

CAMBIADORES DE CALOR



INTRODUCCIÓN
COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSPORTE DE CALOR
DISEÑO DE CAMBIADORES: MÉTODO DTML
EFICACIA DE CAMBIADORES: MÉTODO NUT
CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

1. Introducción

IVO: análisis térmico de cambiadores de calor

ADOR DE CALOR: dispositivo diseñado para facilitar el intercambio entre dos fluidos a distinta temperatura.

ACIONES:

- calentamiento de espacios, acondicionamiento de edificios
- producción de potencia
- aporte de calor a corrientes de proceso
- eliminación de calor de corrientes de proceso
- recuperación de calor residual (Tecnología Pitch)

DERACIONES BÁSICAS

- Estrecha relación entre diferencia de T entre ambos fluidos y el área necesaria para el contacto.
- Debe procurarse que h en ambos fluidos sea similar.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

1. Introducción

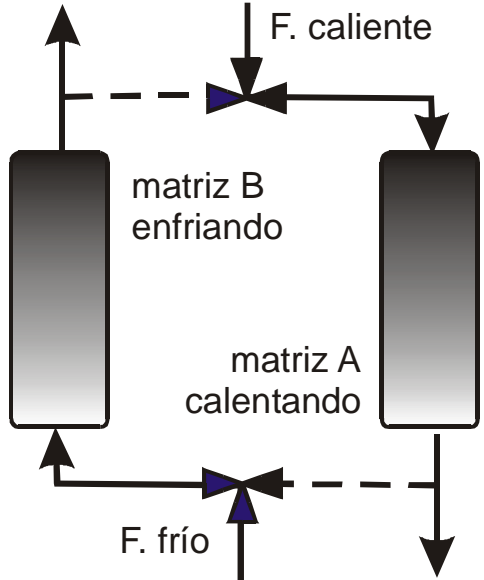
Cambios en función del tipo de contacto

REGENERADORES: circulación alternativa del fluido frío y caliente por el mismo espacio del NÚCLEO o MATRIZ). Este núcleo sirve como dispositivo de almacenamiento de energía.

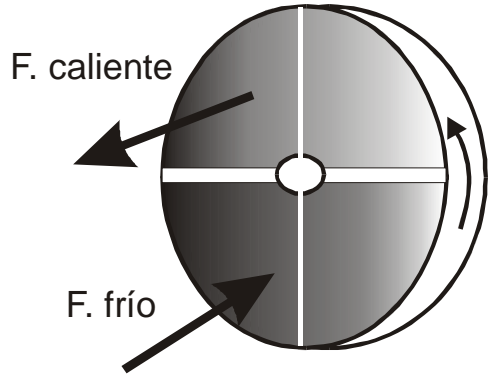
generadores:

matriz fija → circulación periódica y alternada por la matriz. Operación por ciclos.

matriz rotativa → matriz con movimiento giratorio que expone distintas partes de su superficie a ambos fluidos.



a) Regenerador matriz fija



b) Regenerador matriz rotativa



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagenan99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

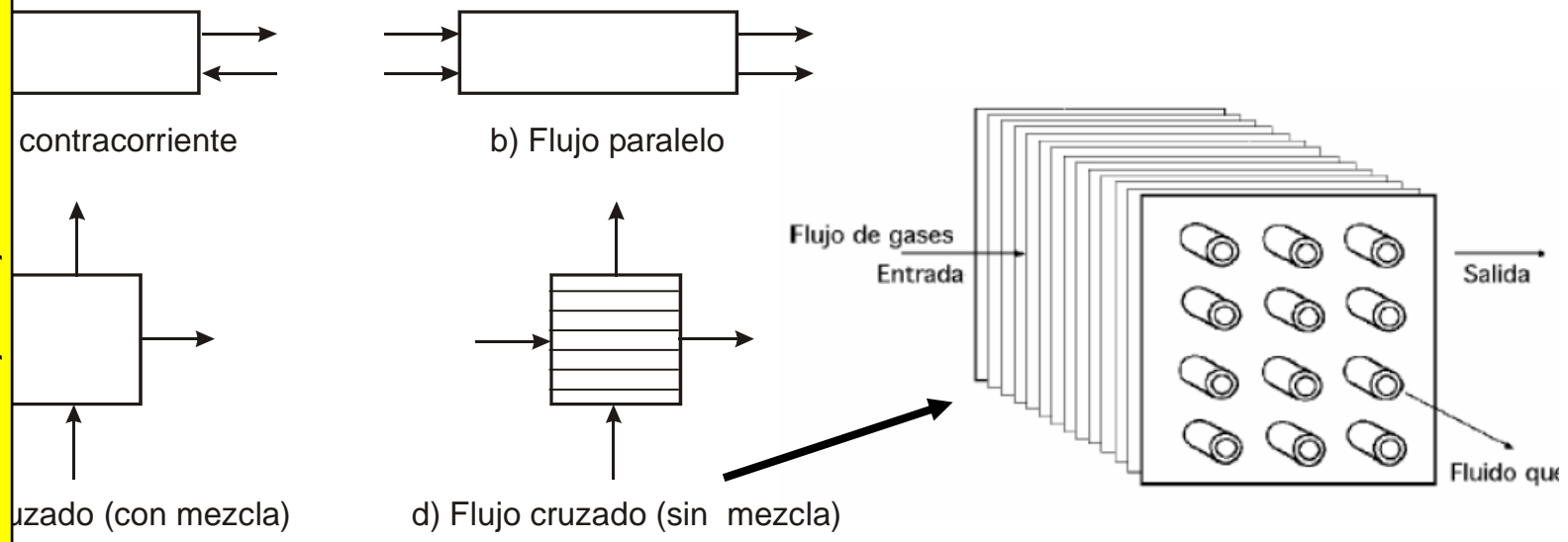
1. Introducción

Cambiadore en función del tipo de contacto

EXCHANGER O CAMBIADOR CERRADO: circulación simultánea de fluido frío y caliente separado. Separación de ambos por una pared sólida.

EXCHANGER ABIERTO O DE CONTACTO DIRECTO: circulación simultánea y con mezcla del fluido caliente (ej. torres de refrigeración, centrales térmicas, ...).

Patrones de flujo en cambiadores



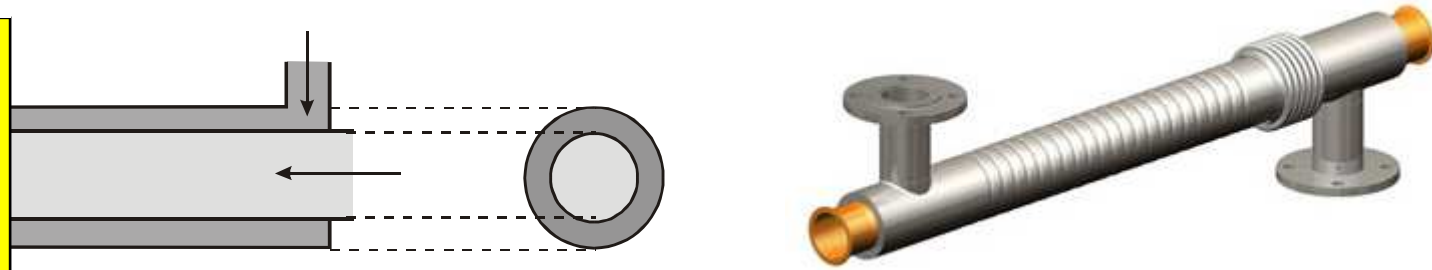
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

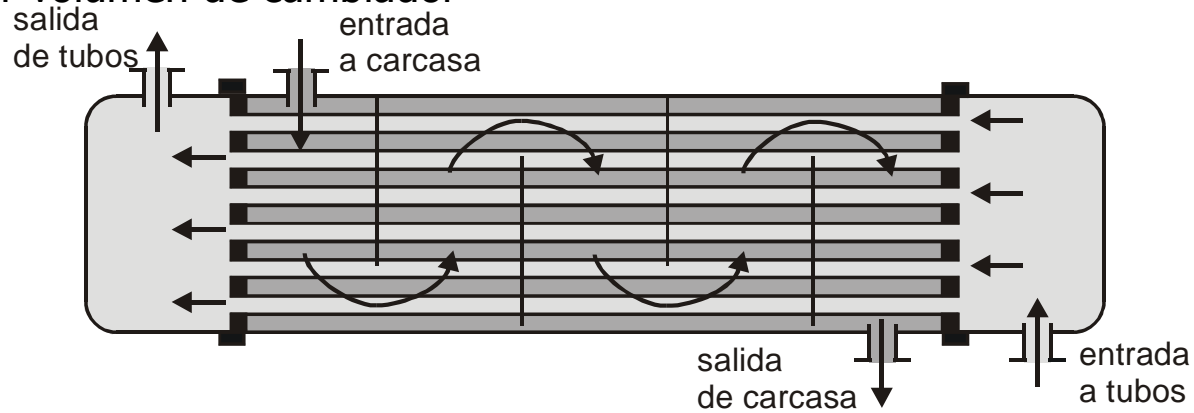
1. Introducción

Cambios en función del tipo de construcción

TIPO DE TUBOS CONCÉNTRICOS: útiles para pequeñas superficies de



TIPO DE CARCASA Y TUBOS: carcasa estanca en la que se sitúa un banco de tubos (permitiendo uno de los fluidos por la carcasa y el otro por el interior de los tubos).
Mayor volumen de cambiador

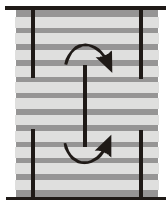


1. Introducción

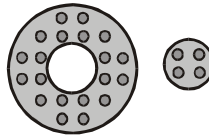
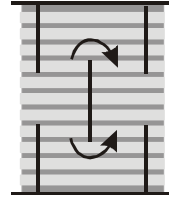
Cambiadorees en función del tipo de construcción

R DE CARCASA Y TUBOS. Tipos de cambiador en función del patrón de flujo:
revertido: utilización de pantallas o tabiques deflectores para mejorar h en el e la carcasa.

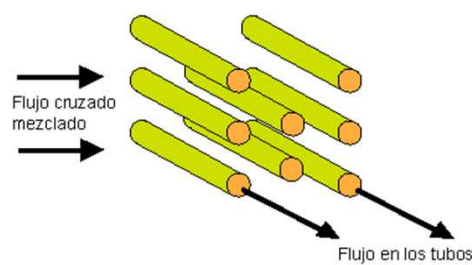
b) tabique deflector de bandas



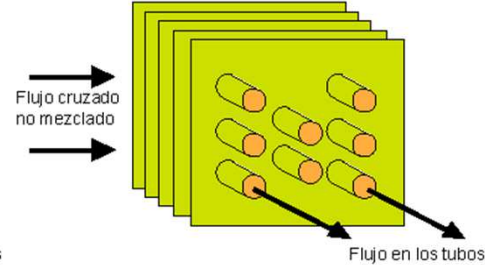
c) tabique deflector de disco y anillo



cruzado: flujo perpendicular al eje de los tubos. Se distinguen dos tipos: con mezcla.



a) FLUJO CRUZADO MEZCLADO



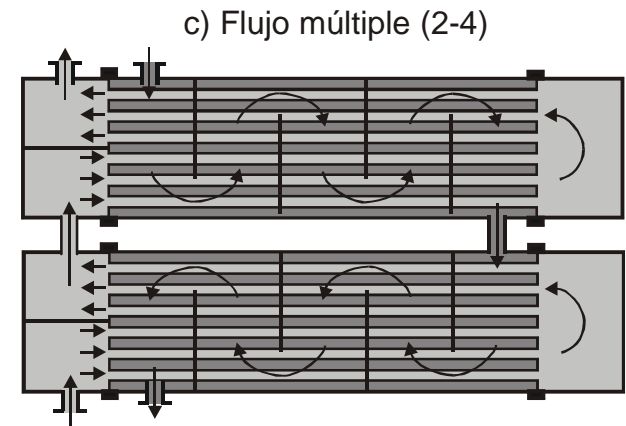
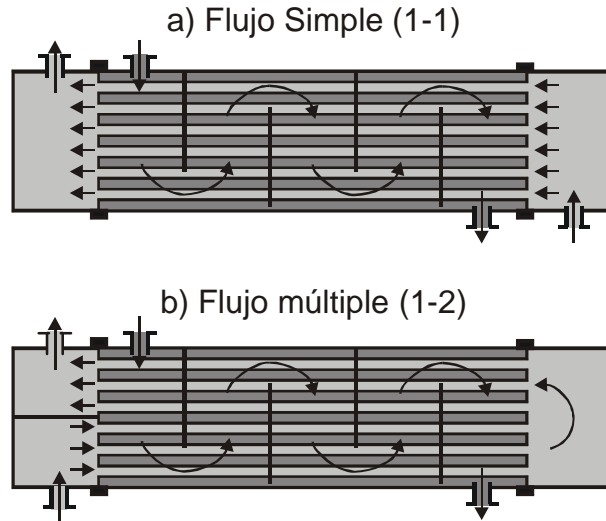
b) FLUJO CRUZADO NO MEZCLADO

1. Introducción

Cambidores en función del tipo de construcción

TIPO DE CARCASA Y TUBOS. Tipos en función del número de pasos

(a-tubos)]:
simple.
múltiple.



el fluido que circula por tubos:

- positivos
- os
- o caliente
- o a menor presión
- menor viscosidad

1. Introducción

Cambiadorees en función del tipo de construcción

CLASE R DE CARCASA Y TUBOS. Se diseñan según estándares publicados por los Fabricantes de Intercambiadores tubulares

TEMA: Tubular Exchanger Manufacturers Association

Clase R



Propósitos Generales y Aplicaciones relacionadas

Clase C

Propósitos Generales

Clase B



Procesos Químicos



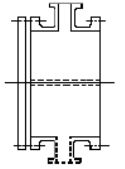
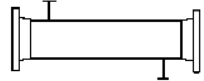
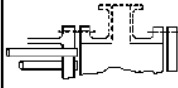
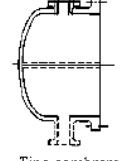
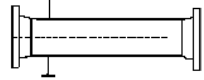
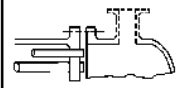
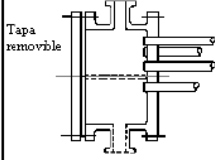
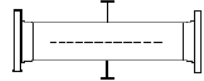

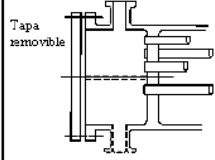
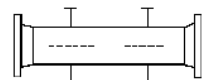
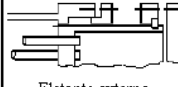
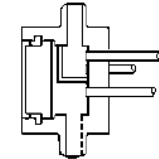
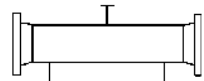

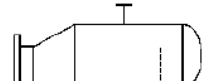

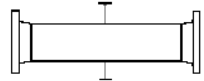
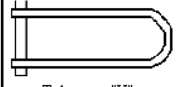

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

1. Introducción

Cambios en función del tipo de construcción

TIPO DE CARCASA Y TUBOS.

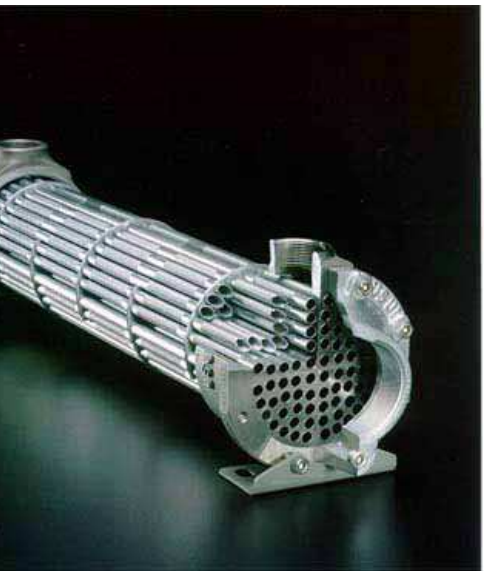
	CABEZALES ANTERIORES: ESTACIONARIOS O FIJOS	TIPOS DE CARCAZAS	CABEZALES POSTERIORES
A	 Canal y tapa removibles	E  Un solo paso	L  Cabezal fijo tipo "L"
B	 Tipo sombrero	F  Dos pasos con deflector longitudinal	M  Cabezal fijo tipo "M"
C	 Tapa removible Canal fijo a la placa de tubos	G  Flujo distribuido	N  Cabezal fijo tipo "N"
N	 Tapa removible Canal fijo a la carcasa	H  Doble flujo distribuido	P  Flotante externo
D	 Especial para altas presiones	J  Flujo dividido	S  Anillos divididos
		K  Rehervidor tipo kettle	T  Tracción continua
		X  Flujo cruzado	U  Tubos en "U"
			W  Flotante sellado externamente

*Tipos de carcasa y cabezales
de selladura TEMA*

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

1. Introducción



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

1. Introducción

Cambiadore en función del tipo de construcción

PLACA Y MARCOS. Formado por un bastidor (placa fija+placa móvil)
placas con juntas para dirigir el fluido.
de placas $\downarrow \downarrow \rightarrow \uparrow V \rightarrow \uparrow$ turbulencia
las placas acanalada $\rightarrow \uparrow A$ y turbulencia

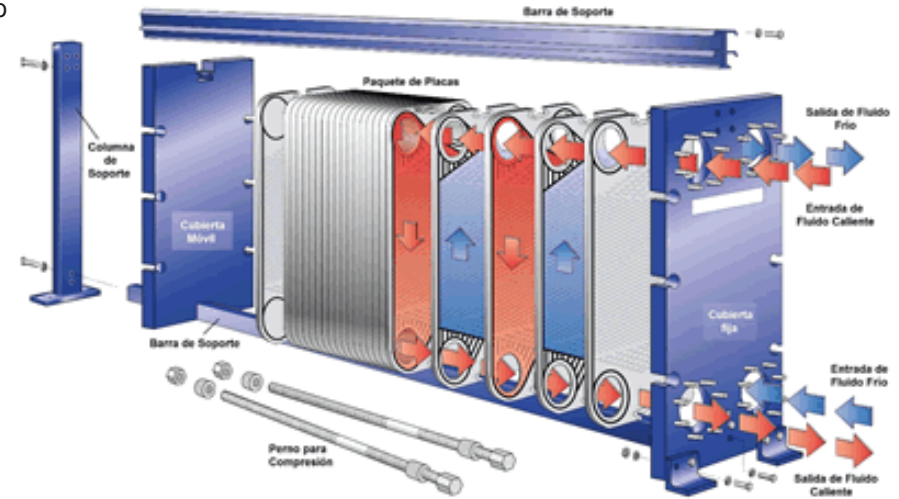
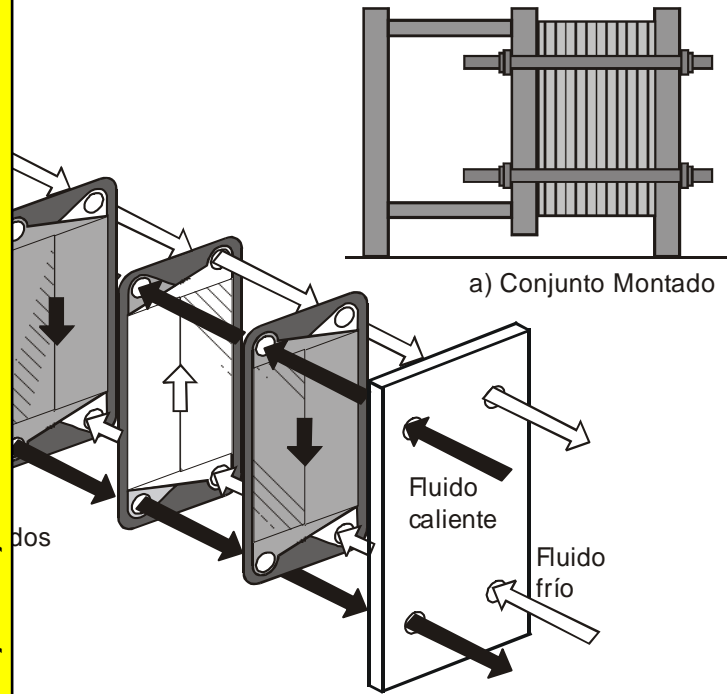
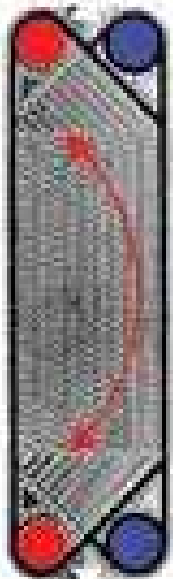
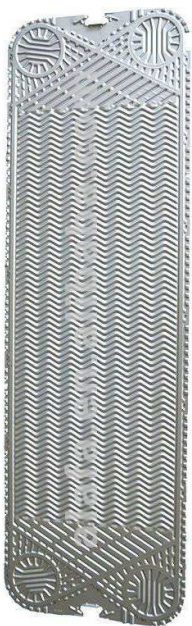
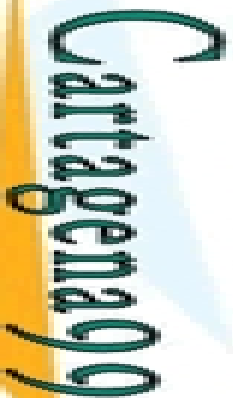


Figura 2: Intercambiador de Calor de Placas.

1. Introducción

Cambiadore de calor en funci3n del tipo de construcci3n PLACA Y MARCO.



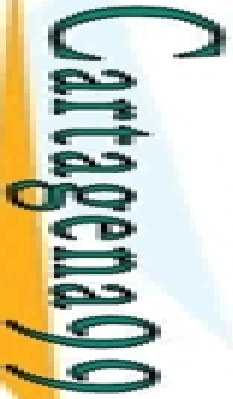
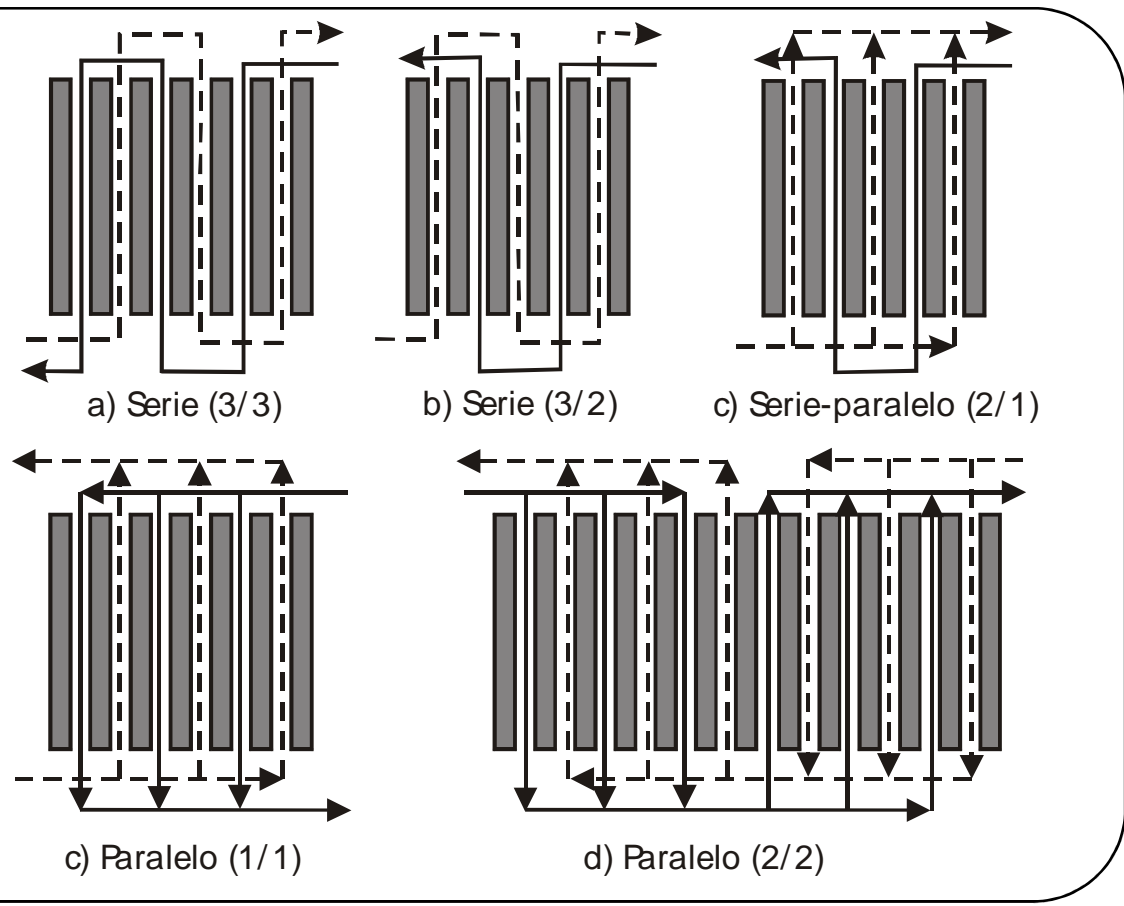
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

1. Introducción

Cambios en función del tipo de construcción

DE PLACAS Y MARCOS.

Patrones de flujo



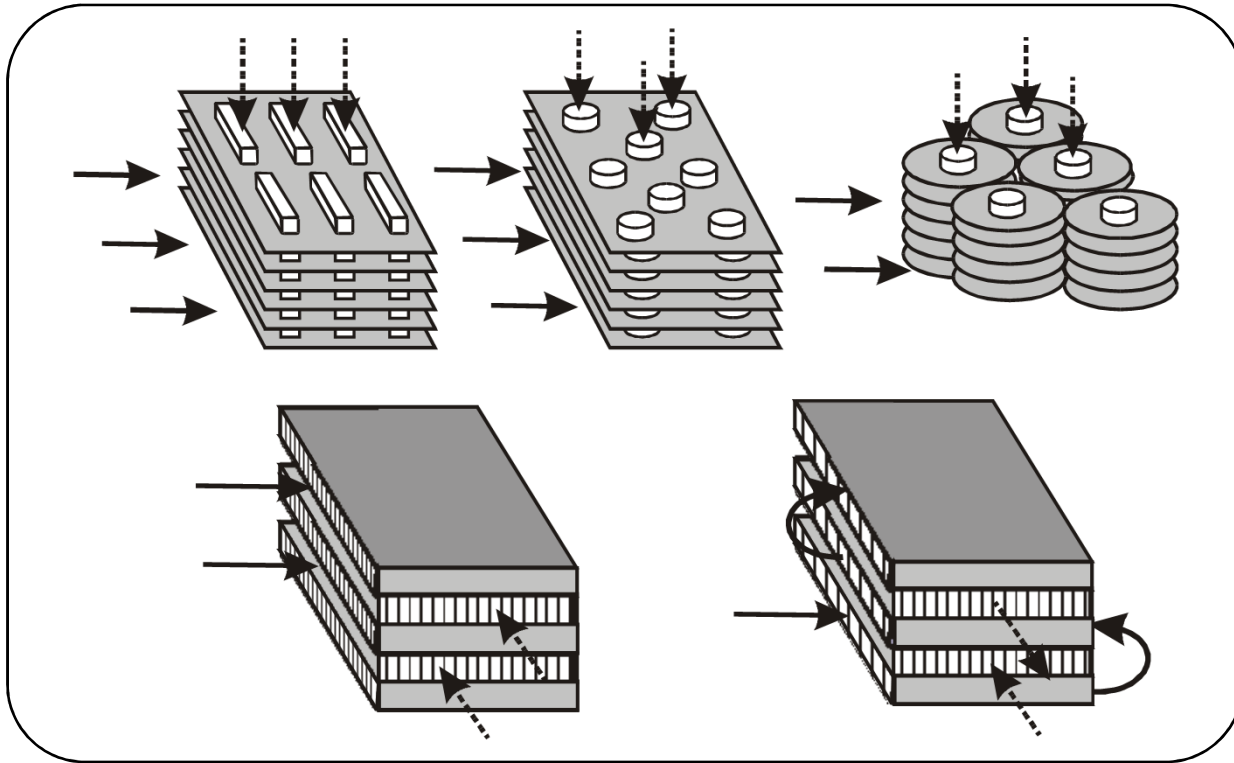
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

1. Introducción

Cambios en función del tipo de construcción

2 COMPACTO. Formados por bancos muy densos de tubos unidos por placas. Relación área contacto/volumen ($>700 \text{ m}^2/\text{m}^3$). El fluido de los fluidos suele ser gas.

Ejemplos



1. Introducción

Cambiadores en función del servicio

CALENTADOR

CONDENSADOR

HERVIDOR

PRECALENTADOR

EVAPORIZADOR

GENERADOR DE VAPOR

REFRIADOR

REFRIGERADOR

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



2. Coeficientes globales de transporte de calor

RMICO DE CAMBIADORES $\rightarrow Q = f(U, A, F.I.)$

$A \rightarrow$ superficie de contacto (superficie perpendicular a la transmisión de calor).

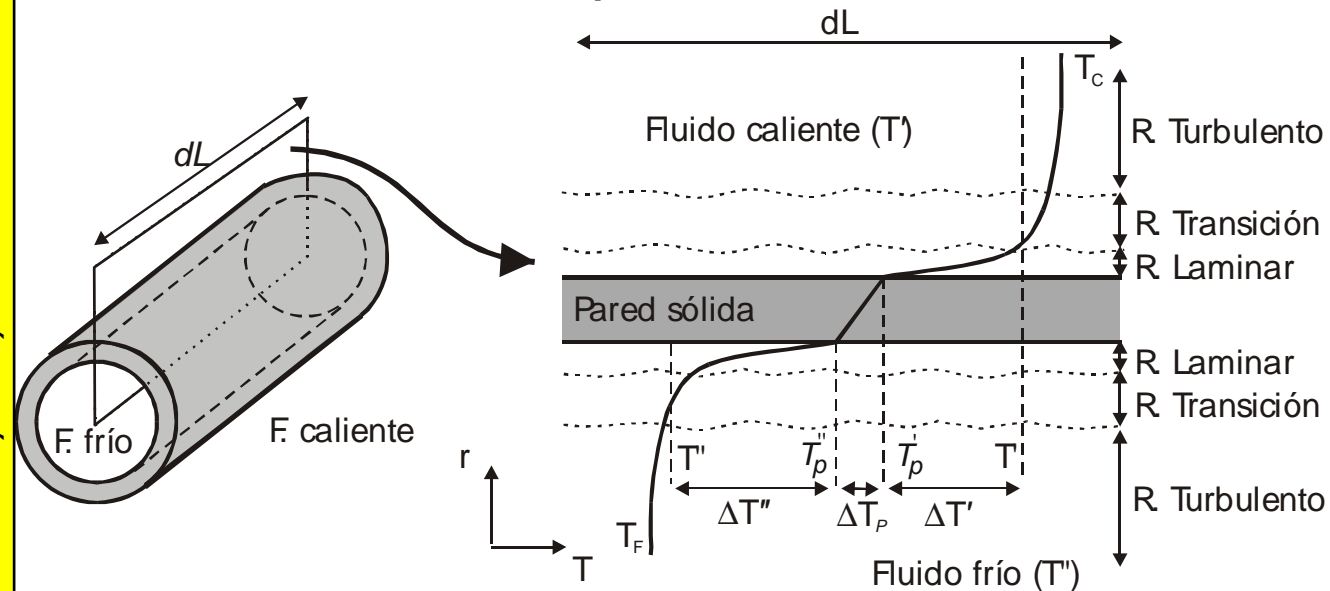
$F.I. \rightarrow$ diferencia de T entre fluido frío y fluido caliente.

$U \rightarrow$ COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR. $U = f$ (resistencias al transporte).

CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISIÓN DE CALOR A PARTIR DE LAS RESISTENCIAS AL TRANSPORTE DEL SISTEMA.

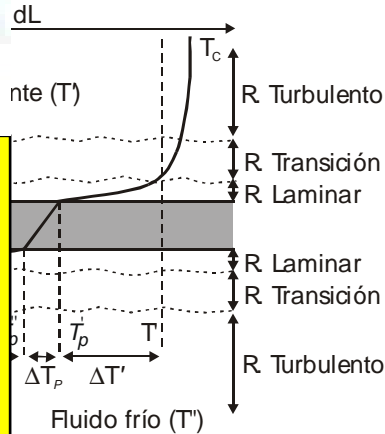
Elemento diferencial de conducción cilíndrica por la que circula un fluido frío e intercambia con un fluido caliente en el exterior. Régimen estacionario.

Perfil radial de temperaturas en un elemento diferencial de cambiador



2. Coeficientes globales de transporte de calor

RÉGIMEN ESTACIONARIO → $Q_{TOTAL} = Q_{F.CALIENTE} = Q_{TUBO} = Q_{F.FRÍO} = cte$



$$dQ = \frac{T' - T'_p}{1} = \frac{T'_p - T''_p}{e} = \frac{T''_p - T''}{1} = \frac{T' - T''}{\frac{1}{h' \cdot dA'} + \frac{e}{k \cdot dA_{ml}} + \frac{1}{h'' \cdot dA''}} = \frac{T' - T''}{UdA}$$

$$\frac{1}{UdA} = \frac{1}{h' dA'} + \frac{e}{k dA_{ml}} + \frac{1}{h'' dA''} \therefore \frac{1}{U} = \frac{1}{h' \frac{dA'}{dA}} + \frac{e}{k \frac{dA_{ml}}{dA}} + \frac{1}{h'' \frac{dA''}{dA}}$$

alquiera de las áreas que aparecen en las resistencias individuales → cambia el valor de U.

$$UdA = U' dA' = U_{ml} dA_{ml} = U'' dA''$$

Cilíndricos → $dA = \pi D dL \Rightarrow \frac{1}{U} = \frac{1}{h' \frac{D'}{D}} + \frac{e}{k \frac{D_{ml}}{D}} + \frac{1}{h'' \frac{D''}{D}}$

Si $e \downarrow \downarrow \downarrow \Rightarrow \frac{1}{U} = \frac{1}{h'} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h''} \Rightarrow U = U' = U_{ml} = U''$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Coeficientes globales de transporte de calor

Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 K$)

De→	Gas (CN)	Gas (CF)	Líquido (CN)	Líquido (CF)	Líquido en ebullición
(CN)	Recinto-aire exterior 1-2	Supercalentadores 3-10		Cámaras de combustión 10-40	Calderas de vapor 10-40
(CF)		Cambiador de calor 10-30		Calderas de gas 10-50	
(CN)			Baño de aceite de calefacción 25-500	Serpentín de frío en tanque 500-1500	
(CF)	Radiador de calefacción 5-15	Enfriadores de gas 10-50	Serpentín de calef. en tanque 50-2000	Cambiador de calor 900-2500	Evaporador 300-1000
or sando	Radiador de vapor 5-20	Calentador de aire 10-50	Camisa de vapor de tanques 150-1000	Condensador 300-4000	Evaporador 300-6000

2. Coeficientes globales de transporte de calor

ento

ento { Deposición de sales e impurezas (CaCO_3)
Reacciones fluido-material conducción (oxidación)
Crecimiento de microorganismos (algas) } Resistencia adicional con k baja

ENSUCIAMIENTO \uparrow con tpo. $\rightarrow \downarrow Q \rightarrow \rightarrow$ **LIMPIEZA**

de depósitos = f (naturaleza, tiempo de servicio, T) \rightarrow Espesor y área desconocidos,
variables con el tiempo.

Resistencia de depósitos \rightarrow experimentalmente con U_s (en uso) y U_L (limpio): $\frac{1}{U_s A} = \frac{1}{U_L A} + \frac{R'}{A'} + \frac{R''}{A''}$

Fluido	Factor de ensuciamiento ($\text{m}^2 \text{KW}^{-1}$)
Agua de río	0,00008 – 0,0003
Agua de mar	0,0003 – 0,001
Agua urbana (blanda)	0,0002 – 0,0003
Agua urbana (dura)	0,0005 – 0,001
Condensado de vapor de agua	0,0002 – 0,0006
Vapor de agua	0,0001 – 0,0005
Aire y gases industriales	0,0002 – 0,0005
Gases de combustión	0,0002 – 0,0005
Vapores y líquidos orgánicos	0,0002
Productos orgánicos hirviendo	0,0004
Condensado de productos orgánicos	0,002
Disoluciones salinas acuosas	0,0002 – 0,0003

Factores de ensuciamiento para tubos cilíndricos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Coeficientes globales de transporte de calor

superficies extendidas

ES EXTENDIDAS $\left\{ \begin{array}{l} \downarrow \text{Resistencia por convección por } \uparrow A \\ \uparrow \text{Resistencia por conducción en sólido} \end{array} \right\}$



EFICACIA TOTAL DE SUPERFICIE EXTENDIDA (η_0)

$$1 - \frac{N A_A}{A} (1 - \eta_A)$$

N: nº de aletas

A: área total

A_A : área aletas

η_A : eficacia aleta individual [f(geometría, tamaño)]

CONSIDERACION EN CÁLCULO DE U:

$$\frac{1}{U \cdot dA} = \frac{1}{\eta'_0 \cdot h' \cdot dA'} + \frac{R'}{\eta'_0 \cdot dA'} + \frac{e}{k \cdot dA_{ml}} + \frac{R''}{\eta''_0 \cdot dA''} + \frac{1}{\eta''_0 \cdot h'' \cdot dA''}$$

3. Diseño de cambiadores: método DTML

Elección del tipo de cambiador
Cálculo del área de intercambio

nible para cálculo de T, m ó Q → **BALANCE DE ENERGÍA**

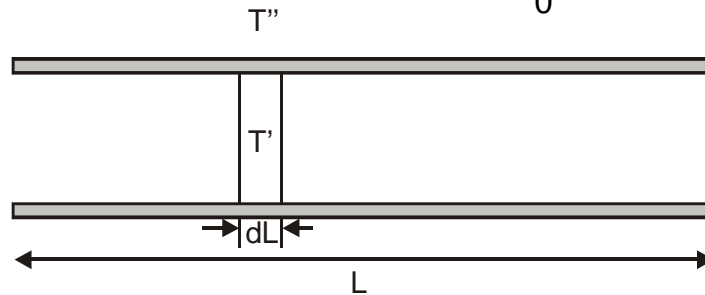
cambio de fase → $Q = m' Cp'(T'_1 - T'_2) = m'' Cp''(T''_2 - T''_1)$

1: entrada
2: salida

cambio de fase (ej. fluido frío) → $Q = m' Cp'(T'_1 - T'_2) = m'' \lambda''$

ponible para cálculo de ÁREA → **ECUACIÓN DE DISEÑO**

$U dA (T' - T'')$ **CÁLCULO DEL ÁREA** $\int_0^A dA = A = \int_0^{Q_0} \frac{dQ}{U \cdot (T' - T'')} = \int_0^{Q_0} \frac{dQ}{U \cdot \Delta T}$



argo del cambiador → variación de propiedades físicas de fluidos → $h \neq cte$ → $U \neq cte$

ONOCER PERFIL DE T LONGITUDINAL (función del tipo de cambiador) → permite conocer la LSORA ($T' - T''$) en cualquier sección del cambiador.



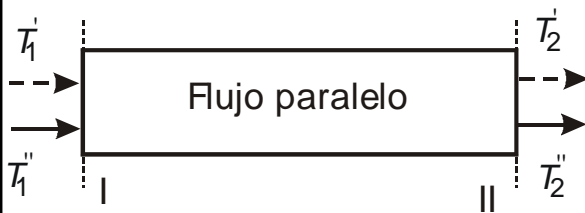
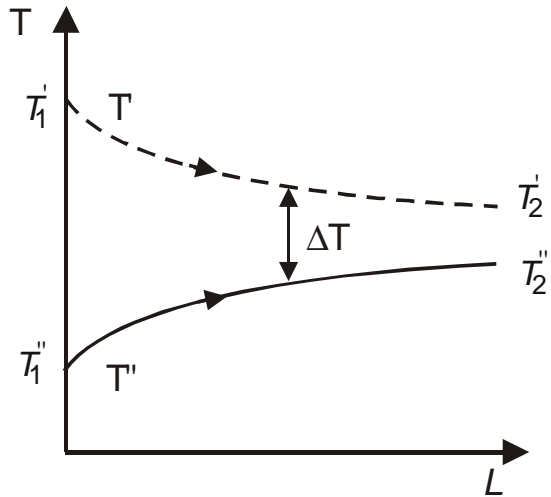
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

3. Diseño de cambiadores: método DTML

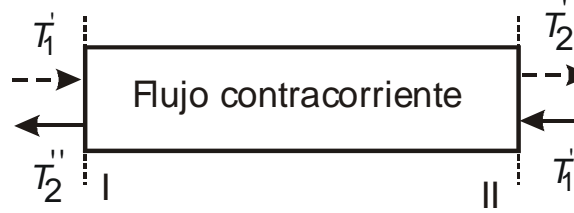
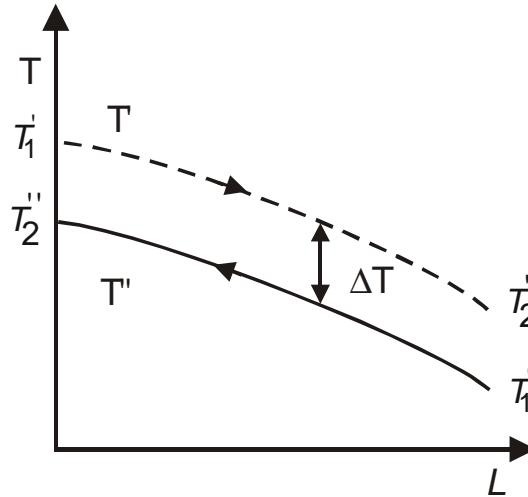
Intercambiador de tubos concéntricos

Distribución de temperaturas a lo largo del cambiador



$$\Delta T_I = T_1' - T_1'' \quad \Delta T_{II} = T_2' - T_2''$$

$$T_2' = T_2'' \text{ para } L = \infty$$



$$\Delta T_I = T_1' - T_2'' \quad \Delta T_{II} = T_2' - T_1''$$

Posibilidad de calentar un fluido a T mayor que la de salida del f. caliente

Cartagena99
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Diseño de cambiadores: método DTML

Intercambiador de tubos concéntricos

Coeficiente global constante

Propiedades físicas \approx ctes. \rightarrow valores medios de h y $k \rightarrow$ valor medio y cte. de U
 en elemento diferencial (flujo en contracorriente):

$$\left. \begin{aligned} \cdot dT' \\ dT'' \end{aligned} \right\} \begin{aligned} dT' &= \frac{-dQ}{m' \cdot c'_p}; & dT'' &= \frac{dQ}{m'' \cdot c''_p} \end{aligned} \rightarrow dT' - dT'' = d(T' - T'') = -dQ \left(\frac{1}{m' \cdot c'_p} + \frac{1}{m'' \cdot c''_p} \right)$$

Diseño $dQ = U(T' - T'')dA$

Esta ecuación en la de diseño e integrando entre la salida y la entrada del cambiador (I y II) se tiene:

$$\int_I^{II} \frac{d(T' - T'')}{T' - T''} = -U \left(\frac{1}{m' \cdot c'_p} + \frac{1}{m'' \cdot c''_p} \right) \int_I^{II} dA$$

$$\ln(T' - T'')_{II} - \ln(T' - T'')_I = -UA \left(\frac{1}{m' \cdot c'_p} + \frac{1}{m'' \cdot c''_p} \right)$$

$$\ln \frac{(T' - T'')_{II}}{(T' - T'')_I} = -UA \left(\frac{1}{m' \cdot c'_p} + \frac{1}{m'' \cdot c''_p} \right)$$

Por otra vez las ecuaciones de balance entálpico entre los mismos límites:

$$\int_I^{II} dT' = \int_I^{II} \frac{-dQ}{m' \cdot c'_p} \quad (T'_{II} - T'_I) = \frac{Q}{m' \cdot c'_p}$$

$$\int_I^{II} dT'' = \int_I^{II} \frac{dQ}{m'' \cdot c''_p} \quad (T''_{II} - T''_I) = -\frac{Q}{m'' \cdot c''_p}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

3. Diseño de cambiadores: método DTML

La ecuación de diseño integrada las masas térmicas (m Cp) por su relación con T y Q en los límites térmicos:

$$\ln \frac{(T' - T'')_{II}}{(T' - T'')_{I}} = -UA \left(\frac{T''_{II} - T'_{I}}{-Q} + \frac{T'_{II} - T'_{I}}{Q} \right)$$

ecuación:

$$\ln \frac{\Delta T_{II}}{\Delta T_{I}} = -\frac{UA}{Q} (T'_{I} - T''_{II} + T'_{II} - T'_{I}) = -\frac{UA}{Q} [(T'_{II} - T''_{II}) + (T'_{I} - T'_{I})]$$

$$\ln \frac{\Delta T_{I}}{\Delta T_{II}} = \frac{UA}{Q} [(T'_{I} - T'_{I}) - (T''_{II} - T'_{II})]$$

$$Q = UA \frac{[(T'_{I} - T'_{I}) - (T''_{II} - T'_{II})]}{\ln \frac{\Delta T_{I}}{\Delta T_{II}}} = UA \frac{\Delta T_{I} - \Delta T_{II}}{\ln \frac{\Delta T_{I}}{\Delta T_{II}}}$$

← ΔT_{ml}

$$Q_0 = UA \Delta T_{ml}$$

Si U es apreciable pero moderada → división del cambiador en tramos en los que se pueda considerar U constante y obtener el área de cada tramo

U como variable global

Variación de U con T. Habitualmente se supone variación lineal → U = a + bT

$$\overline{U} \cdot \Delta T \Rightarrow Q_0 = A \cdot (U \cdot \Delta T)_{mlc} \quad (U \cdot \Delta T)_{mlc} = \frac{\Delta T_{II} \cdot U_I - \Delta T_I \cdot U_{II}}{\ln \frac{\Delta T_{II} \cdot U_I}{\Delta T_I \cdot U_{II}}}$$

Si variación de U no lineal: resolver por tramos en los que se pueda suponer variación lineal



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Diseño de cambiadores: método DTML

ador de carcasa y tubos

in de la ecuación de diseño → cálculo del área con ecuación de diseño de tubos modificada con un factor de corrección F_T

$$Q_0 = U \cdot A \cdot \Delta T_m = U \cdot A \cdot (\Delta T_{ml}) \cdot F_T \rightarrow \Delta T_{ml} \text{ de tubos concéntricos en contracorr.}$$

YO Y CÁLCULO DE F_T

$$\frac{\Delta T_m}{(T_1' - T_2'') - (T_2' - T_1'')} \leq 1$$

$$\ln \frac{(T_1' - T_2'')}{(T_2' - T_1'')}$$

Tiene en cuenta que la fuerza impulsora media es menor en cambiador de carcasa y tubos que en concéntrico

$$\frac{(\Delta T_{ml})_{C-T}}{(\Delta T_{ml})_{\text{Tubos concéntricos}}} = f(Z, \eta_c) \quad Z = \frac{m'' Cp''}{m' Cp'} = \frac{T_1' - T_2'}{T_2'' - T_1''} = \frac{\downarrow T \text{ en fluido caliente}}{\uparrow T \text{ en fluido frío}}$$

$$\frac{Q \text{ recibido por F. F. real}}{Q \text{ recibido por F. F. máximo}} = \frac{m'' Cp'' (T_2'' - T_1'')}{m'' Cp'' (T_1' - T_1'')}$$

Si $T_2'' = T_1'$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3. Diseño de cambiadores: método DTML

ador de carcasa y tubos

DO DE UN CAMBIADOR DE CALOR

por variación de T en F. frío

$$\text{EFICIENCIA DE CALEFACCIÓN} \Rightarrow \eta_c = \frac{(Q \text{ recibido por F. F. real})}{(Q \text{ recibido por F. F. máximo})} = \frac{m'' Cp'' (T_2'' - T_1'')}{m'' Cp'' (T_1' - T_1'')} = z \eta_c$$

Si $T_2'' = T_1'$

por variación de T en F. caliente

$$\text{EFICIENCIA DE ENFRIAMIENTO} \Rightarrow \eta_e = \frac{(Q \text{ cedido por F. C. real})}{(Q \text{ cedido por F. C. máximo})} = \frac{m' Cp' (T_1' - T_2')}{m' Cp' (T_1' - T_1'')} = z \eta_c$$

Si $T_2'' = T_1'$



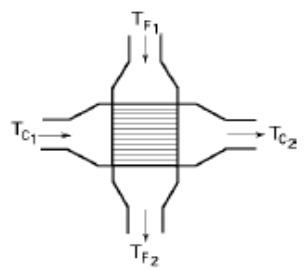
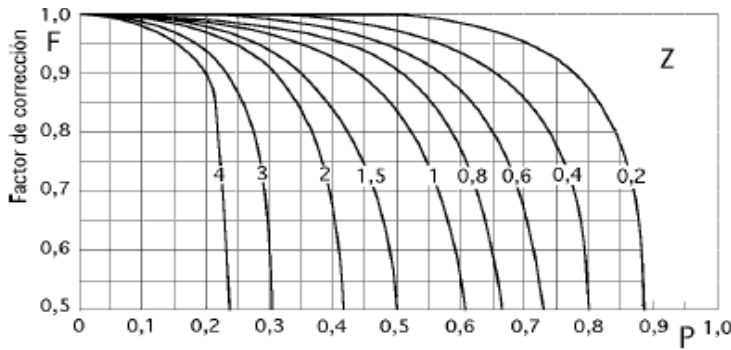
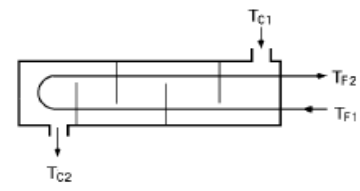
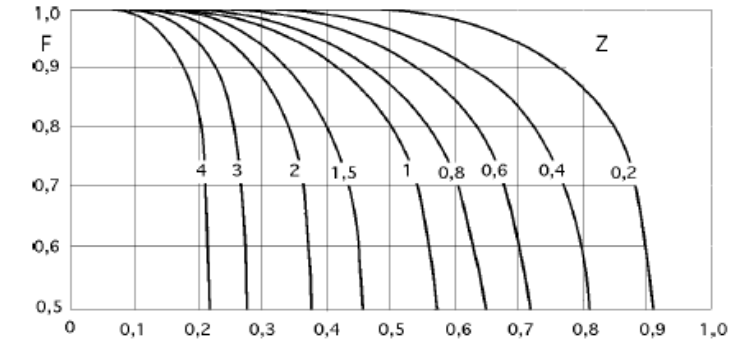
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Diseño de cambiadores: método DTML

Intercambiador de carcasa y tubos

$$\frac{(\Delta T_{ml})_{C-T}}{(\Delta T_{ml})_{\text{Tubos concéntricos}}} = f(Z, \eta) \begin{cases} Z = \frac{m_t C_{p_t}}{m_c C_{p_c}} = \frac{T_{1c} - T_{2c}}{T_{2t} - T_{1t}} \\ \eta = \frac{T_{2t} - T_{1t}}{T_{1c} - T_{1t}} \end{cases}$$

c: carcasa
t: tubos



UNIFASE → $F_T = 1$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3. Diseño de cambiadores: método DTML

Cambiador de placas y marcos

instaladas → Rég. turbulento para $Re > 10-500$ → mejor intercambio de calor
reducción de ensuciamiento por ↑ turbulencia

flexibilidad → modificación de área de contacto por cambio de número de placas

diseño análogo a la de carcasa y tubos: $Q_0 = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \cdot F_T$

DE F_T

(depende de flujo, número de pasos)

para caudales: 0,66-1,5 → Flujo paralelo y 1 paso → $F_T \approx 1$

para otras condiciones de caudales → Gráficas

DE U

en caso $A' = A_{ml} = A''$ → $U' = U_{ml} = U''$

Régimen laminar: $Re < 400$ →

$$h_c = 0,742 \cdot c_p \cdot G \cdot Re^{-0,62} \cdot Pr^{-0,667} \frac{\mu}{\mu_0}$$

Régimen turbulento: $Re > 400$ →

$$h_c = 0,2536 \cdot \frac{k}{D_e} \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,4}$$

G → velocidad másica

D_e → diámetro equivalente (2δ)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4. Eficacia de cambiadores: método NUT

o el balance de energía no puede proporcionar los datos desconocidos de m, T o Q.

$$\text{Eficacia} \Rightarrow \epsilon = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

al de calor máximo que se podría transferir en un cambiador de calor de superficie infinita

$$Q_{\max} = (m C_p)_{\min} (T'_1 - T''_1)$$

$$\frac{Q}{(m C_p)_{\min} (T'_1 - T''_1)}$$

$$Q = \epsilon Q_{\max} = \epsilon (m C_p)_{\min} (T'_1 - T''_1)$$

f (tipo de cambiador; disposición de flujo)

cer todas las temperaturas:

$$Z \leq 1 \quad \therefore \quad \epsilon = \frac{m'' \cdot c_p'' \cdot (T_2'' - T_1'')}{(m \cdot c_p)_{\min} \cdot (T_1' - T_1'')} = \frac{(T_2'' - T_1'')}{(T_1' - T_1'')} \quad (\epsilon = \eta_C)$$

$$Z > 1 \quad \therefore \quad \epsilon = \frac{m' \cdot c_p' \cdot (T_1' - T_2')}{(m \cdot c_p)_{\min} \cdot (T_1' - T_1'')} = \frac{(T_1' - T_2')}{(T_1' - T_1'')} \quad (\epsilon = \eta_E)$$

$$= f \left(\frac{U \cdot A}{(m \cdot c_p)_{\min}}, \frac{(m \cdot c_p)_{\min}}{(m \cdot c_p)_{\max}} \right) = f(\text{NUT}, C_R) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Gráficas} \\ \text{Ecuaciones} \end{array} \right.$$

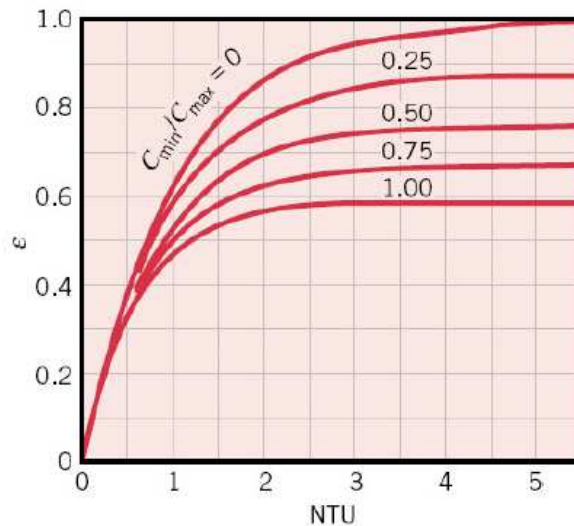
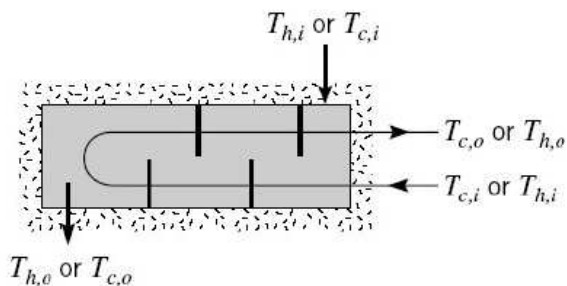
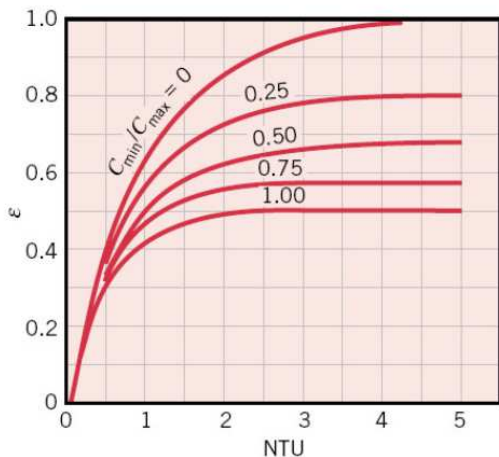


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4. Eficacia de cambiadores: método NUT

NUT

Tubos concéntricos-flujo paralelo



...
Tubos
... por tubos



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4. Eficacia de cambiadores: método NUT



Relaciones de las eficacias de los cambiadores de calor.

$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NUT \cdot (1 + C_R)]}{1 + C_R}$
$C_R < 1 \quad \epsilon = \frac{1 - \exp[-NUT \cdot (1 - C_R)]}{1 - C_R \cdot \exp[-NUT \cdot (1 - C_R)]}$
$C_R = 1 \quad \epsilon = \frac{NUT}{1 + NUT}$
$\epsilon_1 = 2 \left\{ \frac{1 + \exp[-NUT \cdot (1 + C_R^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-NUT \cdot (1 + C_R^2)^{1/2}]} \right\}^{-1}$
$\epsilon = \left[\left(\frac{1 - \epsilon_1 \cdot C_R}{1 - \epsilon_1} \right)^n - 1 \right] \cdot \left[\left(\frac{1 - \epsilon_1 \cdot C_R}{1 - \epsilon_1} \right)^n - C_R \right]^{-1}$
$\epsilon = 1 - \exp\left[\left(\frac{1}{C_R} \right) \cdot (NUT)^{0.22} \cdot \left[\exp(-C_R \cdot (NUT)^{0.78}) - 1 \right] \right]$
$\epsilon = (1/C_R) \cdot (1 - \exp[-C_R \cdot (1 - \exp(-NUT))])$
$\epsilon = 1 - \exp[-(1/C_R) \cdot (1 - \exp(-C_R \cdot NUT))]$
$\epsilon = 1 - \exp[-NUT]$

Tabla 21-4. Relaciones de los NUT de los cambiadores de calor.

Tubos concéntricos	
Flujo paralelo	$NUT = -\frac{\ln[1 - \epsilon \cdot (1 + C_R)]}{1 + C_R}$
Flujo contracorriente	$C_R < 1 \quad NUT = \frac{1}{C_R - 1} \cdot \ln\left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon \cdot C_R - 1}\right)$
	$C_R = 1 \quad NUT = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon}$
Carcasa y tubos	
Un paso carcasa (2, 4, ... por tubos)	$NUT = -(1 + C_R^2)^{-1/2} \cdot \ln\left(\frac{E - 1}{E + 1}\right) \therefore E = \frac{2/\epsilon_1 - (1 + C_R)}{(1 + C_R^2)^{1/2}}$
n pasos carcasa (2n, 4n, ... tubos)	Ecuaciones de n=1 con: $\epsilon_1 = \frac{F - 1}{F - C_R}$; $F = \left(\frac{\epsilon \cdot C_R - 1}{\epsilon - 1}\right)^{1/n}$
Flujo cruzado	
(m_{Cp}) _{max} mezclado, (m_{Cp}) _{min} sin mezcla	$NUT = -\ln[1 + (1/C_R) \cdot \ln(1 - \epsilon \cdot C_R)]$
(m_{Cp}) _{min} mezclado, (m_{Cp}) _{max} sin mezcla	$NUT = -(1/C_R) \cdot \ln[C_R \cdot \ln(1 - \epsilon) + 1]$
Todos los cambiadores	
$C_R = 0$	$NUT = -\ln(1 - \epsilon)$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5. Consideraciones de diseño

le eficacia

la velocidad de transporte (útiles si ↑ de velocidad tpte. compensa ↑ costes):
os activos: requieren consumo de energía externa (Ej. vibración de superficies, ruido, ...)

os pasivos: aumentan superficie de T.Q. (Ej. aletas, superficies onduladas, rugosidad de superficies, ...). En la práctica implican consumo extra de energía por aumento de pérdida de carga.

de eficacia, aumento de velocidad de tpte. o aumento de U permite:
reducir el área de tpte. para una aplicación determinada → equipo de menor tamaño.
Incrementar caudal de fluido, para un cambiador determinado.
Trabajar con fuerzas impulsoras menores

$$Q = U A \Delta T_{ml}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5. Consideraciones de diseño

le eficacia

Métodos para aumentar la eficacia y su aplicación

do	Aplicación				
	C. Natural	C. Forzada	Ebullición: CN sup. Sumerg	Ebullición: CF flujo	Condensación
	H	H	H	O	H
es	O	H	O	H	H
s de ento	-	O	-	O	-
s de	-	H	-	H	-
tratadas	-	H	H	O	H

O: Ocasional

- - -

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



5. Consideraciones de diseño

SELECCIÓN = f (ESPECIFICACIONES, COSTE)

Calor de calor intercambiado → parámetro fundamental

Inmovilizado → si es posible equipo de catálogo

Deben tenerse en cuenta los costes de operación y mantenimiento.

Presión de bombeo.

Cuanto menor es el caudal circulante menores las pérdidas de carga y el coste de operación, pero mayor tamaño del cambiador. En general al duplicar el caudal másico se divide el inmovilizado por dos y se multiplican los costes de bombeo por 8.

Velocidades típicas para líquidos: 0,7-7 m/s, para gases: 3-30 m/s.

Las velocidades bajas evitan problemas de erosión, vibraciones y ruido.

Tamaño y peso → mejor cuanto más pequeño y ligero. Sobre todo en tecnologías nucleares y aeroespaciales.

→ función del tipo de fluidos, las limitaciones de espacio y peso, cambios de fase,

Temperaturas → temperaturas inferiores a 150°C y 15 atm: no es necesario considerar esfuerzos térmicos y estructurales. Diferencias de T superiores a 50°C hacen necesario el estudio serio de expansión térmica. Posibilidad de manejar fluidos corrosivos.

Otras consideraciones → Hermeticidad (fluidos tóxicos o muy costosos). Seguridad y fiabilidad. Existencia de otros cambiadores en planta. Ruidosidad. ...

Guía aplicada de cambiadores

Guía aplicada a la selección del tipo de cambiador.

Aplicación	Observaciones
para $(\mu < 10 \text{ cp})$	El de placas y marcos requiere menos área. Si la presión o temperatura son altas, se utiliza el de carcasa y tubos.
alta viscosidad y vapor	Si el fluido no es corrosivo, el de carcasa y tubos (acero al carbono). Para fluidos corrosivos o condiciones higiénicas (ej: alimentos) si la presión es moderada: el de placas.
alta densidad ($10 < \mu < 100 \text{ cp}$)	Placas y marcos. Si el contenido de sólidos es alto, mejor el de espiral.
alta viscosidad ($\mu > 100 \text{ cp}$)	El de placas y marcos es muy adecuado pues el flujo es turbulento a menores velocidades. Si la viscosidad es muy elevada, el de espiral es incluso mejor.
tendencia a ensuciamiento	Los de espiral y platos, especialmente el último, debido a la facilidad de limpieza. Cuando el fluido lleva sólidos fibrosos el de espiral es mejor.
fluidos y pulpas	El de espiral, pues puede utilizarse con un contenido en sólidos de hasta 50%.
exposición al calor	El de placas y marcos, aunque cuando coincide que es también muy viscoso, el de espiral es mejor.
exposición al aire	Superficies extendidas (aerorefrigerantes).
alta presión	El de placas, si la presión y temperatura es moderada. Caso contrario: carcasa y tubos, láminas o espiral.
fluidos corrosivos	El de carcasa y tubos, si el fluido no es corrosivo. En caso contrario, los de espiral o láminas son adecuados.
alta presión (35 bar) o alta temperatura	Carcasa y tubos.
fluidos corrosivos	Cambiadores de grafito.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70