ES570 - Transferência de Calor

Resumo Teórico

2 de setembro de 2021

Guilherme Nunes Trofino
217276

Conteúdo

1. Introdução

Apresentação Neste documento será descrito as informações necessárias para compreensão e solução de exercícios relacionados a disciplina 1.0.0.0. Note que este documento são notas realizadas por Guilherme Nunes Trofino, em 2 de setembro de 2021.

Definição Transferência de Calor é a energia térmica em trânsito devido a uma `Diferença de Temperatura` no espaço que ocorre nos seguintes processos:

1.1. Condução

Definição Energia transferida de partículas mais energéticas para menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas em repouso.

1.1.1. Lei de Fourier

Definição Considera-se que o fluxo de energia causado pela transferência de calor, **Fluxo Térmico**, através do espaço por unidade de tempo será dado por:

$$\boxed{\boldsymbol{q}'' = -K\nabla\boldsymbol{T} \quad \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]} \tag{1.1.1}$$

Onde:

1. **Fluxo Térmico:** $\boldsymbol{q}''$ em $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right]$, perpedicular a direção de transferência;

   (a) `Unidimensional:` Caso trate-se de uma dimensão está equação será simplificada:

   $$\boxed{q''_x = -K\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}}$$

   Note que qualquer direção cartesiana poderia ser considerada para a equação.

   Considera-se durante análise de que o meio em que se dá a condução será **Isotérmico**, implicando que a `Condutividade Térmica` seja independente das direções empregadas. Além disso, a **Direção Normal** será normal a isotérmica na direção decrescente de temperatura.

2. **Condutividade Térmica:** K em $\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\ K}}\right]$;

   (a) `Convenção:` Trata-se de um fluxo da maior para a menor temperatura dessa forma há o sinal negativo;

3. **Gradiente de Temperatura:** $\nabla\boldsymbol{T}$ em $\left[\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{m}}\right]$;

   (a) `Coordenadas Cartesianas:`

   $$\boxed{\nabla\boldsymbol{T} = \left(\boldsymbol{i}\frac{\partial T}{\partial x} + \boldsymbol{j}\frac{\partial T}{\partial y} + \boldsymbol{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right)} \tag{1.1.2}$$

   (a) `Coordenadas Cilíndricas:`

   $$\boxed{\nabla\boldsymbol{T} = \left(\boldsymbol{i}\frac{\partial T}{\partial r} + \boldsymbol{j}\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \phi} + \boldsymbol{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right)} \tag{1.1.3}$$

   (a) `Coordenadas Esféricas:`

   $$\boxed{\nabla\boldsymbol{T} = \left(\boldsymbol{i}\frac{\partial T}{\partial r} + \boldsymbol{j}\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \phi} + \boldsymbol{k}\frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial T}{\partial \theta}\right)} \tag{1.1.4}$$

Esta lei é deduzida experimentalmente e portanto não há dedução formal, os resultados são obtidos a partir da observação.

1.2. Convecção

Definição Energia transferida pelo fluxo de partículas seja um Movimento Aleatório ou um Movimento Global do fluído através de dois mecanismos:

1. **Convecção Forçada:** Escoamento causado por meios externos;
2. **Convecção Natural:** Escoamento induzido por diferenças de densidade;

Quantifica-se este fluxo de energia, independente do mecanismo, através da seguinte equação:

$$\boxed{q''_{\text{conv}} = \frac{q}{A} = h(T_S - T_\infty) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]} \tag{1.2.1}$$

Onde:

1. **Fluxo Térmico:** q''_{conv} em $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$;
2. **Coeficiente de Transferêcia:** h em $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\ \text{K}}\right]$;

Nota-se que este coeficiente apresentará os seguintes valores típicos:

Situação		h $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\ \text{K}}\right]$
Convecção Natural	Gases	2 - 25
	Líquidos	50 - 1000
Convecção Forçada	Gases	25 - 250
	Líquidos	100 - 20000
Mudança de Fase		2500 - 100000

Tabela 1: Coeficiente de Transferência Térmica por Convecção

1.3. Radiação

Definição Energia transferida, não necessariamente demandando um meio material, pela matéria que se encontra a uma temperatura não nula.

1.3.1. Radiação Emitida

Definição Quantifica-se o fluxo de energia saindo de um corpo por radiação através da seguinte equação:

$$\boxed{E = \epsilon\ \sigma\ T_S^4 \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]} \tag{1.3.1}$$

Onde:

1. **Permissividade:** $0 \leq \epsilon \leq 1$ adimensional;
2. **Constante de Stefan-Boltzmann:** $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ em $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\ \text{K}^4}\right]$;
3. **Temperatura Absoluta:** T_S em $[K]$;

1.3.2. Radiação Recebida

Definição Quantifica-se o fluxo de energia recebida, também nomeada como **Irradiação**, por um corpo por radiação através da seguinte equação:

$$\boxed{G = G_{\text{abs}} + G_{\text{unknown}} + G_{\text{ref}}} \tag{1.3.2}$$

Onde:

1. **Radiação Recebida:** G em ;
2. **Radiação Absorvida:** G_{abs} em ;
3. **Radiação :** G_{unknown} em ;
4. **Radiação Refletida:** G_{ref} em ;

1.3.3. Radiação Absorvida

Definição Quantifica-se o fluxo de energia entrando de um corpo por radiação através da seguinte equação:

$$\boxed{G_{\text{abs}} = \alpha G \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]} \tag{1.3.3}$$

Onde:

1. **Absortividade:** $0 \leq \alpha \leq 1$ adimensional;
2. **Irradiação:** G em $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$;

1.3.4. Reservatório Térmico

Definição Caso haja uma superfície reduzida com temperatura T_S cercada por outra envolvente muito aumentada com temperatura T_{sur} então, caso $\epsilon = \alpha$, o fluxo de energia causado pela radiação será dado pela seguinte equação:

$$\boxed{q''_{\text{rad}} = \frac{q}{A} = \epsilon\sigma(T_S^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]} \tag{1.3.4}$$

Note que a equação acima pode ser resescrita como demonstrado a seguir:

$$\boxed{q_{\text{rad}} = h_r A(T_S - T_{\text{sur}}) \quad [\text{W}]} \qquad \boxed{h_r = \epsilon\sigma(T_S + T_{\text{sur}})(T_S^2 + T_{\text{sur}}^2)} \tag{1.3.5}$$

Desta forma, quando houver troca de calor simultaneamente na superfície por convecção e por radiação o fluxo de energia será dado pela seguinte equação:

$$\boxed{q = q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}} = hA(T_S - T_{\text{sur}}) + \epsilon\sigma(T_S^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad [\text{W}]} \tag{1.3.6}$$

1.4. Conservação de Energia

Definição

$$\boxed{\dot{E}_{\text{acu}} = \frac{\text{d}E_{\text{corpo}}}{\text{d}t} = \dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} + \dot{E}_{\text{ger}} \quad \left[\text{W} = \frac{\text{Kg m}^2}{s^3}\right]} \tag{1.4.1}$$

Onde:

1. **Energia Gerada:** $\dot{E}_{\text{ger}}$ em [W] obtida pela seguinte equação:

$$\boxed{\dot{E}_{\text{ger}} = \dot{q}\text{d}x\ \text{d}y\ \text{d}z} \tag{1.4.2}$$

2. **Energia Acumulada:** $\dot{E}_{\text{acu}}$ em [W] obtida pela seguinte equação:

$$\boxed{\dot{E}_{\text{acu}} = pc_{\text{p}}\frac{\partial T}{\partial t}\text{d}x\ \text{d}y\ \text{d}z} \tag{1.4.3}$$

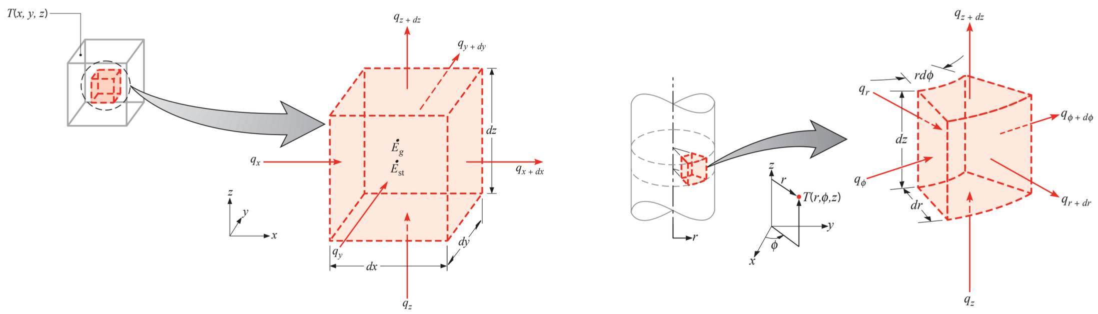
1.4.1. Balanço de Energia em Superfície

Definição Considera-se que superfícies não apresentam massa e portanto apresentam a seguinte equação para conservação de massa:

$$\boxed{\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} = 0} \tag{1.4.4}$$

1.4.2. Equação Difusão Térmica

Definição Equação que permite analisar a distribuição de temperatura sobre uma superfície. Primeiramente define-se um **Volume de Controle Diferencial** uma região infinitesimal do espaço analisado como definido na seguinte figura:



(a) Coordenadas Cartesianas (b) Coordenadas Cilíndricas

Figura 1.1: Volume de Controle Diferencial

Na sequência substitui-se as variáveis definidas na equação 1.4.1, obtendo a seguinte equação em coordenadas cartesianas:

$$\boxed{\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\dot{q}=p\,c_p\,\frac{\partial T}{\partial t}} \tag{1.4.5}$$

Alternativamente a mesma equação em coordenadas cilíndricas será:

$$\boxed{\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(kr\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \phi}\left(k\frac{\partial T}{\partial \phi}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\dot{q}=p\,c_p\,\frac{\partial T}{\partial t}} \tag{1.4.6}$$