MANUAL PARA EL DISEÑO MECÁNICO DE CAMBIADORES DE CALOR

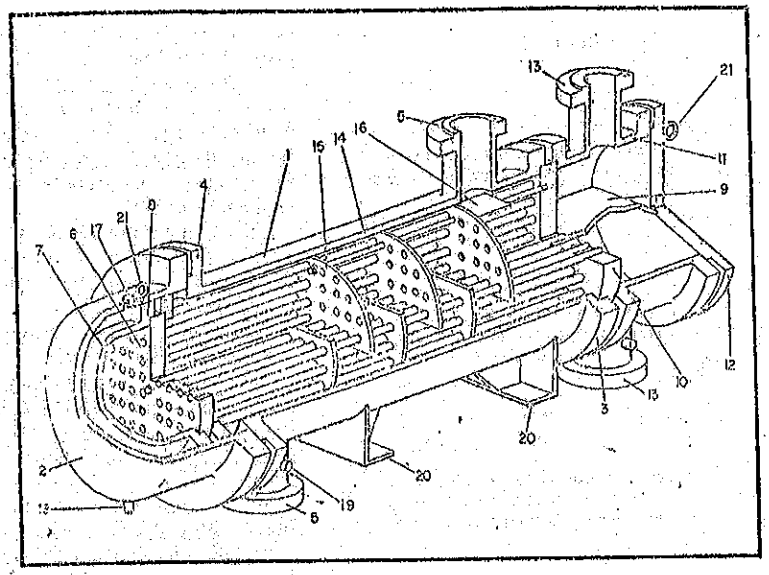


Fig. 1. Cambiador TEMA AES: 1. Envolvente; 2. Cabezal de la envolvente; 3. Brida de unión nº 3 (lado distribuidor); 4. Brida de unión nº 4 (lado cabezal envolvente); 5. Boca de la envolvente; 6. Placa tubular flotante; 7. Cabezal flotante; 8. Brida del cabezal flotante; 9. Tabique de distribuidor; 10. Placa tubular fija; 11. Distribuidor; 12. Tapa del distribuidor; 13. Boca del distribuidor; 14. Tirantes y separadores; 15. Pantallas deflectoras o soportes de tubos; 16. Pantalla de protección; 17. Manguito para purga; 18. Manguito para drenaje; 19. Manguito para instrumento; 20. Cunas soporte; 21. Cáncamo de izado.

ra menos de 20 sq ft (2 m²) ya no son viables los cambiadores de envolvente y tubos. La figura 2, preparada por Ruiz Pueyo (1975), muestra un resumen de cómo efectuar la selección del tipo de cambiador más adecuado.

I.2. TIPOS

Se pueden establecer varias clasificaciones para los cambiadores de envolvente y tubos, según los aspectos considerados. Básicamente se pueden tener en cuenta la *función* del cambiador (punto de vista de proceso) o la *forma* (punto de vista mecánico).

Desde este último enfoque, los cambiadores se pueden clasificar de nuevo desde dos puntos de vista:

A — Clasificación según el lado tubos.

B — Clasificación según el lado envolvente.

Bajo estas agrupaciones existen todavía varios aspectos distintos a considerar, ver Patterson-Kelley (1975), aunque una manera de sistematizar la clasificación es usar los tipos TEMA (N-2.2 y Fig. N-1.2), que utilizan los tres elementos básicos: *extremo estacionario* ("stationary head") donde está la conexión de entrada del fluido que circula por los tubos, *envolvente* ("shell") y *extremo posterior* ("rear end") o cabezal de la envolvente; de todos modos aquí utilizaremos la clasificación en los grupos A y B antes indicados, dando la nomenclatura TEMA correspondiente.

TEMA (N.1.1) también indica una regla para dar las dimensiones nominales de los cambiadores, expresándolas como el diámetro interior redondeado a pulgadas, seguido de la longitud recta total de los tubos expresada también en pulgadas.

Asimismo considera tres tipos de construcción, B, B & C, aunque en nuestra opinión en la mayoría de los casos, la alternativa es usar B o C; al respecto véase Rubin (1962, 1968).

TABLA I

Fluido que circula por el lado tubos	Materiales	Diámetro ext., in	Espesor, BWG		Longitud normal, ft
			Mínimo	Máximo	
1. Agua	Aleaciones de Cu	3/4	16	13	8, 16 10, 20 12, 24
2. P. químicos con c. de e. menor de 0,003 sq ft °F hv/Btu o 0,017 m² °C/W, no corrosivos	Acero C	3/4	14	12	
3. Como 2., corrosivos	Acero C	3/4	(*)		
4. P. químicos con c. de e. mayor de 0,003 sq ft °F hr/Btu o 0,017 m² °C/W, no corrosivos	Acero C	1	14	10	
5. Como 4. corrosivos	Acero C	1	(*)		
6. Como 3., muy corrosivos	Aleaciones	3/4	16	14	
7. Como 5., muy corrosivos	Aleaciones	1	14	10	

(*) Calculado. Ver Estefan (1970) Tabla 4.

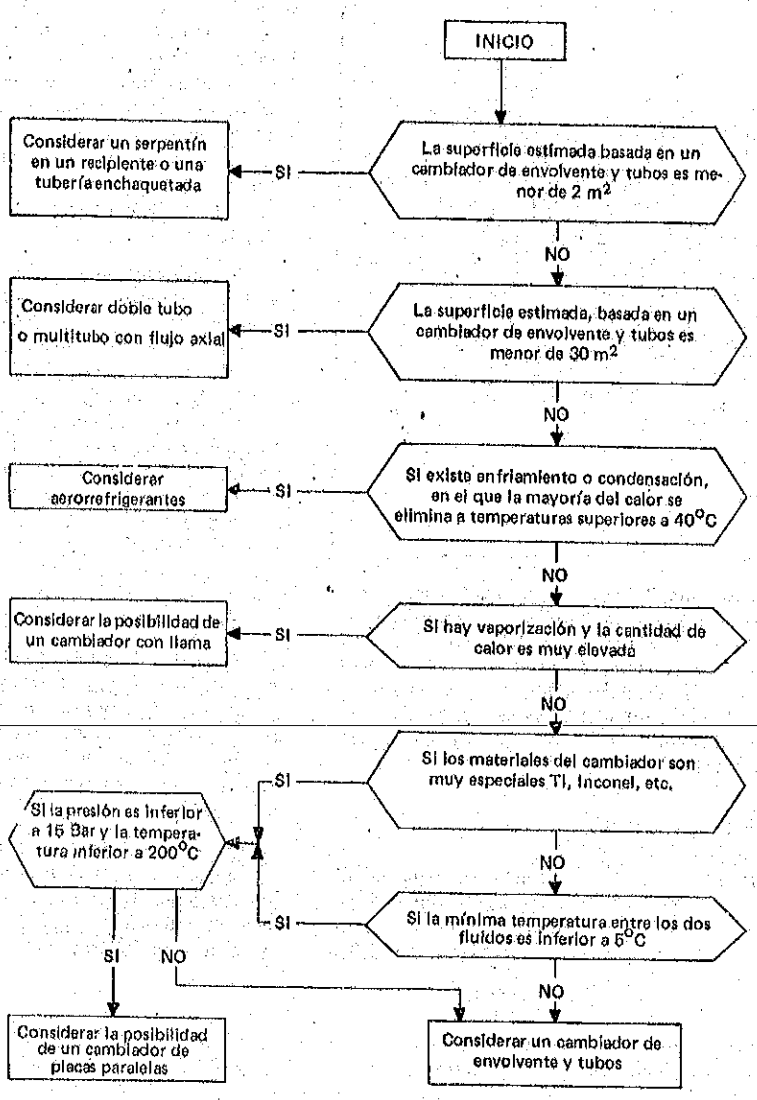


Fig. 2. Gráfico de decisión para la selección preliminar de cambiadores de calor.

A continuación enumeraremos los distintos tipos de cambiadores con sus principales características. Para una discusión detallada al respecto, ver Donahue (1965), Kern R. (1960), Rubin (1968), Sánchez García (1970), Perry (1963, 1973) y Ruiz Pueyo (1975)

I.2.1 Clasificación según el lado tubos:

A) Tipos de extremo posterior.
B) Tipos de extremo estacionario.
C) Tipos de tubos.
D) Tipos de disposición de los tubos.

Tipos de extremo posterior:

a) Cabezal flotante. TEMA P, S, T, W. El más versátil y usado.

b) Tubos en U. TEMA U. El más económico en general, pero sólo utilizable para fluidos limpios (coeficiente de ensuciamiento $\leq 0{,}002$ sq ft °F/Btu o $3{,}5 \times 10^{-4}$ m² °C/W) en los tubos; ideal para gases.

c) Placas tubulares fijas, TEMA M. El más barato si la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos no es grande y no se requiere fuelle de expansión. Apto para fluidos limpios (c. de e. $\leq 0{,}002$ sq ft °F/Btu) por el lado envolvente y para tener solape térmico entre ambos fluidos, siempre que ambos fluidos no sean corrosivos.

Aquí cabe observar que los coeficientes de ensuciamiento utilizados, ver TEMA (T.2), adolecen del defecto de que sólo tienen en cuenta los fluidos, sin considerar la naturaleza del material y el estado superficial de los tubos, lo que no es correcto, puesto que para un mismo fluido, los tubos metálicos corrientes tienen mayor coeficiente de ensuciamiento que los revestidos de resinas fenólicas o de titanio, por ejemplo.

En este trabajo usaremos esta clasificación para los cambiadores, por lo demás la más corriente: Densmore (1959), Perry (1963, 1973).

Como tipos básicos de cabezal flotante (C.F.) existen cuatro:

a) C.F. con empaquetadura deslizante ("lantern ring"). TEMA W. La solución menos costosa de este tipo, pero sólo válido para presiones y temperaturas bajas.

b) C.F. con empaquetadura exterior, TEMA P. Poco recomendable.

c) C.F. con anillo partido. TEMA S. El cambiador más versátil para presiones hasta 450 psi (30 bars) y superficies hasta 3.000 sq ft (280 m²).

d) C.F. deslizante. TEMA T. Ventajoso para altas presiones y superficies superiores a 3.000 sq ft (280 m²) y de mantenimiento más sencillo que el C.F. de anillo partido, ahorrando además el cabezal de envolvente. Por contra tiene un "by-pass" del fluído a través del haz, perjudicando la transmisión del calor, pues la diferencia entre el diámetro interior de la envolvente (ID) y el diámetro entre dos tubos extremos del haz (OTL) es de 2 a 2,5 veces la que existe en los cambiadores de C.F. de anillo partido.

Para un solo paso (contracorriente completa) la boca de salida del lado tubos, cruza el fondo del cabezal envolvente. Según el sistema empleado en el diseño de estas bocas, los cambiadores de C.F. pueden ser:

a) Con empaquetadura (no recomendable).
b) Con junta de expansión.

Como tipos de cabezal estacionario (distribuidor) se distinguen:

a) Con tapa. TEMA A. Fácil mantenimiento.
b) Con fondo embutido. TEMA B. El más barato.
c) Combinado con placa tubular fija. TEMA C. Para altas presiones, 900 psi (60 bars) o más.

En cuanto a tipos de tubos, se tienen:

a) Tubos lisos, sin soldadura o soldados (TEMA, Tabla D-7). Los más usuales y baratos.

Los materiales y dimensiones más corrientemente utilizados para estos tubos, se presentan en la Tabla I.

En cuanto a las tolerancias de espesor de pared, existen dos clases: espesor mínimo, + 22, −0% para tubos sin soldadura ó + 18 − 0% para tubos soldados, y espesor promedio, con tolerancias ± 10% y ± 8% para tubo sin soldadura y tubo soldado, respectivamente.

La tendencia actual es usar tubos soldados (Varriot, 1977).

b) Tubos de bayoneta. Para bajas pérdidas de carga y grandes diferencias de temperatura entre los dos fluidos.

c) Tubos de aletas. Para grandes diferencias entre los coeficientes de transmisión superficial de los dos fluidos. Los tubos de aletas pueden ser de tres tipos:

a) De aletas longitudinales o "G fin". Para circulación longitudinal o poco transversal y pequeña pérdida de carga. La relación de áreas exterior-interior es del orden de 13.

b) De aletas transversales o "K fin". Para circulación transversal y los que proporcionan mayor incremento de superficie exterior, alcanzando una relación de áreas exterior-interior de hasta 20.

c) De aletas integrales o "LO fin". De diámetro exterior igual al de los tubos lisos, con una relación de áreas externa-interna del orden de 2,5. Pueden ser interesantes para una relación de coeficientes superficiales de transmisión interior-exterior mayor que tres y coeficientes de ensuciamiento lado envolvente inferiores a 0,03 sq ft hr/Btu ($5{,}25 \times 10^{-4}$ m^2 °C/W).

Para una lista completa de referencias sobre tubos de aletas ver Wierman (1975).

d) Tubos de transmisión mejorada o "EHT tubes". Son distintos de los de superficie extendida o aletas y en estos momentos se comercializan dos tipos:

a) Ranurados transversalmente o tubos en forma de cable ("roped tubes").

b) Ranurados longitudinalmente o tubos en forma de flauta ("fluted tubes"). Para condensadores.

La característica diferencial de estos tubos con los de aletas es que mejoran simultáneamente los coeficientes de transmisión superficial interior y exterior.

Para un estudio general de las ventajas de cada tipo de tubos ver Foxall & Gilber (1976) y para criterios de selección entre tubos lisos y de aletas integrales (LO fin) Carlati (1968).

Por último, respecto a su disposición, los tubos pueden colocarse en, ver TEMA (R, B y C-2, 4):

a) Paso triangular. Da la máxima superficie para una envolvente dada y el mejor coeficiente de transmisión, aunque sólo se puede usar para fluidos limpios (coeficiente de ensuciamiento $\leq 0{,}002$ sq ft °F/Btu) en el lado envolvente, pues no permiten la limpieza mecánica del haz.

b) Paso cuadrado. Da del orden del 15% menos de superficie que el triangular para una envolvente dada, pero se puede limpiar el haz mecánicamente.

Ambas disposiciones se pueden usar con las siguientes posiciones respecto a las pantallas deflectoras de tipo segmental (Fig. 3) y los tabiques del distribuidor.

1) Corte de las pantallas deflectoras y tabiques del distribuidor horizontales o verticales: paso cuadrado o triangular en línea. Da las mayores transferencias de calor y pérdida de carga para el paso triangular y las menores para el cuadrado.

TIPO DE DEFLECTOR			APLICACION
Segmentado simple	Corte horizontal		Sin cambio de fase. Calentamiento y enfriamiento. El fluido va de arriba a abajo y se evita la estratificación.
	Corte vertical		Vaporización. Condensación. Sin cambio de fase con sólidos suspendidos.
Segmentado doble	Corte horizontal		Como el segmentado simple pero para requerimientos de baja pérdida de carga.
	Corte vertical		Como el segmentado simple, pero para requerimientos de baja pérdida de carga.
Disco y anillo			Como alternativa al doble segmentado de corte horizontal. No se emplea frecuentemente, por su elevado coste.
Completo			Vaporización. En otros procesos para dividir el flujo.
Longitudinal			Vaporización. Condensación. Asegura la buena distribución del flujo en doble fase. Dos pasos envolvente.

Fig. 3. Tipos de deflectores.

2) Corte de las pantallas deflectoras o verticales y filas de tubos y tabiques del distribuidor a 45° para paso cuadrado o 30° para paso triangular; paso cuadrado o triangular girado. Permite más tubos para cambiadores de muchos pasos, mejorando la transferencia y pérdida de carga para paso cuadrado, pero emporándola para paso triangular, pudiendo también impedir la colocación de bocas radiales en el distribuidor.

3) Corte de las pantallas deflectoras y tabiques del distribuidor horizontales y verticales y las filas de tubos a 45° (para paso cuadrado): paso diamante. Es el que da la menor superficie para una envolvente dada.

4) Corte de las pantallas deflectoras a 45° (para paso cuadrado) y filas de tubos y tabiques de distribuidor horizontales: disposición desviada. No se

utiliza. Presenta peligro de depósitos.

En general se usan pantallas deflectoras segmentales, que son las que se han considerado para las disposiciones que acabamos de describir. Otros tipos de deflectores y su aplicación se muestran en la figura 3 (Ruiz Pueyo, 1975) y una nueva disposición, muy favorable mecánicamente, la presenta Walco (1977).

Normalmente el paso es igual a 1,25 veces el diámetro exterior (nominal) de tubo, aunque para paso cuadrado se usan tubos de 3/4 in con paso de 1 in, y en hervidores con gran flujo térmico y limitaciones de pérdida de carga, se puede usar tubos de 3/4, con un paso de 1 1/8 in.

I.2.2 Clasificación según el lado envolvente

La diferencia básica entre envolventes consiste en la existencia o no, de espacio para la decantación del arrastre de líquido por los vapores, por lo que hay dos tipos:

A) Cambiadores con haz tubular ocupando toda la sección transversal del cambiador. No se deja espacio libre para el vapor.

B) Cambiadores con haz tubular ocupando sólo una parte de la sección transversal. Se deja espacio para el vapor.

Del primer tipo existen cuatro subtipos básicos:

a) Un solo paso envolvente, TEMA E. Tipo normal.

b) Dos pasos, TEMA F. Para el caso de solapamiento de temperaturas entre los dos fluidos; es más económico que dos envolventes en serie, pero la construcción es delicada y puede dar problemas de funcionamiento. No se recomienda para pérdidas de carga en el lado envolvente mayores de 0,7 bar y temperaturas superiores a 175°C.

c) Circulación dividida, TEMA J. Reduce la pérdida de carga al 13% aproximadamente, de la causada por una envolvente del mismo diámetro y un solo paso.

d) Circulación repartida, TEMA G. Para cambios de fase.

En cuanto al segundo, se pueden considerar tres tipos:

a) Haz tubular en D. Como un haz completo pero suprimiendo algunas de las filas superiores. La solución más económica, pero sólo para pequeños caudales de vapor.

b) Calderín, TEMA K. Coloca el haz excéntrico en la envolvente; es la mejor solución técnica, pero la más cara.

c) Haz en recipiente (tanque, columna, etc.). Económica, pero con peor eficiencia térmica. Para grandes volúmenes (succión de tanques) o tiempos de residencia grandes (hervidores empotrados en torres).

I.3. UTILIZACION DE LOS DISTINTOS TIPOS

A pesar de la multitud de tipos de cambiadores y sus aplicaciones, puede verse en la Tabla II, preparada de acuerdo con Donahue (1955); Robert Kern (1960); Perry (1963), p. 11-5 (1973), p. 11-3; Sánchez García (1970) y la excelente exposición sobre selección de cambiadores de Ruiz Pueyo (1975), que con tres tipos básicos de diseño se pueden cumplimentar prácticamente todas las necesidades de transmisión de calor en los procesos. Estos tres tipos son: C.F. de anillo partido (TEMA A x S), tubos en U (TEMA B x U) y placas fijas (TEMA B x M), de los cuales vamos a comentar el diseño mecánico.

La Tabla III muestra las características típicas de estos tres tipos más el AET, versión más corriente, con 4 pasos de tubos de 3/4", 18 BWG, de 16 ft y clase 150 #.

II. DISEÑO GEOMETRICO

El diseño constructivo de todo recipiente de proceso consta (IPA, 1975) de un diseño de proceso que, a partir de los balances de materia y energía, permite establecer las dimensiones principales del aparato (diámetro mínimo y longitud operativa), complementado por un diseño geométrico que fija todas las dimensiones del aparato en forma adecuada para asegurar la circulación de las fases líquidas por gravedad, la completa separación física entre fases y un tiempo de residencia adecuado (Sigalés, 1975), completándose el diseño con la selección de los materiales y el cálculo mecánico, que fija los espesores del material resistente.

Los cambiadores de calor son los únicos recipientes para industrias de proceso, en los que el orden de magnitud de los espesores del material resistente (virolas, tubos, placas) es igual al de las secciones libres para paso de fluidos, por lo que el diseño geométrico se ha de efectuar simultáneamente con el mecánico (IPA, 1975). Sólo un tipo de cambiador tiene una parte de su dimensionado puramente geométrico o de proceso: el hervidor de calderín (Kettle, TEMA XKX) para el cual la envolvente ha de permtir la decantación de los arrastres de líquido por el vapor, lo que se logra reduciendo la velocidad de circulación de la corriente a través del aparato. Asimismo en este tipo de cambiadores se requiere normalmente un tiempo de residencia ("surge time") de la fase líquida, adicional al de proceso, lo que también afecta al volumen del aparato.

Para lograr estos fines, así como para una buena circulación de los fluidos a través del aparato, las reglas recomendadas para los hervidores de calderín se recogen en la figura 4. Para la separación de fases, se considera una velocidad crítica del vapor (Sigalés, 1975) definida para estos aparatos por la expresión:

$$\text{velocidad crítica, ft/s} = 0{,}16 \left(\frac{\rho_h - \rho_l}{\rho_l}\right)^{0{,}5}$$



Don **Bartomeu Sigalés** se graduó en 1961 en la E.T.S.I., de Barcelona, obteniendo el título de Doctor en el mismo centro, en 1971. Ha tenido una amplia actividad profesional en Petrole Chimie, Petroliber y Esso Petróleos Españoles, en los campos de ingeniería de procesos, diseño mecánico de equipos y planificación financiera. Ha desempeñado también el cargo de Coordinador de Participaciones Químicas en el Banco Industrial de Cataluña.

Es, asimismo, Director Adjunto del Instituto de Petroquímica Aplicada (Universidad Politécnica de Barcelona) y profesor de la ETS de Ing. Industriales de Barcelona (Departamento de Proyectos) y del Centro de Perfeccionamiento del Ingeniero y miembro del A.I.Ch.E. Ha publicado varios trabajos en revistas españolas, inglesas y norteamericanas.

Desde Enero de 1977 es Director de la División Altas Tecnologías de Ingest, S.A. (Barcelona).

TABLA II

Número de pasos lado tubos	Envolvente	Extremo posterior	Tipo TEMA más corriente	Utilizaciones típicas	
Par	Circulación dividida	Cabezal flotante	AJS	Condensador	
	Circulación repartida		AHS	Hervidor	
	Calderín		AKS	Hervidor, Vaporizador (sin vapor de agua) Caldera	
	Dos pasos		AFS	Cambiador Enfriador Calentador (sin vapor de agua)	
Impar (uno)	Un paso		AES	Hervidor vertical Condensador vertical Cambiador	
Par	Un paso haz en D	Tubos en U	BEU	Fluido limpio lado tubos	Cambiador Calentador
	Un paso		BFU		
	Dos pasos		BKU		Hervidor, Vaporizador
	Calderín		B - U		Hervidor Calentador
	Sin envolvente				
Par	Circulación dividida	Placas Tubulares fijas	BJM	Fluido limpio lado envolvente	Condensador
Impar (uno)	Un paso		BEM		Cambiador Enfriador Calentador
					Hervidor vertical Condensador vertical Cambiador
Par	Un paso haz en D				Refrigerador
	Dos pasos		BFM		Cambiador Enfriador Calentador

donde ρ_h y ρ_l son las densidades de la fase líquida y la fase vapor, respectivamente. Esta velocidad crítica permite determinar un:

$$\text{Area crítica} = \frac{\text{Caudal de vapor}}{\text{Velocidad crítica}}$$

que permite, asimismo, calcular con ayuda de la figura 4 y mediante tanteos, el diámetro de la envolvente con la condición:

Sección de paso por encima del vertedero = 0,125. Area crítica.

Los tanteos se pueden evitar, minimizando, también, el volumen, usando el método propuesto para acumuladores por Sigalés (1975).

Asimismo, con el área crítica, se puede hallar la dimensión de las bocas para vapor, con la condición:

Sección total de las bocas = 0,06. Area crítica.

En cuanto al tiempo de residencia, además de lo indicado en la figura 4, se debe tener en cuenta que si la envolvente se debe prolongar más de 10 ft a partir del vertedero, ya no es practicable, y se ha de recurrir a un hervidor empotrado en la torre.

Además del método IPA (1975) indicado, también Pall & Small (1964) han publicado un método basado en criterios análogos, aunque utilizan ade-

TABLA III.–CARACTERISTICAS DE CAMBIADORES CONSTRUCCION 150 lb. DE CUATRO PASOS, TUBOS DE 16 ft, DE 3/4" DIAMETRO EXTERIOR Y ESPESOR 18 BWG, CON PASO TRIANGULAR DE 15/16"

Tipo TEMA	BEU			AEM			AET			AES		
Diámetro nominal	Longit. totgl	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.	Longit. total	Peso lb.	Superf. sq ft.
8"	204"	550	50	199"	700	38	206"	800	38	206"	1.450	100
10"	205"	940	113	201"	1.060	88	207"	1.300	100	207"	2.150	176
12"	206"	1.175	226	202"	1.625	188	209"	1.625	182	207"	2.850	295
13"	207"	1.800	326	203"	1.900	289	211"	1.890	238	208"	3.150	368
15"	211"	2.200	414	205"	2.400	376	211"	2.600	364	209"	4.200	514
17"	212"	2.840	565	207"	3.250	527	214"	3.200	502	209"	5.300	684
19"	215"	3.475	740	207"	3.950	702	214"	4.000	665	211"	6.500	897
21"	215"	4.530	928	208"	4.900	878	215"	4.720	872	212"	7.300	1.123
23"	217"	5.350	1.204	210"	5.800	1.129	215"	6.000	1.091	214"	9.100	1.361
25"	217"	6.800	1.443	213"	7.250	1.380				215"	10.800	1.587
27"										218"	11.900	1.838
29"										219"	14.200	2.158
31"										222"	16.000	2.509
33"										223"	18.400	2.882
35"										224"	20.000	3.274

más la tensión superficial σ del líquido, lo que complica la obtención de la información necesaria. La fórmula de Pall & Small (1964) es:

$$\text{Carga máxima de vapor, lb/ft}^3\text{ hr} = 27{,}65 \times 10^4 \left(\frac{\sigma \rho_l^2}{\rho_h - \rho_l}\right)^{0{,}6}$$

donde todas las magnitudes están en el sistema de unidades de ingeniería norteamericano. Con esta carga de vapor, se determina el espacio libre necesario mediante:

$$\text{Volumen libre, ft}^3 = \frac{\text{Carga máxima de vapor lb/ft}^3\text{ hr}}{\text{Caudal de vapor lb/hr}}$$

con lo que el área del segmento de círculo igual a la sección de paso por encima del vertedero será (ver Fig. 4):

Volumen libre/L

En el manual del IPA (1975), se detalla un ejemplo de diseño completo.

REFERENCIAS

- Anónimo. "New TEMA Standards What's New What's Changed" Hydrocarbon Process., September 1968, pp. 227-281.
- Anónimo. "Intercambiadores de haces tubulares modificados para reducir la formación de incrustaciones", BGE Revista LYE de Química Industrial, Julio 1969, p. 314.
- American Petroleum Institute, "Heat Exchangers for General Refinery Services" API Standard 600, 2nd. Ed, Washington D.C. 1972.
- Berggren, J.R. & Sindelar, W.J. "New Approach to Exchanger Train Design" Hydrocarbon Process, October 1968, pp. 138-140.
- Bergman, Donald J. "A new approach to High Temperature Exchanger Problems" Hydrocarbon Process. October 1966, pp. 158-160.
- Bevevino, A. "Tube to tubesheet welding techniques". Chem. Eng. Prog., July 1974, pp. 71-73.

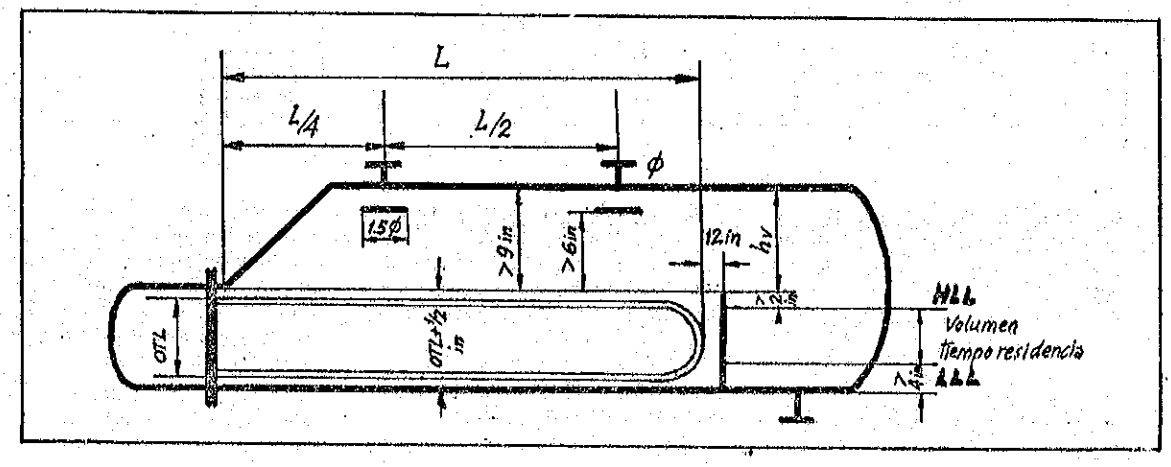


Fig. 4.

cambiadores de calor de envolvente y tubos: su diseño mecánico

parte II

Por Bartomeu SIGALES
del IPA de la Universidad Politécnica de Barcelona

III. DISEÑO MECANICO

La siguiente exposición abarcará el diseño de los cambiadores de envolvente y tubos de acuerdo con la práctica norteamericana, predominante en las industrias petroquímica y energética mundiales. Aunque la utilización del TEMA y el ASME se ve facilitada trabajando en unidades anglosajonas, se puede realizar un diseño final métrico, usando dicha normativa, simultaneando ambos sistemas en la forma mostrada en la marcha de diseño que indicaremos en los apartados III. 3 y III. 4.

Sobre materiales de construcción, ver TEMA Sección 8 (M); sobre éstos y precios, Sieder & Elliot (1960), Pudlock (1977); para tipos de cambiadores y su coste ver Densmore (1959), Makris (1961), Mills (1964), Guthrie (1969) Chase (1970), Perry (1963, 1973). Fanaritis & Bevevino (1976). Aunque toda esta información es para los Estados Unidos, con algunos puntos reales de otro país, se puede extrapolar para éste, y en cualquier caso, permite estimar valores relativos. En el Perry (1963 Secciones 11 y 24, 1975, Secciones 6 y 11) se encuentra, además un excelente resumen de información útil y referencias.

III. 1 RECOMENDACIONES GENERALES

Antes de empezar el diseño de un cambiador tubular, conviene recordar las reglas siguientes, que garantizarán un buen servicio sin problemas:

a) Situar las bocas de acuerdo con estas directrices:

— Las corrientes que se calientan o vaporizan deben circular en forma ascendente, tanto por el lado envolvente, como el lado tubos.

— Las corrientes que se condensan deben circular en sentido descendente, tanto por el lado envolvente, como el lado tubos.

— Las corrientes que se enfrían pueden circular en el sentido más conveniente para la economía de tuberías y accesorios.

Para dos fases (condensadores, hervidores) ver Greene (1967).

b) Para cambiadores de cabeza flotante de un solo paso en el lado tubos, utilizar juntas de expansión internas, no usar empaquetaduras (de estanqueidad difícil), ni juntas de expansión externas (que pueden ser golpeadas, rompiéndose).

c) Evitar, si es posible, el uso de cambiadores de dos pasos en el lado envolvente. Cuando sea necesario, la pantalla deflectora longitudinal debe ajustarse a la virola con un cierre laberíntico, compuesto de múltiples láminas de acero inoxidable.

d) Para facilitar el desmontaje del haz tubular en los cambiadores de cabeza flotante o tubos en U, colocar tornillos de despegue en las placas tubulares fijas, a fin de romper la superficie de contacto de la junta, entre la brida de la envolvente y la placa tubular.

e) Colocar en las mismas placas tubulares fijas, suficientes agujeros roscados en su cara exterior, para permitir atornillar un mecanismo de tracción a fin de poder sacar el haz tubular de la envolvente para limpieza o para reemplazar. Estos agujeros roscados deben de estar protegidos permanentemente con tapones de material no corroible. Asimismo conviene soldar en la parte inferior de los deflectores y soportes de tubos, dos redondos continuos, para facilitar el deslizamiento del haz al efectuar su extracción.

f) En los haces tubulares de paso en disposición cuadrangular, mantener conductos de limpieza continuos a través del haz.

g) Dimensionar el distribuidor y la tapa de la cabeza flotante de modo que se obtenga una sección de paso aproximadamente un 25 por 100 mayor que la sección de paso de los tubos, pero sin exceder este valor, porque las zonas de baja velocidad son zonas de posible formación de depósitos (fouling) (Guilmour, 1965; Varriot, 1977).

h) No utilizar espárragos menores de 5/8".

i) Dotar a los soportes del extremo flotante del cambiador, con agujeros ovalados, para permitir la dilatación a la temperatura de operación.

j) Permitir una completa purga y drenaje con medios manguitos de 3000 (H.C.) de 1", situados en las aristas exteriores superior e inferior de la virola del distribuidor y en el cabezal de la envolvente.

k) Utilizar los siguientes tipos de bocas:

— De acero forjado con brida integral (de cuello largo soldado, LWN).

— Tubería de acero sin soldadura, de sch. 80 mínimo, con bridas de cuello soldado (WN).

l) Colocar en cada boca de salida un medio manguito de 3000 (H.C.), para conexión de una vaina termométrica y otro para la medida de presión; incluso para unidades que aparentemente no lo necesiten, ya que un intercambiador puede usarse a lo largo de su vida para distintos servicios.

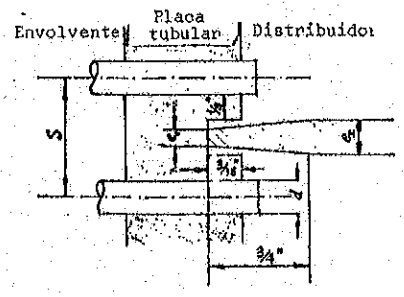
TABLA IV

Diámetro TEMA del cambiador, in.	D.I. del cabezal de la envolvente (TEMA 1952)
8	12
10	13
12	15
13	17
15	19
17	21
19	23
21	25
23	27
25	29
27	31
29	33
31	35
33	37
35	39
37	42
39	44
42	47

m) Para servicios de alta presión y temperatura (que requieren materiales más caros), es recomendable realizar un examen completo por rayos X. La razón es que, además de que la economía de material puede pagar inspecciones costosas, con elementos más delgados se eliminan tensiones térmicas difíciles de prever y controlar; ver el código ASME, Section VIII, División 2 y Varriot (1977).

n) Utilizar pantallas deflectoras de corte vertical para los cambiadores por los que circulen por la envolvente dos fases fluidas (condensadores, evaporadores, calentadores) y pantallas de corte horizontal para los que circula una sola fase por la envolvente (transmisión de calor sensible). Para servicios especiales ver la Fig. 3.

o) Si el espacio lo permite, seguir las reglas de implantación siguientes:



Método alternativo

$$t = \frac{ID}{2}\sqrt{\frac{CP}{S}}$$

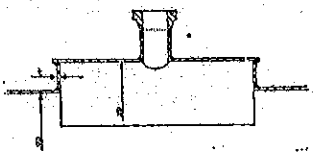
ID/OD	C
1,25	0,04120
1,30	0,05576
1,35	0,07032
1,40	0,08488
1,45	0,09944
1,50	0,11400
2	0,24500

Método Roark

$$t = b\sqrt{\frac{\beta P}{S}}$$

a/b	β
1,0	0,3048
1,1	0,3486
1,2	0,3834
1,3	0,4122
1,4	0,4356
1,5	0,4542
1,6	0,4680
1,7	0,4794
1,8	0,4872
1,9	0,4932
2	0,4974

Método A



Método B

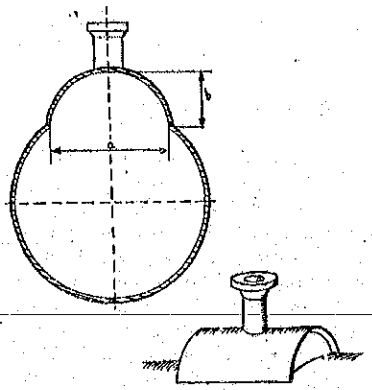


Fig. 6

— Para fluidos limpios y no corrosivos, colocar los cambiadores superpuestos.

— Para fluidos muy sucios o corrosivos, no se deben colocar superpuestos, a fin de facilitar el mantenimiento. Asimismo puede facilitarlo la colocación de cuerpos verticales.

Para análisis de alternativas para instalar cambiadores, ver Robert Kern (1960), (1977), Thomas (1965), Blackburn (1966), Berggren & Sindelar (1968).

p) Considerar las siguientes alternativas:

1. Cabeza flotante o placa tubular fija con o sin inversión de las corrientes.

2. Placa tubular fija o tubos en U, con corrientes invertidas y con paso triangular o cuadrangular.

3. Distribuidor con tapa plana o cabezal integral.

Para más consideraciones, ver Robert Kern (1960), (1977), Thomas (1965), YUBA (1966), Volkin (1967), Guilmour (1967), Rubin (1968), Lord, Minton & Slusser (1970), Varriot (1977).

Diámetro TEMA del cambiador, in	e_2, in	e_1, in	
		△□	◇ 1"
Hasta 20	3/8	1/4	1/4
De 20 a 24	3/8	3/8	5/16
Más de 24	1/2	3/8	5/16

Fig. 5

Pág 74