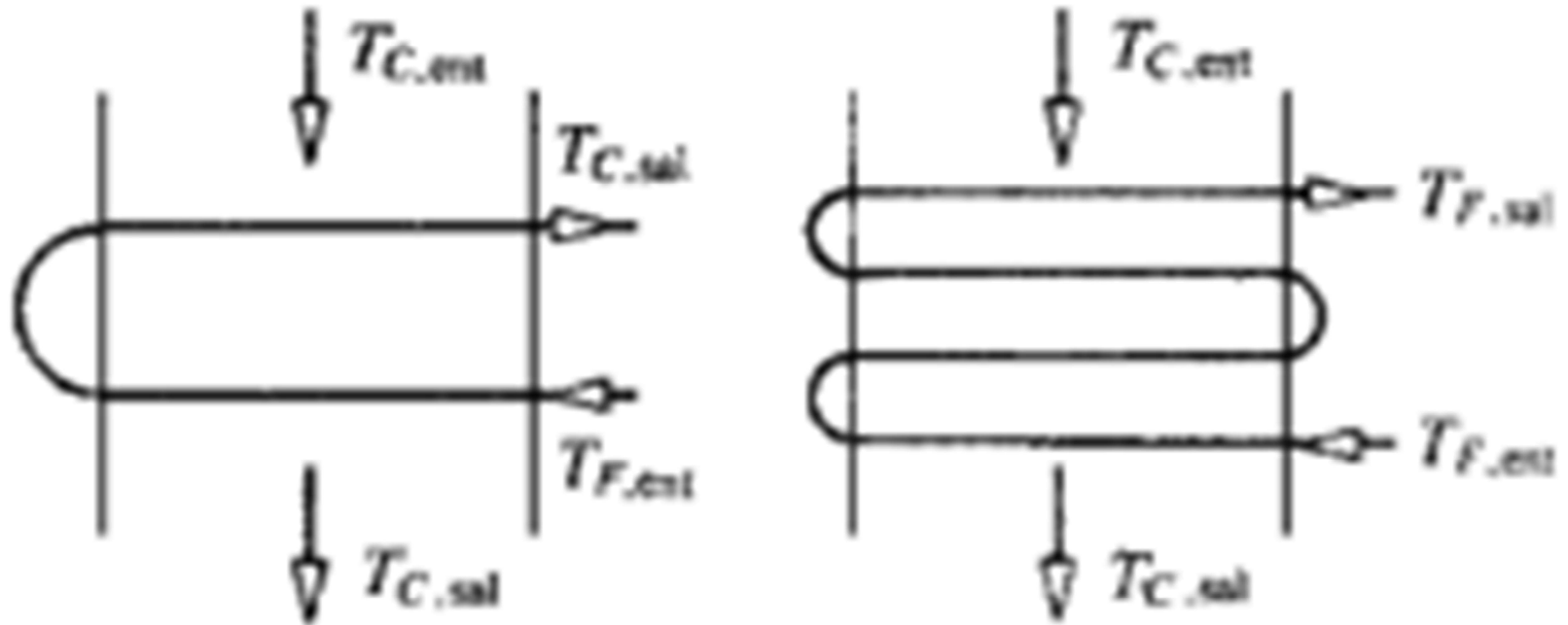


Intercambiador de calor de tubo y coraza con un paso por la coraza y por los tubos (contraflujo cruzado)

## Intercambiadores coraza tubo 2-2







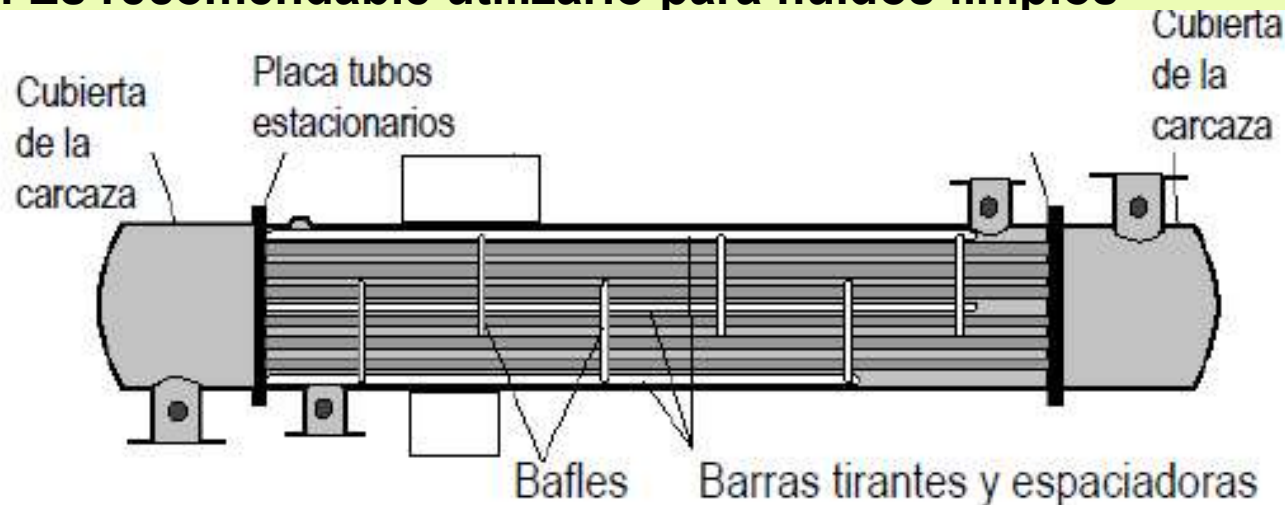
(e) Dos corrientes a contraflujo cruzado

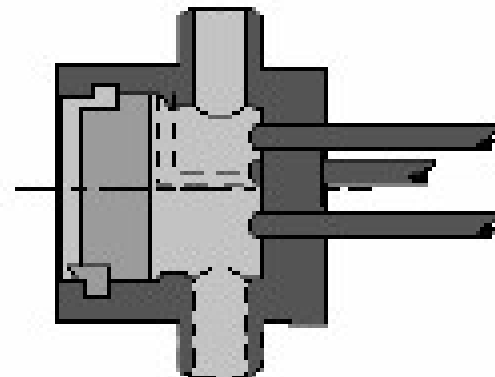
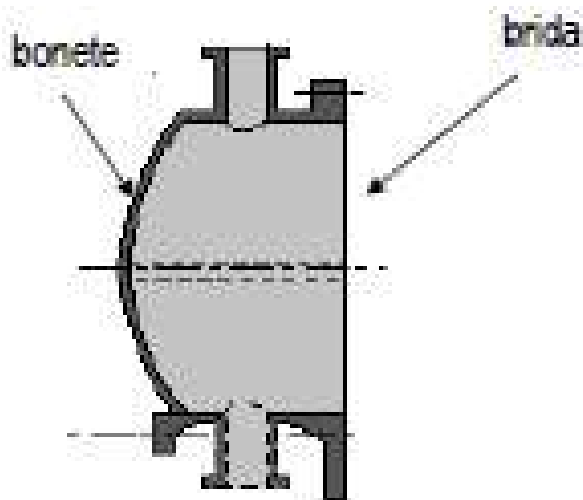
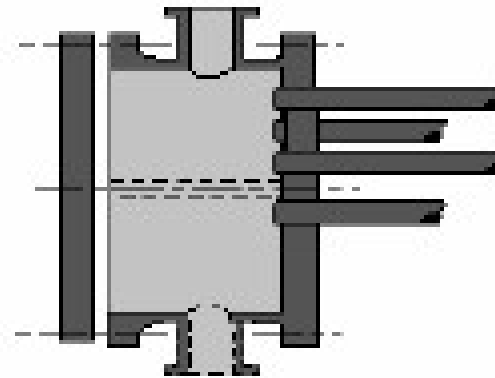
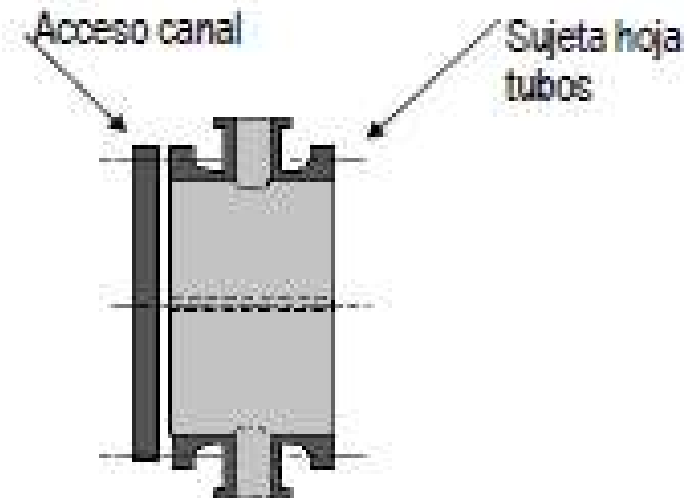
Los intercambiadores de acuerdo a su construcción mecánica, pueden ser:

- De cabezal fijo
- Tubos en forma de U
- De cabezal flotante.

### 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. Es recomendable utilizarlo para fluidos limpios





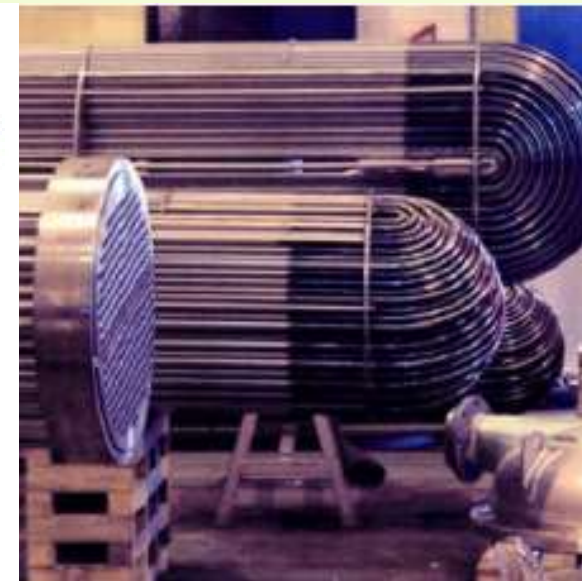
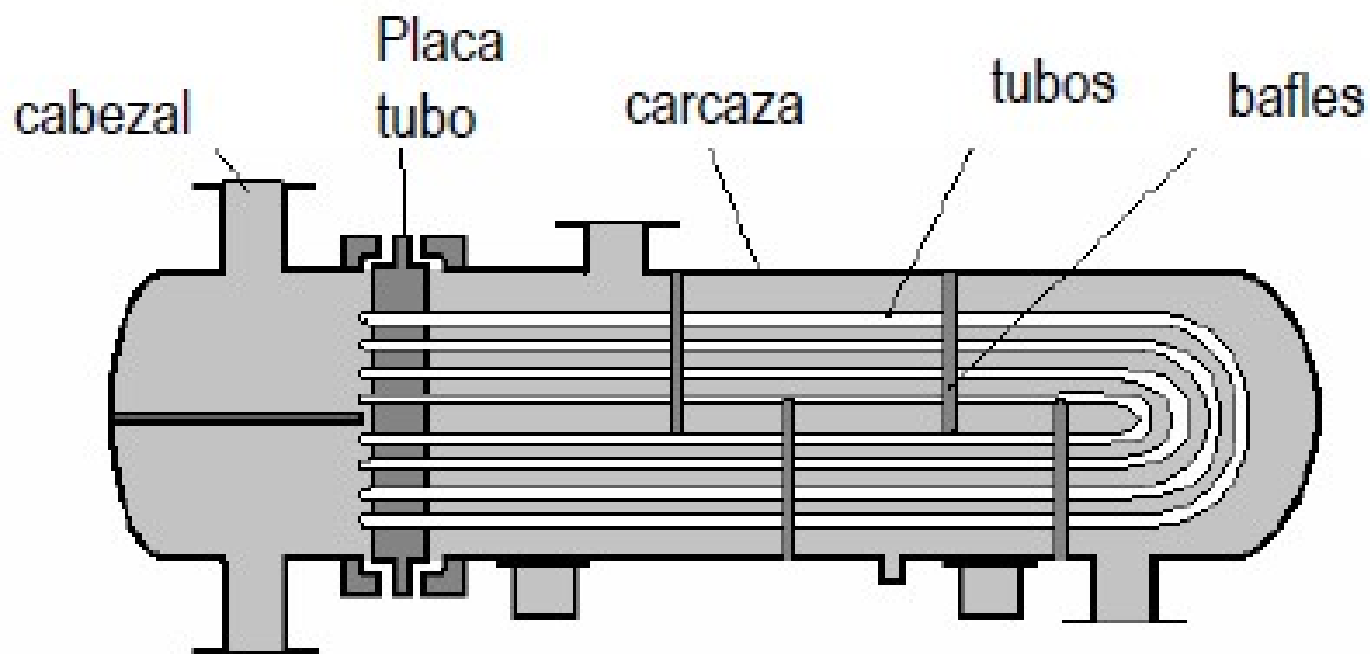
La selección del tipo de cabezal depende de la facilidad de acceso a los tubos.

Si el proceso ensucia frecuentemente al intercambiador, se debe elegir un cabezal que sea fácil extraerlo.

Todos estos diseños también pueden ser utilizados para los cabezales posteriores o de retorno.

## TUBOS EN FORMA DE U

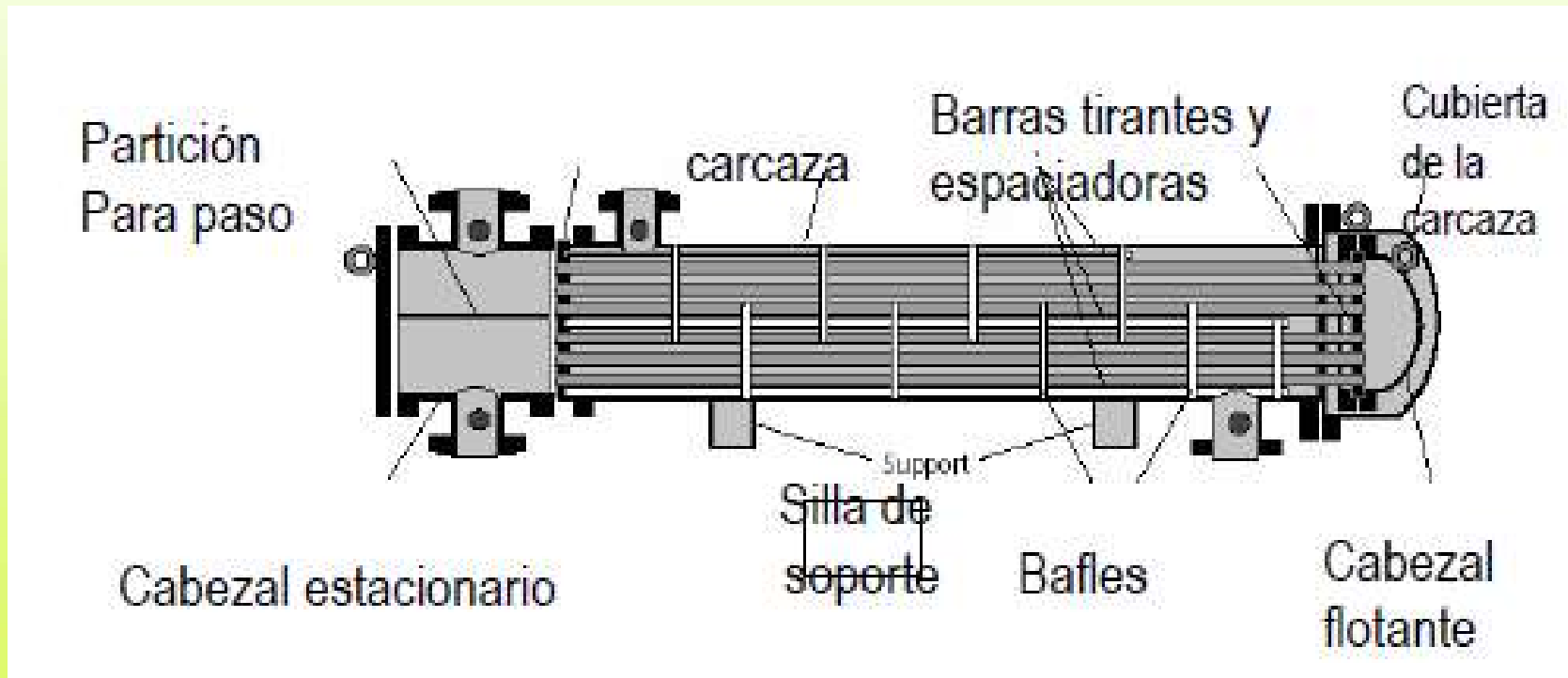
Se caracteriza por tener solo una placa de tubos en forma de U. Los bancos de tubos se pueden remover para limpieza mecánica, pero el interior de estos se limpia en general químicamente.



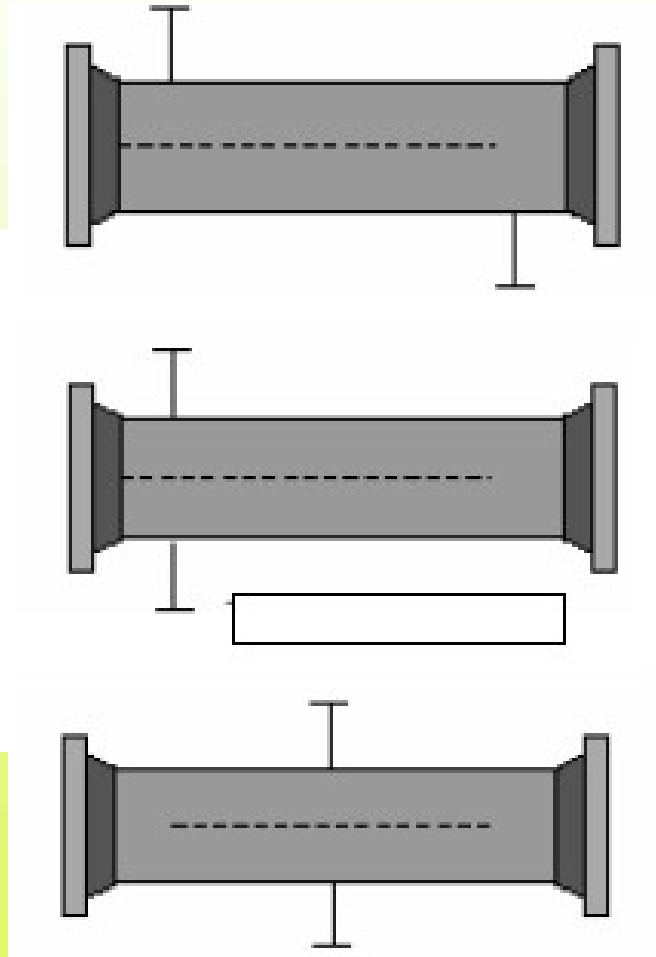
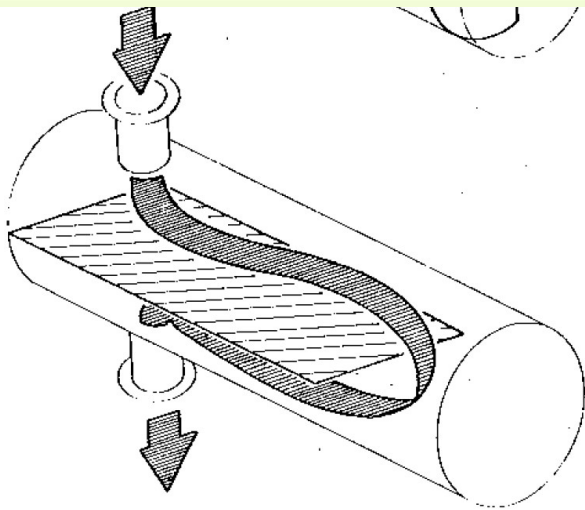


## CABEZAL FLOTANTE

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.



## TIPO Y CARACTERISTICAS DE LAS CARCAZAS



**Un paso. Es la construcción más usada.**

**Dos pasos. Requiere el uso de deflectores longitudinales.**

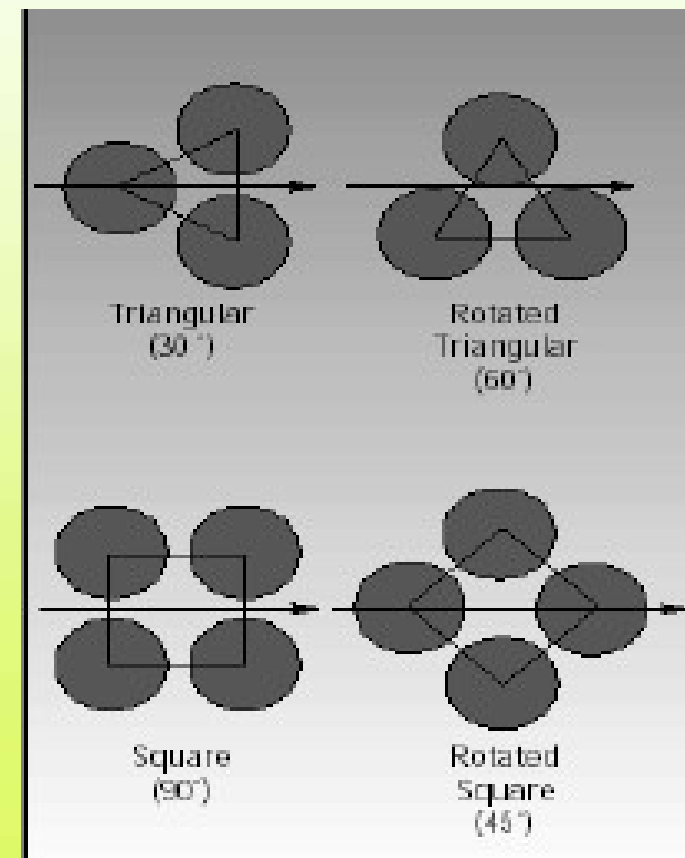
**Flujo dividido. Para reducir la caída de presión**

## TUBOS

Se usan en varios materiales, acero, cobre, cobre níquel, aluminio bronce, etc.  
 Se pueden obtener en diferentes espesores de pared, definidos por el calibre, es decir el BWG del tubo.

$\frac{3}{4}$  y una pulgada son los mas usados.

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 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 pie <sup>2</sup> °F/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 $Re < 2000$





## ESPACIADO DE TUBOS

Los orificios de los tubos no pueden realizarse muy cerca uno de otro, porque debilitaria estructuralmente el cabezal.

El espaciado de los tubos 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

## NÚMERO DE TUBOS

El número de tubos que pueden ser colocados en el interior de una carcaza depende del arreglo de los tubos, del diámetro externo de los tubos, del espaciado y del número de pasos

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	

## MATERIALES

**El material se selecciona según las características de los fluidos, básicamente desde el punto de vista de la corrosión.**

**El espesor del tubo se elige en función del cálculo mecánico según la presión y temperatura de trabajo del equipo.**

**Generalmente al espesor resultante del cálculo se le suma un sobreespesor por corrosión que depende de los fluidos que circulan y el material de los tubos.**

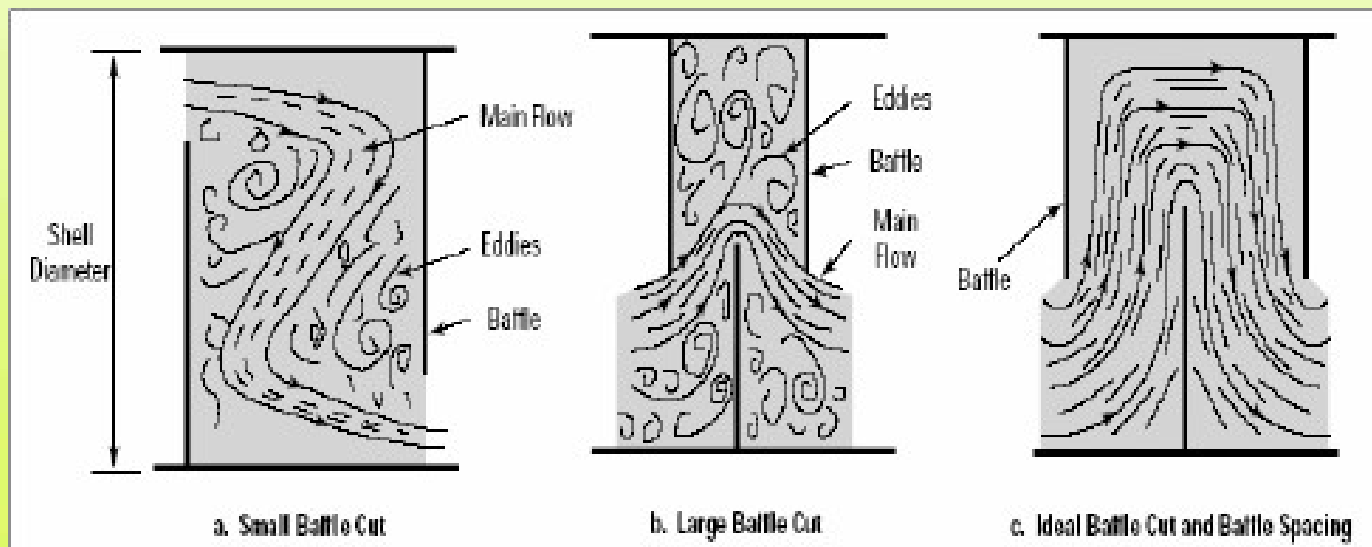
**Los materiales más empleados en los tubos de intercambiadores de calor son los aceros al carbono, aleados, inoxidable, cobre, bronce, níquel y sus aleaciones.**

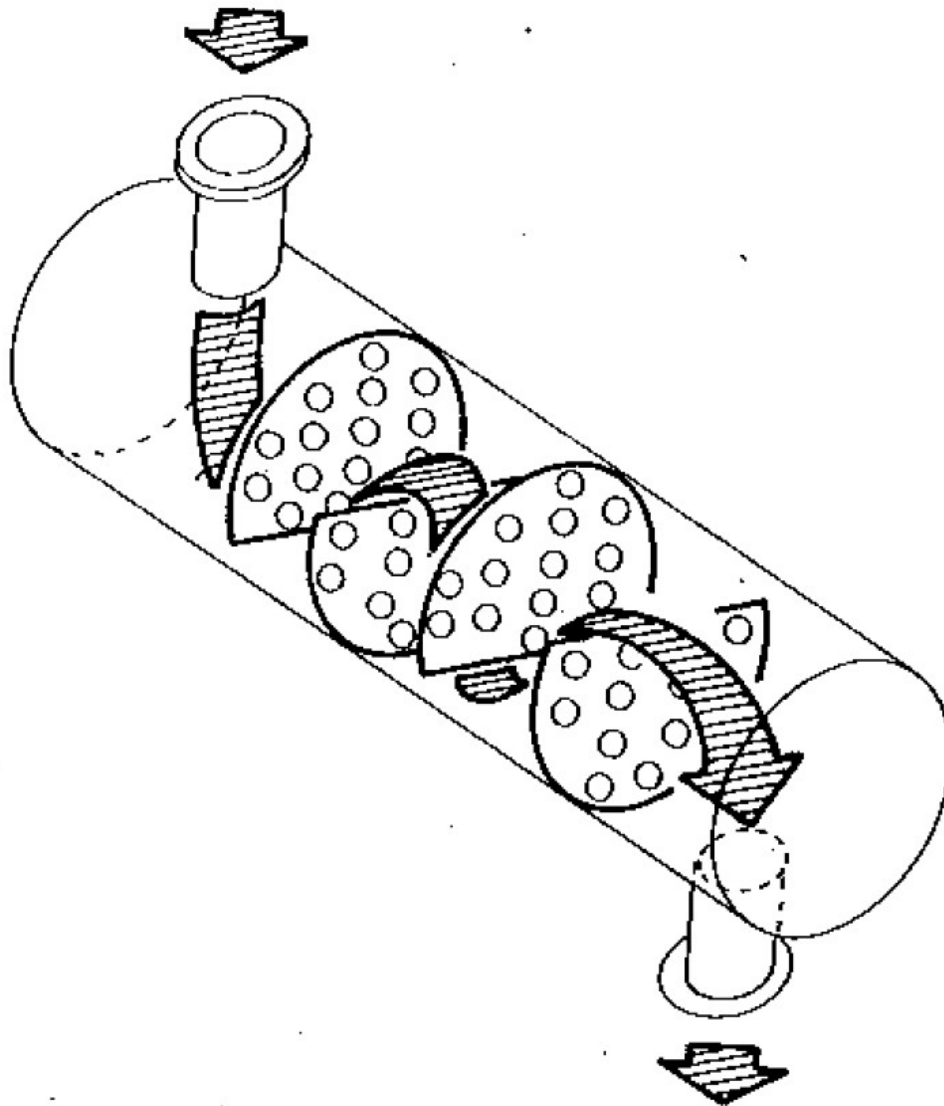
## DEFLECTORES

Tienen como función:

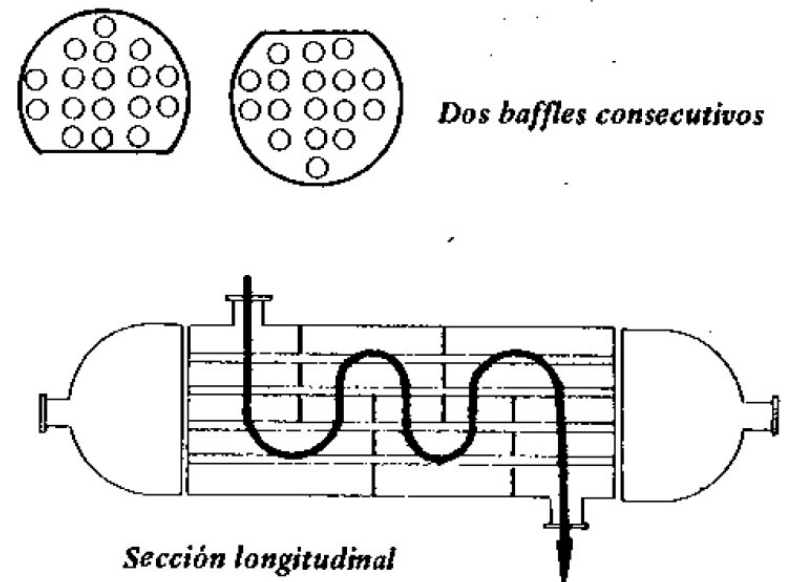
- Soportar el haz de tubos.
- Restringir la vibración de los tubos debido al movimiento del fluido.
- Canalizar el flujo por la carcaza originando turbulencia para lograr una mejor transferencia de calor.

El espaciado mínimo es el 20% o 1/5 del diámetro interno de la carcaza o 2 pulgadas. Este parámetro es importante en el diseño del intercambiador.





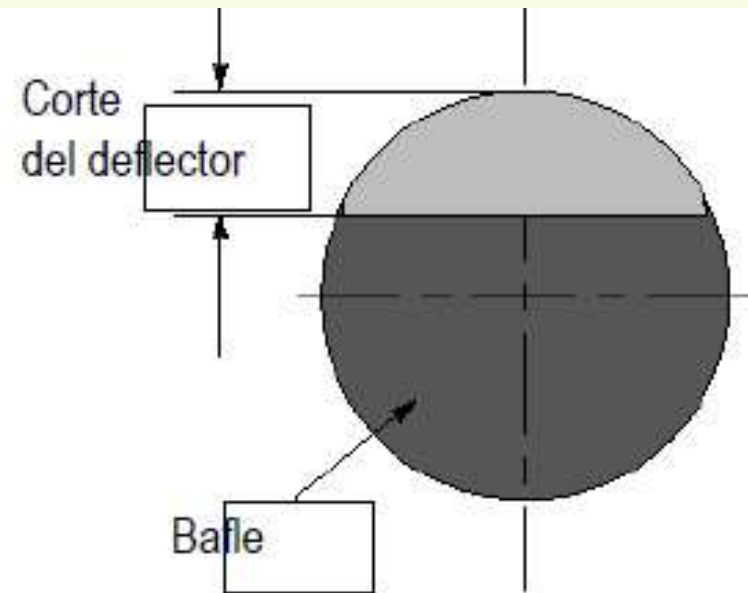
**El corte más común con el que se construyen los deflectores es el que corresponde a una segmentación del 25%**



## CORTE DEL DEFLECTOR

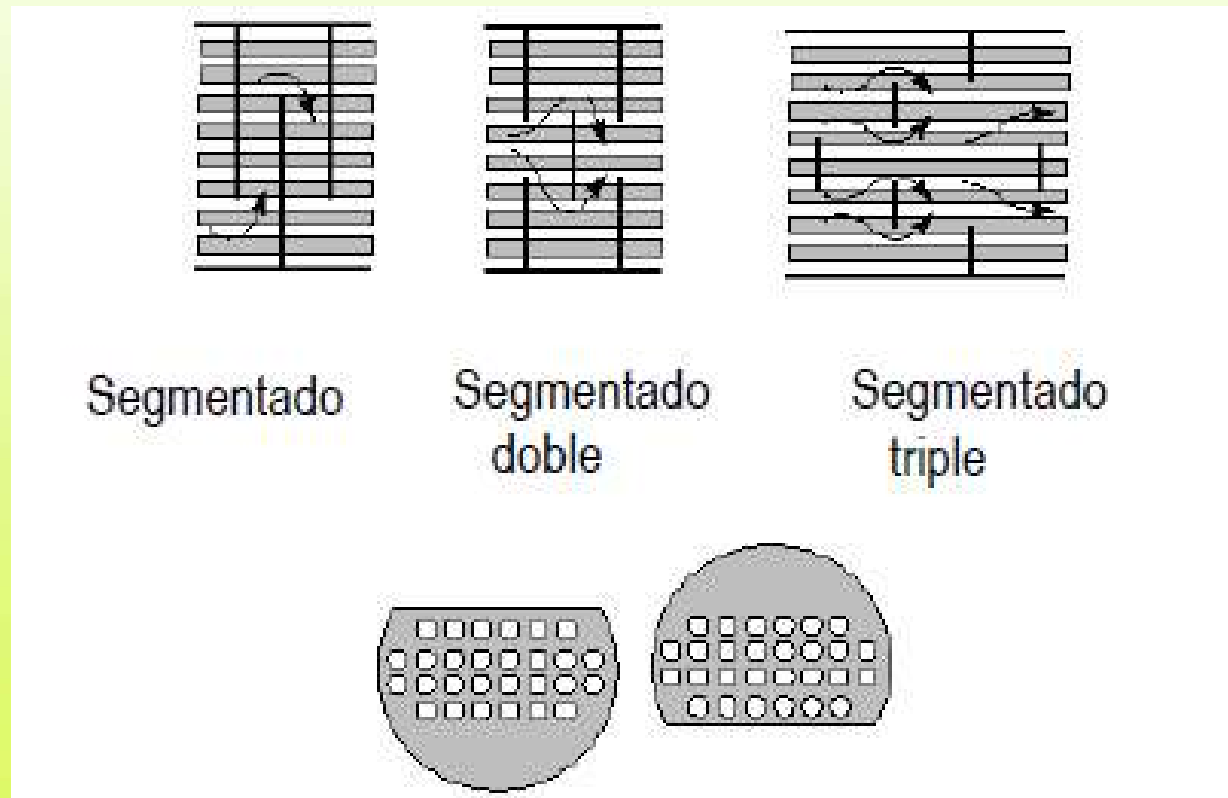
Permite el paso del fluido a través del deflector y se calcula como el cociente entre la altura del corte y el diámetro interno de la carcaza. Varía entre el 15 y 45 % del diámetro interno de la coraza. Se recomienda usar entre 20 y 35 %

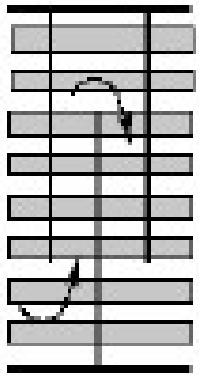
No se utilizan espaciados mayores que el diámetro de carcaza.



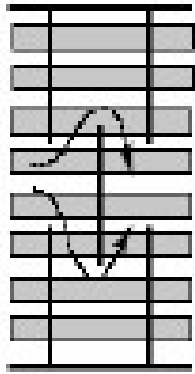
## DEFLECTORES SEGMENTADOS

Consisten en hojas de metal perforadas cuyas alturas son generalmente un 75% del diámetro interno de la carcasa.

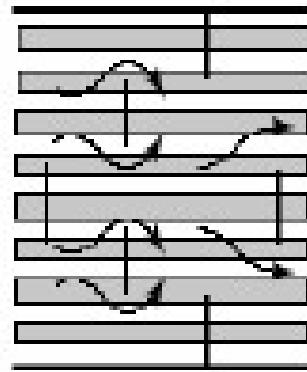




Single Segmental Baffles



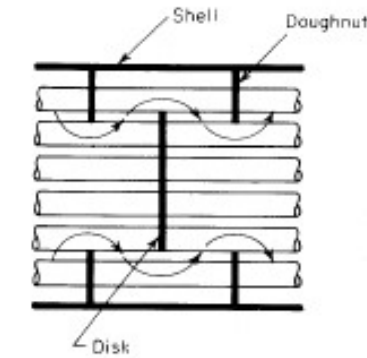
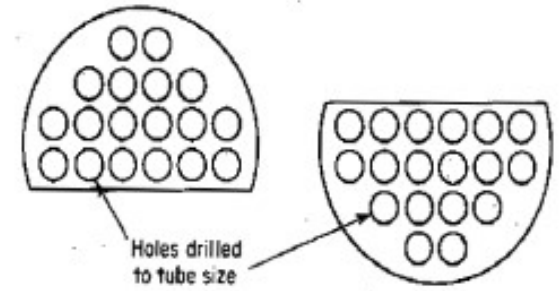
Double Segmental Baffles



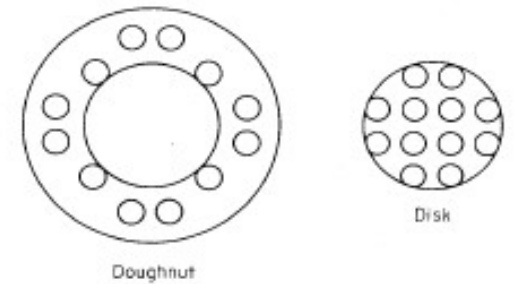
Triple Segmental Baffles



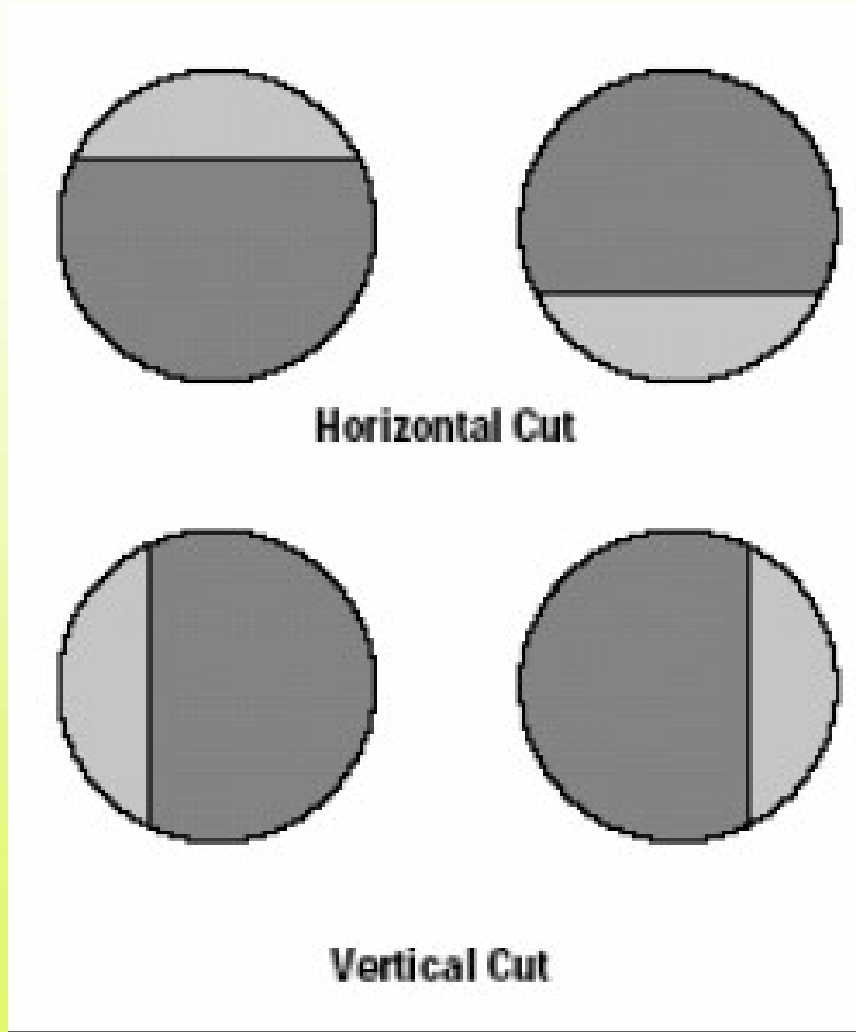
Segmental baffles.



Disk-and-doughnut baffles.







# ORIENTACIÓN



Deflectores transversales

Barras tirantes

Baffle



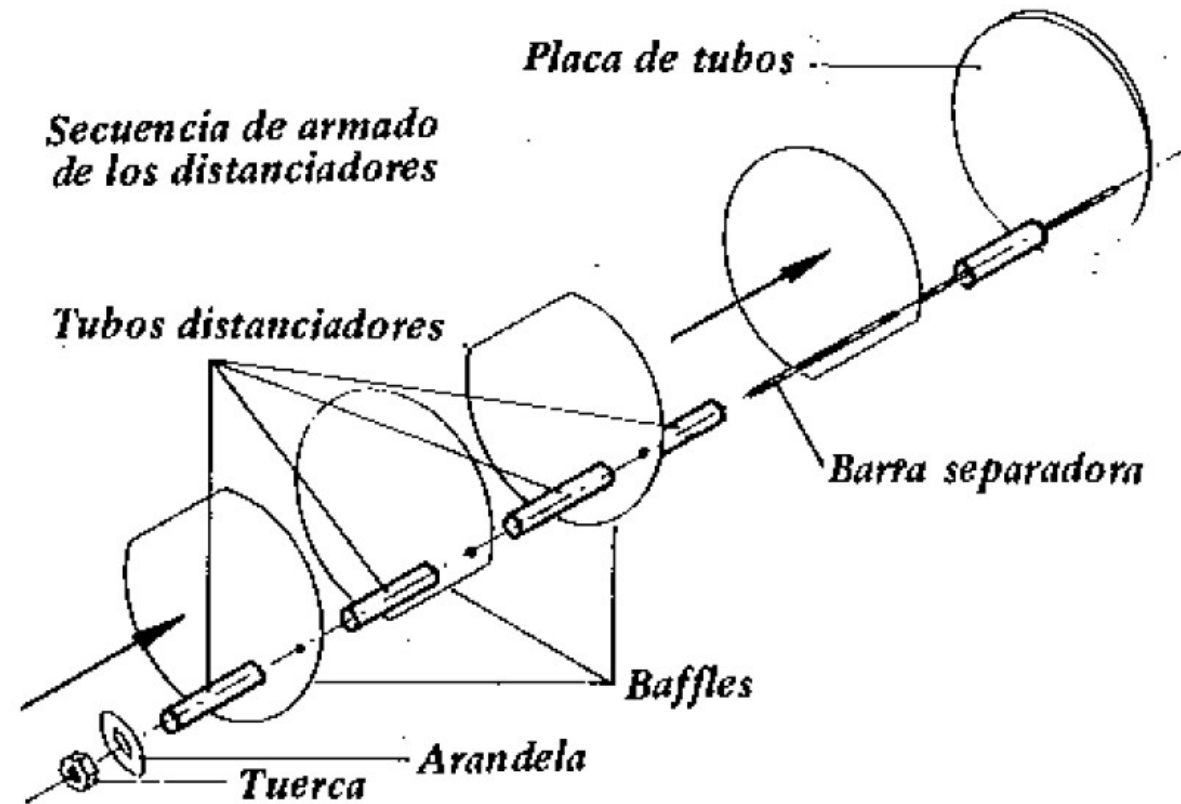
## Máxima longitud no soportada

Diámetro Externo del tubo " (mm)	Maxima Longitud no soportada (m)	
	Material del tubo y limites de temperatura (K)	
	Aceros al carbono y de alta aleación(672) Aceros de baja aleación (727) Níquel - Cobre (588) Níquel (727) Níquel - Cromo - Hierro (810)	Aluminio y sus aleaciones Cobre y sus aleaciones a la máxima temperatura admisible según el código. ASME
3/4 (19)	1,52	1,32
1 (25)	1,88	1,62
1 1/4 (32)	2,23	1,93
1 1/2 (38)	2,54	2,21
2 (50)	3,17	2,79

## BARRAS SEPARADORAS

Los deflectores deben ser mantenidos en posición firme, dado que cualquier vibración que afecte a los tubos puede desgastar la pared de los mismos y provocar inconvenientes.

Para fijar los deflectores se utilizan las barras separadoras. Estas recorren longitudinalmente el intercambiador

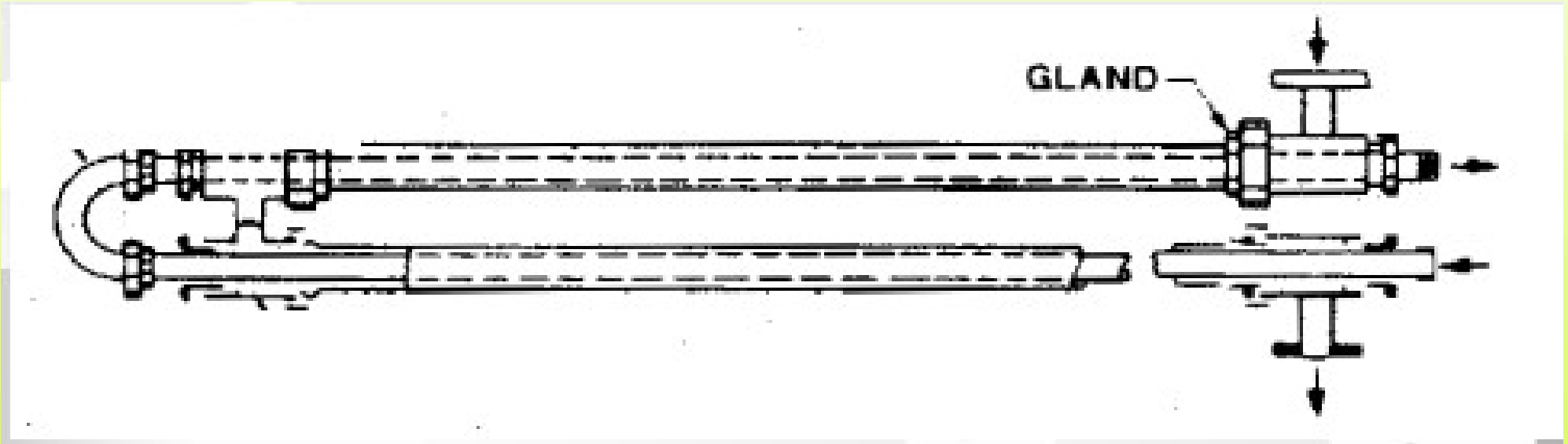


## Cantidad mínima de barras separadoras

<b>Diámetro de carcasa (m)</b>	<b>Diámetro de las barras separadoras (mm)</b>	<b>Mínimo número de barras separadoras</b>
0,20 – 0,38	10	4
0,40 – 0,68	10	6
0,70 – 0,84	12	6
0,86 – 1,22	12	8
1,24 y más	12	10

## INTERCAMBIADOR TUBO EN TUBO

- Trabajan con altas presiones.
- Compactos
- Fácilmente modificables para mantenimiento







## CRITERIOS TÉCNICOS

**Corrosión:** El fluido más corrosivo por los tubos.

**Ensuciamiento:** el fluido con mayor tendencia a la formación de depósitos en los tubos. En los tubos se puede controlar la velocidad, mayor velocidad, menor ensuciamiento.

**Temperatura:** el fluido caliente en los tubos.

**Presión:** colocar la corriente de mayor presión en los tubos. Se requieren menores elementos de alta presión.

**Caída de presión:** fluido con menor caída de presión permisible debería colocarse en los tubos.

**Viscosidad:** Mayores flujos de transferencia de calor se obtienen colocando el fluido viscoso en la carcaza.

**Características tóxicas y letales:** el fluido tóxico debe colocarse en los tubos, para minimizar fugas.

**Velocidad de flujo:** al colocar el fluido con menor flujo en la carcaza, generalmente se origina un diseño más económico.

## CAIDAS DE PRESIÓN

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	

<b>DI carcaza Plg</b>	<b>No. pasos máximo recomendado</b>
10	4
10<20	6
20<30	8
30<40	10
40<50	12
50<60	14

# BIBLIOGRAFIA

- **Transferencia de Calor** **KERN**
- **Principios de transferencia De Calor** **KREITN**
- **Catálogos de fabricantes**