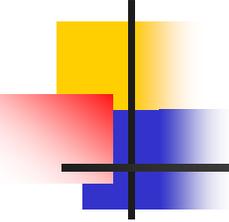


---

# INTERCAMBIADORES DE CALOR

Prof. Dosinda González-Mendizabal



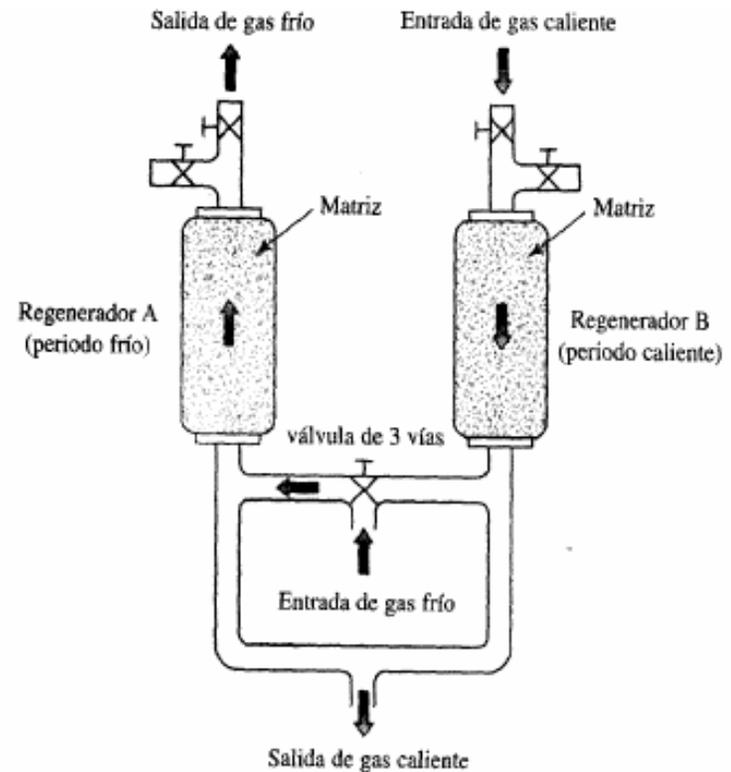
# Intercambiador

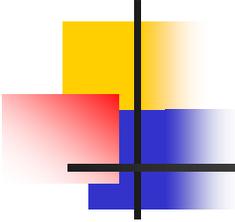
---

Equipo de transferencia de calor cuya función es cambiar la entalpía de una corriente

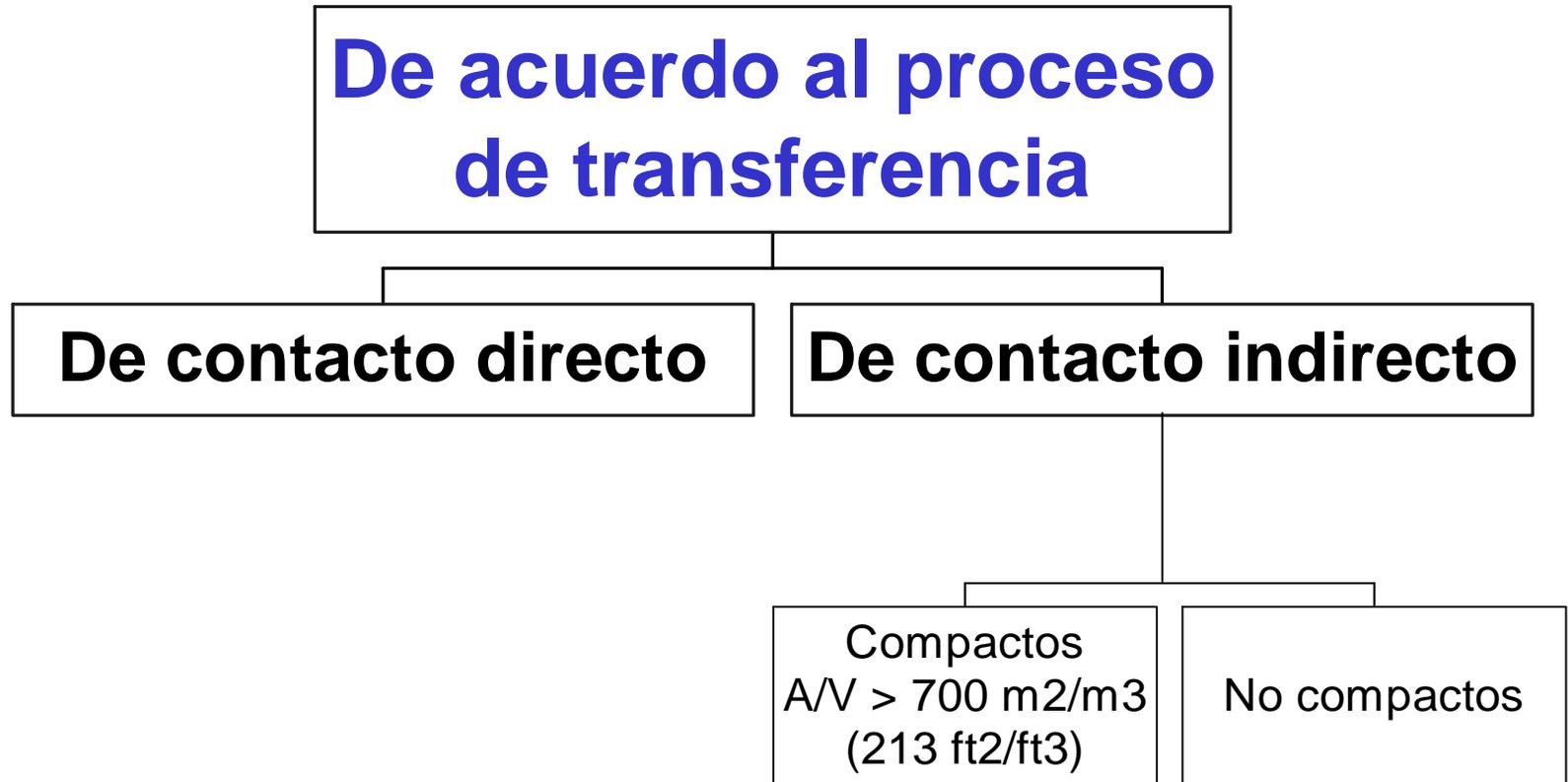
# Clasificación

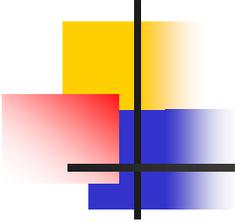
- **Recuperadores:** Los fluidos frío y caliente están separados por una pared. Mecanismos: Convección hacia y desde la pared y conducción a través de ésta.
- **Regeneradores:** Los fluidos caliente y frío ocupan el mismo espacio en el núcleo del intercambiador o matriz. Esta funciona como un almacén de calor que es calentado periódicamente por el fluido de mayor temperatura y luego transfiere ese calor a un fluido de menor temperatura.





# Clasificación





# Clasificación

De acuerdo a la disposición de los fluidos

Intercambiadores de paso único

Flujo en paralelo o cocorriente

Flujo en contracorriente o contraflujo

Flujo cruzado

Intercambiadores de pasos múltiples

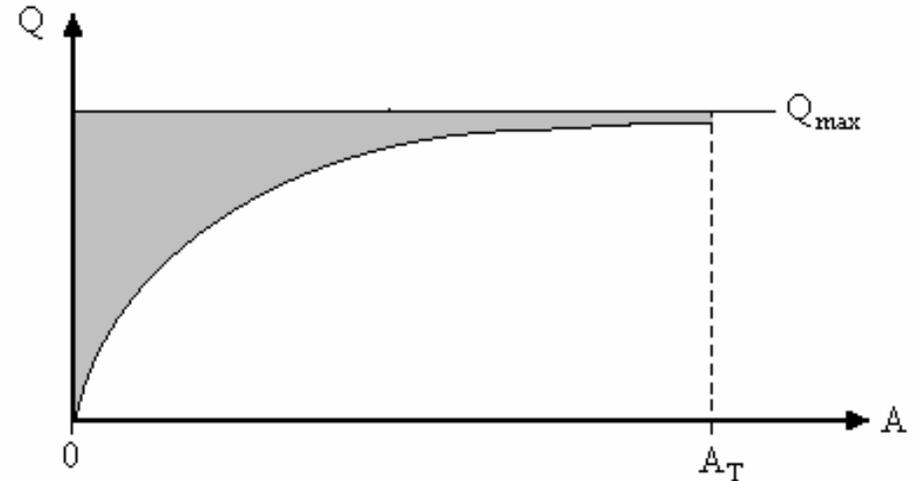
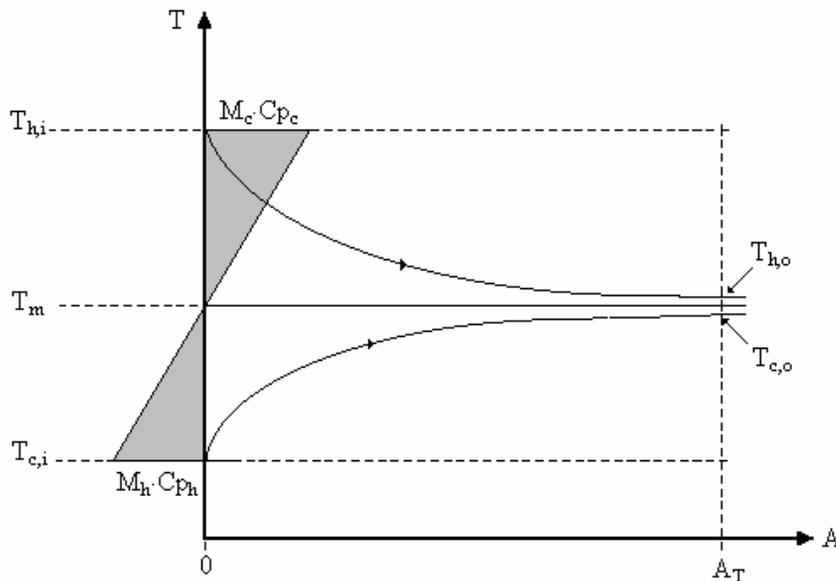
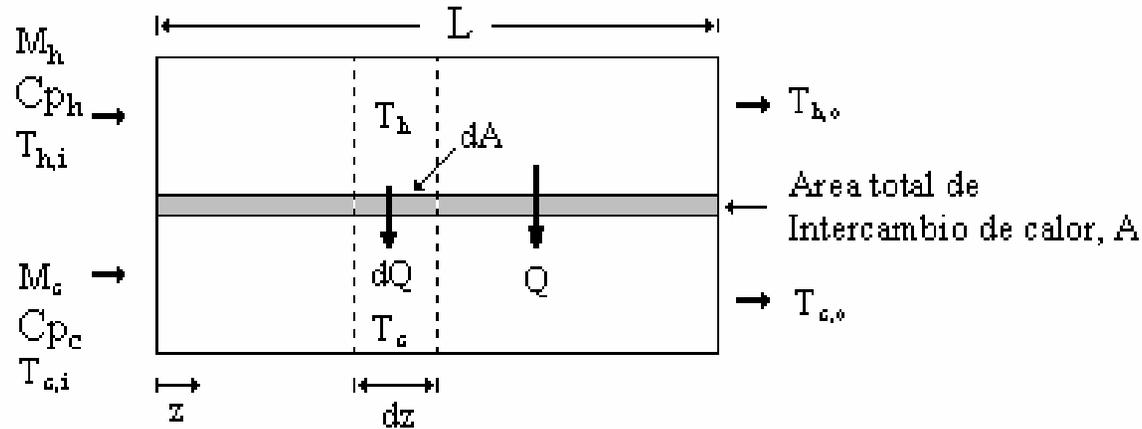
Paralelo-cruzado

Contracorriente-paralelo

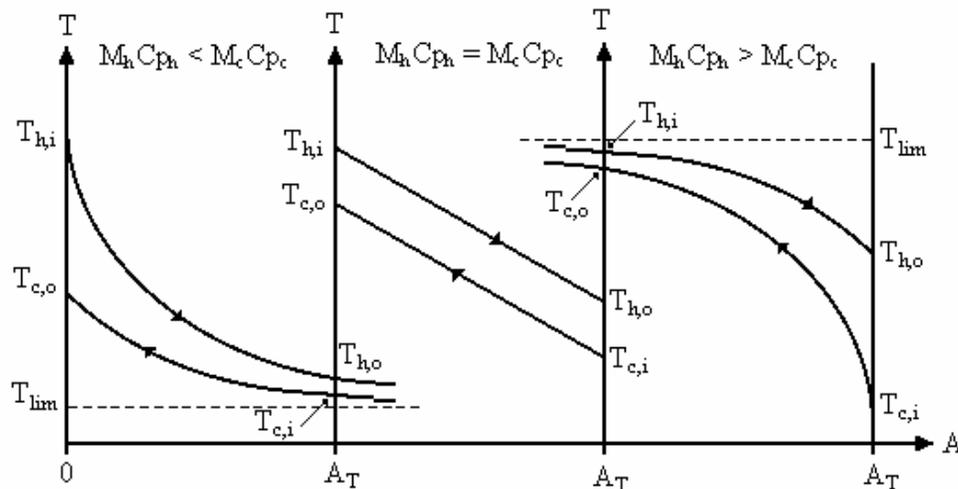
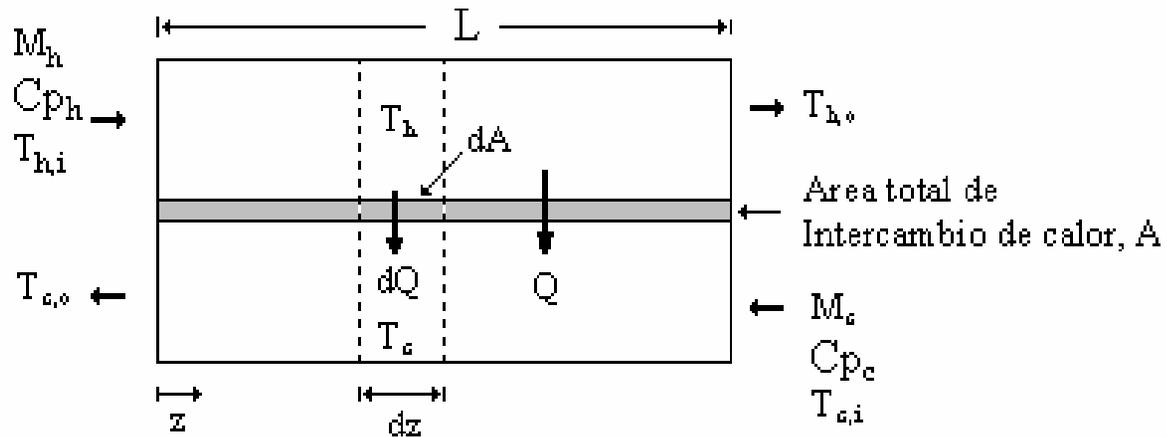
Contracorriente-cruzado

Combinaciones de los anteriores

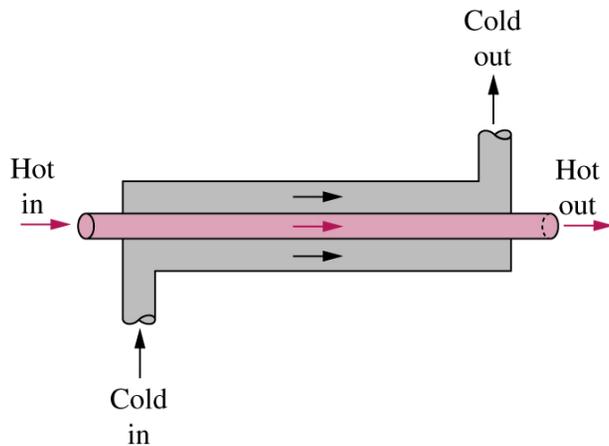
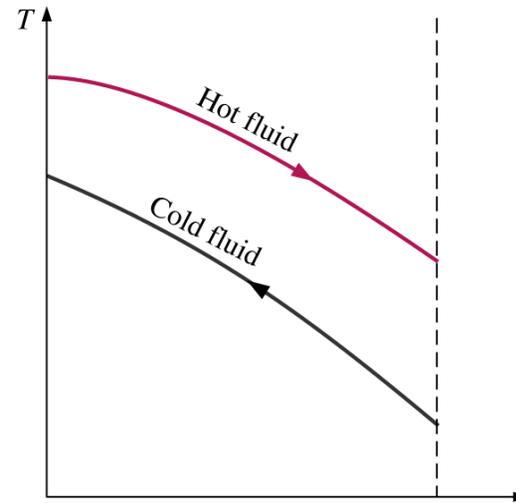
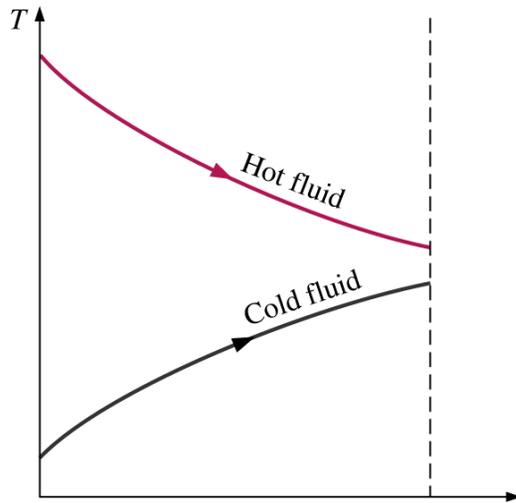
# Flujo en paralelo o cocorriente



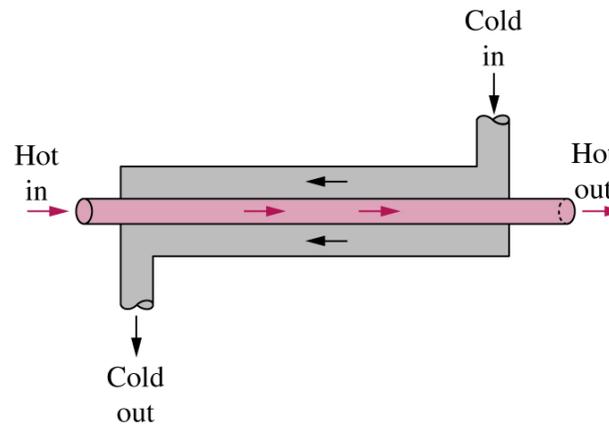
# Flujo en contracorriente o contraflujo



# Resumiendo...

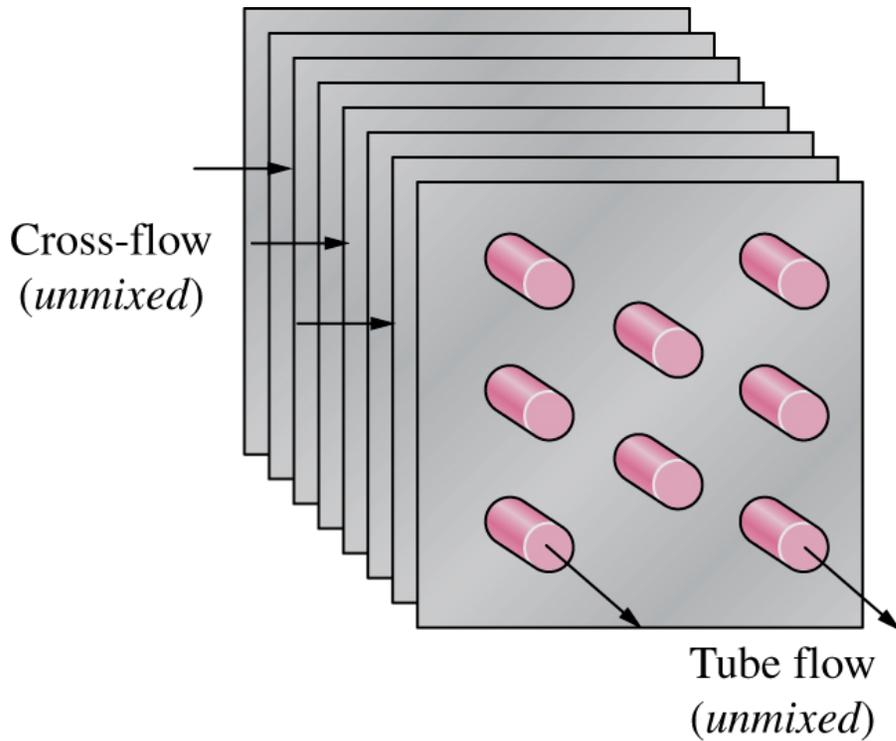


(a) Parallel flow

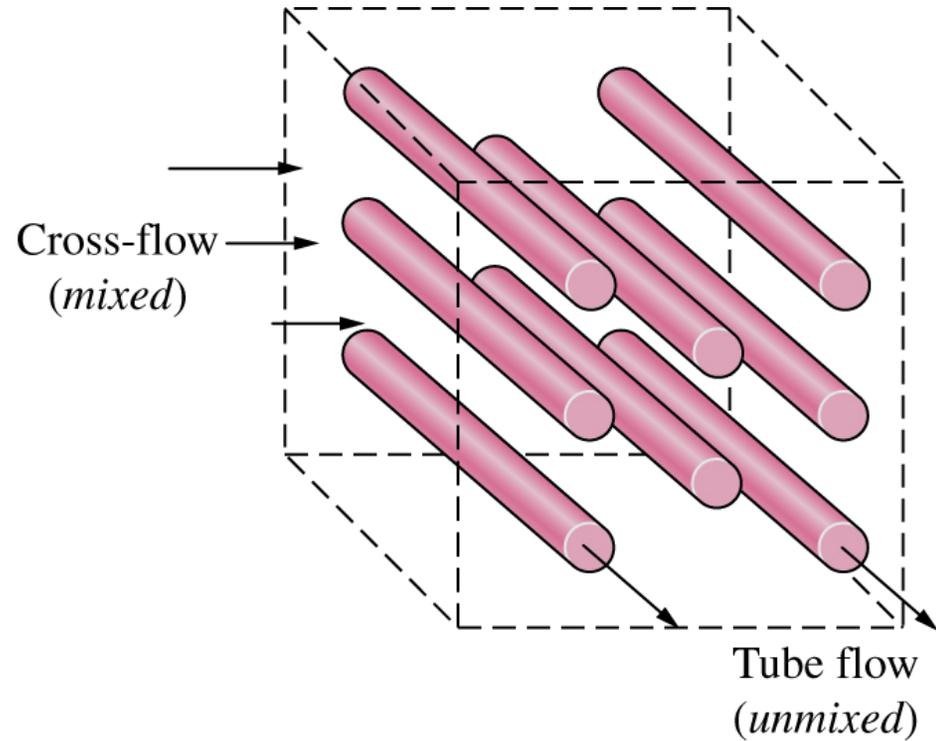


(b) Counter flow

# Flujo cruzado



(a) Both fluids unmixed



(b) One fluid mixed, one fluid unmixed

# Clasificación

**De acuerdo al tipo de construcción**

**Tubulares**

**Doble tubo**

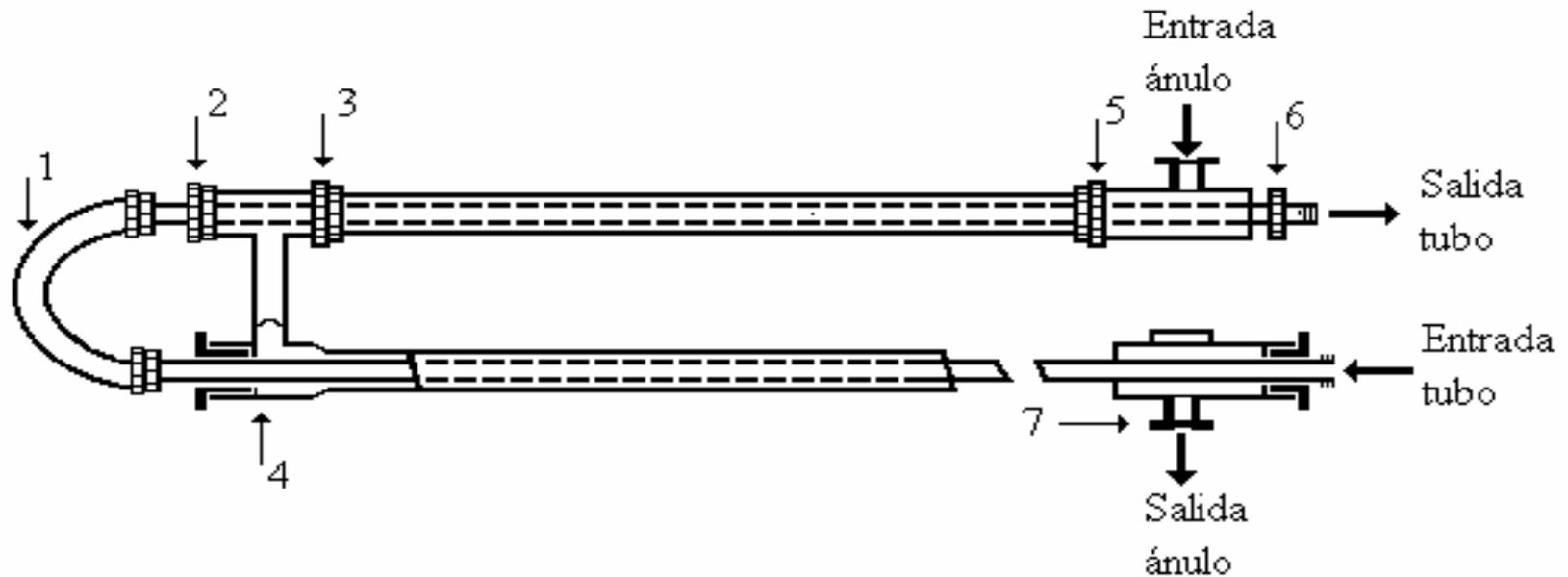
**Tubo y coraza**

**Flujo cruzado**

**Placas (PHE)**

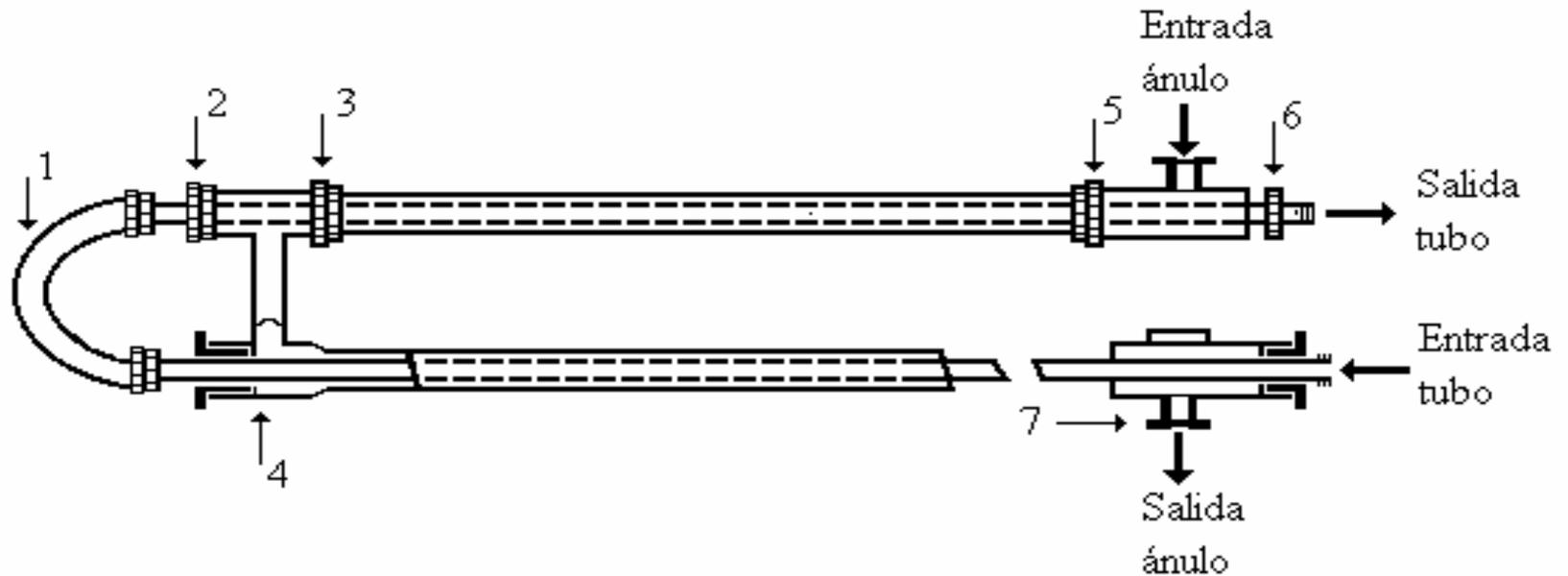
**Espiral (SHE)**

# Intercambiador de doble tubo



- Se fabrican con partes estándar:
  - 1: Codo; 2, 3, 5 y 6: Prensa estopa
  - 4: Cabezal de retorno; 7: "Te"
- Se ensamblan en longitudes efectivas de 12, 15 ó 20 ft
- Se emplean para áreas de transferencia:  $A < 100-200 \text{ ft}^2$

# Intercambiador de doble tubo



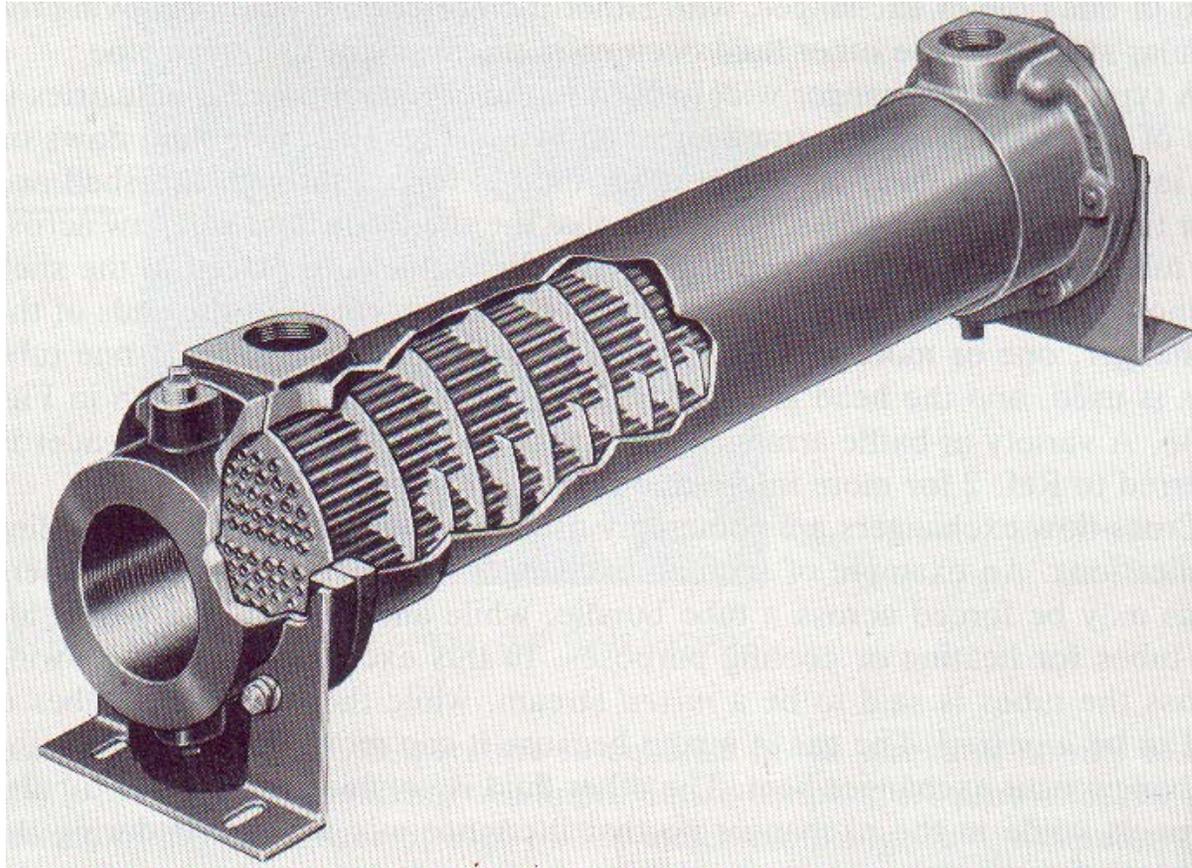
Conexiones típicas para intercambiadores de doble tubo

Tubo exterior, IPS	Tubo interior, IPS
2	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
3	2
4	3

# Intercambiador de doble tubo

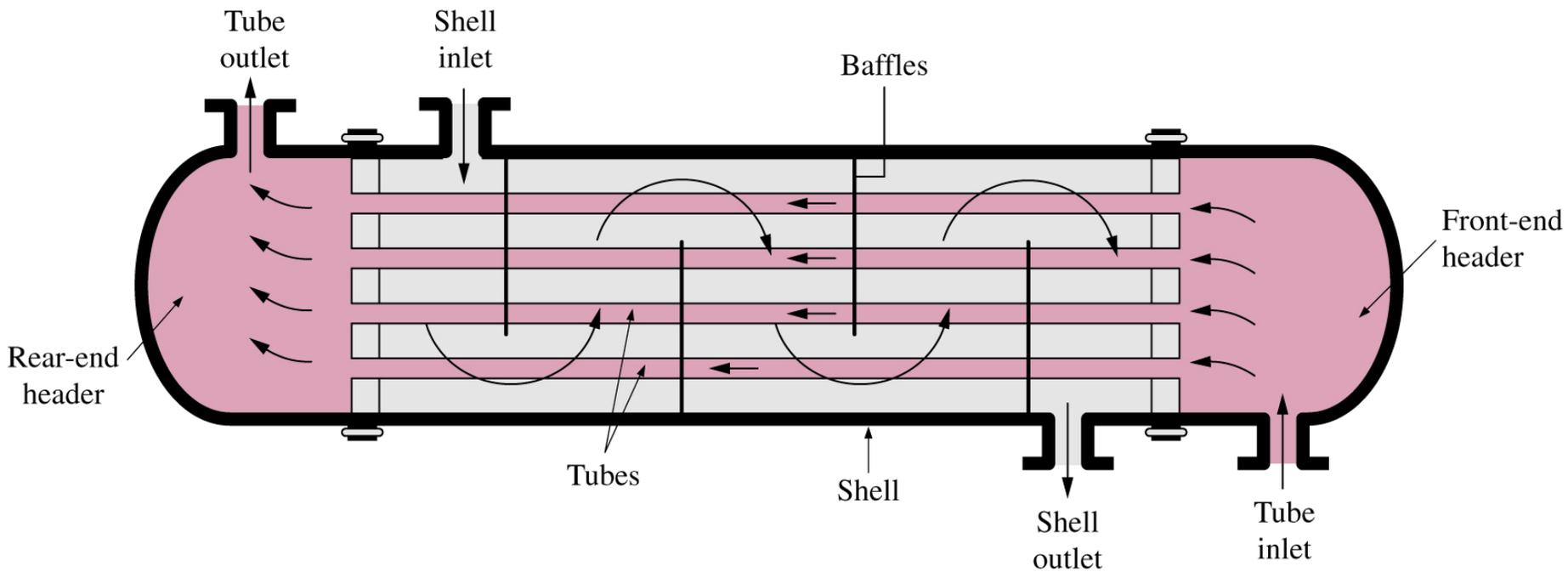


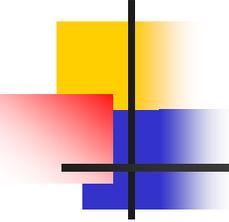
# Intercambiador de tubo y coraza



**Normas:** TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association)  
BS 3274 (British Standard)

# Intercambiador de tubo y coraza





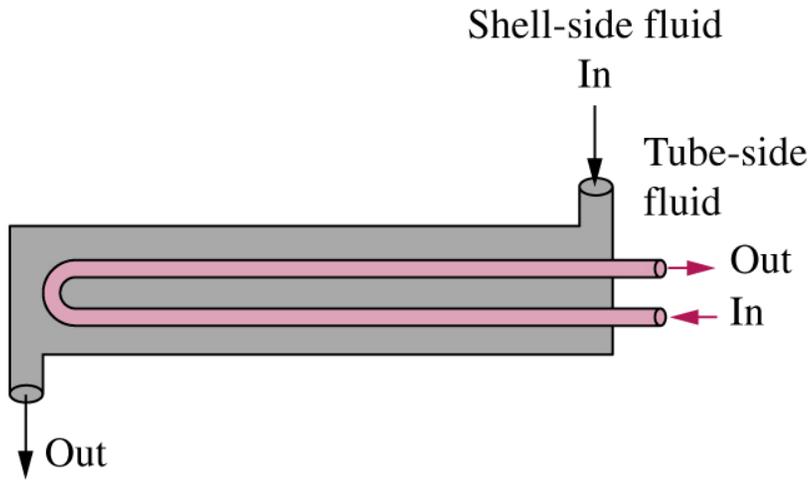
# Intercambiador de tubo y coraza

---

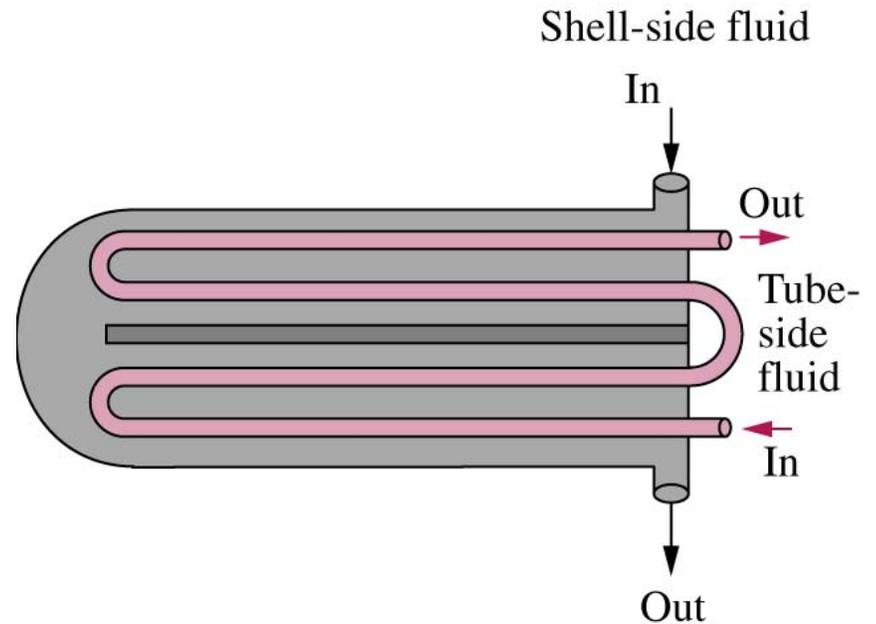
## Ventajas

- La configuración tubo y coraza proporciona una relación área/volumen favorable.
- Buena disposición mecánica. Soporta elevadas presiones simplemente empleando tubos y carcazas de mayores espesores.
- Medidas de fabricación estándar.
- Técnicas de diseño bien establecidas.
- Gran variedad de materiales de construcción.
- Relativamente fácil de limpiar.

# Intercambiador de tubo y coraza

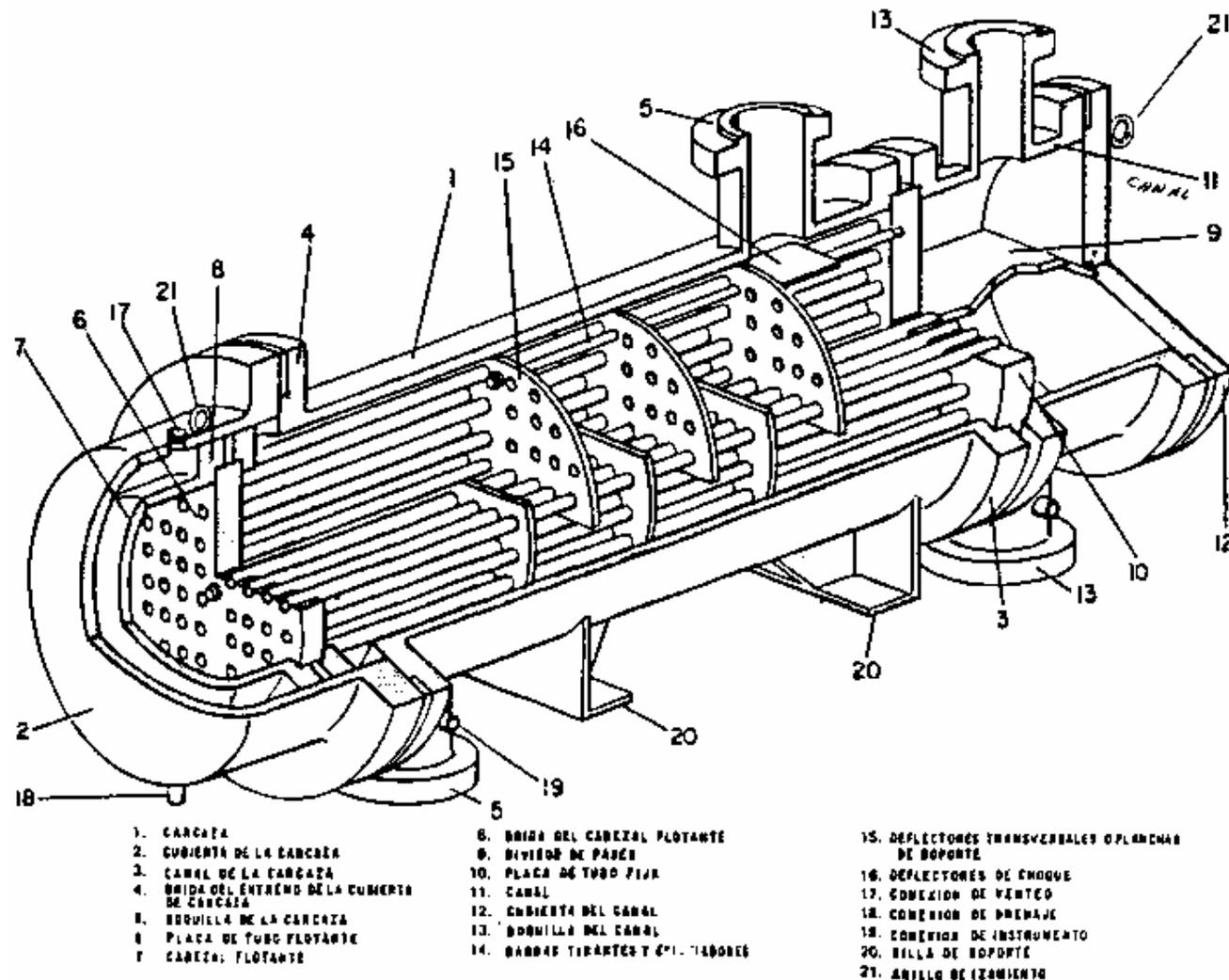


(a) One-shell pass and two-tube passes

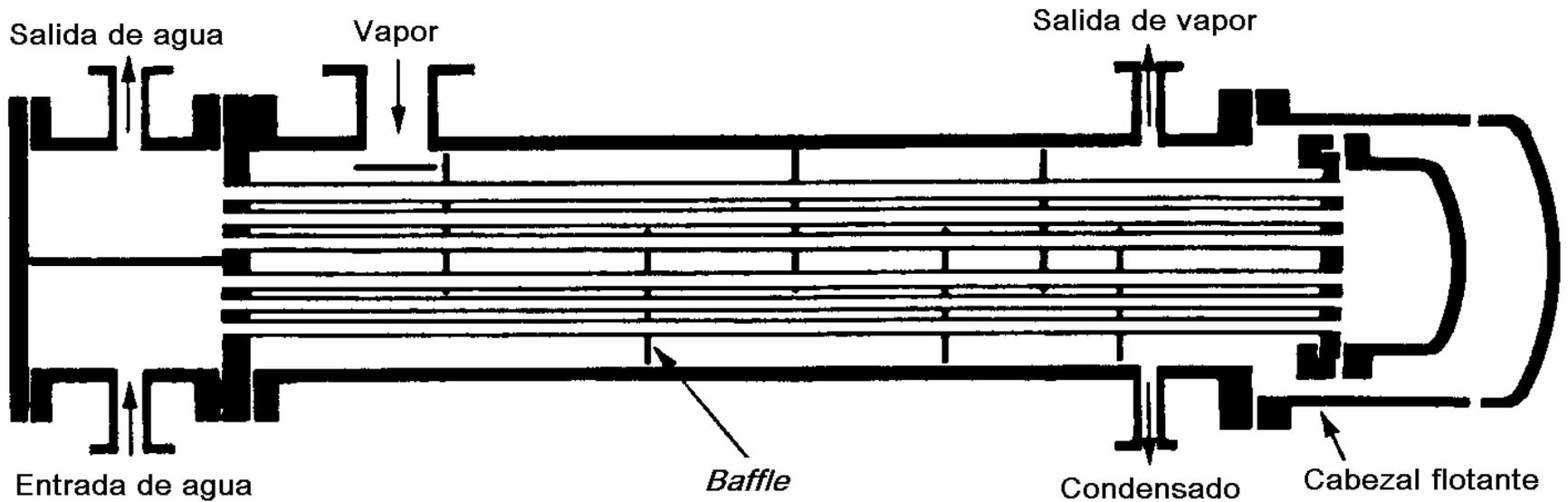


(b) Two-shell passes and four-tube passes

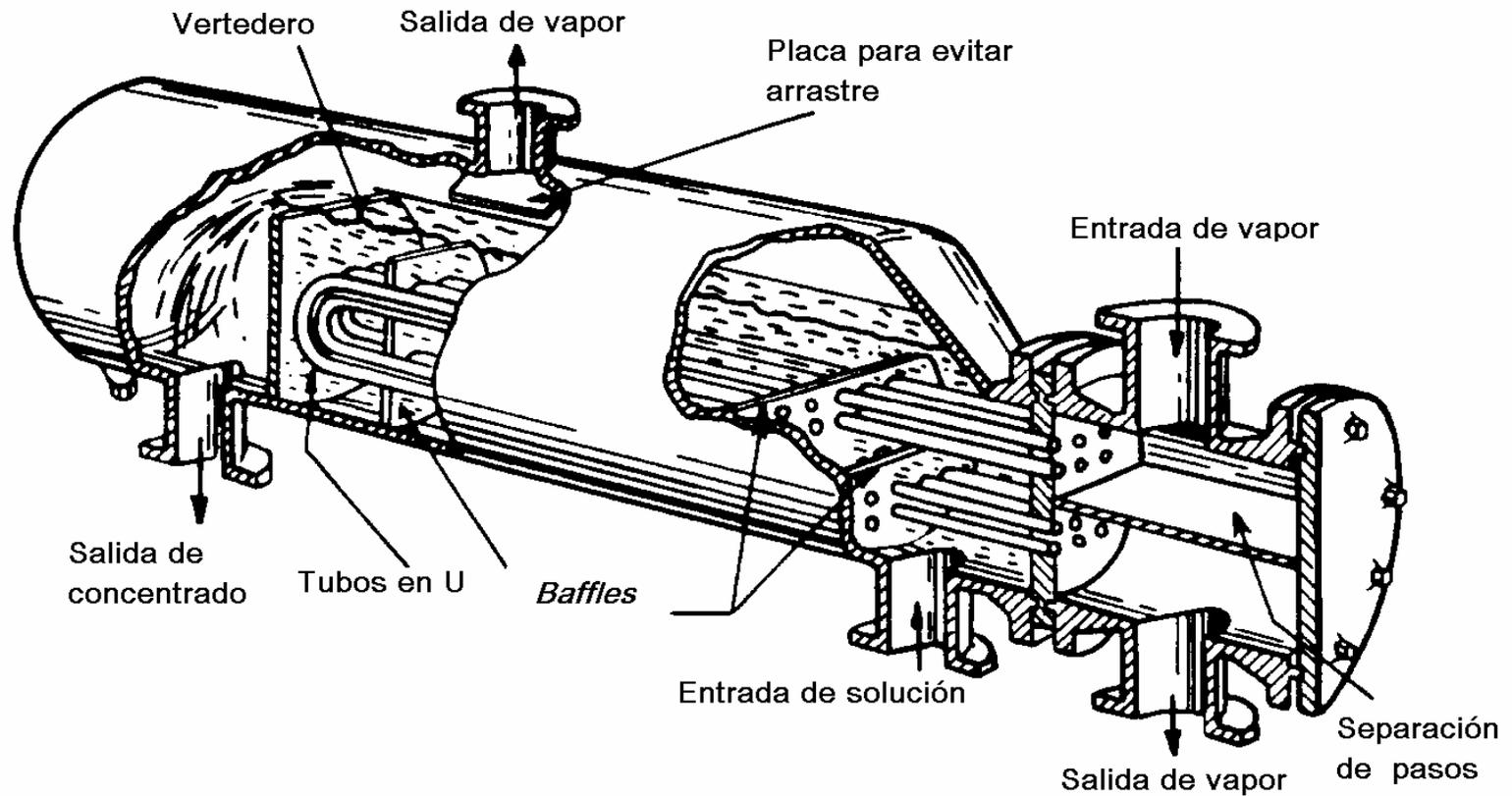
# Intercambiador de tubo y coraza



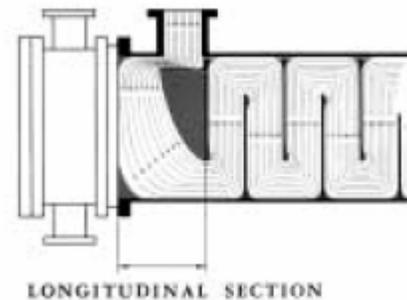
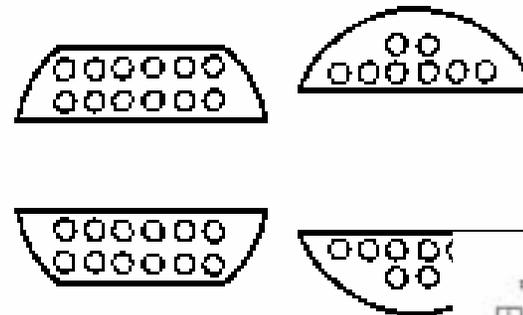
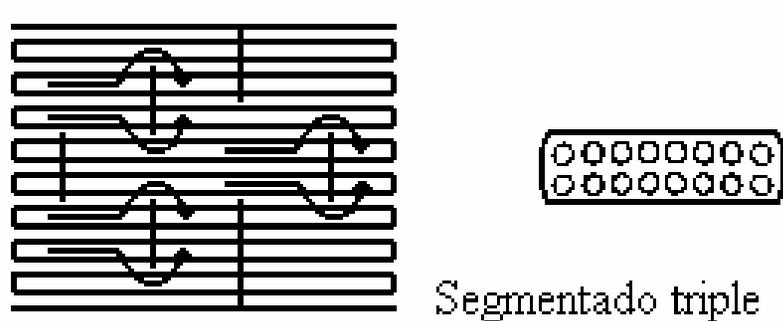
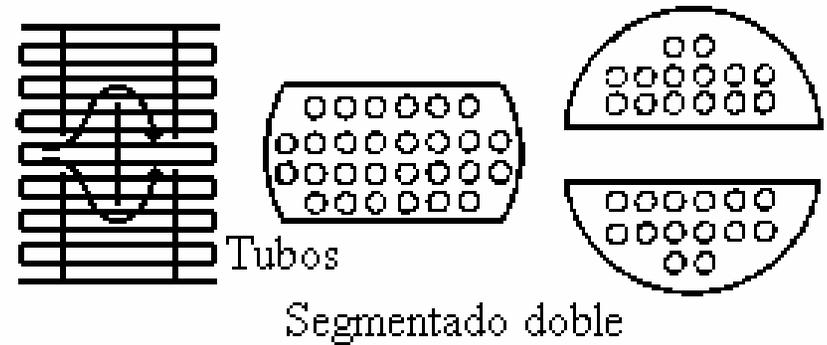
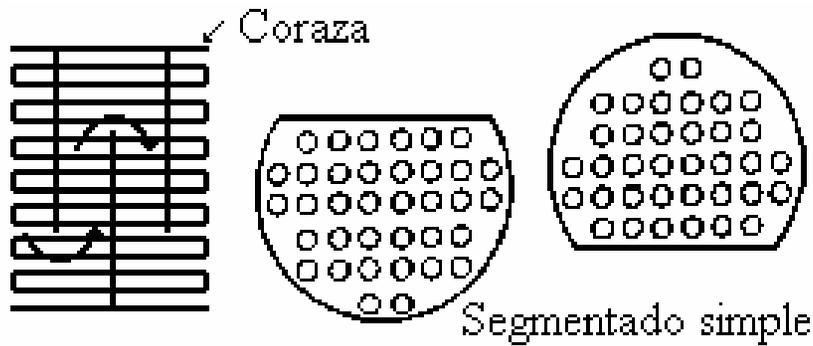
# Cabezal flotante



# Cabezal de tubos en U



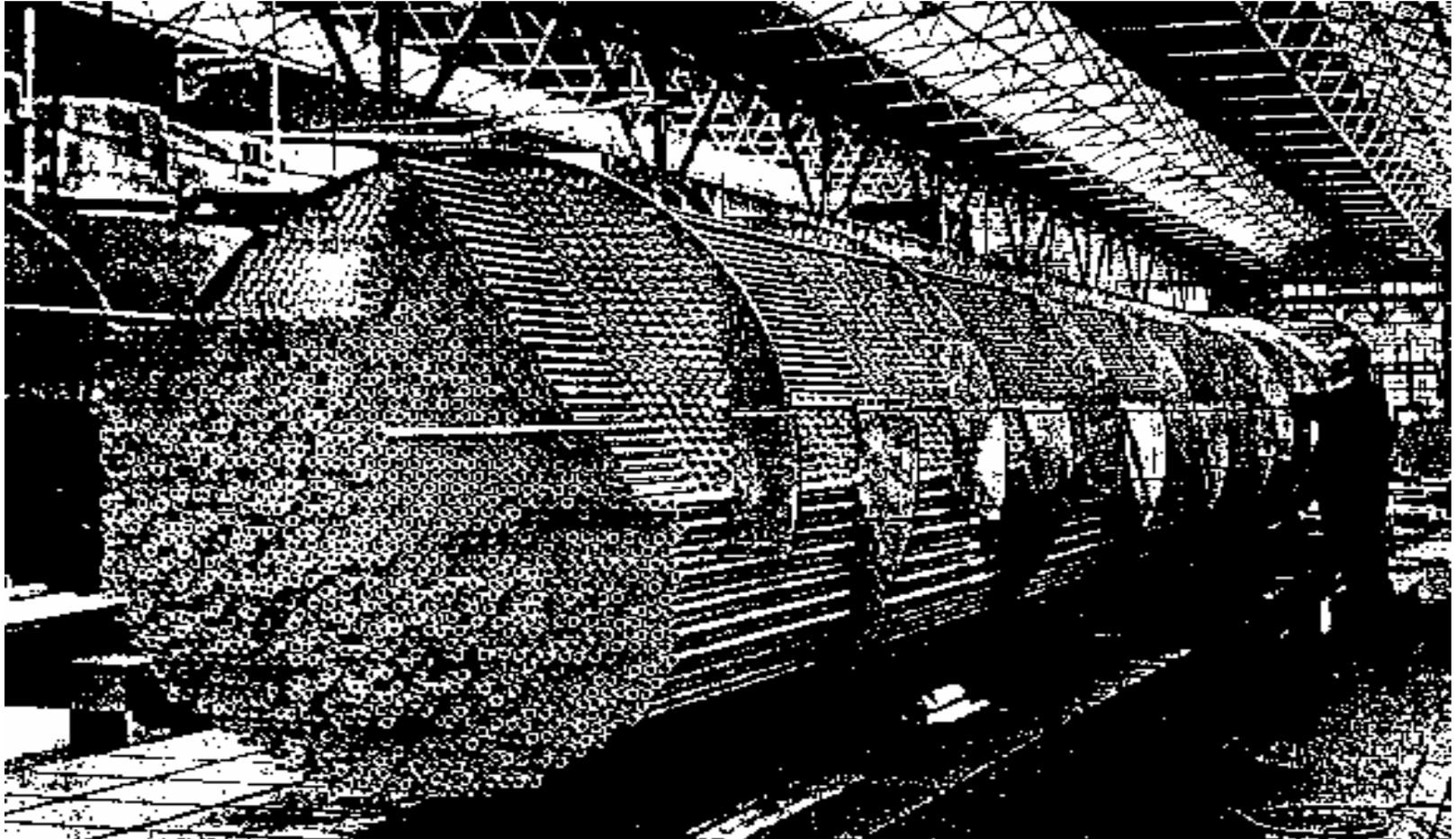
# Deflectores o *Baffles*



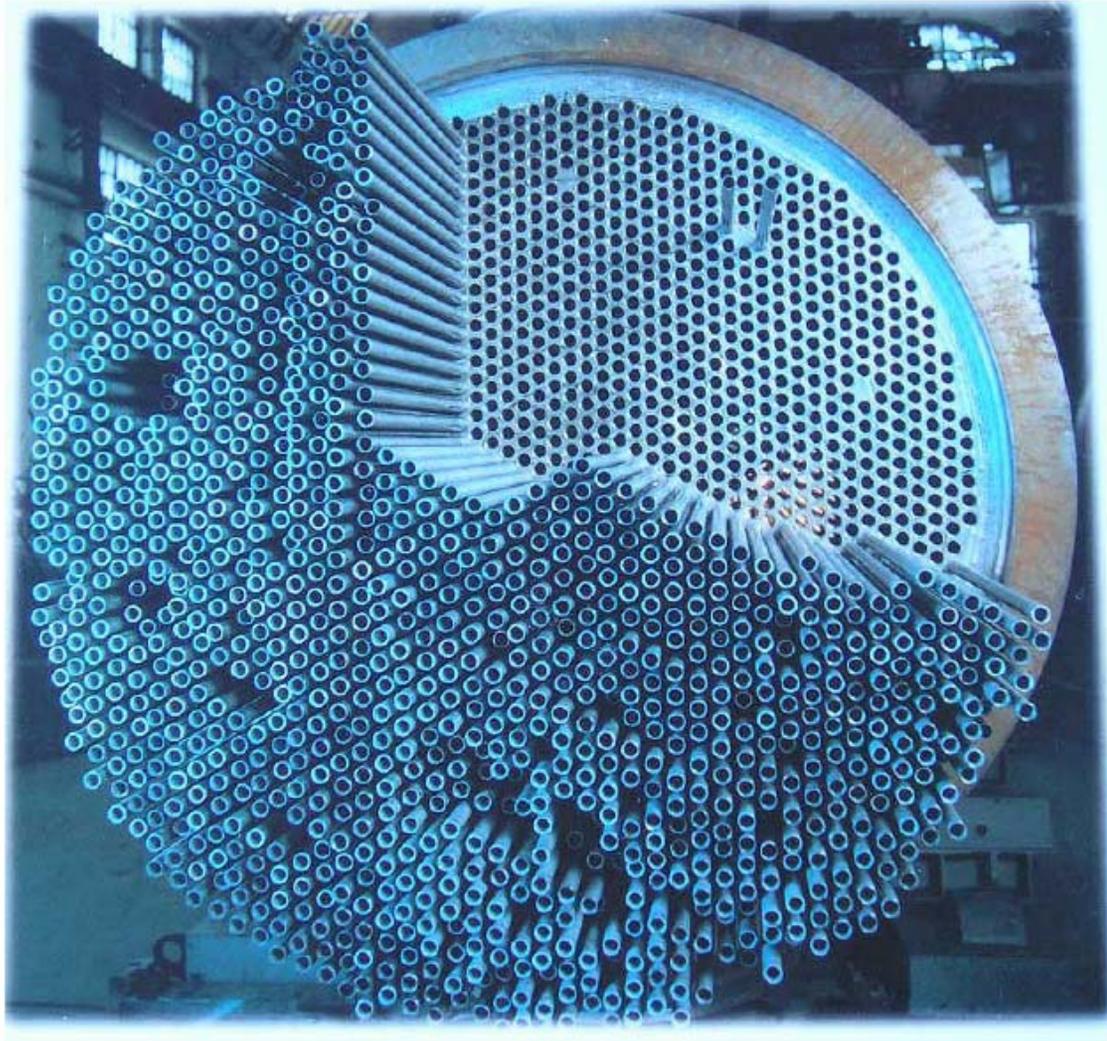
# Limpieza mecánica



# Entubamiento



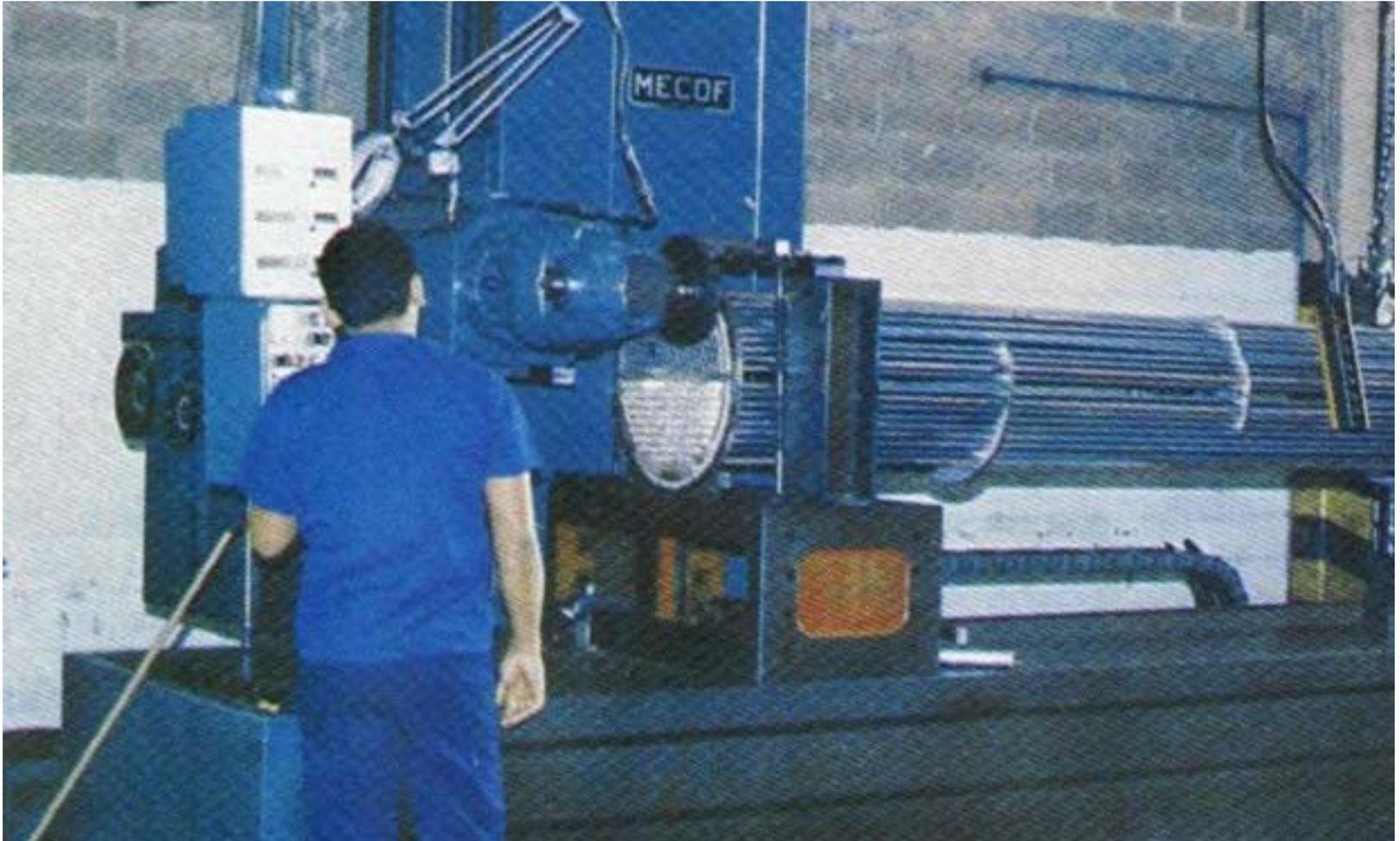
# Entubamiento



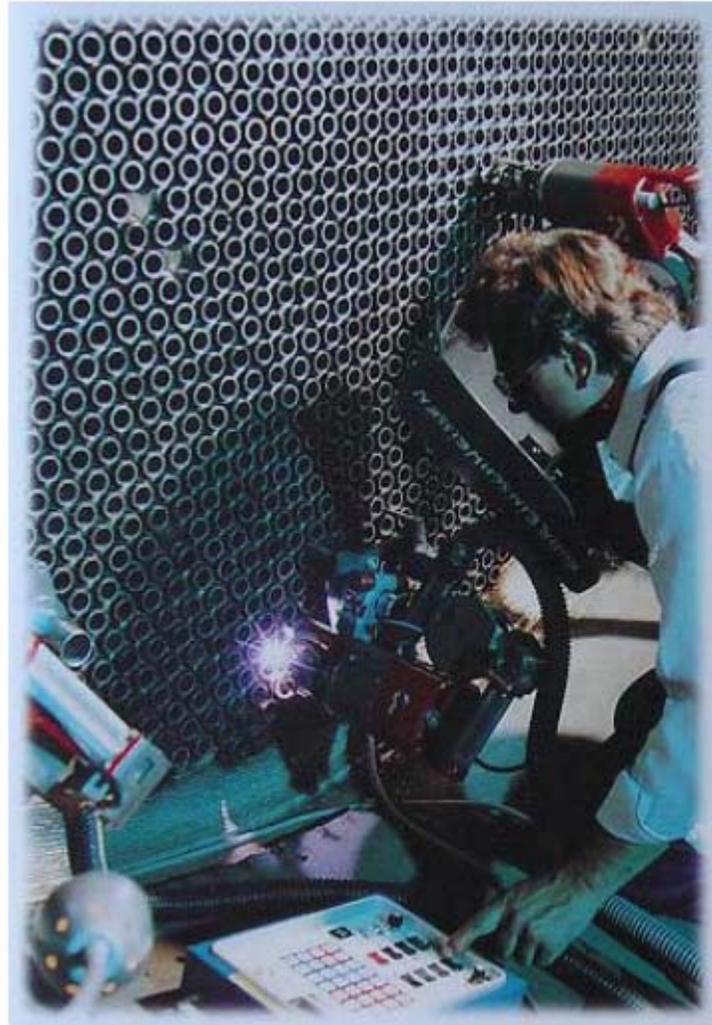
# Entubamiento



# Entubamiento



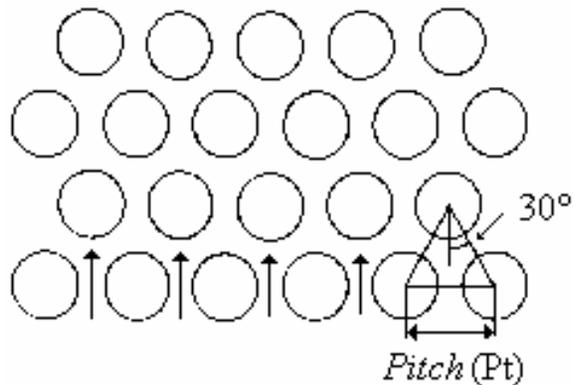
# Placa de tubos



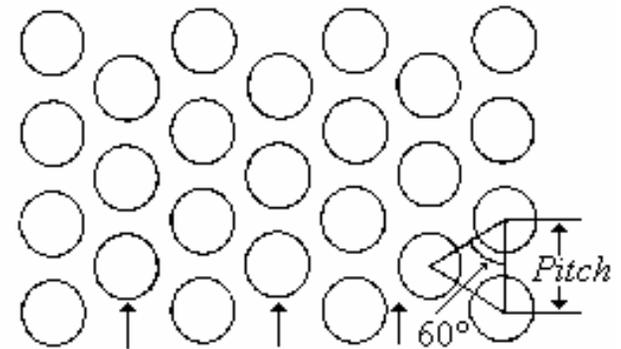
# Catálogo de tubos

$d_e$ , in	BWG	$\epsilon$ , in	$d_i$ , in	$A_F$ , in <sup>2</sup> /tubo	$A_{S,O}$ , ft <sup>2</sup> /ft <sub>lineal</sub> al	$A_{S,i}$ , ft <sup>2</sup> /ft <sub>lineal</sub>	W lb/ft <sub>lineal</sub>
3/4	10	0,134	0,482	0,182	0,1963	0,1263	0,965
	11	0,120	0,510	0,204		0,1335	0,884
	12	0,109	0,532	0,223		0,1393	0,817
	13	0,095	0,560	0,247		0,1466	0,727
	14	0,083	0,584	0,268		0,1529	0,647
	15	0,072	0,606	0,289		0,1587	0,571
	16	0,065	0,620	0,302		0,1623	0,520
1	8	0,165	0,670	0,355	0,2618	0,1754	1,61
	9	0,148	0,704	0,389		0,1843	1,47
	10	0,134	0,732	0,421		0,1916	1,36
	11	0,120	0,760	0,455		0,1990	1,23
	12	0,109	0,782	0,479		0,2048	1,14
	13	0,095	0,810	0,515		0,2121	1,00

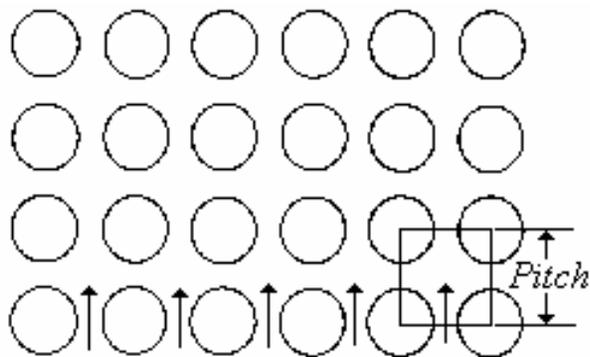
# Arreglo de los tubos



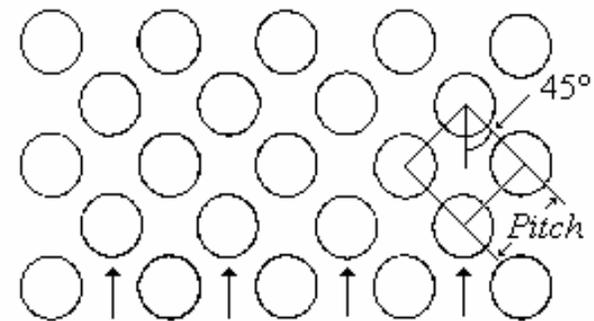
Triangular



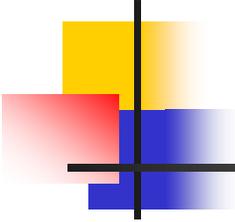
Triangular rotado



Cuadrado



Cuadrado rotado



# Arreglo de los tubos

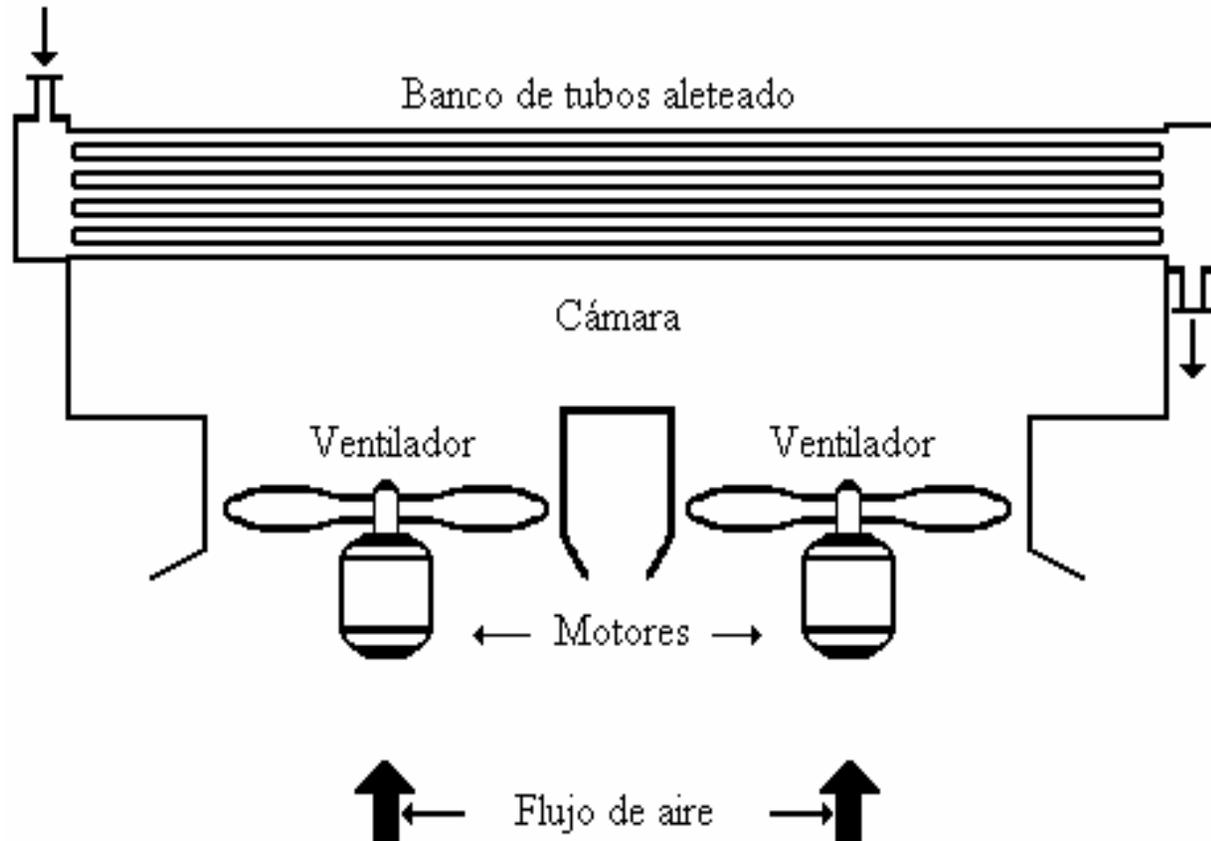
<b>Tipo de arreglo</b>	<b>Angulo del arreglo</b>	<b>Características del fluido de la carcaza</b>	<b>Aplicaciones</b>
Triangular	30 °	Limpio	Es el arreglo preferido para factores de incrustación inferiores a $0,002 \text{ ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}/\text{BTU}$ en cualquier régimen de flujo.
Triangular rotado	60 °	Limpio	Raramente se usa por las altas caídas de presión que origina
Cuadrado	90 °	Sucio	Se utiliza con flujo turbulento y cuando la limpieza mecánica es crítica.
Cuadrado rotado	45 °	Sucio	Se prefiere cuando existe flujo laminar y la limpieza mecánica es crítica.

# Conteo de tubos

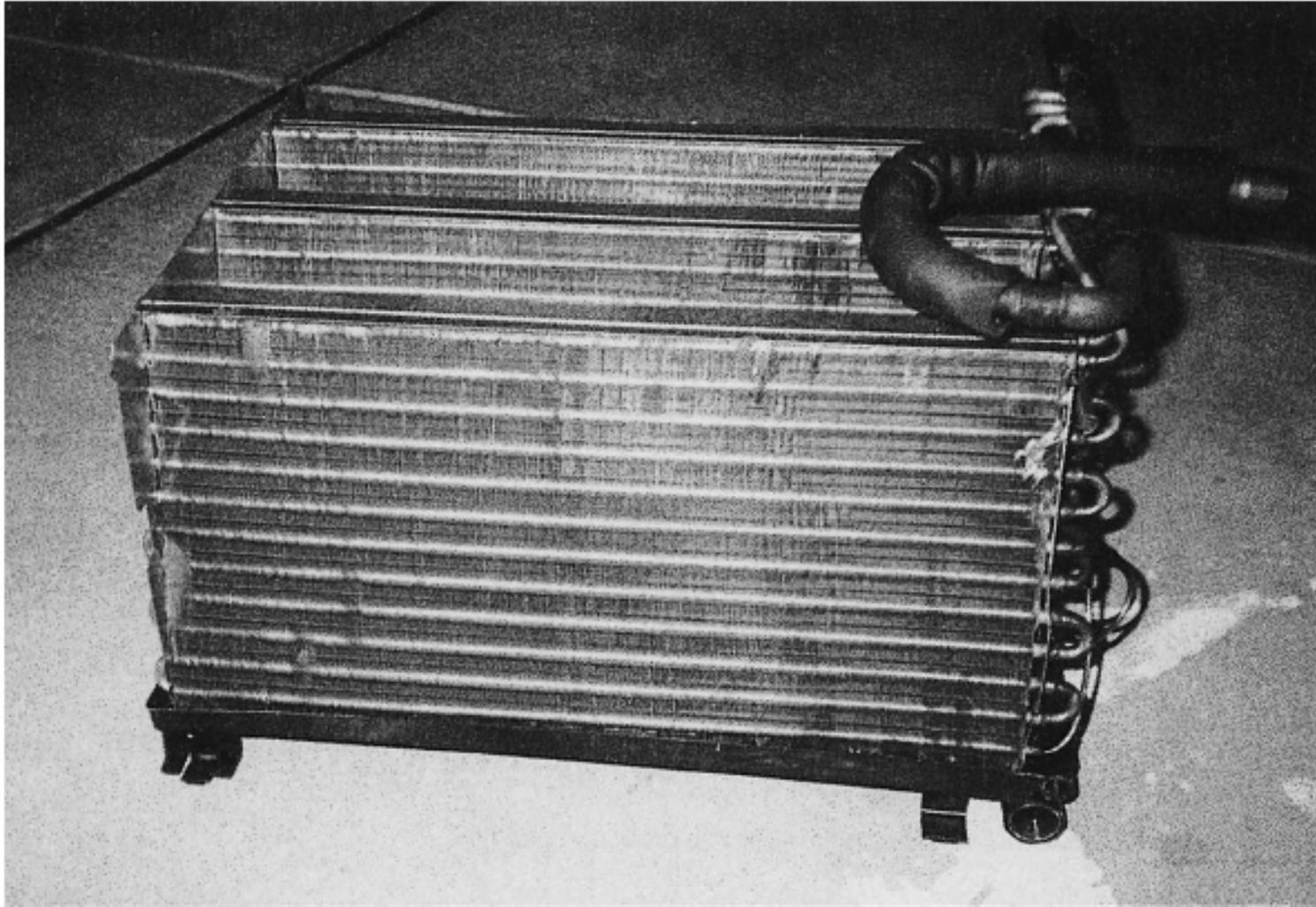
$d_e = 0,75$  in. Arreglo **triangular**, *pitch*: **1,0000** in.

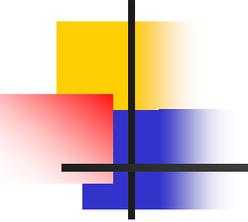
Coraza  $D_c$ ,  in	Cabezal Fijo				Cabezal flotante				Tubos en U		
	Número de pasos				Número de pasos				Número de pasos		
	1	2	4	8	1	2	4	8	2	4	8
10,00	69	60	56	44	55	48	44	32	24	20	12
12,00	103	96	88	80	85	78	72	60	38	36	32
13,25	134	122	112	96	109	106	92	80	49	46	40
15,25	177	166	156	132	151	148	132	104	71	66	52
17,25	229	220	208	184	204	192	176	164	94	90	80
19,25	283	272	260	248	260	250	228	212	120	114	110
21,25	350	334	324	300	322	310	292	268	149	142	132
23,25	425	406	392	364	394	382	364	336	183	176	162

# Intercambiadores Enfriados por Aire (ACHE's: *Air-Cooler Heat Exchangers*)



# Intercambiadores Enfriados por Aire





## Ventajas

- El aire se consigue libremente.
- No restringe la localización de la planta.
- Poco corrosivo.
- Limpio.
- Costos operativos bajos, dado que  $\Delta P$  0,5 – 1 in H<sub>2</sub>O
- Baja probabilidad de que se contamine con la corriente de proceso.
- Costos de mantenimiento 20 – 30% menores que para los *water-coolers*.

## Desventajas

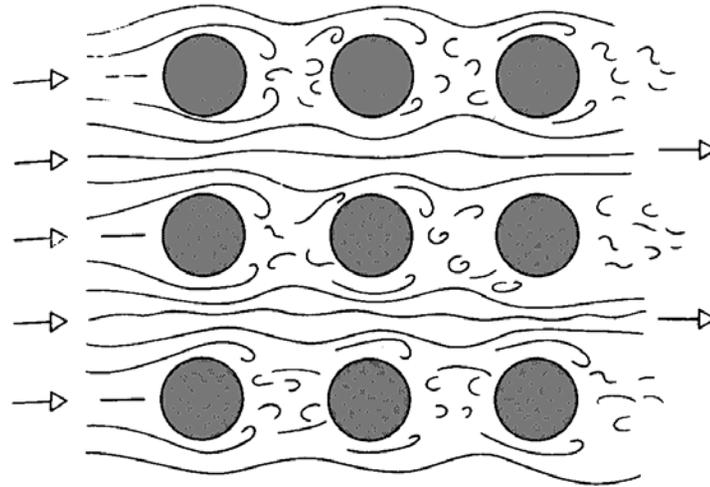
- No puede emplearse en enfriamientos a bajas T.
- Problemas estacionales.
- Equipos muy grandes por bajas propiedades térmicas del aire.
- Inversión inicial unas 3 veces mayor a los *water-coolers*.
- Contaminación térmica y sónica.
- Requieren tecnología especializada: tubos aleteados.

# Flujo cruzado

Arreglo  
alineado



$T_{c,i}$

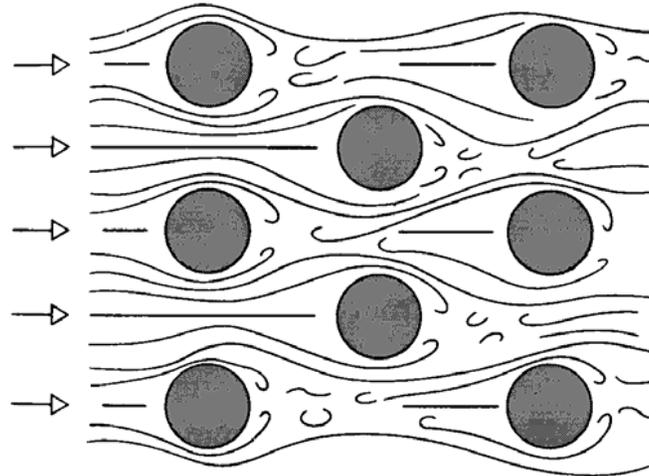


$T_{c,o}$

Arreglo  
escalonado

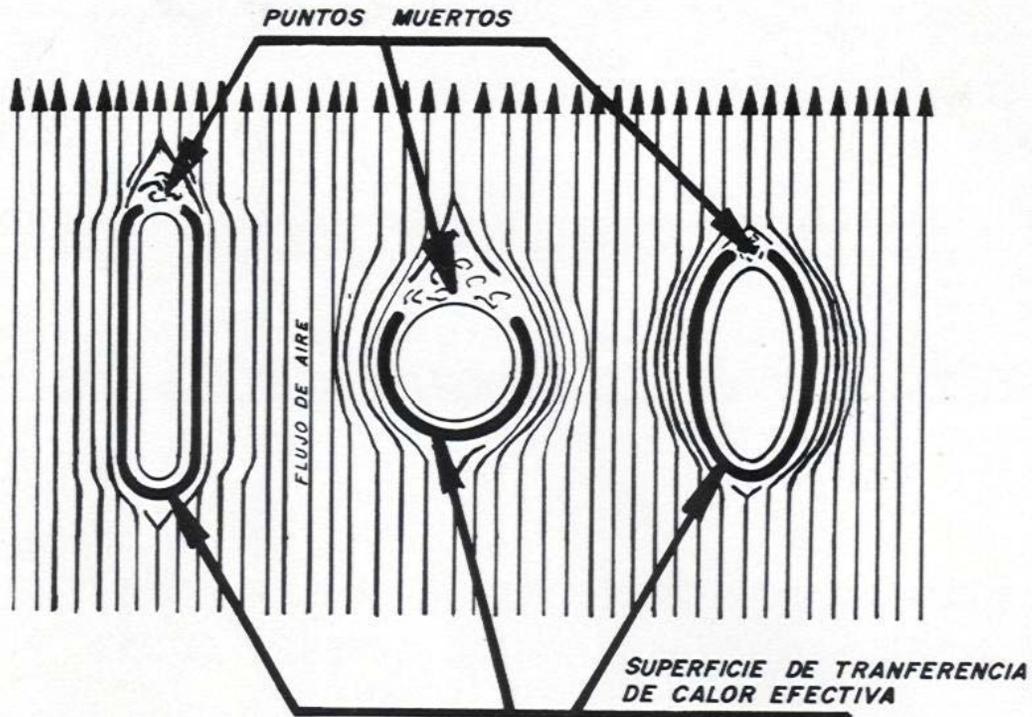


$T_{c,i}$



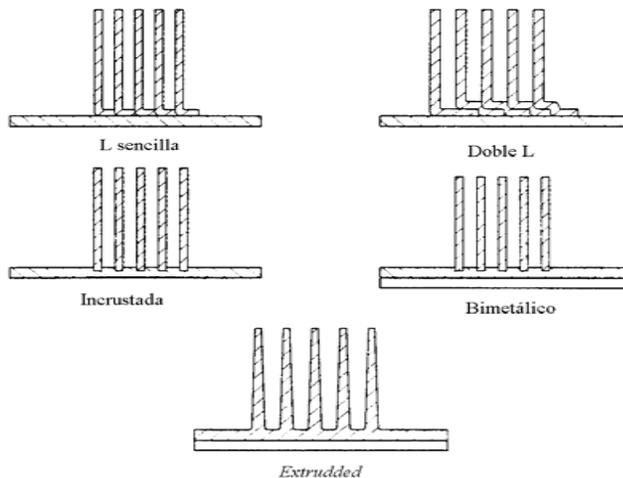
$T_{c,o}$

# Flujo cruzado



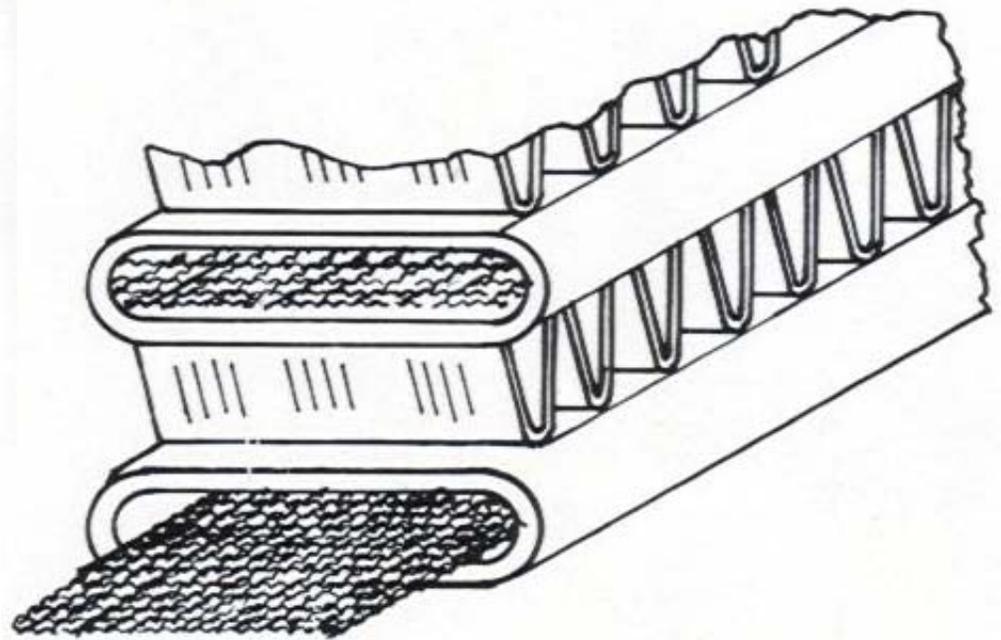
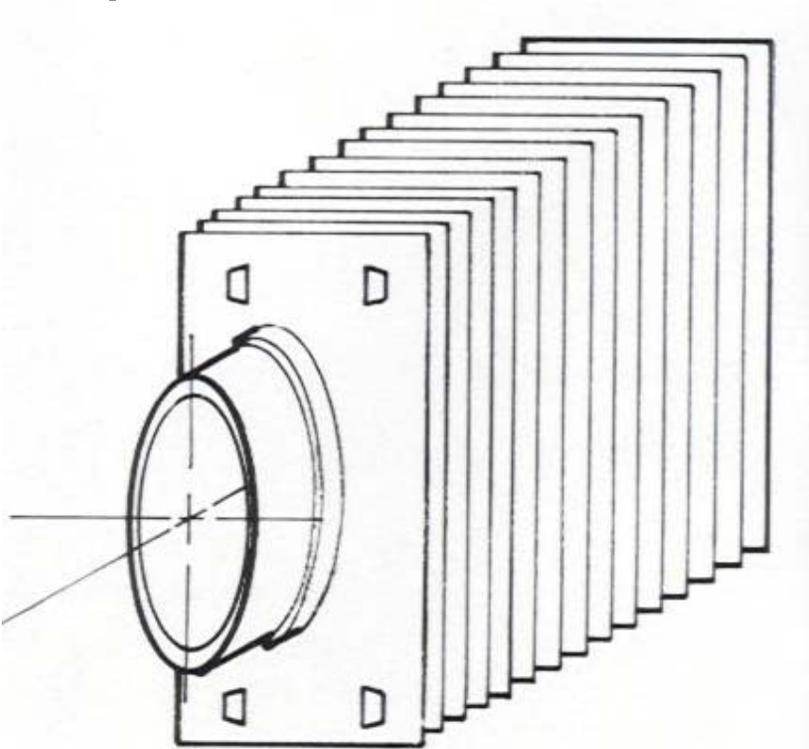
*Los diseños de Intercambiadores con Tubos Ovalados, aumentan la Superficie de Transferencia de Calor, son más compactos y la resistencia del aire sobre los Tubos es Mínima.*

# Tipo de unión aleta-tubo



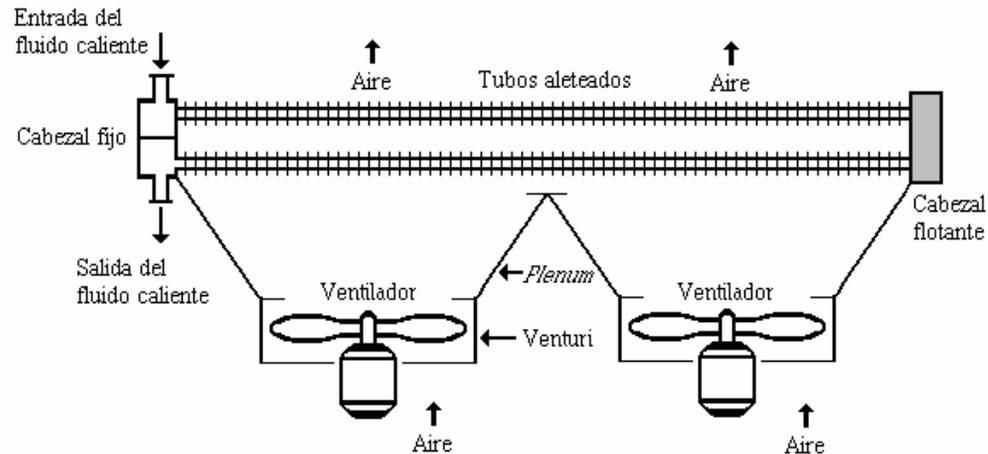
Tipo de unión aleta-tubo	Temperatura máxima de diseño permitida (°C)
Incrustadas	400
Forzadas	260
Pie en tensión ( <i>single, L-footed</i> )	150
Pie doble en tensión ( <i>double, L-footed</i> )	150
Pega de canto	120 (No pueden emplearse en servicios donde se condensa vapor de agua) Raramente usadas

# Flujo cruzado

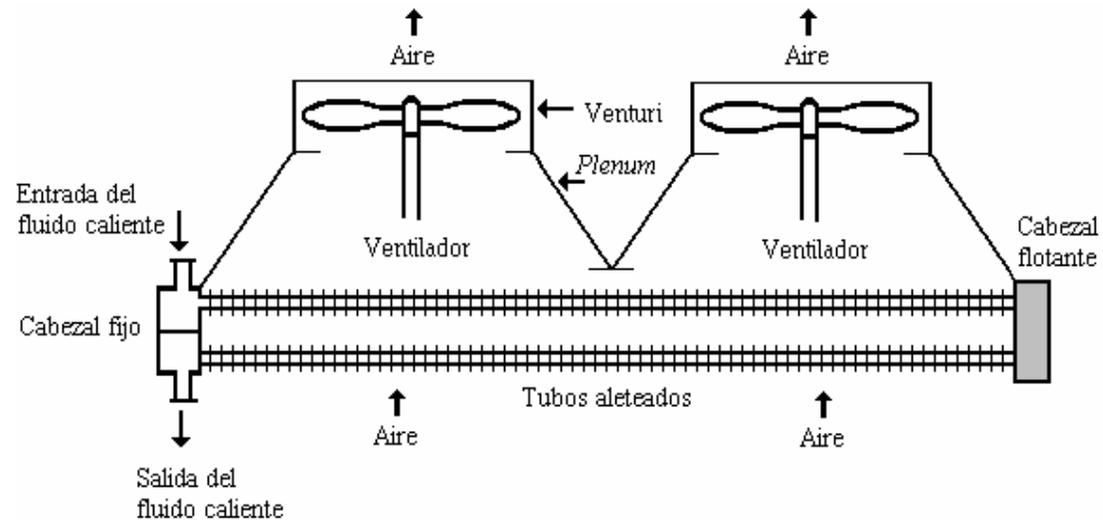


# Tipo de corriente

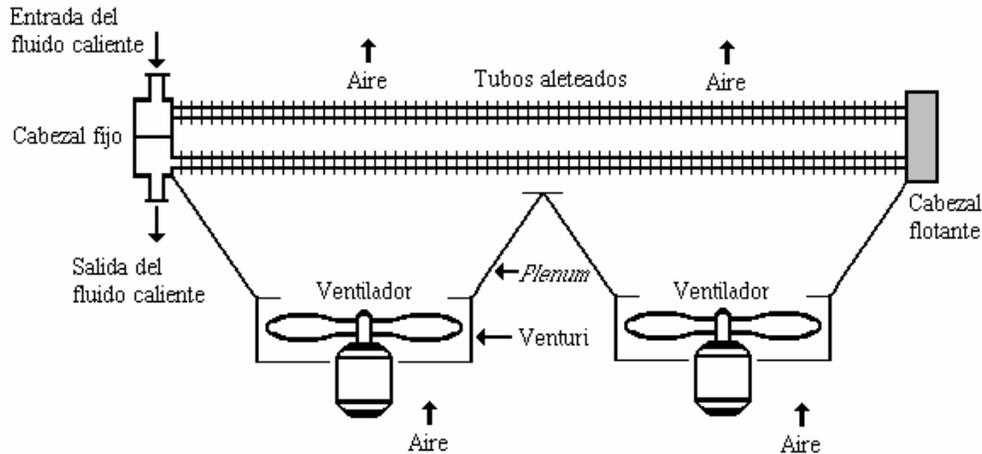
Forzada



Inducida



# Corriente forzada



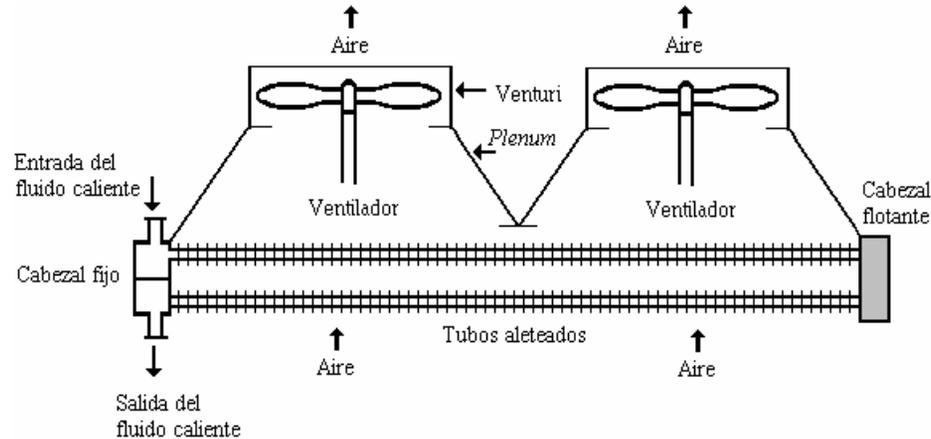
## Ventajas

- Los requerimientos de potencia son ligeramente menores, ya que el ventilador está del lado del aire frío.
- Mejor accesibilidad a los componentes mecánicos para el mantenimiento.
- Fácilmente adaptable para recirculación de aire precalentado (para invierno).
- Requiere menos soporte estructural.

## Desventajas

- Pobre distribución de aire en el área seccional de transferencia de calor.
- La posibilidad de recirculación de aire es mucho mayor, debido a la baja velocidad del aire de descarga.
- Exposición total de los tubos al sol, lluvia y efectos corrosivos ambientales.

# Corriente inducida



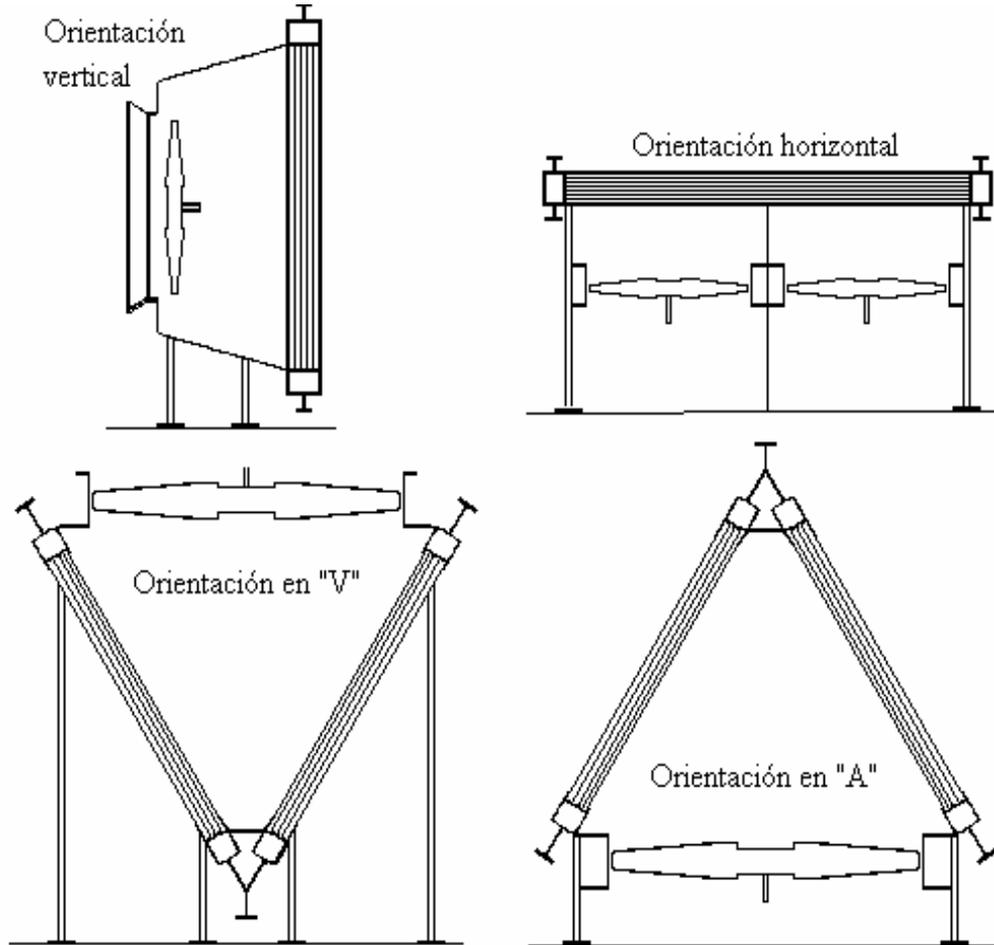
## Ventajas

- Mejor distribución de aire en la sección transversal.
- Menos posibilidad de retorno de aire caliente a la succión. El aire caliente es descargado a una velocidad 2,5 veces mayor que la velocidad de entrada.
- El efecto del sol, la lluvia y la corrosión es menor ya que solo el 60% del área está abierta (aproximadamente).

## Desventajas

- Mayor potencia, ya que el ventilador está en la sección del aire caliente.
- La temperatura del aire efluente  $< 200$  °F, para prevenir fallas en el ventilador.
- Mantenimiento del ventilador mas complejo, tiene que hacerse en ambiente caliente generado por convección natural.

# Orientación del haz de tubos



# ACHE's



# ACHE's



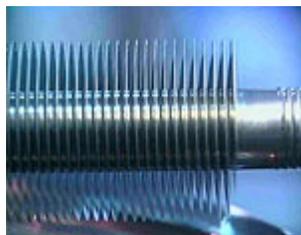
# ACHE's



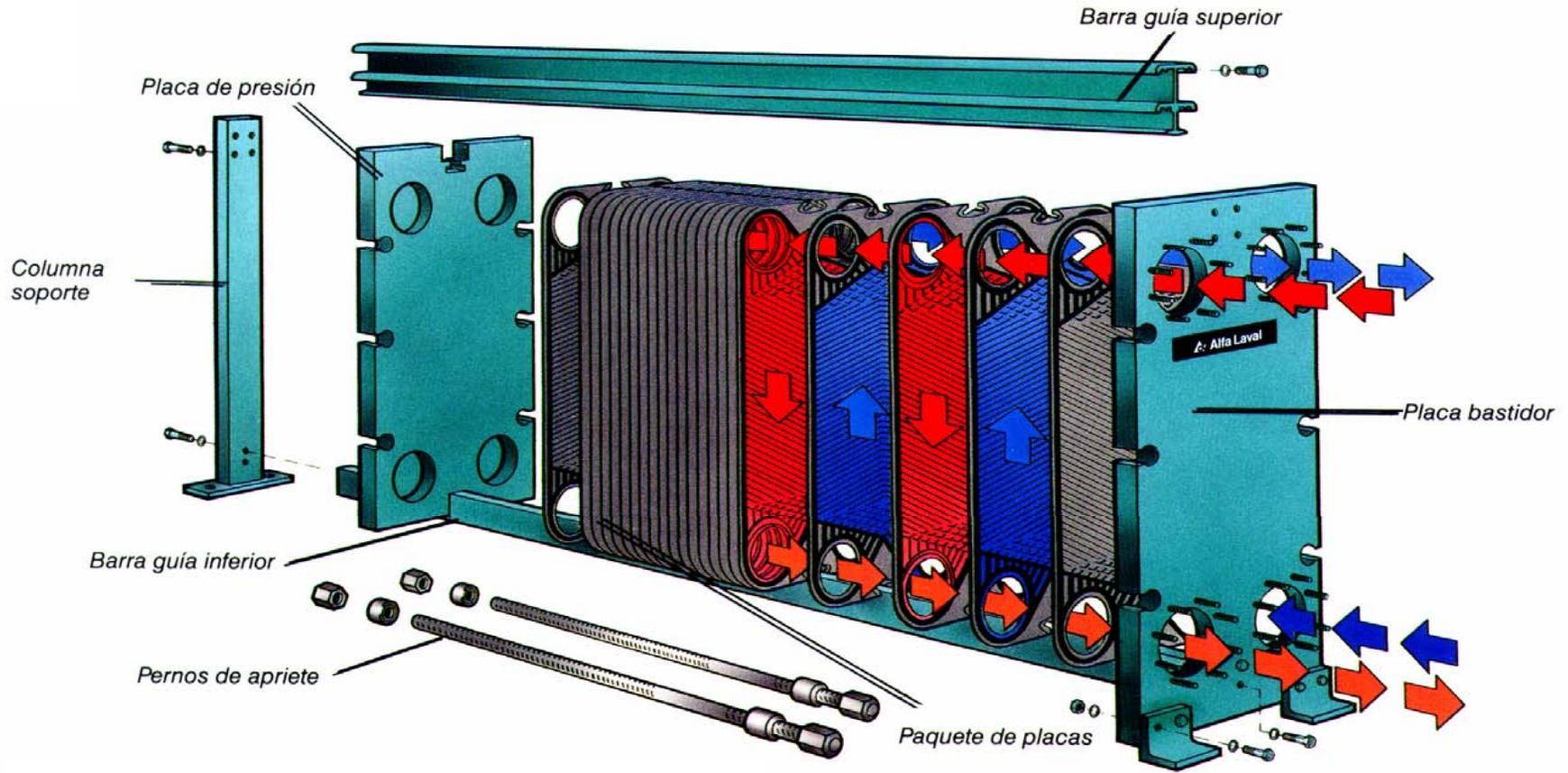
# ACHE's

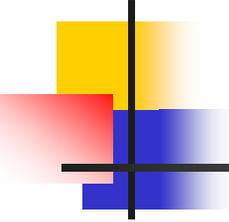


# Tuberías especiales



# Intercambiador de placas (PHE)





# Intercambiador de placas (PHE)

---

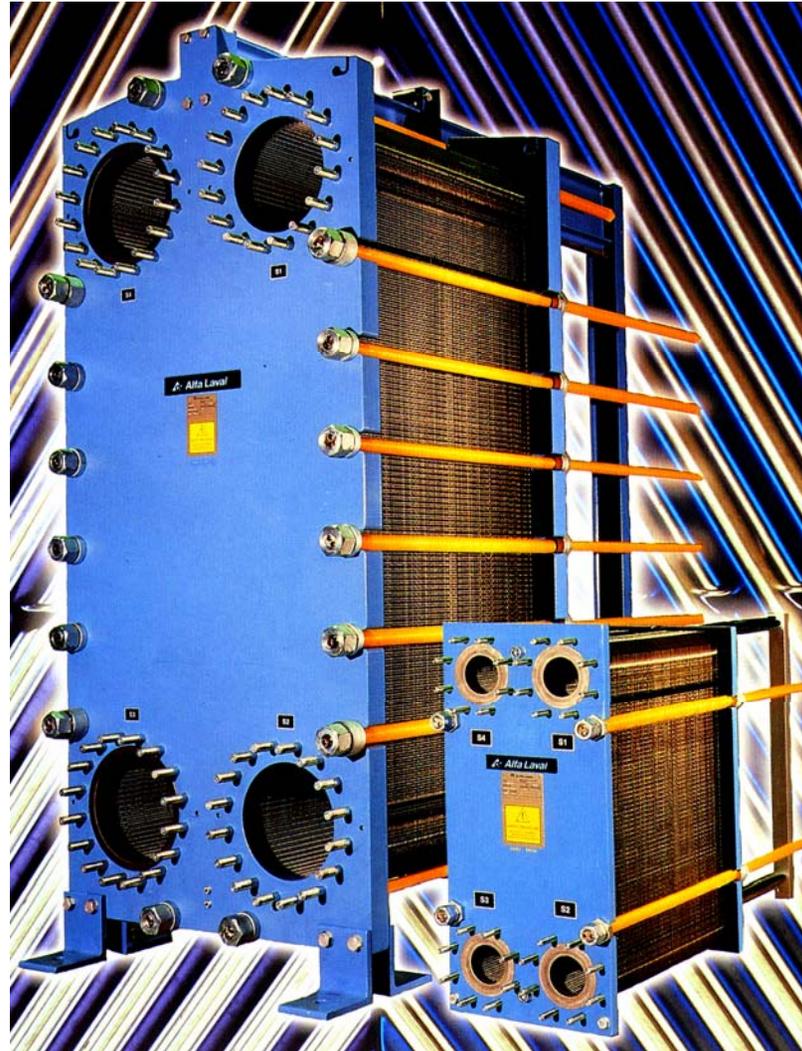
## Características

- Altamente eficaz desde el punto de vista de la transferencia de calor.
- Gran superficie de intercambio de calor en un espacio reducido.
- Coeficientes de transferencia de calor entre 3.500-7.500 W/m<sup>2</sup>K
- Área entre 0,1 y 2.200 m<sup>2</sup>.
- Diámetro máximo de las conexiones: 450 mm (18 in)
- Versátil. Amplia variedad de materiales y modelos.

## Aplicaciones

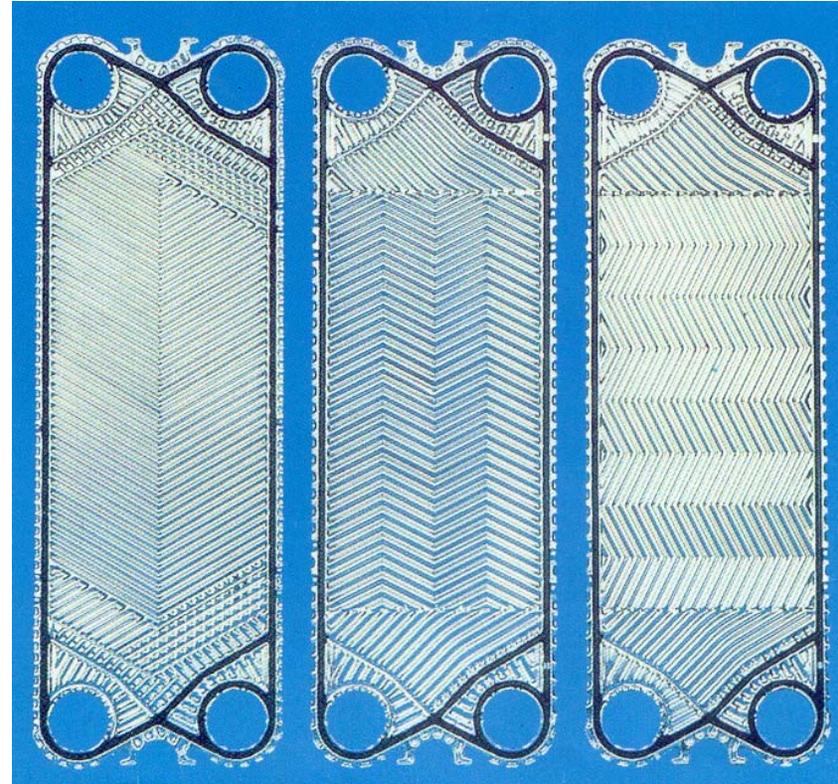
- Industrias de alimentos, de bebidas, amplia gama de fluidos viscosos, etc.

# Intercambiador de placas (PHE)



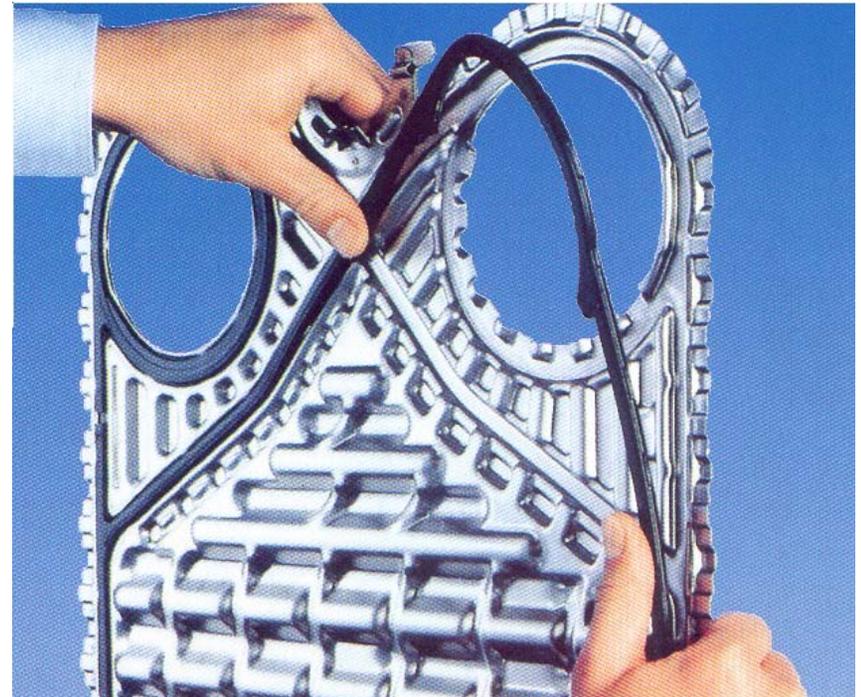
# Placas

- Se fabrican por estampación en frío de una chapa metálica de espesor homogéneo.
- Son corrugadas para promover la turbulencia y dar rigidez mecánica para soportar la presión.
- Espesor de las placas: 0,5 – 3 mm
- Espaciado entre las placas: 1,5 - 5 mm
- Area de las placas: 0,03 – 1,5 m<sup>2</sup>
- Relación ancho/largo: 2 – 3
- Número efectivo de placas:  $N_{total} - 2$
- Materiales: Acero inoxidable AISI 304, 316, Titanio, Tinconel, Hastelloy, Diabon F100 (grafito + fluoroplásticos).

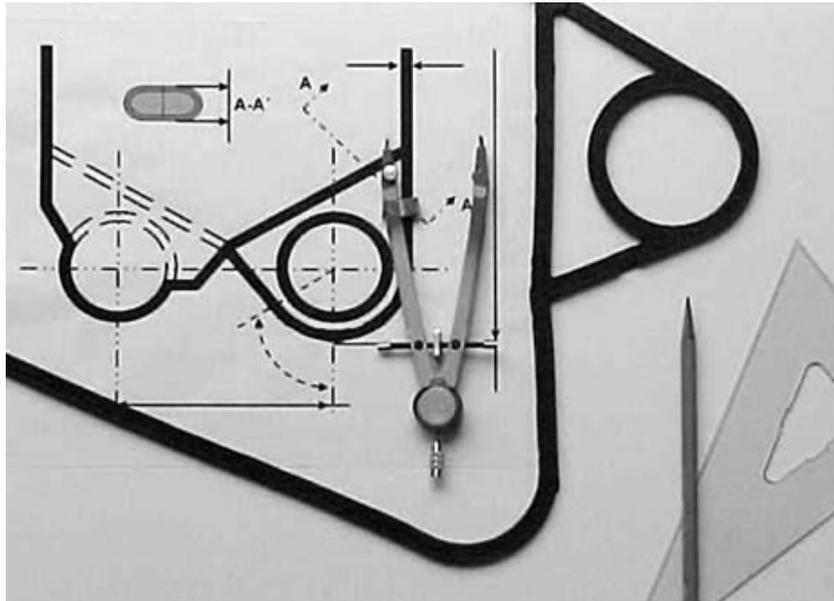


# Juntas

- Doble función: Conducir los líquidos a través del equipo y hacer el cierre del intercambiador.
- Cada placa posee:
  - Una “junta principal” rodeando la periferia
  - Dos “juntas anulares” rodeando los agujeros. La junta completa puede hacerse de una sola pieza
- Materiales: f(condiciones de operación)
  - Elastómeros: Goma nitrilo, Vitón, Neopreno,....
  - Caucho natural, cauchos sintéticos.
  - Si  $T \uparrow \rightarrow$  juntas de caucho amianto-Klingerit®



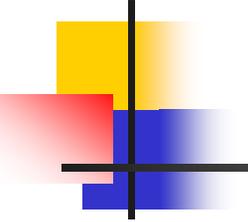
# Placas y juntas



# Intercambiador de placas soldadas

- No lleva juntas sino que las placas van soldadas
- Permite trabajar a presiones y temperaturas más altas
- $P_{\text{máx}}$  de operación: 30 bar
- $T_{\text{máx}}$  de operación: 225 C





# Intercambiador de placas (PHE)

---

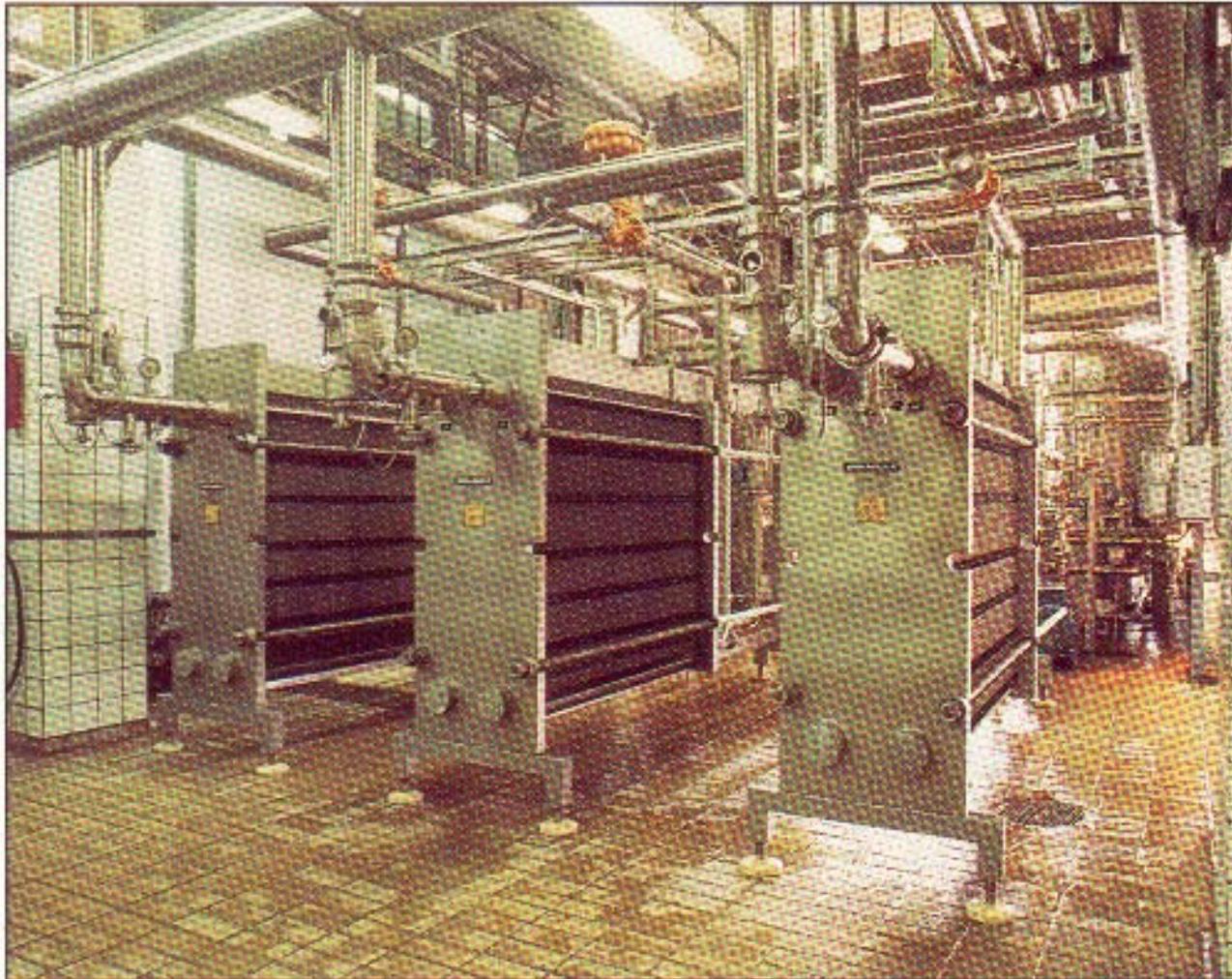
## Ventajas

- Muy compacto. Ocupa un área cinco veces menor que la requerida por un intercambiador de tubo y coraza de la misma capacidad.
- Fácil de montar.
- Fácil limpieza, permite una apertura y cierre fácil para limpieza mecánica.
- Bajos costos de servicio.
- Fácil mantenimiento. Sólo se requiere un *stock* de juntas y placas.
- Si se requiere mayor intercambio de calor, puede ampliarse fácilmente colocando mas placas en el bastidor.
- Alto grado de turbulencia en los fluidos.
- Operación segura. En caso de fugas, éstas son hacia el exterior.

# Intercambiador de placas (PHE)

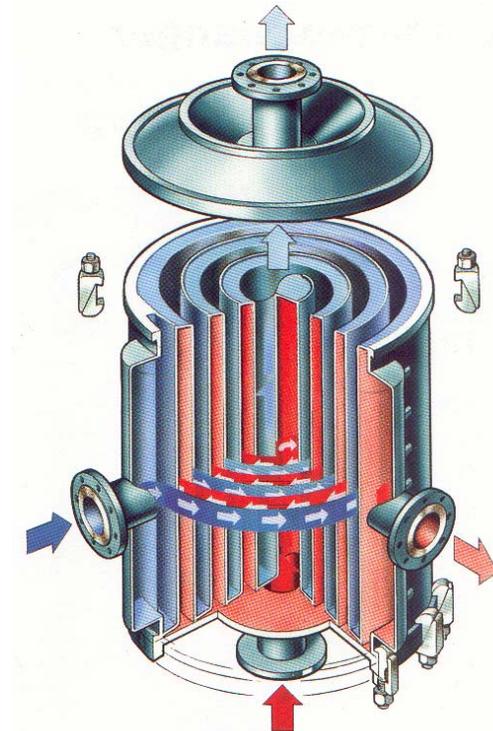
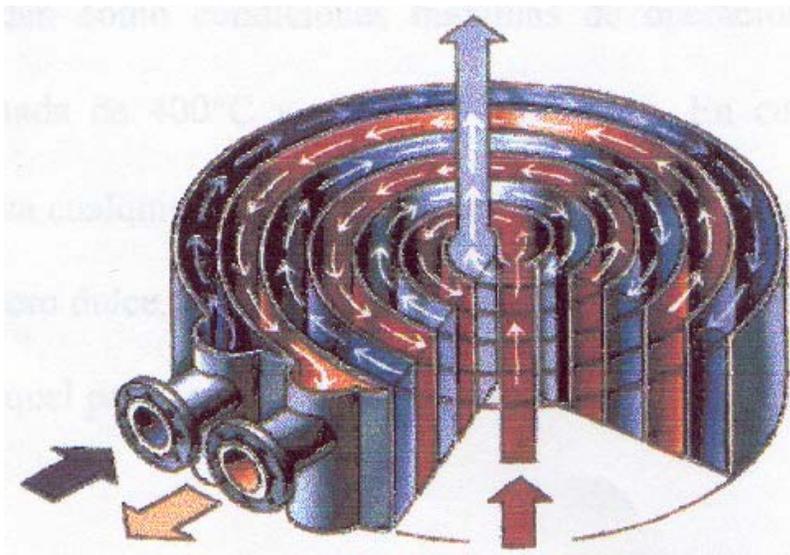


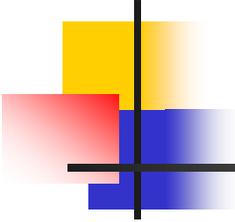
# Intercambiador de placas (PHE)



# Intercambiador en espiral (SHE)

- Planchas arrolladas formando dos canales espirales concéntricos
- Bordes de los canales cerrados alternativamente
- Tapas





# Intercambiador en espiral (SHE)

---

## Características

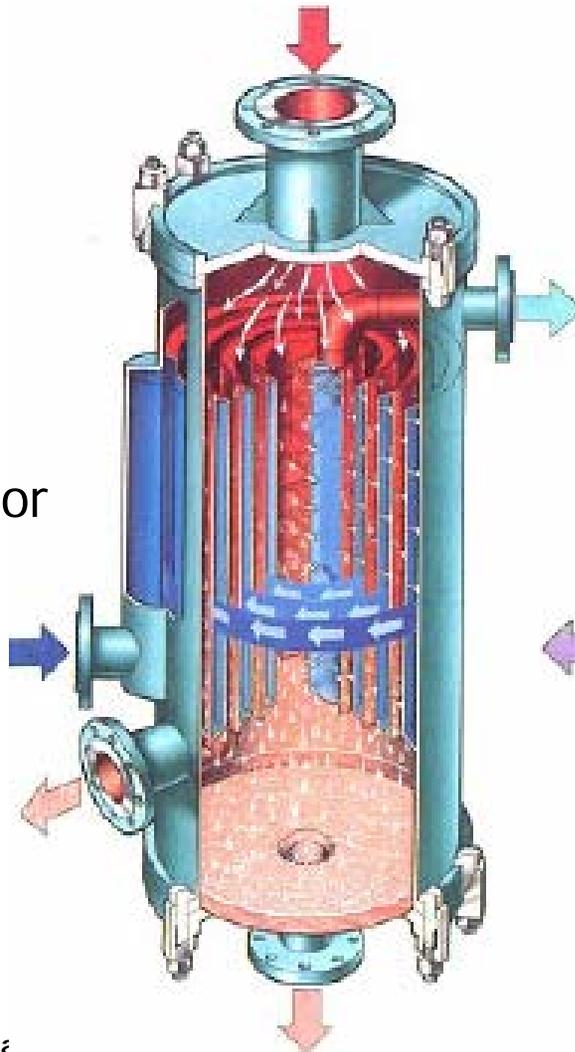
- Los fluidos se mueven en contracorriente
- Las mismas características para cada fluido
- Se disminuye la tendencia al ensuciamiento
- Permite gran aproximación entre las temperaturas
- Es compacto, requiere menos espacio que un intercambiador de tubo y coraza de igual capacidad
- Se fabrican en cualquier tipo de metal que pueda ser conformado en frío y soldado. Por ejemplo: acero al carbono, acero inoxidable, aleaciones de níquel y titanio, etc.

## Aplicaciones

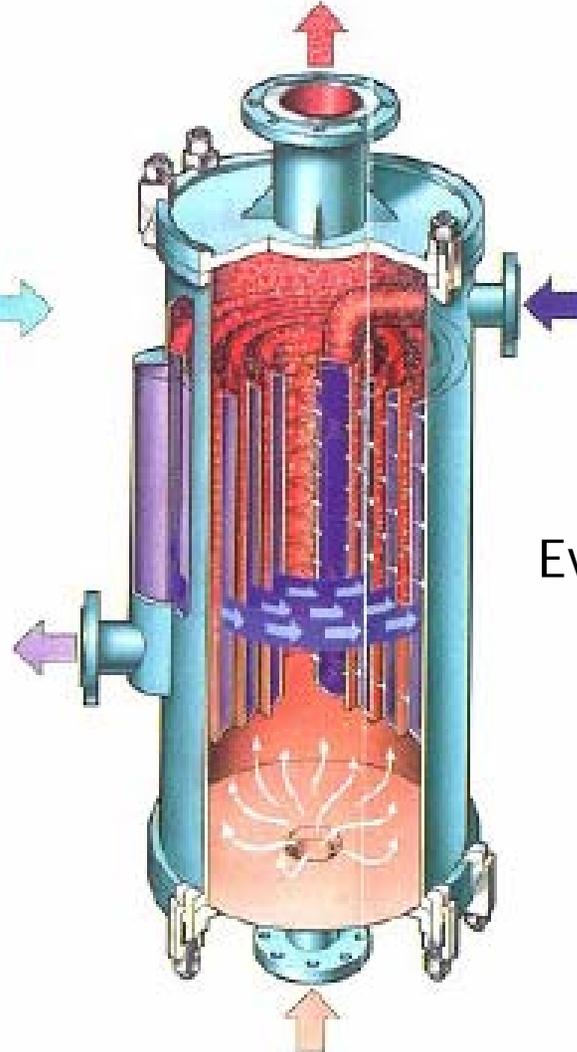
- Tratamiento de lodos, líquidos con sólidos en suspensión, amplia gama de fluidos viscosos, etc.

# Intercambiador en espiral (SHE)

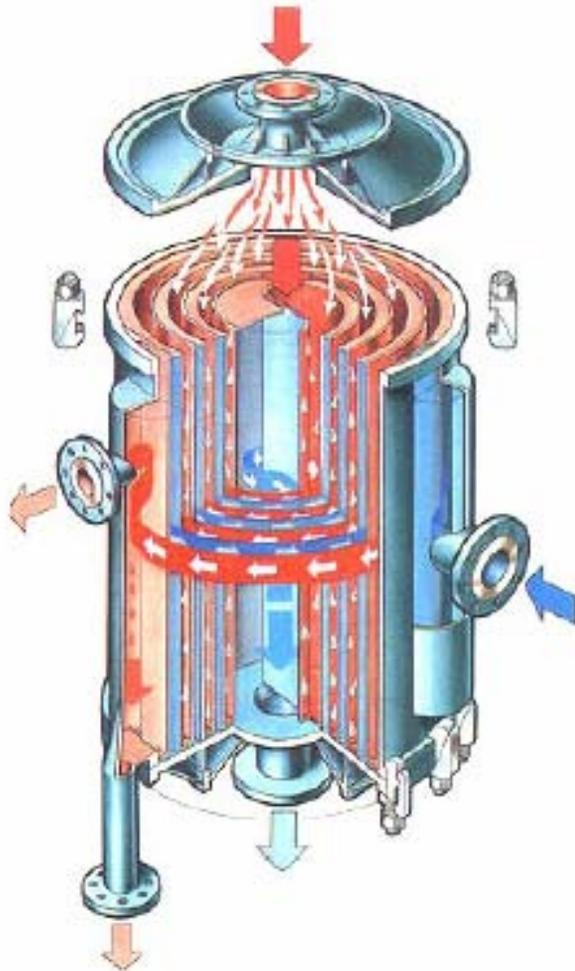
Condensador



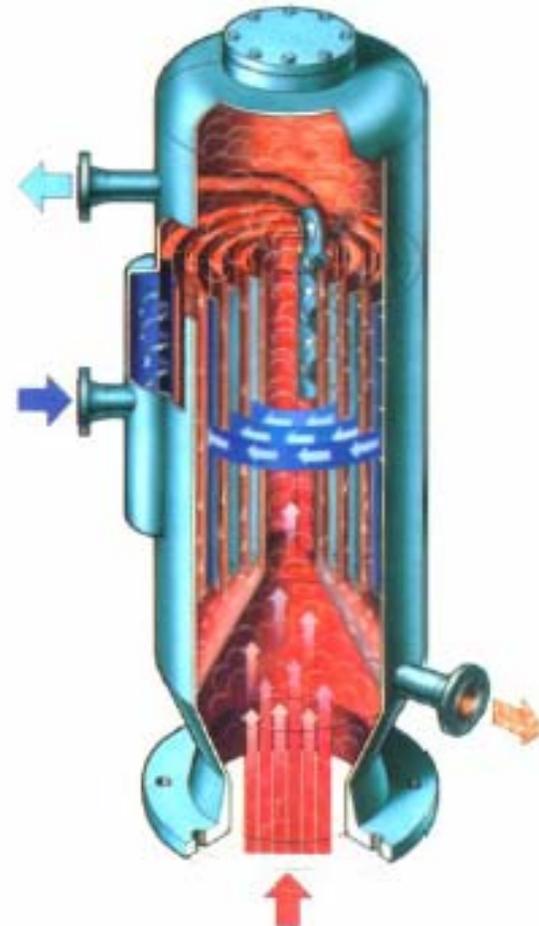
Evaporador



# Intercambiador en espiral (SHE)

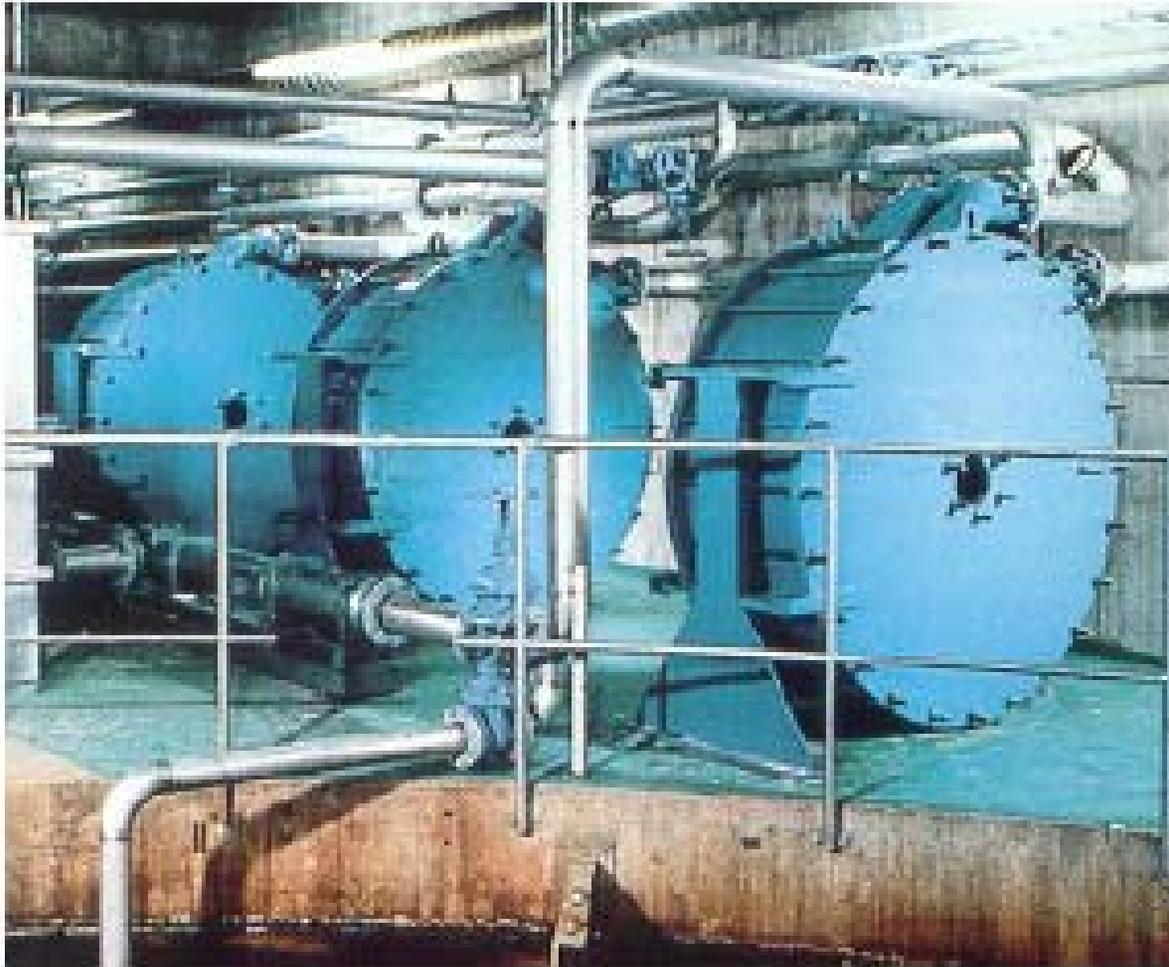


Condensador de cabeza

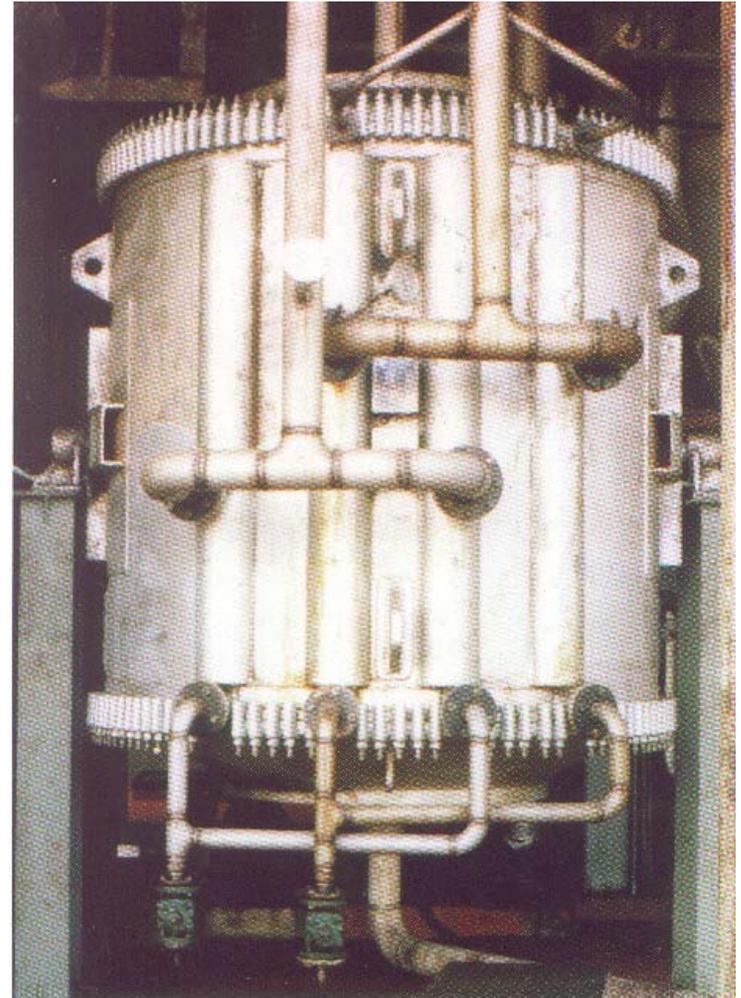


Combinación flujo cruzado-espiral

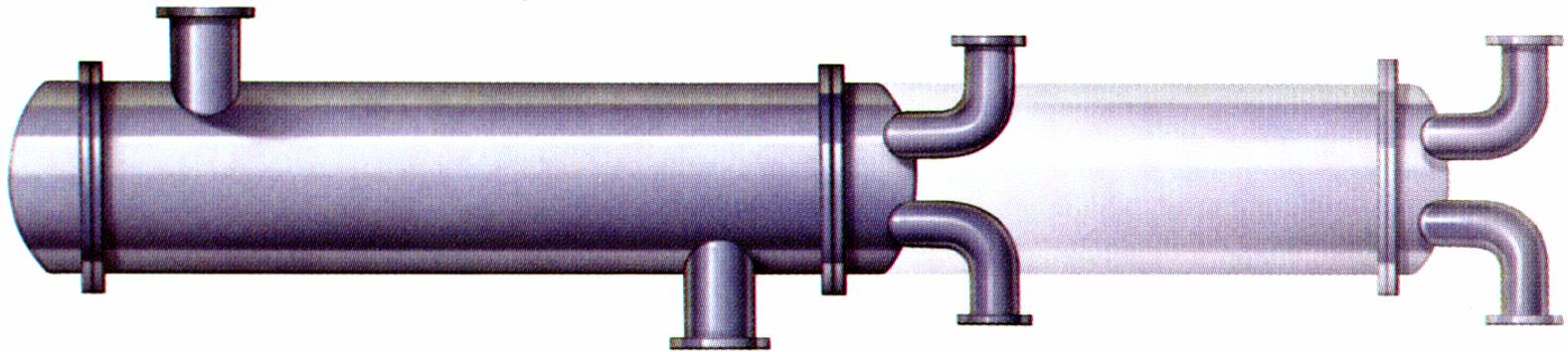
# Intercambiador en espiral (SHE)



# Intercambiador en espiral (SHE)

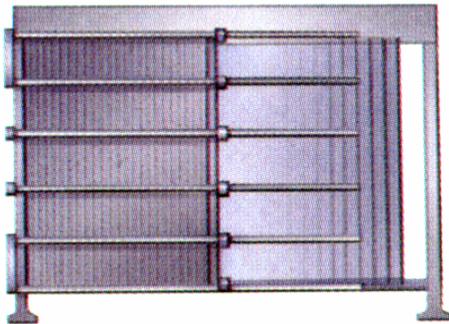


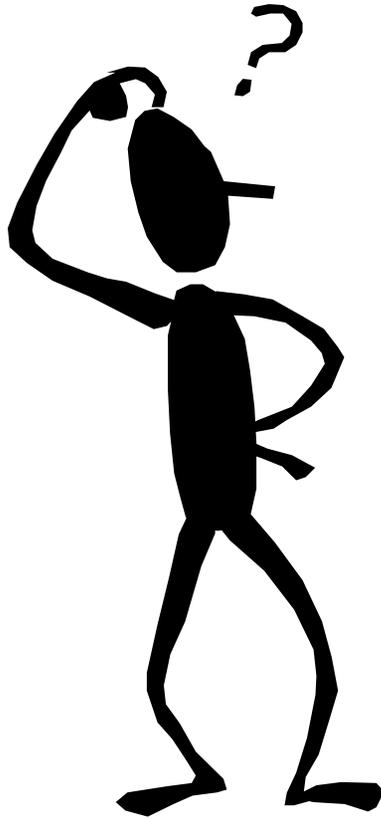
# Comparación



## ***Ahorro de espacio y tiempo***

El espacio significa dinero en cualquier planta. Ya sea en construcción inicial o en ampliaciones. El uso racional del suelo es la clave del ahorro. El intercambiador de placas ocupa un área cinco veces menor que la requerida por un intercambiador de carcasa y tubos.





**Muchas  
gracias por  
su atención**

