

INGENIERÍA DE CALOR

INGENIERÍAS.

Dr. Omar Martínez Alvarez.



TEMARIO

Diseño de intercambiadores de haz de tubos y envolvente

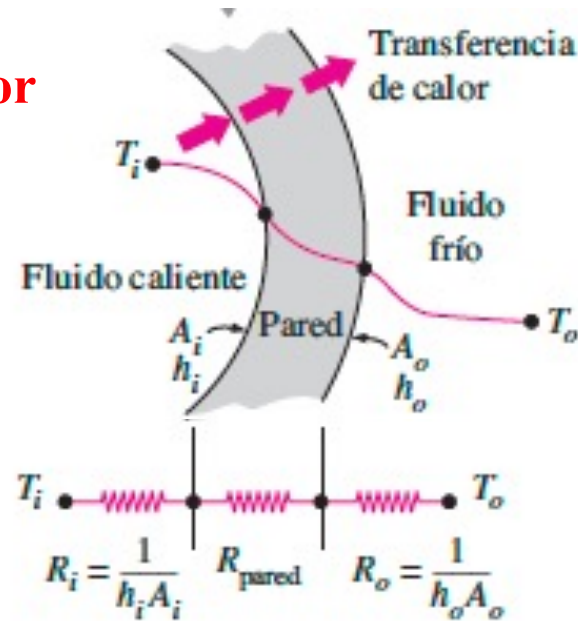
- *Flujos paralelo y contracorriente.*
- *Factores de corrección.*
- *Métodos de cálculo.*
- *Caidas de presión.*
- *Especificaciones de equipo.*



Flujos paralelo y contracorriente.



Diseño de intercambiadores de calor de doble tubo



$$A_i = \pi D_i L \text{ y } A_o = \pi D_o L$$

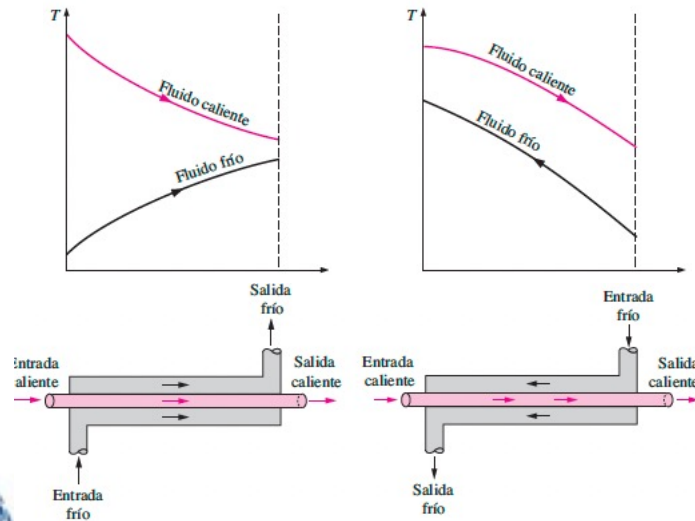
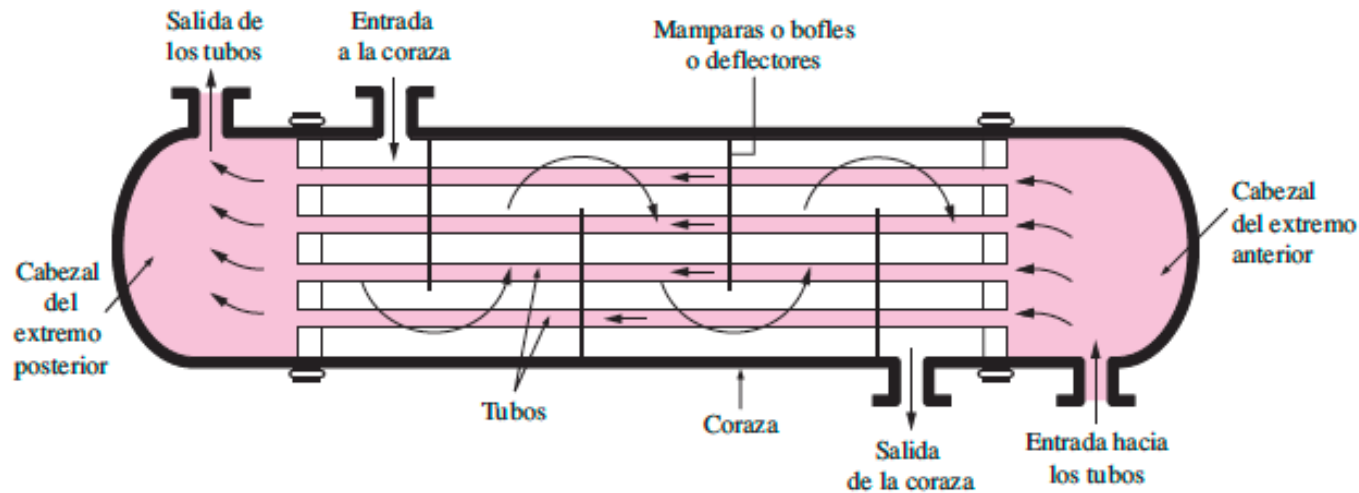
$$R_{pared} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL}$$

$$R = R_{total} = R_i + R_{pared} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T$$

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{pared} + \frac{1}{h_o A_o}$$





$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

Ejemplos

Se va a enfriar aceite caliente en un intercambiador de calor de doble tubo, a contraflujo. El tubo interior de cobre tiene un diámetro de 2 cm y un espesor despreciable. El diámetro interior del tubo exterior (la coraza) es de 3 cm. Por el tubo fluye agua a razón de 0.5 kg/s y el aceite por espacio anular a razón de 0.8 kg/s. Tomando las temperaturas promedio del agua y del aceite como 45°C y 80°C, respectivamente, determine el coeficiente total de transferencia de calor de este intercambiador.

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$V = \frac{m}{\rho A} = \frac{m}{\rho \left(\frac{1}{4}\pi D^2\right)} = \frac{(0.5 \frac{kg}{s})}{(990.1 \frac{kg}{m^3}) \left(\frac{1}{4}\pi (0.02m)^2\right)} = 1.61 m/s$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(1.61m/s)(0.02 m)}{(0.602 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})} = 53\,490 \quad \text{Turbulento}$$

	ρ (kg/m ³)	K (W/m °C)	Pr	ν (m ² /s)
Agua a 45°C	990.1	0.637	3.91	0.602x10 ⁻⁶
Aceite 80°C	852	0.138	499.3	3.794 x 10 ⁻⁵



$$Nu = \frac{hD}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} = 0.023 (53\,490)^{0.8} (3.91)^{0.4} = 240.6$$

$$h = \frac{kNu}{D} = \frac{0.637 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}}{0.02 \text{ m}} * 240.6 = 7663 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

Aceite

$$D_h = 0.01 \text{ m}$$

$$V = \frac{m}{\rho A c} = \frac{m}{\rho (\frac{1}{4} \pi (D_o^2 - D_i^2))} = \frac{(0.8 \frac{kg}{s})}{(852 \frac{kg}{m^3}) (\frac{1}{4} \pi (0.03^2 - 0.02^2 m^2))} = 2.39 \text{ m/s}$$

$$D_i/D_o = 0.667$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(2.39 \text{ m/s})(0.01 \text{ m})}{(3.794 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s})} = 630 \quad \text{Laminar}$$

$$h = \frac{kNu}{D_h} = \frac{0.138 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}}{0.01 \text{ m}} * 5.45 = 75.2 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} = \frac{1}{\frac{1}{7663} + \frac{1}{75.2}} = 74.5 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

TABLA 11-3

Número de Nusselt para flujo laminar completamente desarrollado en una corona circular con una de las superficies aislada y la otra isotérmica (Kays y Perkins, 1972).

D_i/D_o	Nu_i	Nu_o
0.00	—	3.66
0.05	17.46	4.06
0.10	11.56	4.11
0.25	7.37	4.23
0.50	5.74	4.43
1.00	4.86	4.86

$$y = y_a + (x - x_a) \frac{(y_b - y_a)}{(x_b - x_a)}$$

0.5	5.74
0.667	5.45
1.00	4.86



Se construye un intercambiador de calor de doble tubo (casco y tubo) con un tubo interior de acero inoxidable ($k = 15.1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), de diámetro interior $D_i = 1.5 \text{ cm}$ y diámetro exterior $D_o = 1.9 \text{ cm}$, y un casco exterior cuyo diámetro interior es de 3.2 cm . El coeficiente de transferencia de calor por convección es $h_i = 800 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sobre la superficie interior del tubo, y $h_o = 1200 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sobre la superficie exterior. Para un factor de incrustación de $R_{f,i} = 0.0004 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, del lado del tubo, y $R_{f,o} = 0.0001 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, del lado del casco, determine a) la resistencia térmica del intercambiador de calor por unidad de longitud, y b) los coeficientes de transferencia de calor totales U_i y U_o con base en las áreas superficiales interior y exterior del tubo, respectivamente.

$$\begin{aligned} A_i &= \pi D_i L = 0.0471 \text{ m}^2 \\ A_o &= \pi D_o L = 0.0597 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad \frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$R = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{800 * 0.0471} = 0.02654 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$U_i = \frac{1}{R A_i} = \frac{1}{0.0532 * 0.0471}$$

$$R = \frac{R_{f,i}}{A_i} = \frac{0.0004}{0.0471} = 0.00849 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$= 399 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k L} = \frac{\ln(0.019/0.015)}{2\pi(15.1 * 1)} = 0.0025 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$U_o = \frac{1}{R A_o} = \frac{1}{0.0532 * 0.0597}$$

$$R = \frac{R_{f,o}}{A_o} = \frac{0.0001}{0.0597} = 0.00168 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$= 315 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = \frac{1}{h_o A_o} = \frac{1}{1200 * 0.0597} = 0.01396 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{total} = 0.0532 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$



Se va a enfriar aceite caliente en un intercambiador de calor de doble tubo, a contraflujo. El tubo interior de cobre tiene un diámetro de 4 cm y un espesor despreciable. El diámetro interior del tubo exterior (la coraza) es de 3 cm. Por el tubo fluye agua a razón de 0.6 kg/s y el aceite por espacio anular a razón de 0.9 kg/s. Tomando las temperaturas promedio del agua y del aceite como 55°C y 90°C, respectivamente, determine el coeficiente total de transferencia de calor de este intercambiador. (repita el procedimiento cambiando aceite por metanol a 70°C, que pudiera concluir al respecto)

Se construye un intercambiador de calor de doble tubo (casco y tubo) con un tubo interior de acero inoxidable ($k = 15.1 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), de diámetro interior $D_i = 2.3 \text{ cm}$ y diámetro exterior $D_o = 2.9 \text{ cm}$, y un casco exterior cuyo diámetro interior es de 3.8 cm. El coeficiente de transferencia de calor por convección es $h_i = 1000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sobre la superficie interior del tubo, y $h_o = 1600 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sobre la superficie exterior. Para un factor de incrustación de $R_{f,i} = 0.0005 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, del lado del tubo, y $R_{f,o} = 0.0002 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$, del lado del casco, determine a) la resistencia térmica del intercambiador de calor por unidad de longitud, y b) los coeficientes de transferencia de calor totales U_i y U_o con base en las áreas superficiales interior y exterior del tubo, respectivamente.





