

TRANSMISSÃO DE CALOR II

Prof. Eduardo C. M. Loureiro, DSc.

MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

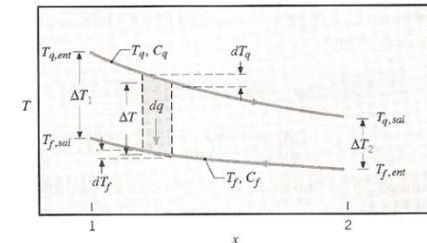
$$\varepsilon = \frac{q}{q_{\max}}$$

A efetividade de um trocador de calor é definida como a razão entre a taxa de transferência de calor real e a taxa de transferência de calor máxima possível.

$$q_{\max}$$

A taxa máxima possível de transferência de calor ocorreria em um trocador de calor contracorrente com comprimento infinito, quando um dos fluidos experimentasse a maior variação de temperatura possível que seria:

$$\Delta T_{\max} = T_{q,entra} - T_{f,entra}$$



Quando $C_f < C_q$ o fluido frio iria experimentar a maior variação de temperatura e, como $L \rightarrow \infty$, ele seria aquecido até a temperatura do fluido quente ($T_{f,sai} = T_{q,ent}$), então:

$$C_f < C_q \quad \longrightarrow \quad q_{\max} = C_f (T_{q,entra} - T_{f,entra})$$

Analogamente:

$$C_q < C_f \quad \longrightarrow \quad q_{\max} = C_q (T_{q,entra} - T_{f,entra})$$

Finalmente:

$$q_{\max} = C_{\min} (T_{q,entra} - T_{f,entra})$$

onde C_{\min} é o menor entre C_f e C_q .

MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

A efetividade, que é adimensional, está no intervalo [0 , 1]. Ela é bastante útil, pois se $T_{q,ent}$ e $T_{f,ent}$ são conhecidos, a taxa de transferência de calor real pode ser determinada de imediato pela expressão:

$$q = \varepsilon \cdot q_{\max} = \varepsilon \cdot C_{\min} (T_{q,entra} - T_{f,entra})$$

O Número de Unidades de Transferência – NUT é um parâmetro adimensional amplamente utilizado na análise de trocadores de calor, e é definido por:

$$NUT = \frac{UA}{C_{\min}}$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$

Relações entre a efetividade e o NUT podem ser obtidas analiticamente para todos os tipos de trocadores de calor, resultando em equações disponíveis na bibliografia pertinente, por exemplo:

Tubos concêntricos – escoamento paralelo

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1 + C_r)]}{1 + C_r}$$

Todos os trocadores ($C_r = 0$)

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NUT)$$

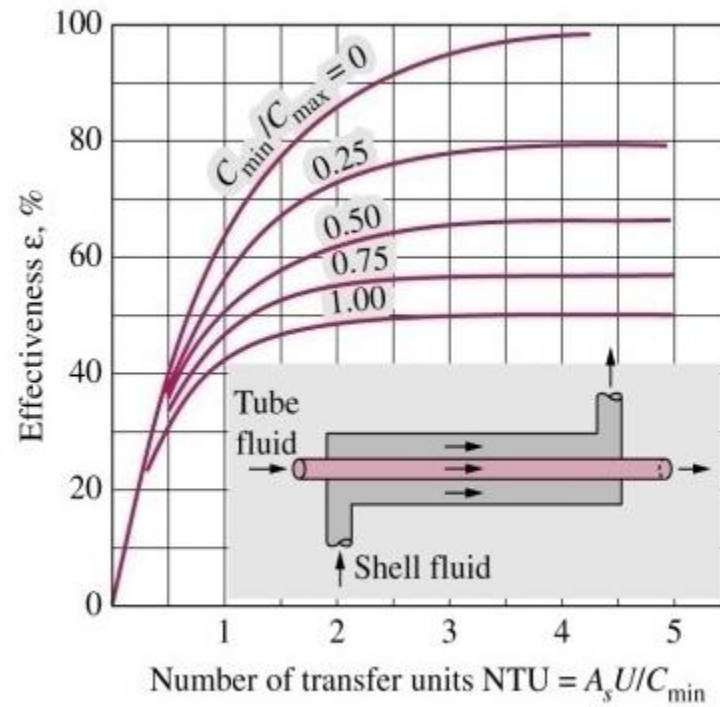
Para qualquer trocador de calor pode ser mostrado que:

$$\varepsilon = f\left(NUT, \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)$$

E estas funções podem ser demonstradas graficamente.



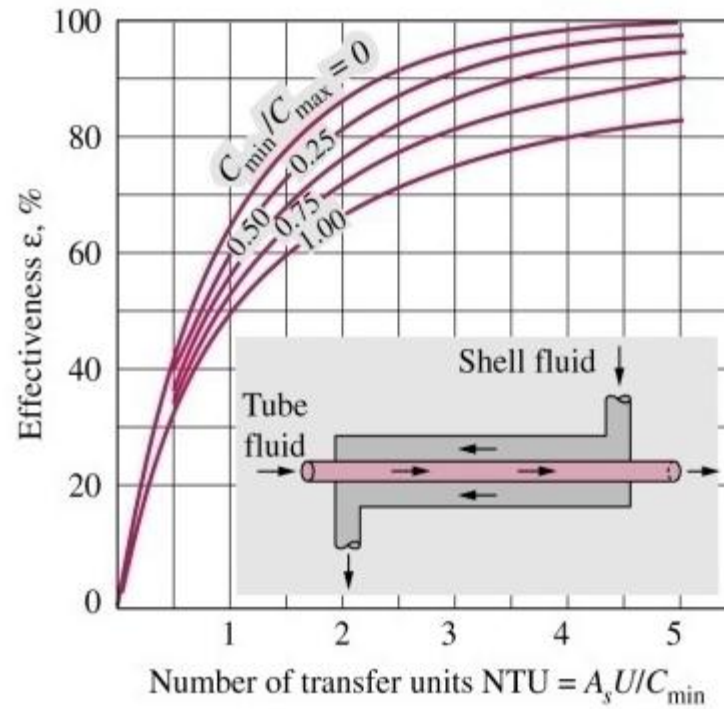
MÉTODO DA EFETIVIDADE-NTU



(a) Parallel-flow



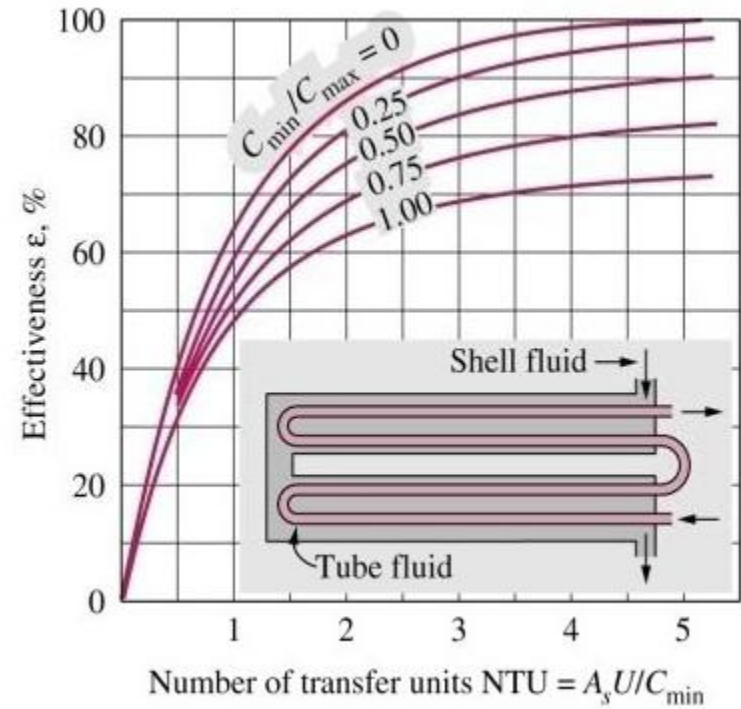
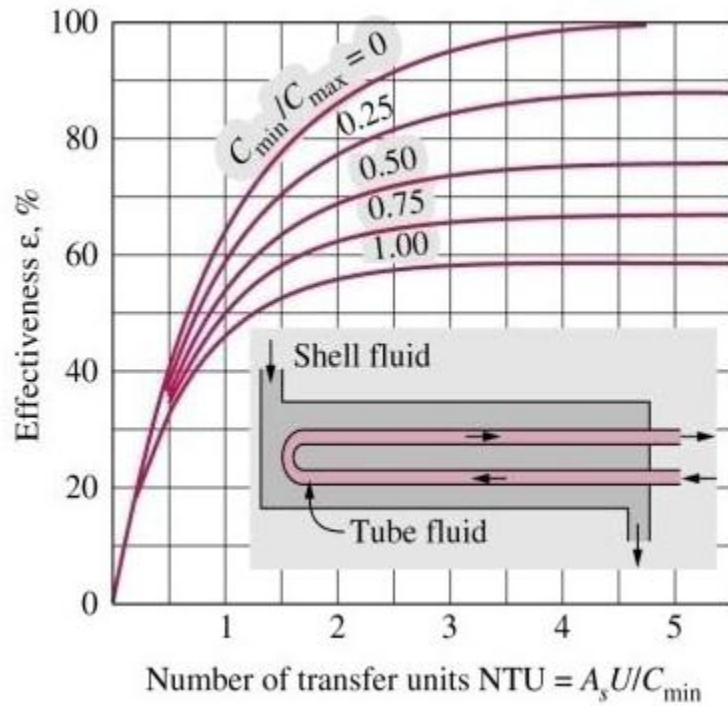
MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT



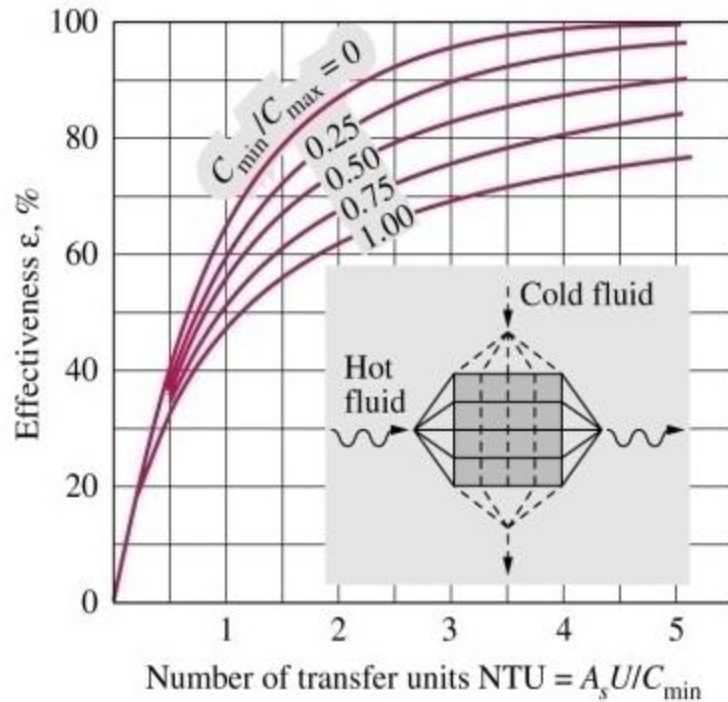
(b) Counter-flow



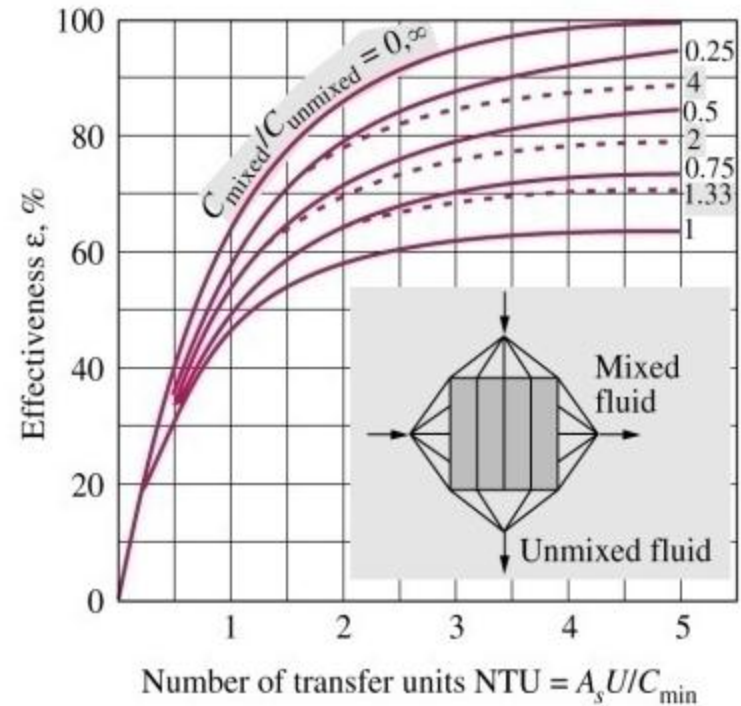
MÉTODO DA EFETIVIDADE-NTU



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT



(e) Cross-flow with both fluids unmixed

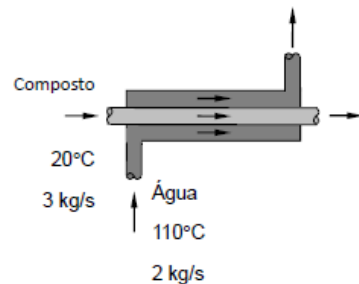


(f) Cross-flow with one fluid mixed and the other unmixed



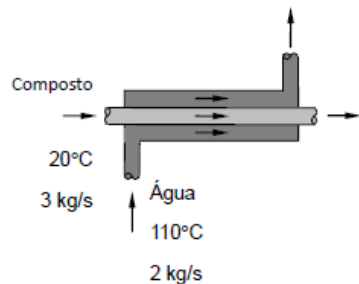
MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Um composto químico ($c_p=1800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) é aquecido por água ($c_p=4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de tubo duplo com fluxo paralelo. O composto químico entra a 20°C e escoam com um fluxo de 3 kg/s e a água entra a 110°C e escoam com um fluxo de 2 kg/s . A área de troca de calor é de 7 m^2 e o coeficiente global de transferência de calor é de $1200 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Determine as temperaturas de saída dos fluídos.



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Um composto químico ($c_p=1800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) é aquecido por água ($c_p=4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de tubo duplo com fluxo paralelo. O composto químico entra a 20°C e escoam com um fluxo de 3 kg/s e a água entra a 110°C e escoam com um fluxo de 2 kg/s . A área de troca de calor é de 7 m^2 e o coeficiente global de transferência de calor é de $1200 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Determine as temperaturas de saída dos fluídos.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

As taxas de capacidade calorífica dos fluídos são:

$$C_q = \dot{m}_q c_{p,q} = (2 \text{ kg/s})(4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) = 8,36 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$C_f = \dot{m}_f c_{p,f} = (3 \text{ kg/s})(1,8 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) = 5,4 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

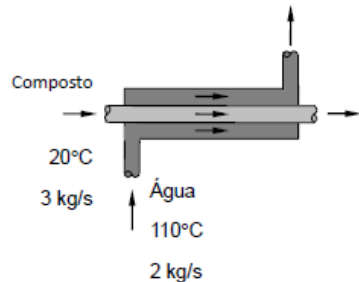
$$C_{\min} = C_f = 5,4 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{5,4}{8,36} = 0,646$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Um composto químico ($c_p=1800 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) é aquecido por água ($c_p=4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) num trocador de calor de tubo duplo com fluxo paralelo. O composto químico entra a 20°C e escoam com um fluxo de 3 kg/s e a água entra a 110°C e escoam com um fluxo de 2 kg/s . A área de troca de calor é de 7 m^2 e o coeficiente global de transferência de calor é de $1200 \text{ W/m}^2 \cdot^\circ\text{C}$. Determine as temperaturas de saída dos fluídos.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

A taxa máxima possível de transferência de calor é:

$$q_{\max} = C_{\min} (T_{q,\text{entra}} - T_{f,\text{entra}}) = (5,4 \text{ kW}/^\circ\text{C}) (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 486 \text{ kW}$$

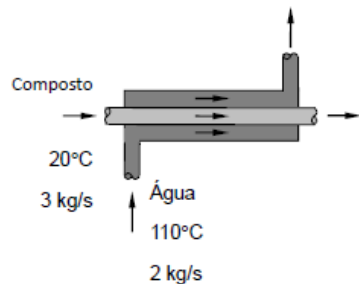
O Número de Unidades de transferência:

$$NUT = \frac{UA}{C_{\min}} = \frac{(1,2 \text{ kW}/\text{m}^2 \cdot^\circ\text{C})(7 \text{ m}^2)}{5,4 \text{ kW}/^\circ\text{C}} = 1,56$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Um composto químico ($c_p=1800 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) é aquecido por água ($c_p=4180 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$) num trocador de calor de tubo duplo com fluxo paralelo. O composto químico entra a 20°C e escoa com um fluxo de 3 kg/s e a água entra a 110°C e escoa com um fluxo de 2 kg/s . A área de troca de calor é de 7 m^2 e o coeficiente global de transferência de calor é de $1200 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Determine as temperaturas de saída dos fluídos.



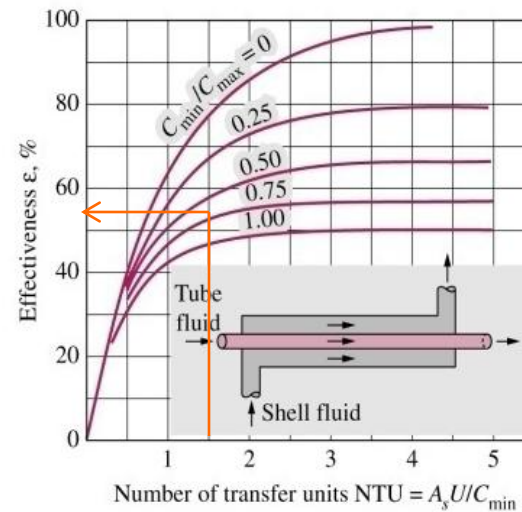
Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

$$NUT = 1,56$$

$$C_r = 0,65$$

$$\varepsilon = 0,56$$

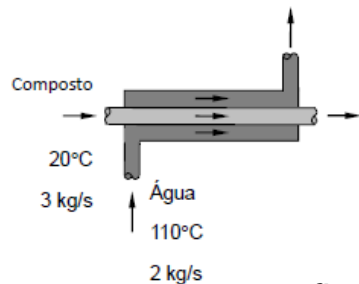


(a) Parallel-flow



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Um composto químico ($c_p=1800 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) é aquecido por água ($c_p=4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de tubo duplo com fluxo paralelo. O composto químico entra a 20°C e escoam com um fluxo de 3 kg/s e a água entra a 110°C e escoam com um fluxo de 2 kg/s . A área de troca de calor é de 7 m^2 e o coeficiente global de transferência de calor é de $1200 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Determine as temperaturas de saída dos fluídos.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

$$q = \varepsilon \cdot q_{\max} = 0,56(486 \text{ kW}) = 272,2 \text{ kW}$$

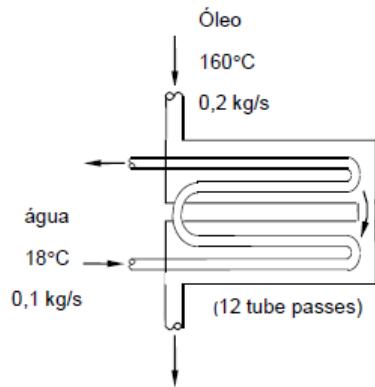
$$q = C_f (T_{f,\text{sai}} - T_{f,\text{entra}}) \quad \longrightarrow \quad T_{f,\text{sai}} = 20 + \frac{272,2}{5,4} = 70,4^\circ\text{C}$$

$$q = C_q (T_{q,\text{entra}} - T_{q,\text{sai}}) \quad \longrightarrow \quad T_{q,\text{sai}} = 110 - \frac{272}{8,36} = 77,4^\circ\text{C}$$



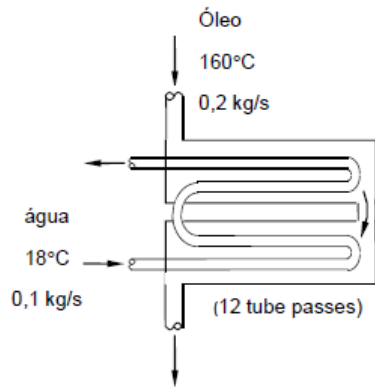
MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Óleo quente ($c_p = 2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($c_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de casco e tubos com duas passagens no casco e 12 passes nos tubos. O tubo feito de cobre tem diâmetro de 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\text{C}$). A água escoa pelos tubos com um vazão de 0,1 kg/s e o óleo com 0,2 kg/s. A água entra com 18°C e o óleo entra com 160°C . Determine o calor transferido no trocador de calor e as temperaturas de saída da água e do óleo.



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Óleo quente ($c_p = 2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($c_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de casco e tubos com duas passagens no casco e 12 passes nos tubos. O tubo feito de cobre tem diâmetro de 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\text{C}$. A água escoa pelos tubos com um vazão de $0,1 \text{ kg/s}$ e o óleo com $0,2 \text{ kg/s}$. A água entra com 18°C e o óleo entra com 160°C . Determine o calor transferido no trocador de calor e as temperaturas de saída da água e do óleo.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Tubos de espessura fina e novos.

As taxas de capacidade calorífica dos fluidos são:

$$C_q = \dot{m}_q c_{p,q} = (0,2 \text{ kg/s})(2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) = 440 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$C_f = \dot{m}_f c_{p,f} = (0,1 \text{ kg/s})(4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}) = 418 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

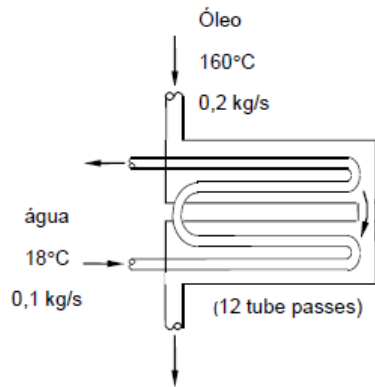
$$C_{\min} = C_{\text{água}} = 418 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{418}{440} = 0,95$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Óleo quente ($c_p = 2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($c_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de casco e tubos com duas passagens no casco e 12 passes nos tubos. O tubo feito de cobre tem diâmetro de 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\text{C}$. A água escoa pelos tubos com um vazão de 0,1 kg/s e o óleo com 0,2 kg/s. A água entra com 18°C e o óleo entra com 160°C . Determine o calor transferido no trocador de calor e as temperaturas de saída da água e do óleo.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

A taxa máxima possível de transferência de calor é:

$$q_{\max} = C_{\min} (T_{q,entra} - T_{f,entra}) = (418 \text{ W/}^\circ\text{C}) (160^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = 59,36 \text{ kW}$$

A área de transferência será:

$$A = n(\pi DL) = 12 \times \pi \times 0,018 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 2,04 \text{ m}^2$$

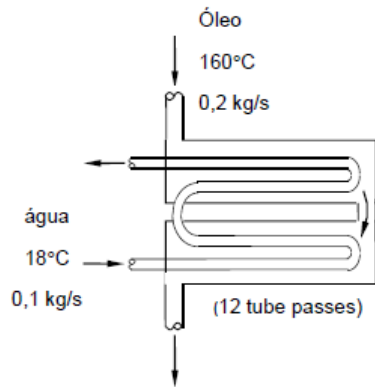
O Número de Unidades de transferência:

$$NUT = \frac{UA}{C_{\min}} = \frac{(340 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C})(2,04 \text{ m}^2)}{418 \text{ W/}^\circ\text{C}} = 1,66$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Óleo quente ($c_p = 2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($c_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de casco e tubos com duas passagens no casco e 12 passes nos tubos. O tubo feito de cobre tem diâmetro de 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\text{C}$). A água escoa pelos tubos com um vazão de 0,1 kg/s e o óleo com 0,2 kg/s. A água entra com 18°C e o óleo entra com 160°C . Determine o calor transferido no trocador de calor e as temperaturas de saída da água e do óleo.



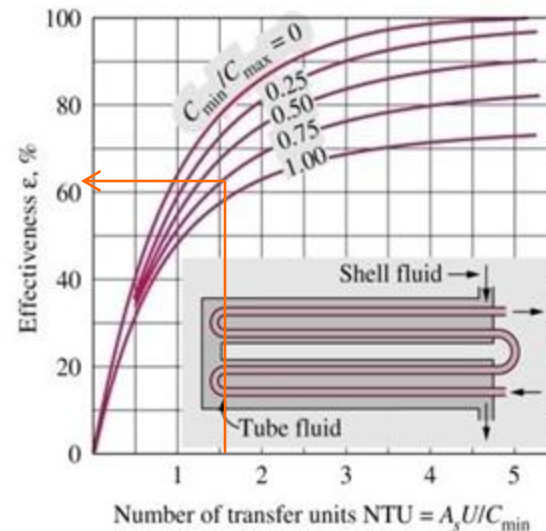
Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

$$NUT = 1,66$$

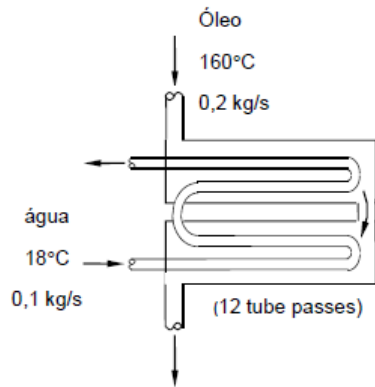
$$C_r = 0,95$$

$$\varepsilon = 0,61$$



MÉTODO DA EFETIVIDADE-NUT

Óleo quente ($c_p = 2200 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) deve ser arrefecido por água ($c_p = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) num trocador de calor de casco e tubos com duas passagens no casco e 12 passes nos tubos. O tubo feito de cobre tem diâmetro de 1,8 cm e o comprimento de cada tubo é de 3m. O coeficiente global de transferência de calor é de $340 \text{ W/m}^2\text{C}$). A água escoa pelos tubos com um vazão de 0,1 kg/s e o óleo com 0,2 kg/s. A água entra com 18°C e o óleo entra com 160°C . Determine o calor transferido no trocador de calor e as temperaturas de saída da água e do óleo.



Considerações:

- Regime estacionário.
- Trocador isolado do ambiente
- Propriedades constantes.
- Trocador novo.

$$q = \varepsilon \cdot q_{\max} = 0,61(59,36 \text{ kW}) = 36,2 \text{ kW}$$

$$q = C_f (T_{f,sai} - T_{f,entra}) \quad \longrightarrow \quad T_{f,sai} = 18 + \frac{36,2}{0,418} = 104,6^\circ\text{C}$$

$$q = C_q (T_{q,entra} - T_{q,sai}) \quad \longrightarrow \quad T_{q,sai} = 160 - \frac{36,2}{0,44} = 77,7^\circ\text{C}$$

