

A.03.04 – Modelos de Propriedades Energéticas (Sistemas Fechados)

Prof. C. Naaktgeboren, PhD



<https://github.com/CNThermSci/ApplThermSci>

Compiled on 2020-06-03 17h37m13s UTC

1 Modelos de Propriedades Energéticas

- Energia Interna e Entalpia

2 Tópicos de Leitura

Energia Interna – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa m , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante, $(\delta q)_V$;



Energia Interna – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa m , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante, $(\delta q)_V$;
- m e V constantes implicam em $v \equiv V/m$ constante, tal que $(\delta q)_V = (\delta q)_v$;



Energia Interna – Relação com Temperatura

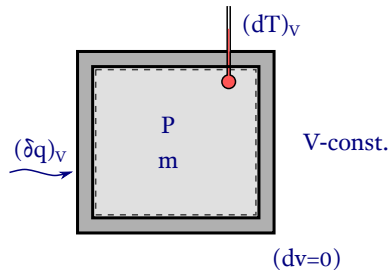
O sistema fechado de massa m , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a volume constante, $(\delta q)_V$;
- m e V constantes implicam em $v \equiv V/m$ constante, tal que $(\delta q)_V = (\delta q)_v$;
- A temperatura experimenta uma variação de $(dT)_v$.



Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

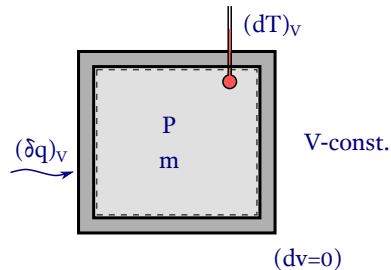
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:



Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

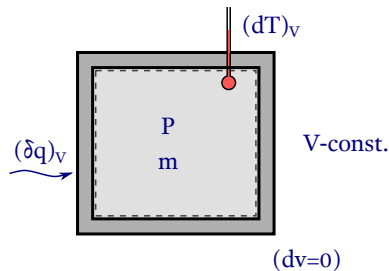
$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$



Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \longrightarrow$$
$$(\delta q)_v = du.$$

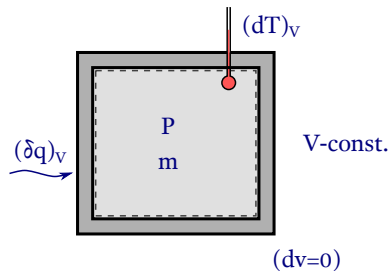


Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \longrightarrow$$
$$(\delta q)_v = du.$$

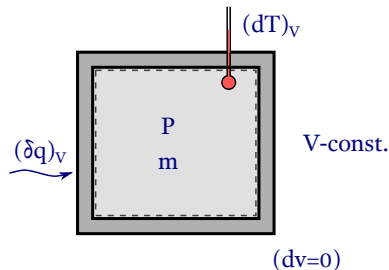
Assim, o calor transferido a volume constante a um sistema fechado é a variação de sua energia interna!



Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a volume constante** da substância do sistema, c_v , como

$$c_v \equiv \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v .$$

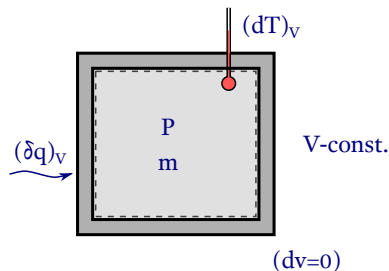


Energia Interna – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se o **calor específico a volume constante** da substância do sistema, c_v , como

$$c_v \equiv \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v .$$

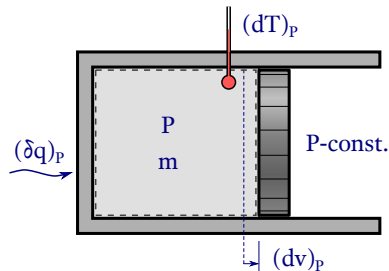
Ainda, $C_v = (\partial U / \partial T)_v = m c_v$ é a **capacidade térmica a volume constante** do sistema.



Entalpia – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa m , ilustrado:

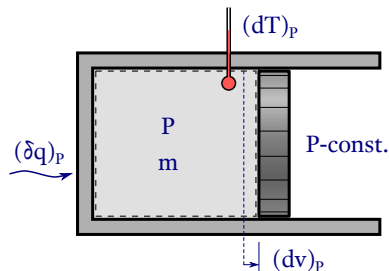
- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante, $(\delta q)_P$;



Entalpia – Relação com Temperatura

O sistema fechado de massa m , ilustrado:

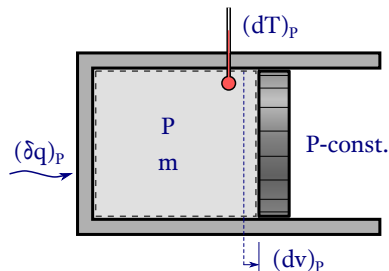
- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante, $(\delta q)_P$;
- Realiza uma diferencial de trabalho a pressão constante, $(\delta w)_P = P dv$;



Entalpia – Relação com Temperatura

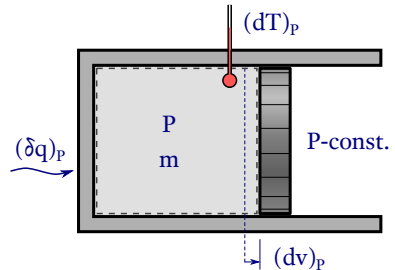
O sistema fechado de massa m , ilustrado:

- Recebe uma diferencial de calor a pressão constante, $(\delta q)_P$;
- Realiza uma diferencial de trabalho a pressão constante, $(\delta w)_P = P dv$;
- A temperatura experimenta uma variação de $(dT)_P$, possivelmente diferente de $(dT)_v$.



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

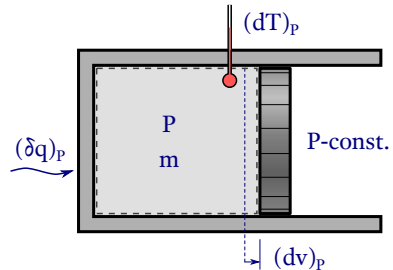
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

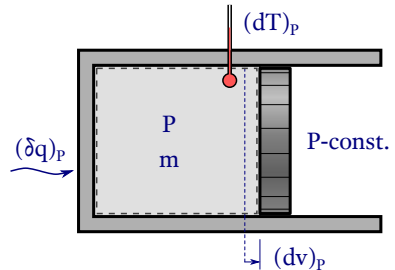
$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$
$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du$$



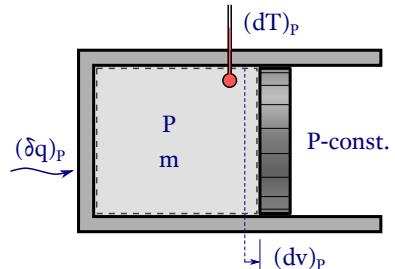
Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P = du + P dv = d(u + Pv).$$



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

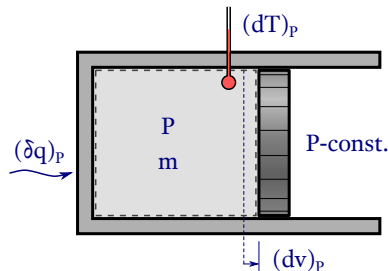
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du \quad \rightarrow$$

$$(\delta q)_P = du + P dv = d(u + Pv).$$

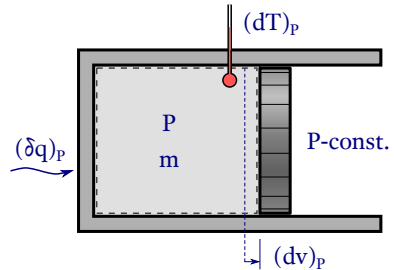
A quantidade $(u + Pv)$ aparece frequentemente o suficiente para ser definida como uma nova propriedade, $h \equiv u + Pv$, denominada “**entalpia**”.



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Assim,

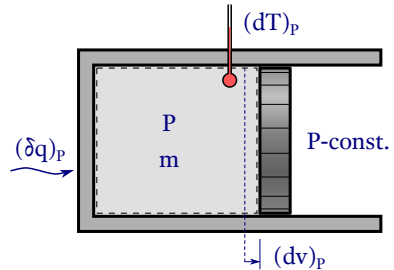
$$H \equiv U + PV \quad [\text{kJ}], \text{ e}$$



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Assim,

$$H \equiv U + PV \quad [\text{kJ}], \text{ e}$$
$$h \equiv u + Pv \quad [\text{kJ/kg}],$$



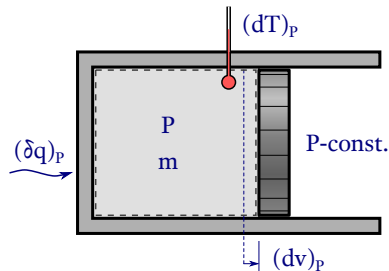
Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Assim,

$$H \equiv U + PV \quad [\text{kJ}], \text{ e}$$

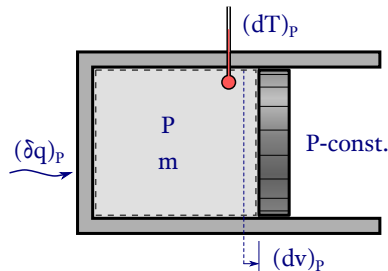
$$h \equiv u + Pv \quad [\text{kJ/kg}],$$

são a **entalpia** e a **entalpia específica**,
respectivamente: novas propriedades
termodinâmicas.



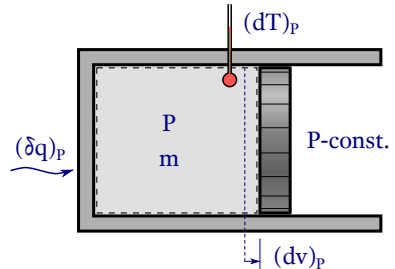
Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O termo origina do verbo grego “ $\epsilon\nu\chi\acute{\alpha}\lambda\pi\omega$ ”, que significa: “(eu) aqueço”, conforme a própria ilustração. Ou seja: a “entalpia” de um sistema pode ser mnemonizada como o seu “nível de aquecimento” à pressão constante, desde um outro estado de referência.



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

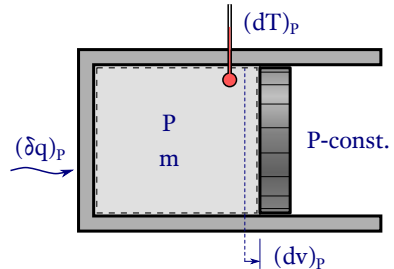
O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

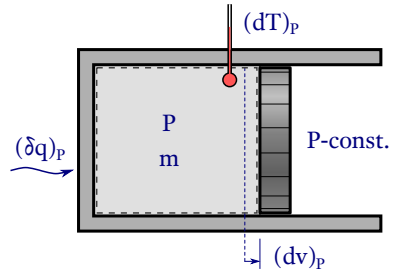
$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist}$$



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

$$\delta e_{ent} - \delta e_{sai} = de_{sist} \quad \rightarrow$$
$$(\delta q)_P - (\delta w)_P = du$$

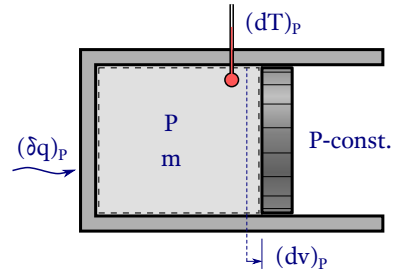


Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

O balanço de energia na forma diferencial do sistema fica:

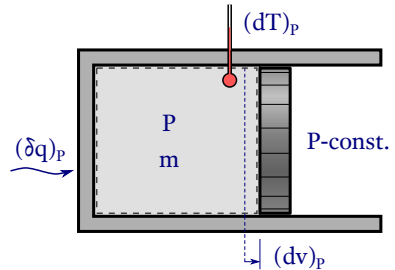
$$\begin{aligned}\delta e_{ent} - \delta e_{sai} &= de_{sist} \quad \rightarrow \\ (\delta q)_P - (\delta w)_P &= du \quad \rightarrow \\ (\delta q)_P &= du + P dv = d(u + Pv) \equiv dh.\end{aligned}$$

Assim, o calor transferido a volume constante a um sistema fechado é a variação de sua energia interna!



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

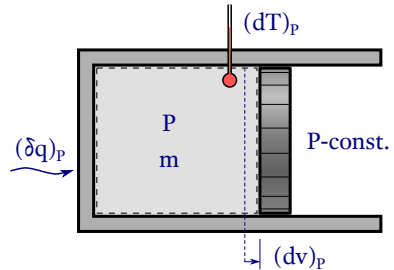
Define-se



Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se

$$c_v \equiv \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v,$$

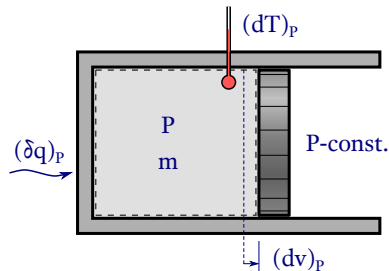


Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se

$$c_v \equiv \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v,$$

denominado de **calor específico a volume constante** da substância do sistema. Ainda,

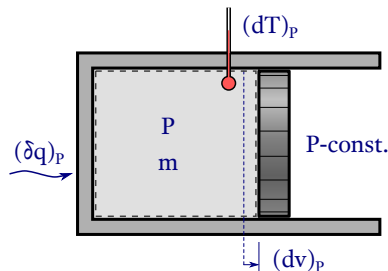


Entalpia – Relação com Temperatura (Cont.)

Define-se

$$c_v \equiv \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v,$$

denominado de **calor específico a volume constante** da substância do sistema. Ainda, $C_v = (\partial U / \partial T)_v = m c_v$ é a **capacidade térmica a volume constante** do sistema.



Tópicos de Leitura I



Çengel, Y. A. e Boles, M. A.

Termodinâmica 7ª Edição. Seções 4-3 a 4-5.

AMGH. Porto Alegre. ISBN 978-85-8055-200-3.



Image by Free-Photos from pixabay.com