UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CTS – Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde
Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade

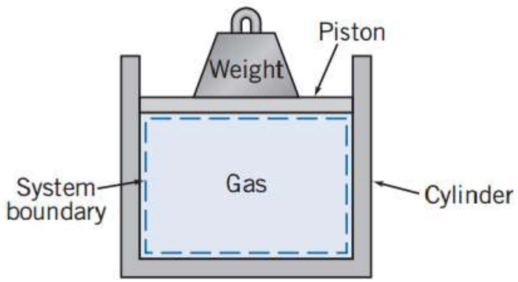
1ª LEI DA TERMODINÂMICA (Abordagem de Volume de Controle)

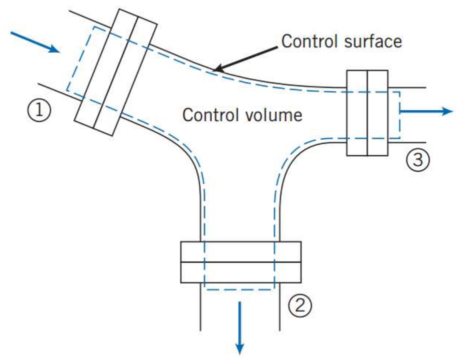
Sistema x Volume de Controle

A principal tarefa ao converter a abordagem de sistema para volume de controle (∀C) é expressar a taxa de variação da **propriedade extensiva N** de um sistema em termos de variações em um volume de controle.

Como na abordagem de ∀C há vazão de massa atravessando as fronteiras, a variação de N no ∀C vai depender desse efeito.

Portanto, devemos obter uma relação matemática que permita converter facilmente uma abordagem na outra.





Apresentação da 1ª Lei

Para escrevermos a 1ª Lei da Termodinâmica (Eq. da Conservação da Energia) em um volume de controle, recorremos à abordagem de sistema e ao TTR.

1ª Lei p/ sistema

$$\left.\frac{dE}{dt}\right)_{sist} = \dot{Q} - \dot{W}$$

TTR

$$\left.\frac{dN}{dt}\right)_{sist} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{\forall C} \eta\rho d\forall + \int_{SC} \eta\rho\vec{V}\cdot d\vec{A}$$

mas,

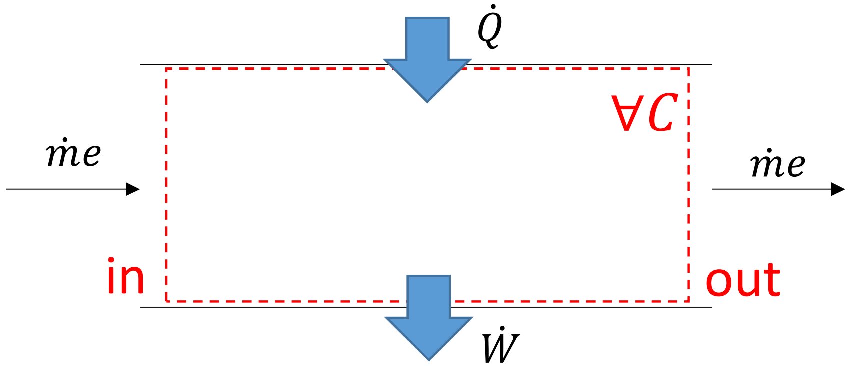
$$E = N \quad [\mathrm{J}]$$

$$e = \eta \quad [\mathrm{J/kg}]$$

$$\Rightarrow \quad \left.\frac{dE}{dt}\right)_{sist} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{\forall C} e\rho d\forall + \int_{SC} e\rho\vec{V}\cdot d\vec{A} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C} \quad [W]$$

Apresentação da 1ª Lei

Admitindo que as propriedades são uniformes nas seções de entrada e saída, bem como no interior do $\forall C$:



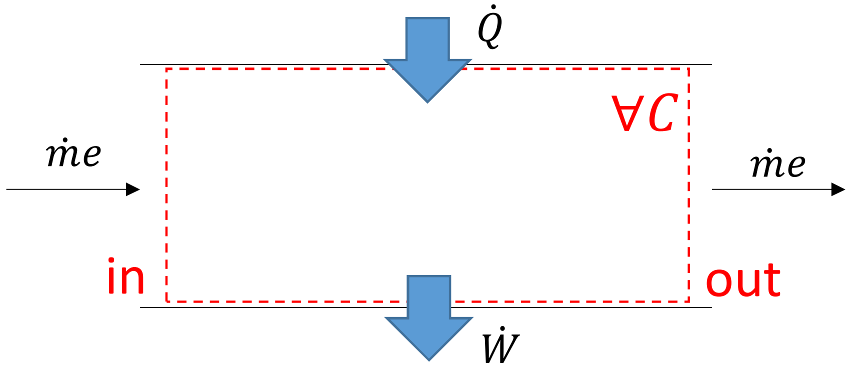
$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} + (\dot{m}e)_{out} - (\dot{m}e)_{in} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C}$$

$(\dot{m}e)_{in}$ é a taxa de entrada de energia no $\forall C$ transportada pela vazão mássica $\dot{m}$ e $(\dot{m}e)_{out}$ é a taxa de saída de energia no $\forall C$ através da vazão $\dot{m}$.

$\dot{Q}_{\forall C}$ e $\dot{W}_{\forall C}$ são as taxas de transferência de calor e de realização de trabalho líquidas através das fronteiras do $\forall C$.

Apresentação da 1ª Lei

Admitindo que as propriedades são uniformes nas seções de entrada e saída, bem como no interior do $\forall C$:



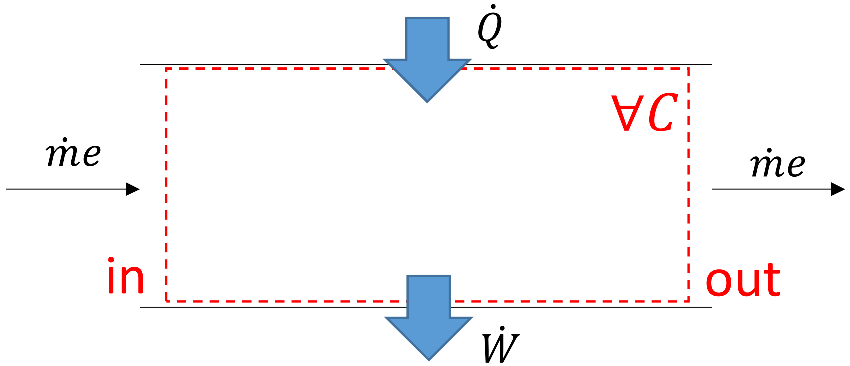
$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} + (\dot{m}e)_{out} - (\dot{m}e)_{in} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C}$$

Substituindo a definição de energia específica: $e = u + \dfrac{V^2}{2} + gz$

$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C} + \dot{m}(u + V^2/2 + gz)_{in} - \dot{m}(u + V^2/2 + gz)_{out}$$

Apresentação da 1ª Lei

Admitindo que as propriedades são uniformes nas seções de entrada e saída, bem como no interior do $\forall C$:



$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} + (\dot{m}e)_{out} - (\dot{m}e)_{in} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C}$$

Substituindo a definição de energia específica: $e = u + \dfrac{V^2}{2} + gz$

$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_{\forall C} + \dot{m}(u + V^2/2 + gz)_{in} - \dot{m}(u + V^2/2 + gz)_{out}$$

Apresentação da 1ª Lei

O termo associado ao trabalho pode ser dividido em duas parcelas:

- Uma devido ao deslocamento de fluido através das fronteiras do $\forall C$, por efeito da pressão na face (**trabalho de escoamento, $\dot{W}_{esc}$**).

- Outra devido aos demais efeitos como trabalhos de eixo, elétrico, etc ...

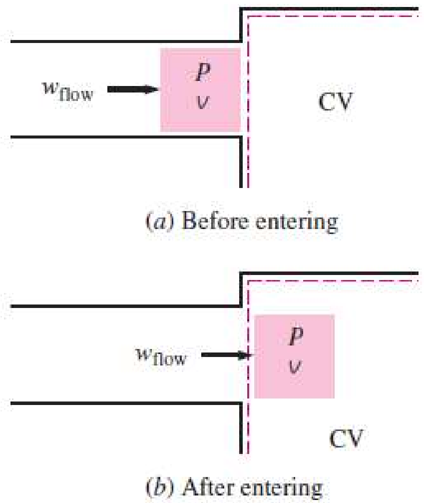


FIGURE 5–13

Flow work is the energy needed to push a fluid into or out of a control volume, and it is equal to Pv.

Apresentação da 1ª Lei

Assim, para as fronteiras de entrada e saída de massa:

$$\dot{W}_{esc}\Big)_{in} = (FV)_{in} = -(pAV)_{in} = -(p\dot{m}v)_{in}$$

$$\dot{W}_{esc}\Big)_{out} = (FV)_{out} = (pAV)_{out} = (p\dot{m}v)_{out}$$

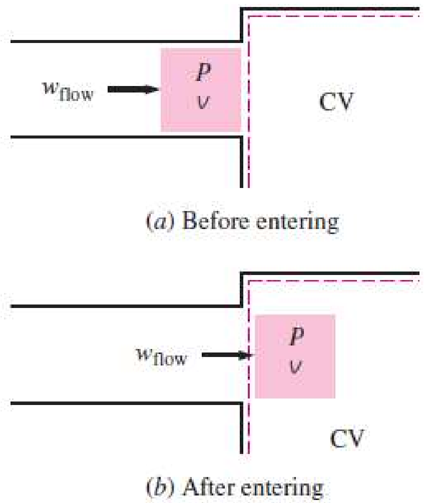


FIGURE 5–13

Flow work is the energy needed to push a fluid into or out of a control volume, and it is equal to Pv.

Apresentação da 1ª Lei

Assim, para as fronteiras de entrada e saída de massa:

$$\dot{W}_{esc}\Big)_{in} = (FV)_{in} = -(pAV)_{in} = -(p\dot{m}v)_{in}$$

$$\dot{W}_{esc}\Big)_{out} = (FV)_{out} = (pAV)_{out} = (p\dot{m}v)_{out}$$

Substituindo na 1ª Lei:

$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_o + \dot{m}(u + pv + V^2/2 + gz)_{in} - \dot{m}(u + pv + V^2/2 + gz)_{out}$$

$$\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_o + \dot{m}(h + V^2/2 + gz)_{in} - \dot{m}(h + V^2/2 + gz)_{out}$$

Apresentação da 1ª Lei

Desprezando variações de energia cinética e potencial:

$$\boxed{\left.\frac{\partial E}{\partial t}\right)_{\forall C} = \dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_o + \dot{m}(h_{in} - h_{out})}$$

dV de 0 a 45 m/s:
dEc = 1 kJ/kg

dz de 0 a 100 m:
dEp = 1 kJ/kg

Em regime permanente:

$$\boxed{\dot{Q}_{\forall C} - \dot{W}_o = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) \qquad [\mathrm{W}]}$$

Dividindo por $\dot{m}$:

$$\boxed{q_{\forall C} - w_o = (h_{out} - h_{in}) \qquad [\mathrm{J/kg}]}$$