



OPERAÇÕES UNITÁRIAS II

Prof. Antonio Carlos da Silva

CÁLCULO DE TROCADORES DE CALOR – MÉTODO ϵ -NUT

Reposição para o período de suspensão de aulas devido à pandemia de COVID 19

O Método ϵ -NUT de cálculo de Trocadores de Calor é baseado na associação de três grandezas adimensionais baseados nas grandezas envolvidas no funcionamento do trocador de calor: ϵ , NUT e parâmetro Cr.

O nome do método deriva de duas dessas grandezas adimensionais:

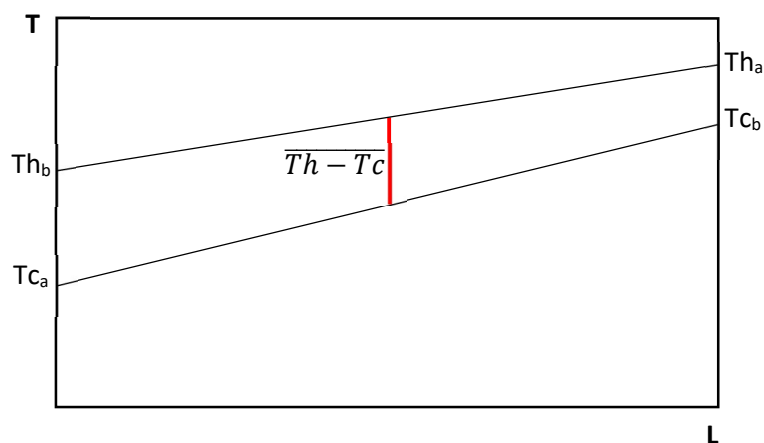
ϵ ... Efetividade do Trocador de Calor

NUT ... Número de unidades de transmissão

NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSMISSÃO

Considerando um Trocador de Calor de tubos concêntricos com escoamento em contracorrente, o diagrama das temperaturas é mostrado na figura a seguir. O fluido quente (*hot*) entra na temperatura Th_a e sai na temperatura Th_b . O fluido frio (*cold*) entra na temperatura Tc_a e sai na temperatura Tc_b .

No centro do trocador de calor, a diferença de temperaturas entre os fluidos é dada por $\overline{Th - Tc}$.

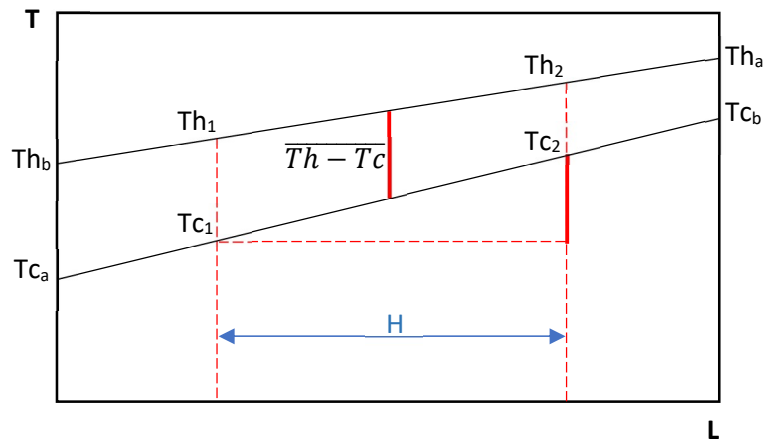


Considerando um dos fluidos, ao longo de um certo comprimento do trocador de calor, a variação da temperatura do fluido será igual à diferença média do trocador de calor $\overline{Th - Tc}$: $T_2 - T_1 = \overline{Th - Tc}$

Para o fluido frio: $Tc_2 - Tc_1 = \overline{Th - Tc}$

Para o fluido quente: $Th_2 - Th_1 = \overline{Th - Tc}$

Define-se Unidade Transmissão o comprimento de uma seção do trocador de calor em que a variação da temperatura do fluido preenche esse requisito, conforme figura a seguir.



H é o comprimento da seção do trocador de calor para a qual $Tc_2 - Tc_1 = \overline{Th - Tc}$.

H é denominado Unidade de Transmissão do fluido frio.

De maneira análoga pode-se determinar o valor da Unidade de Transmissão para o fluido quente, que será maior que a Unidade de Transmissão para o fluido frio, devido à menor inclinação da reta das temperaturas do fluido quente.

O Número de Unidades de Transmissão corresponde à relação entre o comprimento total do trocador de calor e o comprimento da unidade de transmissão:

$$NUT = \frac{L}{H}$$

Serão dois valores de NUT, para o fluido quente e para o fluido frio:

$$NUT_h = \frac{L}{H_h}$$

$$NUT_c = \frac{L}{H_c}$$

Para o cálculo de NUT, adota-se a expressão:

$$NUT = \frac{A \cdot U_m}{C_{mín}}$$

Um é um valor médio do Coeficiente Global de Troca de Calor.

PARÂMETRO Cr

Para cada fluido, o produto do calor específico a pressão constante (Cp) pela vazão mássica (m) é definido como parâmetro C.

$$C = m \cdot C_p$$

Para cada fluido:

$$Ch = mh \cdot C_{ph}$$

$$Cc = mc \cdot C_{pc}$$

Para cada fluido haverá um valor do parâmetro C. O maior valor será denominado C_{máx} e o menor valor será denominado C_{mín} (observe que o que determinada qual fluido tem C_{máx} é o valor numérico do parâmetro C e não a temperatura, ou seja, em alguns trocadores de calor, C_{máx} será para o fluido quente e para outros trocadores de calor, C_{máx} será para o fluido frio).

O parâmetro adimensional usado no método ε-NUT (Cr) é a relação entre os dois:

$$Cr = \frac{C_{mín}}{C_{máx}}$$

EFETIVIDADE

A Efetividade é uma relação entre parâmetros do trocador de calor. É calculada com os parâmetros do fluido quente ou com os parâmetros do fluido quente e terá igual valor.

A Efetividade é a relação entre a carga térmica real do trocador de calor e uma carga térmica ideal do trocador de calor, caso pudesse ser mantida como diferença de temperatura aquela obtida pelas temperaturas de alimentação:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\text{máx}}}$$

Q ... carga térmica real do trocador de calor (pode ser calculada para os parâmetros do fluido frio ou do fluido quente)

Q_{máx} ... carga térmica ideal do trocador de calor dada por: $Q_{\text{máx}} = C_{\text{mín.}} (Th_a - Tc_a)$

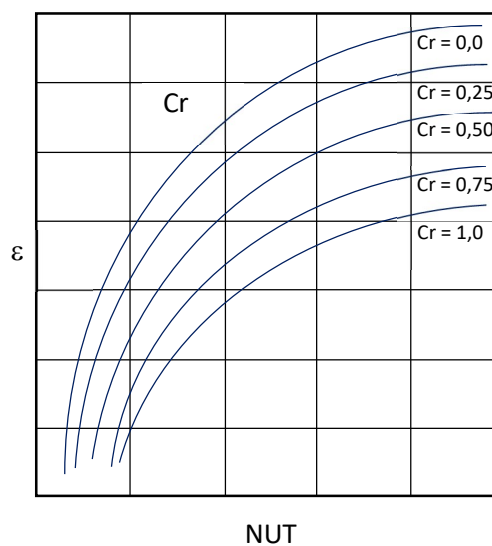
A Efetividade pode ser calculada pelas relações, respectivamente para o fluido quente e o fluido frio.

$$\varepsilon = \frac{Ch. (Th_a - Th_b)}{C_{\text{mín.}} (Th_a - Tc_a)}$$

$$\varepsilon = \frac{Cc. (Tc_b - Tc_a)}{C_{\text{mín.}} (Th_a - Tc_a)}$$

RELACIONAMENTO DO MÉTODO

Os três parâmetros adimensionais foram medidos experimentalmente para vários trocadores de calor em várias condições operacionais. Para cada trocador de calor foram obtidos diagramas relacionando os três parâmetros:



Alguns diagramas estão disponíveis no Arquivo “Efetividade – TC – gráficos”.

EXEMPLO

Um trocador de calor em contracorrente, com área de transferência de calor $A = 12,5 \text{ m}^2$, deve resfriar óleo ($C_p = 2000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) com água ($C_p = 4170 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$). O óleo entra a 100°C , com vazão $2,0 \text{ kg/s}$, enquanto a água entra a 20°C com vazão $0,48 \text{ kg/s}$. O coeficiente global de transferência de calor é $U = 400 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Calcule as temperaturas de saída dos dois fluidos e a carga térmica do trocador de calor.

Solução:

Neste problema as temperaturas de saída dos dois fluidos são desconhecidas. Para aplicar o método DTML é necessária uma solução iterativa (tentativas) mas o método ε -NUT permite uma solução direta.

Dados dos fluidos:

Óleo

$C_{ph} = 2000 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_{ha} = 100^\circ\text{C}$

$T_{hb} = ?$

$m_h = 2,0 \text{ kg/s}$

Água

$C_{pc} = 4170 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_{ca} = 20^\circ\text{C}$

$T_{cb} = ?$

$m_c = 0,48 \text{ kg/s}$

Cálculo do parâmetro Cr :

$Ch = m_h \cdot C_{ph} \therefore Ch = 2 \cdot 2000 \therefore Ch = 4000 \text{ W/}^\circ\text{C}$

$Cc = m_c \cdot C_{pc} \therefore Cc = 0,48 \cdot 4170 \therefore Cc = 2002 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Neste exercício, Ch é o $C_{m\acute{a}x}$ e Cc é o $C_{m\acute{i}n}$

$Cr = C_{m\acute{i}n}/C_{m\acute{a}x} \therefore Cr = 2002/4000 \therefore Cr = 0,50$

(no diagrama, a precisão de leitura é pequena e a aproximação desse parâmetro deve ser com duas decimais)

Cálculo do parâmetro NUT:

$NUT = U_m \cdot A / C_{m\acute{i}n} \therefore NUT = 400 \cdot 12,5 / 2002 \therefore NUT = 2,5$

Determinação da Efetividade: no diagrama para o trocador de calor contracorrente, obtém-se $\varepsilon = 0,82$ (82%).

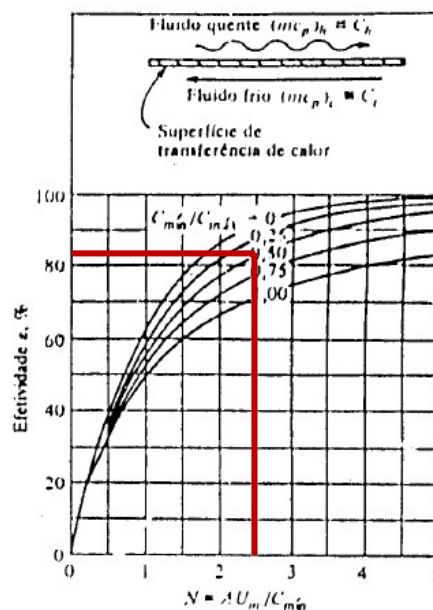


Fig. 11.18 Efetividade num trocador de calor em contracorrente. (De Kays e London [10].)

Cálculo da temperatura de saída da água:

$$E = C_c.(T_{cb} - T_{ca})/[C_{mín}.(T_{ha} - T_{ca})] \quad \therefore$$

$$\varepsilon = \frac{C_c.(T_{cb} - T_{ca})}{C_{mín}.(T_{ha} - T_{ca})} \quad \therefore \quad 0,82 = \frac{(T_{cb} - 20)}{(100 - 20)} \quad \therefore \quad \underline{T_{cb} = 85,6^\circ\text{C}}$$

Observe que $C_{mín} = C_c$.

Cálculo da temperatura de saída do óleo:

$$E = C_h.(T_{cb} - T_{ca})/[C_{mín}.(T_{ha} - T_{ca})] \quad \therefore$$

$$\varepsilon = \frac{C_h.(T_{ha} - T_{hb})}{C_{mín}.(T_{ha} - T_{ca})} \quad \therefore \quad 0,82 = \frac{4000.(100 - T_{hb})}{2002.(100 - 20)} \quad \therefore \quad \underline{T_{hb} = 67,2^\circ\text{C}}$$

Cálculo da carga térmica do trocador de calor:

$$Q = m.c.p.\Delta T$$

$$Q = 2.2000.(100 - 67,2) \quad \therefore \quad \underline{Q = 131.200 \text{ W}}$$

$$Q = 0,48.4170.(85,6 - 20) \quad \therefore \quad \underline{Q = 131.305 \text{ W}}$$

Obs: Os valores são discrepantes devido às aproximações das temperaturas calculadas, T_{cb} e T_{hb} .