

# Diseño de Intercambiadores de Calor mediante el Método de NTU

## Ejemplo 1: Intercambiador de tubo y coraza

### Planteamiento del problema

Se desea calentar agua de 25 °C a 60 °C usando aceite caliente que entra a 120 °C y sale a 95 °C. El intercambiador es de tipo tubo y coraza, con los datos siguientes:

- $\dot{m}_c = 1.5 \text{ kg/s}$ ,  $c_{p,c} = 4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- $\dot{m}_h = 1.0 \text{ kg/s}$ ,  $c_{p,h} = 2100 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- Diámetro interno tubos: 2.5 cm, 50 tubos, longitud estimada: 5 m
- $k_{tubo} = 15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ , espesor  $e = 2 \text{ mm}$

### Cálculo de capacidades caloríficas y calor transferido

$$C_c = 1.5 \cdot 4180 = 6270 \text{ W/K}$$

$$C_h = 1.0 \cdot 2100 = 2100 \text{ W/K}$$

$$C_{\min} = 2100 \text{ W/K}, \quad C_{\max} = 6270 \text{ W/K}$$

$$Cr = \frac{2100}{6270} \approx 0.335$$

$$Q = 2100 \cdot (120 - 95) = 52500 \text{ W}$$

### Eficiencia y NTU

$$\varepsilon = \frac{Q}{C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{52500}{2100 \cdot 95} \approx 0.263$$

NTU  $\approx 0.55$  (de gráficas NTU- $\varepsilon$ )

## Coeficiente global con correlaciones

Propiedades del agua a 42.5 °C:  $\mu = 0.0007 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\rho = 995 \text{ kg/m}^3$ ,  $k = 0.6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ,  $Pr = 5.5$ .

$$\begin{aligned} A &= 50 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \approx 0.0245 \text{ m}^2 \\ v &= \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{1.5}{995 \cdot 0.0245} \approx 0.0619 \\ Re &= \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{995 \cdot 0.0619 \cdot 0.025}{0.0007} \approx 2202 \\ Nu &= 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \approx 36.3 \\ h_i &= \frac{Nu \cdot k}{D} = \frac{36.3 \cdot 0.6}{0.025} \approx 871.2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \\ h_o &= \frac{70 \cdot 0.13}{0.025} = 364 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{tubo}} &= \frac{\ln(0.0135/0.0125)}{2\pi(15)(5)} \approx 1.36 \times 10^{-4} \\ \frac{1}{U} &= \frac{1}{871.2} + \frac{1}{364} + 1.36 \times 10^{-4} \cdot A \\ U &\approx 268.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \end{aligned}$$

$$A = \frac{\text{NTU} \cdot C_{\min}}{U} = \frac{0.55 \cdot 2100}{268.5} \approx 4.3 \text{ m}^2$$

## Ejemplo 2: Intercambiador de espiral

### Planteamiento

Se desea enfriar un fluido industrial de 90 °C a 40 °C usando agua a 20 °C. Los caudales y propiedades son:

- Fluido industrial:  $\dot{m}_h = 0.8 \text{ kg/s}$ ,  $c_{p,h} = 2800 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- Agua:  $\dot{m}_c = 1.2 \text{ kg/s}$ ,  $c_{p,c} = 4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- Diámetro interior: 2.0 cm, espesor: 2.0 mm,  $k_{\text{pared}} = 20 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

### Cálculo de NTU y eficiencia

$$\begin{aligned} C_h &= 0.8 \cdot 2800 = 2240 \text{ W/K} \\ C_c &= 1.2 \cdot 4180 = 5016 \text{ W/K} \\ C_{\min} &= 2240, \quad C_{\max} = 5016, \quad Cr = 0.446 \\ Q &= 2240 \cdot (90 - 40) = 112000 \text{ W} \\ \varepsilon &= \frac{Q}{C_{\min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{112000}{2240 \cdot 70} \approx 0.714 \\ \text{NTU} &\approx 1.5 \end{aligned}$$

### Coeficientes de convección y cálculo del área

Para el agua:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{995 \cdot 1 \cdot 0.02}{0.0007} = 28428 \\ Pr &= 5.5, \quad k = 0.6 \\ Nu &= 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \approx 146 \\ h_i &= \frac{Nu \cdot k}{D} = \frac{146 \cdot 0.6}{0.02} = 4380 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Para el fluido industrial:

$$\begin{aligned} \mu &= 0.003, \quad \rho = 850, \quad k = 0.13, \quad Pr = 110 \\ v &= \frac{0.8}{850 \cdot A}, \quad A = \frac{\pi D^2}{4} \approx 3.14 \times 10^{-4} \\ v &\approx 3.00 \text{ m/s}, \quad Re \approx 17000 \\ Nu &= 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \approx 235 \\ h_o &= \frac{235 \cdot 0.13}{0.02} = 1527.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

$$R_{\text{pared}} = \frac{\ln(0.012/0.01)}{2\pi(20)(5)} = 1.46 \times 10^{-4}$$
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{4380} + \frac{1}{1527.5} + 1.46 \times 10^{-4} \cdot A$$
$$U \approx 956.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$
$$A = \frac{1.5 \cdot 2240}{956.4} \approx 3.51 \text{ m}^2$$

## Conclusiones

- El intercambiador tubo y coraza requiere  $4.3 \text{ m}^2$  para una eficiencia del 26.3%
- El espiral, con mayor eficiencia (71.4%), requiere  $3.51 \text{ m}^2$
- Ambos coeficientes  $h$  fueron calculados con correlaciones adecuadas