

# Ejemplo de diseño y verificación de un intercambiador de calor (LMTD y NTU) con cálculo de $h$ por correlaciones y CoolProp

Para estudiantes de Transferencia de Calor

23 de octubre de 2025

## Planteamiento

Intercambiador doble tubo, contracorriente, agua caliente (interior) enfriada por agua fría (anular). Datos:

- Caliente:  $\dot{m}_h = 0,500 \text{ kg/s}$ ,  $T_{h,\text{in}} = 80,0^\circ\text{C}$ ,  $T_{h,\text{out,deseada}} = 50,0^\circ\text{C}$ .
- Frío:  $\dot{m}_c = 0,600 \text{ kg/s}$ ,  $T_{c,\text{in}} = 20,0^\circ\text{C}$ ,  $T_{c,\text{out}}$  desconocida (por diseño).
- Geometría:  $D_i = 20,0 \text{ mm}$ ,  $D_o = 24,0 \text{ mm}$ ,  $D_{an,i} = 30,0 \text{ mm}$ ; tubo de cobre  $k_t = 385 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ .
- Ensuciamiento despreciable:  $R_{f,i} = R_{f,o} = 0$ .

## Propiedades (CoolProp) y balances

El calor lado caliente:  $\dot{Q} = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,\text{in}} - T_{h,\text{out}})$ . La salida fría:  $T_{c,\text{out}} = T_{c,\text{in}} + \dot{Q}/(\dot{m}_c c_{p,c})$ .  
Tasas de capacidad:  $C_h = \dot{m}_h c_{p,h}$ ,  $C_c = \dot{m}_c c_{p,c}$ ;  $C_{\text{mín}} = \text{mín}(C_h, C_c)$ ,  $C_{\text{máx}} = \text{máx}(C_h, C_c)$ .

Propiedades con **CoolProp** a  $p \simeq 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$  y a temperatura de película  $T_{\text{film}}$ :

$\rho = \text{PropsSI}(\text{"D"}, T_{\text{film}}, p, \text{"Water"})$ ,  $c_p = \text{PropsSI}(\text{"C"}, T_{\text{film}}, p, \text{"Water"})$ ,  $k = \text{PropsSI}(\text{"L"}, T_{\text{film}}, p, \text{"Water"})$ ,

## Convección: Dittus–Boelter

En el tubo:  $\text{Re}_i = \frac{\rho_i u_i D_i}{\mu_i}$ ,  $\text{Pr}_i = \frac{c_{p,i} \mu_i}{k_i}$ ,

$$\text{Nu}_i = 0,023 \text{Re}_i^{0,8} \text{Pr}_i^n, \quad h_i = \frac{\text{Nu}_i k_i}{D_i}, \quad n = 0,4 \text{ si se enfría, } 0,3 \text{ si se calienta.}$$

En el anular,  $D_h = D_{an,i} - D_o$  y análogo:  $h_o = \frac{\text{Nu}_o k_o}{D_h}$ .

## Coefficiente global

Tomando el área interna  $A_i$ :

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2k_t} + \frac{1}{h_o} \frac{D_i}{D_o} + R_{f,i} + R_{f,o} \frac{D_i}{D_o}.$$

## Método LMTD

Contracorriente con  $F \simeq 1$ :

$$\Delta T_1 = T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{out}}, \quad \Delta T_2 = T_{h,\text{out}} - T_{c,\text{in}}, \quad \Delta T_{\text{lm}} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}.$$

Área requerida:  $A = \frac{\dot{Q}}{U F \Delta T_{\text{lm}}}$ , y longitud  $L = A/(\pi D_i)$  si  $A \equiv A_i$ .

## Método eficacia-NTU

$$\text{NTU} = \frac{UA}{C_{\text{mín}}}, \quad C_r = \frac{C_{\text{mín}}}{C_{\text{máx}}}, \quad \varepsilon_{\text{cc}} = \frac{1 - e^{-\text{NTU}(1-C_r)}}{1 - C_r e^{-\text{NTU}(1-C_r)}}.$$

Entonces  $\dot{Q} = \varepsilon C_{\text{mín}}(T_{h,\text{in}} - T_{c,\text{in}})$  y

$$T_{h,\text{out}} = T_{h,\text{in}} - \frac{\dot{Q}}{C_h}, \quad T_{c,\text{out}} = T_{c,\text{in}} + \frac{\dot{Q}}{C_c}.$$

## Algoritmo recomendado

1. Estimar  $T_{\text{film},h}$  y  $T_{\text{film},c}$  como promedios de entrada/salida; obtener propiedades con CoolProp.
2. Calcular  $h_i$  y  $h_o$  (Re, Pr, Nu) por Dittus-Boelter; luego  $U$ .
3. LMTD: hallar  $A$  y  $L$  para lograr  $T_{h,\text{out}}$  deseada.
4. NTU: con ese  $A$ , calcular  $\varepsilon$  y verificar temperaturas de salida.

## Códigos

Se entregan dos scripts:

- `hex_lmtd_ntu_coolprop.py`: usa CoolProp.
- `hex_lmtd_ntu_sin_coolprop.py`: usa propiedades constantes.

## Bibliografía

- Incropera, F. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Wiley.
- Holman, J. P., *Transferencia de Calor*, McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J., *Heat and Mass Transfer*, McGraw-Hill.