

Módulo VIII - 1ª Lei da Termodinâmica Aplicada a Volume de Controle: Regime Permanente, Dispositivos de Engenharia com Escoamento e Regime Transiente.

Bocais e Difusores

São normalmente utilizados em motores a jato, foguetes, ônibus espaciais e até mesmo mangueiras de jardim. Um bocal é um dispositivo que aumenta a velocidade de um fluido à custa da pressão. Um difusor é um dispositivo que aumenta a pressão de um fluido pela sua desaceleração.

A taxa de transferência de calor entre o fluido que escoar em um bocal ou um difusor e sua vizinhança é geralmente muito pequena, e, portanto desprezível, assim como uma eventual variação na energia potencial. Também não envolvem trabalho, e com isso a equação de energia para esses dispositivos fica:

$$0 = (h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2}$$

Turbinas e Compressores

Turbinas são dispositivos que retiram energia de escoamento de um fluido transformando em trabalho. Já os compressores, assim como as bombas e os ventiladores, são utilizados para aumentar a pressão do fluido, porém diferem nas tarefas executadas. Ventilador aumenta a ligeiramente a pressão de um gás, compressor é capaz de aumentar bastante a pressão de um gás e bombas funcionam de forma parecida a um compressor, mas para líquidos.

Para todos os casos a transferência de calor é desprezível, bem como a variação nas energias cinética e potencial. Com isso a equação de energia pode ser representada como:

$$\dot{W}_{VC} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

Válvulas de Estrangulamento

É qualquer dispositivo que restringem o escoamento e causam uma queda significativa de pressão do fluido. Porém, essa queda de pressão não envolve nenhum trabalho, mas sim através de uma grande queda de temperatura. O escoamento através de um estrangulamento pode ser considerado adiabático e isentrópico, e as variações das energias cinética e potencial desprezíveis. Com tudo isso podemos representar a equação da energia nesses dispositivos como:

$$h_1 = h_2$$

$$u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

Câmara de Mistura e Trocadores de Calor

Câmara de mistura e onde ocorre a mistura de duas correntes de fluidos. Em geral são isoladas não promovendo troca de energia térmica e não envolve trabalho. Como as variações das energias cinética e potencial são desprezíveis a equação de conservação da energia torna-se análoga à equação de conservação da massa.

Já os trocadores de calor são dispositivos que duas correntes trocam calor sem se misturarem. Não envolvem interações de trabalho e as variações das energias cinética e potencial são desprezíveis, reduzindo a equação da energia para:

$$0 = \dot{Q}_{VC} + \sum_e \dot{m}_e h_e - \sum_s \dot{m}_s h_s$$

Regime Transiente

São processos em que os valores das propriedades, as taxas de transferência de calor e de trabalho e vazões mássica podem variar com o tempo.

Para o balanço de massa temos:

$$\int_0^t \left(\frac{dm_{VC}}{dt} \right) dt = \int_0^t \left(\sum_e \dot{m}_e \right) dt - \int_0^t \left(\sum_s \dot{m}_s \right) dt$$

$$m_{VC}(t) - m_{VC}(0) = \sum_e m_e - \sum_s m_s$$

Integrando a equação de energia temos:

$$U_{VC}(t) - U_{VC}(0) = Q_{VC} - W_{VC} + \sum_e m_e h_e - \sum_s m_s h_s$$

Exemplos

- 1) Ar é admitido em um compressor que opera em regime permanente com uma pressão de 1 bar, 290 K e uma velocidade de 6 m/s através de uma entrada cuja área é de 0,1 m². Na saída a pressão é de 7bar, 450 K e a velocidade é 2 m/s. A transferência de calor do compressor para sua vizinhança ocorre a uma taxa de 180 kJ/min. Empregando o método de gás ideal, calcule a potência de entrada do compressor.

Resolução:

$$0 = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} \right]$$

$$\dot{m} = \rho_1 V_1 A_1 = \frac{V_1 A_1}{v_1} = \frac{V_1 A_1 p_1}{(\bar{R}/M) T_1} = \frac{(0,1 \text{ m}^2)(6 \text{ m/s})(10^5 \text{ N/m}^2)}{\left(\frac{8314 \text{ Nm}}{28,97 \text{ kgK}}\right) (290 \text{ K})} = 0,72 \text{ kg/s}$$

Das tabelas termodinâmicas temos que $h_1 = 290,16 \text{ kJ/kg}$ e $h_2 = 451,8 \text{ kJ/kg}$

$$\dot{W}_{VC} = \left(-180 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| \right) + 0,72 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[(290,16 - 451,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{(6^2 - 2^2) \text{ m}^2}{2} \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \right]$$

$$\dot{W}_{VC} = -119,4 \text{ kW}$$

- 2) Um tanque, com $0,85 \text{ m}^3$ de volume, inicialmente contém água em uma mistura bifásica líquido-vapor a 260°C e com um título de 0,7. O vapor d'água saturado a 260°C é lentamente retirado através de uma válvula reguladora de pressão de topo do tanque à medida que a energia é transferida por meio de calor para manter a pressão constante no tanque, Esse processo continua até que o tanque esteja cheio de vapor saturado a 260°C . Determine a quantidade de calor transferida em kJ. Despreze todos os efeitos das energias cinética e potencial.

Resolução:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = -\dot{m}_s$$

$$\frac{dU_{VC}}{dt} = \dot{Q}_{VC} - \dot{m}_s h_s$$

$$\frac{dU_{VC}}{dt} = \dot{Q}_{VC} + h_s \frac{dm_{VC}}{dt}$$

$$\Delta U_{VC} = Q_{VC} + h_s \Delta m_{VC}$$

$$Q_{VC} = (m_2 u_2 - m_1 u_1) - h_s (m_2 - m_1)$$

Das tabelas termodinâmicas temos que $u_1 = 2157,8 \text{ kJ/kg}$, $v_2 = 0,02993 \text{ m}^3/\text{kg}$, $u_2 = 2599,0 \text{ kJ/kg}$ e $v_1 = 0,04221 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$m_1 = \frac{\vartheta}{v_1} = \frac{0,85}{0,04221} = 20,14 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{\vartheta}{v_2} = \frac{0,85}{0,02993} = 28,4 \text{ kg}$$

$$Q_{VC} = (20,14 \times 2599 - 28,4 \times 2157,8) - h_s (20,14 - 28,4)$$

$$Q_{VC} = 14162 \text{ kJ}$$

Exercícios Propostos

- 1) Ar entra em regime permanente em um bocal adiabático a 300 kPa, 200°C e 30 m/s e sai a 100 kPa e 180 m/s. A área na entrada do bocal é de 80 cm². Determine:
- o fluxo de massa no bocal,
 - a temperatura de saída do ar e
 - a área na saída do bocal.

Resposta: 0,5304 kg/s; 184,6°C; 38,7 cm²

- 2) Vapor escoia em regime permanente através de uma turbina adiabática. As condições de entrada do vapor são 10 MPa, 450°C e 80 m/s e as condições de saída são 10 kPa, 92% de título e 50 m/s. O fluxo de massa do vapor é de 12 kg/s. Determine:
- a variação da energia cinética,
 - a potência produzida e
 - a área de entrada da turbina.

Resposta: - 1,95 kJ/kg; 10,2 MW; 0,00447 m²

- 3) Refrigerante 134a a 800 kPa e 25°C é estrangulado até a temperatura de – 20°C. Determine a pressão e a energia interna do refrigerante no estado final.

Resposta: 133 kPa; 80,7 kJ/kg

- 4) Um sistema de condicionamento de ar envolve a mistura de ar frio com ar quente externo antes de encaminhar a mistura para a sala condicionada. O ar frio entra na câmara de mistura a 5°C e 105 kPa a uma vazão de 1,25 m³/s, enquanto o ar quente entra a 34°C e 105 kPa. O ar deixa a sala a 24°C. A razão entre os fluxos de massa das correntes de ar quente e frio é de 1,6. Usando calores específicos variáveis determine:
- a temperatura da mistura na entrada as sala e
 - a taxa de ganho de calor da sala.

Resposta: 22,9°C; 4,88 kW

- 5) um pequeno orifício se desenvolve nas paredes de um tanque rígido cujo volume é de 0,75 m³ e ar da vizinhança a 1 bar, 25°C, é admitido no tanque. Eventualmente, a pressão no tanque atinge 1 bar. O processo é tão lento que a transferência de calor entre o tanque e a vizinhança mantém a

temperatura do ar no interior do tanque constante a 25°C . Determine a transferência de calor, em kJ, se inicialmente o tanque

- a) estiver evacuado.
- b) contiver ar a $0,7\text{ bar}$, 25°C .

Resposta: - 75 kJ; -22,5 kJ

- 6) um tanque de 300 ft^3 contém H_2O inicialmente a 30 lbf/in^2 e um título de 80%. O tanque está conectado a uma grande linha através da qual o vapor d'água escoia a 200 lbf/in^2 e 450°F . Vapor d'água escoia no tanque através de uma válvula até que a pressão em seu interior atinja 100 lbf/in^2 e a temperatura seja de 400°F , e nesse instante a válvula é fechada. Determine a quantidade de massa, em lb, que entra no tanque e a transferência de calor entre o tanque e a sua vizinhança, em Btu.

Resposta: 33,53 lb; 2551 Btu