

Rodrigo Lisita Ribera

Transferência de Calor - Formulário

Ciências Térmicas

***CT**

www.cienciastermicas.com

Transferência de Calor - Formulário

Rodrigo Lisita Ribera

29 de abril de 2020

Sumário

Sumário	1
Apresentação	3
1 Equações	5
Equações	5
1.1 Calor e símbolos	5
1.2 Energia	5
1.3 Primeira Lei	5
1.4 Calor específico	6
1.5 Equação dos gases ideais	6
1.6 Equação de Transferência de calor	7
1.7 Equação da Difusão de calor	8
1.8 Resistências térmicas	8
1.9 Condução transiente - Método da Capacitância global	9

Apresentação

- Esta é uma obra em desenvolvimento. Grande esforço é colocado para garantir que o texto e as fórmulas estejam corretas. Qualquer erro encontrado, por favor nos comunique.
- Procure sempre utilizar a versão mais recente do documento, que está disponível em:

[<www.cienciastermicas.com>](http://www.cienciastermicas.com)

- Essa versão foi atualizada em: 29 de abril de 2020

CAPÍTULO 1

Equações

1.1 Calor e simbolos

- Calor é energia térmica em trânsito devido a um gradiente de temperatura.
- Em termodinâmica calor é representado por Q [Joules] e a taxa de calor por $\dot{Q}$ [Watts]
- Em transferência de Calor a Taxa de Calor é representada por q [Watts] e o fluxo por q'' [Watts/m²]

1.2 Energia

$$E = U + E_K + E_P + \dots \quad (1.1)$$

Sendo:

- U : energia interna, composta por:
 - energia térmica, na forma de calor sensível e calor latente
 - energia atômica
 - energia química
- E_K : energia cinética

$$E_K = \frac{mV^2}{2}$$
- E_P : energia potencial

$$E_P = m.g.z$$
- Outras forma de energia, tais como elástica, acústica, etc

1.3 Primeira Lei

A taxa de variação de energia no sistema (variação de energia ao longo do tempo) é igual ao calor adicionado da vizinhança no sistema mais o trabalho realizado pela vizinhança no sistema, mais as taxas de energia que entram menos a que saem do sistema.

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + \dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} \quad (1.2)$$

Para regime permanente todas as derivadas temporais são nulas.: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.

$$dE = \delta Q + \delta W \quad (1.3)$$

- Variação de Energia é uma diferencial exata pois depende dos estados final e inicial.
- Calor e trabalho são diferenciais inexatas pois não são propriedades de estado.

A primeira Lei também pode ser escrita considerando o trabalho realizado pelo sistema na vizinhança como positivo:

$$dE = \delta Q - \delta W \quad (1.4)$$

Para sistema fechado:

$$dU + dE_K + dE_P = \delta Q + \delta W \quad (1.5)$$

Para sistema aberto ou Volume de controle

$$dU + d(PV) + dE_K + dE_P = \delta Q + \delta W \quad (1.6)$$

ou

$$dH + dE_K + dE_P = \delta Q + \delta W \quad (1.7)$$

sendo $H \equiv U + P.V$. A parcela $P.V$ é denominada trabalho de fluxo.

1.4 Calor específico

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T} \quad (1.8)$$

sendo $C = m.c$:

- C: poder calorífico
- m: massa
- c: calor específico

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)_v \quad (1.9)$$

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right)_p \quad (1.10)$$

1.5 Equação dos gases ideais

$$P.V = m.R.T \quad (1.11)$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M}$$

$$\bar{R} = 8314 \left[\frac{J}{kmol.K} \right] \quad (1.12)$$

$$M = \text{massa molar} = \frac{m}{n}$$

$$n = \text{número de mols}$$

$$P.v = R.T \quad (1.13)$$

$$P = \rho.R.T \quad (1.14)$$

$$P.V = n.\bar{R}.T \quad (1.15)$$

1.6 Equação de Transferência de calor

- Equação de Fourier (condução):

$$\vec{q} = -k.A.\nabla T \quad (1.16)$$

Em coordenadas cartesianas:

$$\vec{q} = -k.A.\left(\frac{\partial T}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z}\vec{k}\right) \quad (1.17)$$

- Lei de Resfriamento de Newton (Convecção)

$$q = h.A_s.(T_s - T_\infty) \quad (1.18)$$

- Radiação:

Constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5,67.10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] \quad (1.19)$$

Taxa de Calor emitida pela superfície:

$$q_E = \epsilon\sigma.A_s.T_s^4 \quad (1.20)$$

sendo ϵ a emissividade do corpo

Taxa de Calor absorvida pela superfície:

$$q_{abs} = \alpha.G \quad (1.21)$$

Sendo G a taxa de calor que "chega" na superfície do corpo em análise e α a absorptividade do corpo.

Para um corpo imerso num meio muito maior e $\epsilon = \alpha$:

$$q_{rad} = \epsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{vizinhanca}^4) \quad (1.22)$$

1.7 Equação da Difusão de calor

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K \cdot \nabla T) + \dot{q} \quad (1.23)$$

- Sistema de Coordenadas Retangular

$$T = T(x, y, z)$$

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} \quad (1.24)$$

- Sistema de Coordenadas Cilindricas

$$T = T(r, \theta, z)$$

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(K_r \cdot r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(K_\theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} \quad (1.25)$$

- Sistema de Coordenadas Esféricas

$$T = T(r, \theta, \phi)$$

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(K_r r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \phi} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(K_\theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(K_\phi \sin \phi \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \dot{q} \quad (1.26)$$

1.8 Resistências térmicas

$$\Delta T = R \cdot q \quad (1.27)$$

Resistência equivalente:

- Resistências em série: $R_{eq} = \sum R_i$
- Resistências em paralelo: $\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i}$
- Resistência à convecção

$$R = \frac{1}{h \cdot A} \quad (1.28)$$

- Resistência à condução

Coordenadas cartesianas:

$$R = \frac{L}{k \cdot A} \quad (1.29)$$

Coordenadas cilíndricas:

$$R = \frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2 \cdot k \cdot L} \quad (1.30)$$

Coordenadas esféricas

$$R = \frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{4 \cdot k} \quad (1.31)$$

1.9 Condução transiente - Método da Capacitância global

$$Bi = \frac{h.L_c}{k} = \frac{\Delta T_{corpo}}{T_s - T_\infty} = \frac{R_{conducao}}{R_{conveccao}} \quad (1.32)$$

sendo L_c o comprimento característico, associado à distância da maior diferença de temperatura no corpo. Para geometrias complexas, aproximação: $L_c = \frac{V}{A_s}$.

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \exp \left[-\frac{t}{\tau} \right] \quad (1.33)$$

$$\ln \left(\frac{\theta}{\theta_i} \right) = -\frac{t}{\tau} \quad (1.34)$$

- $\theta = T - T_\infty$
- $\theta_i = T_i - T_\infty$
- Constante de tempo térmica: $\tau = \frac{\rho.V.c}{h.A}$