NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

Aula 1 Balanços Energéticos
MIEQB
ano lectivo de 2020/2021

Sumário da aula

<u>Fundamentos dos balanços energéticos</u>

- Formas de energia. 1ª Lei da Termodinâmica
- Energias cinética e potencial
- Balanços de energia a sistemas fechado e aberto. Entalpia

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o "tamanho" do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o “tamanho” do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o “tamanho” do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o “tamanho” do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o "tamanho" do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o "tamanho" do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Problemas típicos em BEs…

1. Qual a potência (energia/tempo) necessária para bombear 1250 m^3/h de água de um tanque de armazenamento para uma dada unidade? (A resposta determina o “tamanho” do motor de bomba necessário).
2. Qual a energia necessária para converter 2000 kg de água líquida a 30 °C a vapor a 180 °C?
3. Destila-se uma mistura de hidrocarbonetos, obtendo-se uma corrente de líquido e uma corrente de vapor, cada uma com um caudal e composição conhecidos. A energia fornecida à coluna de destilação provém da condensação de vapor saturado à pressão de 15 bar. A que velocidade deve-se fornecer o vapor para processar 2000 moles/h de alimentação?
4. Ocorre uma reacção química altamente exotérmica A-> B num reator contínuo. Pretendendo-se obter uma conversão de 75% de A, a que velocidade se deve retirar energia do reactor para que a sua temperatura se mantenha constante?
5. Quanto carvão deve-se queimar por dia para gerar o vapor necessário ao funcionamento das turbinas na produção de eletricidade suficiente para atender às necessidades diárias energéticas de uma cidade de 500 mil pessoas?
6. Um dado processo químico tem quatro reactores, 25 bombas e vários compressores, colunas de destilação, tanques de mistura, evaporadores, filtros e outras unidades de processamento e separação de materiais. Cada uma destas unidades consome ou liberta energia.
   a) Como podemos operar o processo de forma a minimizar a energia total? (por exemplo, a energia libertada numa unidade poderá ser transferida para uma outra unidade, consumidora de energia?)
   b) Qual é a necessidade total de energia do processo, e quanto será o custo para fornecer essa energia? (a resposta pode determinar se o processo é economicamente viável ou não).

Equação de conservação de energia

- Os balanços de energia são equações que traduzem o princípio da conservação de energia para um determinado sistema (1º Princípio da Termodinâmica)

Transferência de energia para o sistema através da fronteira	+	Geração de energia dentro do sistema	-	Transferência de energia do sistema através da fronteira	-

-	Consumo de energia dentro do sistema	=	Acumulação de energia no sistema

Possíveis formas de energia de um dado sistema

- Energia Cinética: $E_c = ½ \, m \, u^2$
- Energia Potencial: $E_p = m \, g \, h$
- Energia Interna: U
- Calor: Q (“+” quando transferido da vizinhança para o sistema)
- Trabalho: W

(“+” quando feito no sistema pela vizinhança)
IUPAC
(“+” quando feito pelo sistema à vizinhança)
FELDER E ROUSSEAU

5.1.

Calcule a energia cinética, em joules por segundo, de uma corrente de água fluindo com um caudal de 2 m^3/h num tubo com 2 cm de diâmetro interno.

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Diâmetro=0.02 m
Caudal volumétrico Q=2m^3/h

$$E_c = \frac{1}{2} m u^2$$

$$\dot{E}_c = \frac{1}{2} \dot{m} u^2$$

5.1.

Calcule a energia cinética, em joules por segundo, de uma corrente de água fluindo com um caudal de 2 m^3/h num tubo com 2 cm de diâmetro interno.

($1N = 1\ kg.m.s^{-2}$)

Diâmetro=0.02 m
Caudal volumétrico $Q=2m^3/h$

$$E_c = \frac{1}{2} m u^2$$

$$\dot{E}_c = \frac{1}{2} \dot{m} u^2$$

Resolução:

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{2m^3/h \times (\frac{1h}{3600s})}{\pi 0.01^2 m^2} = 1.77\ m/s$$

5.1.

Calcule a energia cinética, em joules por segundo, de uma corrente de água fluindo com um caudal de 2 m^3/h num tubo com 2 cm de diâmetro interno.

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Diâmetro=0.02 m
Caudal volumétrico Q=2m^3/h

$$E_c = \frac{1}{2} m u^2$$

$$\dot{E}_c = \frac{1}{2} \dot{m} u^2$$

Resolução:

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{2m^3/h \times (\frac{1h}{3600s})}{\pi 0.01^2 m^2} = 1.77\ m/s$$

Caudal mássico

$$\dot{m} = Q \times \rho = 2m^3/h \times (\frac{1h}{3600s}) \times 1000 kg/m^3 = 0.556\ kg/s$$

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

5.1.

Calcule a energia cinética, em joules por segundo, de uma corrente de água fluindo com um caudal de 2 m^3/h num tubo com 2 cm de diâmetro interno.

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Diâmetro=0.02 m
Caudal volumétrico Q=2m^3/h

$$E_c = \frac{1}{2} m u^2$$

$$\dot{E}_c = \frac{1}{2} \dot{m} u^2$$

Resolução:

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{2m^3/h \times (\frac{1h}{3600s})}{\pi 0.01^2 m^2} = 1.77\ m/s$$

Caudal mássico

$$\dot{m} = Q \times \rho = 2m^3/h \times (\frac{1h}{3600s}) \times 1000 kg/m^3 = 0.556\ kg/s$$

$$\dot{E}_c = \frac{1}{2} \dot{m} u^2 = \frac{1}{2} 0.556 \times 1.77^2 = 0.87\ J/s$$

1J=(Kgm^2)/s^2

5.2.

Bombeia-se petróleo de uma profundidade de 220 m abaixo da superfície da Terra até uma altura de 20 m acima da superfície, a um caudal de 15 kg/s. Calcule a variação de energia potencial associada a este processo. Qual a potência mínima da bomba a usar?

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

5.2.

Bombeia-se petróleo de uma profundidade de 220 m abaixo da superfície da Terra até uma altura de 20 m acima da superfície, a um caudal de 15 kg/s. Calcule a variação de energia potencial associada a este processo. Qual a potência mínima da bomba a usar?

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Profundidade h1= -220 m até h2=20 m

$$\boxed{\begin{array}{l} E_p = mgh \\ \dot{E}_p = \dot{m}gh \end{array}}$$

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

5.2.

Bombeia-se petróleo de uma profundidade de 220 m abaixo da superfície da Terra até uma altura de 20 m acima da superfície, a um caudal de 15 kg/s. Calcule a variação de energia potencial associada a este processo. Qual a potência mínima da bomba a usar?

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Profundidade h1= -220 m até h2=20 m

$$\boxed{\begin{aligned} E_p &= mgh \\ \dot{E}_p &= \dot{m}gh \end{aligned}}$$

Resolução:

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

5.2.

Bombeia-se petróleo de uma profundidade de 220 m abaixo da superfície da Terra até uma altura de 20 m acima da superfície, a um caudal de 15 kg/s. Calcule a variação de energia potencial associada a este processo. Qual a potência mínima da bomba a usar?

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Profundidade h1= -220 m até h2=20 m

$$\boxed{\begin{array}{l} E_p = mgh \\ \dot{E}_p = \dot{m}gh \end{array}}$$

Resolução:

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$\Delta\dot{E}_p = 15\ kg/s \times 9.81 m/s^2 \times \left(20 - (-220)\right)m$$

$$\Delta\dot{E}_p = 35300\ J/s$$

1 N=1Kgms^{-2}
1 J=1Kgm^{2}s^{-2}

5.2.

Bombeia-se petróleo de uma profundidade de 220 m abaixo da superfície da Terra até uma altura de 20 m acima da superfície, a um caudal de 15 kg/s. Calcule a variação de energia potencial associada a este processo. Qual a potência mínima da bomba a usar?

(1N = 1 kg.m.s^{-2})

Profundidade h1= -220 m até h2=20 m

$$E_p = mgh$$

$$\dot{E}_p = \dot{m}gh$$

Resolução:

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$\Delta\dot{E}_p = 15\ kg/s \times 9.81 m/s^2 \times \left(20 - (-220)\right)m$$

1 N=1Kgms^{-2}
1 J=1Kgm^{2}s^{-2}

$$\Delta\dot{E}_p = 35300\ J/s$$

A potência mínima da bomba a usar seria de 35.3 kW (1 W = 1 J/s)

Balanço de energia a um sistema fechado

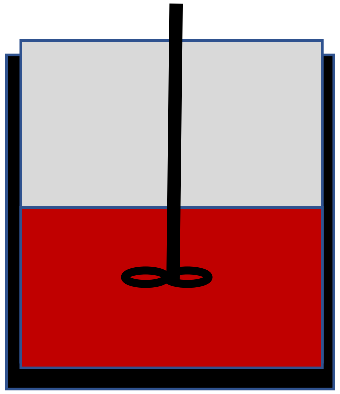
Sistema fechado: não há transferência de massa

através da fronteira do sistema (quando existe,

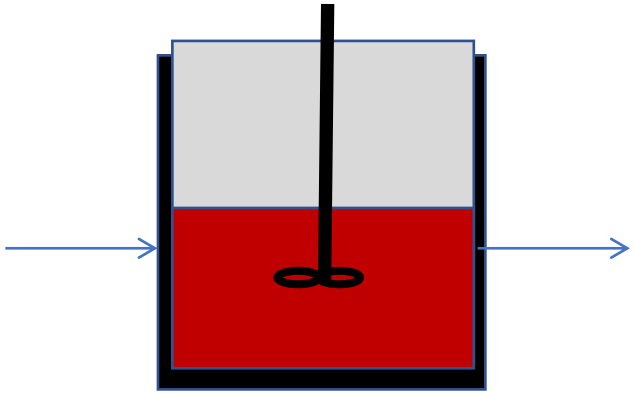
diz-se que é um sistema aberto)

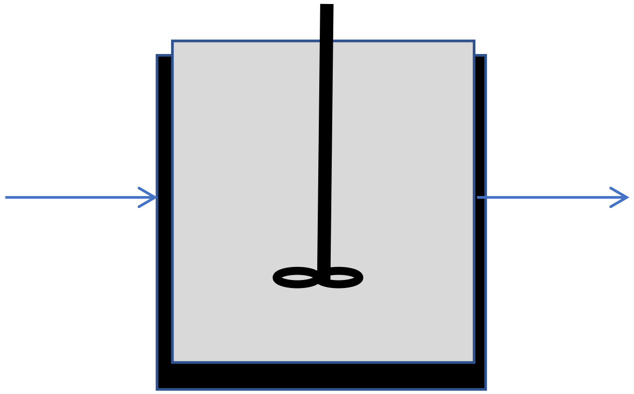
Exemplos:

- Sistema fechado: <u>processo descontínuo</u>



- Sistema aberto: <u>processos semi-contínuo e contínuo</u>





Balanço de energia a um sistema fechado

Num sistema fechado não há transferência de massa através do sistema. Mas pode haver transferência de energia (na forma de **trabalho** e/ou de **calor**)

Energia transferida para o sistema	=	Energia final do sistema	-	Energia inicial do sistema

Balanço de energia a um sistema fechado

Energia final do sistema	-	Energia inicial do sistema	=	Energia transferida para o sistema

Balanço de energia é realizado entre dois instantes temporais, t_i e t_f

Balanço de energia a um sistema fechado

Energia final do sistema	-	Energia inicial do sistema	=	Energia transferida para o sistema

- Energia inicial do sistema = $U_i + E_{c_i} + E_{p_i}$
- Energia final do sistema = $U_f + E_{c_f} + E_{p_f}$
- Energia transferida = $Q - W$

$$\left(U_f - U_i\right) + \left(E_{c_f} - E_{c_i}\right) + \left(E_{p_f} - E_{p_i}\right) = \mathrm{Q} - \mathrm{W}$$

E_c: Energia Cinética

E_p: Energia Potencial

U: Energia Interna

Q: Calor

W: Trabalho

(+W quando feito **pelo** sistema à vizinhança)

Balanço de energia a um sistema fechado

Energia final do sistema	-	Energia inicial do sistema	=	Energia transferida para o sistema

$$\left(U_f - U_i\right) + \left(E_{c_f} - E_{c_i}\right) + \left(E_{p_f} - E_{p_i}\right) = \mathrm{Q} - \mathrm{W}$$

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

1ª lei da termodinâmica para um sistema fechado

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Balanço de energia a um sistema fechado: considerações

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

Energia Interna U: depende da composição química, estado de agregação [U = f(estado físico, T)]; U $\neq$ f(P) para gases ideais; U $\approx\neq$f(P) para sólidos e líquidos

- Se sistema para o qual $\Delta T = 0$; $\nexists$ mudanças de fase; $\nexists$ reacções químicas => $\Delta U \approx 0$
- Se sistema não acelera => $\Delta E_c = 0$; Posição do sistema não se altera => $\Delta E_p = 0$
- Se sistema adiabático (não há trocas de calor com o exterior) => Q = 0
- Se sistema não realiza trabalho de/para o exterior => W = 0

Balanço de energia a um sistema aberto

Sistema aberto: há transferência de massa através da fronteira do sistema

↓

Existirá trabalho realizado pela vizinhança no sistema para introduzir massa no sistema e trabalho realizado pelo sistema na vizinhança pela massa que sai do sistema

(através de uma bomba, ou pelo próprio fluido por alteração da relação PV)

Que tipos de trabalho podemos ter?

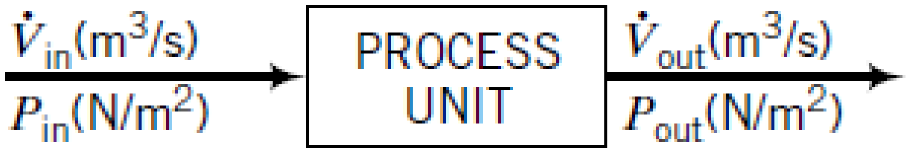
- Trabalho de máquina (*Shaft work*)
- Trabalho de fluxo ou de escoamento (*Flow work*)

Trabalho de máquina, $\dot{W}_s$: Trabalho realizado pelo fluido numa peça móvel do sistema (exemplo: o rotor de uma bomba)

Trabalho de fluxo, $\dot{W}_{fl}$: Trabalho realizado pelo fluido nas correntes de saída e de entrada

Trabalho <u>total</u> realizado por um sistema aberto $\dot{W} = \dot{W}_s + \dot{W}_{fl}$

Trabalho de fluxo ou de escoamento

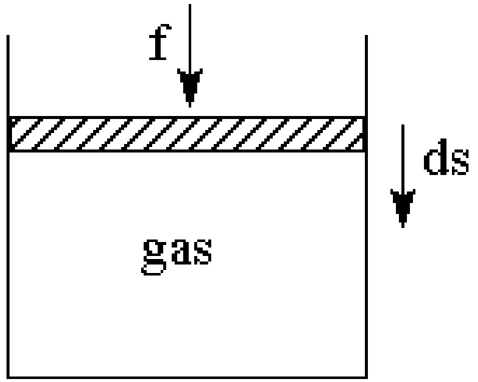


- $\dot{W}_{in}(\mathrm{N.m/s}) = P_{in}(\mathrm{N/m^2})\ \dot{V}_{in}(\mathrm{m^3/s})$
- $\dot{W}_{out}(\mathrm{N.m/s}) = P_{out}(\mathrm{N/m^2})\ \dot{V}_{out}(\mathrm{m^3/s})$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\dot{W}_{fl} = P_{out}\dot{V}_{out} - P_{in}\dot{V}_{in}}$$

'PV' mede a quantidade de energia associada ao conjunto sistema-vizinhança devido ao facto do sistema ocupar um volume V quando submetido a uma dada pressão P

Trabalho realizado quando um fluido é expandido ou comprimido- Trabalho PV



Considerando o esquema pistão-cilindro. Aplica-se uma força ***f*** ao pistão para comprimir o gas. O trabalho realizado é o produto da força externa com o vector deslocamento. Como o deslocamento e a força estão na mesma diracção podemos escrever simplesmente a força vezes o deslocamento

Uma mudança positiva no deslocamento produz uma mudança negativa no volume. Assim a relação entre W e a variação de volume é dada por:

$W = -PdV.$ Não esquecer o sinal negativo.

$$W = \int \bar{f}_{ex} \cdot d\bar{s}$$

$$\bar{f}_{ex} = P_{ex} A \qquad ds = -\frac{dV}{A}$$

$$\therefore \quad W = \int (P_{ex} A)\left(-\frac{dV}{A}\right) = \underline{-\int P_{ex} dV = W}$$

(+W quando feito **ao** sistema pela vizinhança)

Propriedades específicas; **Entalpia**

Propriedades de um processo:

- Extensivas (proporcionais à quantidade de matéria; exemplos: massa, mole, volume, energia)
- Intensivas (independente da quantidade; exemplo: temperatura, pressão)

Propriedade específica: propriedade extensiva dividida pela quantidade total de matéria

Volume específico, $\hat{V}$ [m^3/kg] = volume/massa

Energia interna específica, $\hat{U}$ [J/kg] = energia/massa

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Propriedades específicas; Entalpia

Propriedades de um processo:

- Extensivas (proporcionais à quantidade de matéria; exemplos: massa, mole, volume, energia)
- Intensivas (independente da quantidade; exemplo: temperatura, pressão)

Propriedade específica: propriedade extensiva dividida pela quantidade total de matéria

Volume específico, $\hat{V}$ [m^3/kg] = volume/massa

Energia interna específica, $\hat{U}$ [J/kg] = energia/massa

Entalpia específica, $\hat{H}$ [J/kg] $\boxed{\hat{H} \equiv \hat{U} + P\hat{V}}$

5.3.

A energia interna e o volume molar específicos do hélio a 300K e 1 atm são 3800 J/mol e 24.63 L/mol, respectivamente. Calcule a entalpia específica do hélio nas condições anteriores.

0.08206 L.atm/(mol.K) = 8.314 J/(mol.K)

5.3.

A energia interna e o volume molar específicos do hélio a 300K e 1 atm são 3800 J/mol e 24.63 L/mol, respectivamente. Calcule a entalpia específica do hélio nas condições anteriores.

0.08206 L.atm/(mol.K) = 8.314 J/(mol.K)

Resolução:

$$\hat{H} = \hat{U} + P\hat{V} = 3800\, J/mol + 1atm \times 24.63\, L/mol$$

5.3.

A energia interna e o volume molar específicos do hélio a 300K e 1 atm são 3800 J/mol e 24.63 L/mol, respectivamente. Calcule a entalpia específica do hélio nas condições anteriores.

0.08206 L.atm/(mol.K) = 8.314 J/(mol.K)

Resolução:

$$\hat{H} = \hat{U} + P\hat{V} = 3800\,J/mol + 1atm \times 24.63\,L/mol$$

$$1\text{ atm}=\frac{8.314 J/mol.K}{0.08206 L/(mol.K)} = 101.3\,J/L$$

$$\hat{H} = 3800\,J/mol + 101.3\,J/L \times 24.63\,L/mol$$

$$\hat{H} = 6295\,J/mol$$

Balanço de energia a um sistema aberto

Entrada de Energia no sistema	=	Saída de Energia do sistema

Balanço de energia a um sistema aberto

Estado estacionário

Entrada de Energia no sistema	=	Saída de Energia do sistema

(+Q quando fornecido ao sistema)

(+W quando feito pelo sistema à vizinhança)

$$\dot{Q} + \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{E}_j = \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{E}_j + \dot{W}$$

[=] energia/tempo

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{E}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{E}_j = \dot{Q} - \dot{W}$$

Balanço de energia a um sistema aberto

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{E}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{E}_j = \dot{Q} - \dot{W}$$

E_c: Energia Cinética

E_p: Energia Potencial

U: Energia Interna

★ $$\dot{E}_j = \dot{U}_j + \dot{E_{c_j}} + \dot{E_{p_j}}$$

$$\dot{U}_j = \dot{m}_j \hat{U}_j$$
$$\dot{E_{c_j}} = \dot{m}_j\, u_j^2/2$$
$$\dot{E_{p_j}} = \dot{m}_j g z_j$$

$$\dot{E}_j = \dot{m}_j\left(\hat{U}_j + \frac{u_j^2}{2} + g z_j\right)$$

★ $$\dot{W} = \dot{W}_s + \dot{W}_{fl} = \dot{W}_s + \sum_{\substack{correntes\\saída}} P_j\dot{V}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} P_j\dot{V}_j$$

$$\dot{V}_j = \dot{m}_j \hat{V}_j$$

$$\dot{W} = \dot{W}_s + \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j P_j \hat{V}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j P_j \hat{V}_j$$

Balanço de energia a um sistema aberto

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{E}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{E}_j = \dot{Q} - \dot{W}$$

$$\dot{E}_j = \dot{m}_j\left(\hat{U}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right)$$

$$\dot{W} = \dot{W}_s + \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j P_j \hat{V}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j P_j \hat{V}_j$$

$$\Downarrow$$

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\left(\hat{U}_j + P_j\hat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\left(\hat{U}_j + P_j\hat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\left(\widehat{U}_j + P_j\widehat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\left(\widehat{U}_j + P_j\widehat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

$$\widehat{H}_j = \widehat{U}_j + P_j\widehat{V}_j$$

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\left(\widehat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\left(\widehat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

Balanço de energia a um sistema aberto

$$\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\left(\widehat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\left(\widehat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + gz_j\right) = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

$$\Delta\dot{H} = \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\widehat{H}_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\widehat{H}_j$$

$$\Delta\dot{E}_c = \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j\, u_j^2/2 - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j\, u_j^2/2$$

$$\Delta\dot{E}_p = \sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{m}_j g z_j - \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{m}_j g z_j$$

$$\boxed{\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s}$$

i.e. a velocidade à qual a energia é transferida para o sistema (na forma de calor e/ou de trabalho) é igual à diferença entre as velocidades de transporte de energia a entrar e a sair do sistema

Balanço de energia a um sistema aberto: considerações

$$\boxed{\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s}$$

- Se não existem partes móveis no sistema $\dot{W}_s = 0$
- Se as velocidades de todas as correntes são iguais $\Delta\dot{E}_c = 0$
- Se todas as correntes entram e saem à mesma altura $\Delta\dot{E}_p = 0$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\Delta\dot{H} = \dot{Q}}$$

Importância da 'ENTALPIA' em ´cálculos de engenharia!

'Entalpia' ≡ do grego '*enthalpos*' (i.e. "*to put heat into*")

NOVA SCHOOL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Balanço de energia a um sistema aberto: considerações

$$\boxed{\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s}$$

- Não existem partes móveis no sistema $\dot{W}_s = 0$
- As velocidades de todas as correntes são iguais $\Delta\dot{E}_c = 0$
- Todas as correntes entram e saem à mesma altura $\Delta\dot{E}_p = 0$
- Sistema adiabático (não há trocas de calor com o exterior) $\dot{Q} = 0$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta\dot{H} = 0}$$

$$\Rightarrow \boxed{\sum_{\substack{correntes\\saída}} \dot{H}_j = \sum_{\substack{correntes\\entrada}} \dot{H}_j}$$

5.4.

Uma dada cascata de água tem um caudal descendente de 417 m^3/min com um desnível de 100 m. Se se colocar uma central hidroeléctrica no fundo da cascata estime a potência máxima que espera obter se usar toda a massa de água descendente?

5.4.

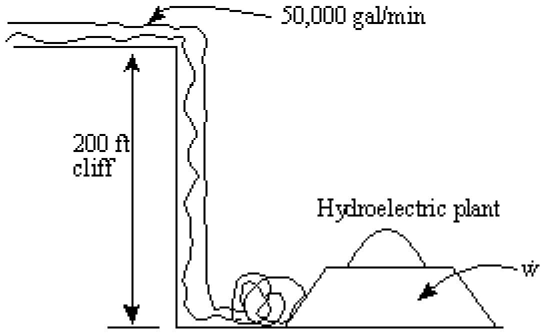
Uma dada cascata de água tem um caudal descendente de 417 m^3/min com um desnível de 100 m. Se se colocar uma central hidroeléctrica no fundo da cascata estime a potência máxima que espera obter se usar toda a massa de água descendente?

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

Podemos considerar um sistema fechado porque consideramos que toda a massa de água entra na central.

Simplificações:

- $\Delta T = 0$ e $\Delta P = 0$ => $\Delta U \approx 0$
- *Sistema não acelera* => $\Delta E_c = 0$
- Não há trocas de calor com o exterior ($T_{ar} \approx T_{água}$) => $Q = 0$



5.4.

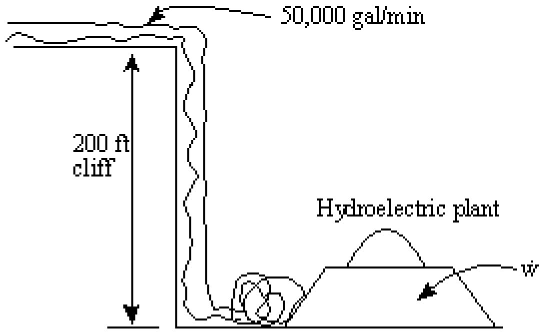
Uma dada cascata de água tem um caudal descendente de 417 m^3/min com um desnível de 100 m. Se se colocar uma central hidroeléctrica no fundo da cascata estime a potência máxima que espera obter se usar toda a massa de água descendente?

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

Podemos considerar um sistema fechado porque consideramos que toda a massa de água entra na central.

Simplificações:

- $\Delta T = 0$ e $\Delta P = 0 \Rightarrow \Delta U \approx 0$
- *Sistema não acelera* => $\Delta E_c = 0$
- Não há trocas de calor com o exterior ($T_{ar} \approx T_{água}$) => $Q = 0$



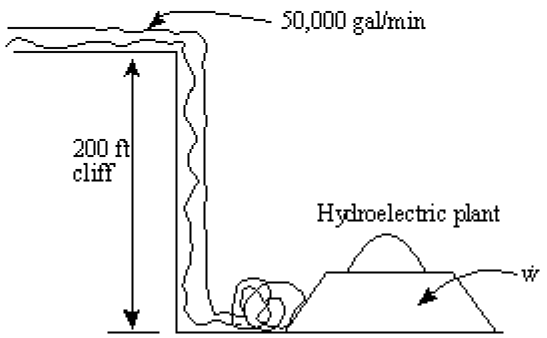
$$\boxed{\Delta E_p = -W}$$

5.4.

Uma dada cascata de água tem um caudal descendente de 417 m^3/min com um desnível de 100 m. Se se colocar uma central hidroeléctrica no fundo da cascata estime a potência máxima que espera obter se usar toda a massa de água descendente?

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

Podemos considerar um sistema fechado porque consideramos que toda a massa de água entra na central.



Simplificações:

- $\Delta T = 0$ e $\Delta P = 0 \Rightarrow \Delta U \approx 0$
- *Sistema não acelera* => $\Delta E_c = 0$
- Não há trocas de calor com o exterior ($T_{ar} \approx T_{água}$) => $Q = 0$

$$\boxed{\Delta E_p = -W}$$

$$\Delta \dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m} g (h_2 - h_1)$$

$$\Delta \dot{E}_p = 417000\ kg/60s \times 9.81 m/s^2 \times (0 - 100) m$$

5.4.

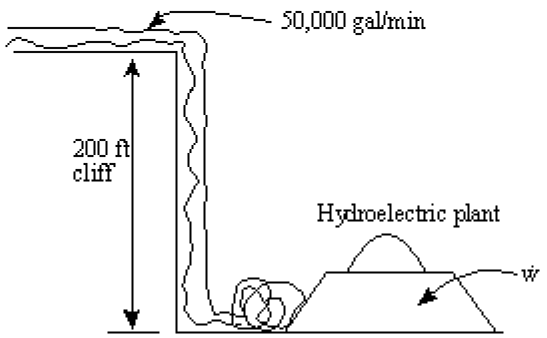
Uma dada cascata de água tem um caudal descendente de 417 m^3/min com um desnível de 100 m. Se se colocar uma central hidroeléctrica no fundo da cascata estime a potência máxima que espera obter se usar toda a massa de água descendente?

$$\boxed{\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q - W}$$

Podemos considerar um sistema fechado porque consideramos que toda a massa de água entra na central.

Simplificações:

- $\Delta T = 0$ e $\Delta P = 0$ => $\Delta U \approx 0$
- *Sistema não acelera* => $\Delta E_c = 0$
- Não há trocas de calor com o exterior ($T_{ar} \approx T_{água}$) => Q = 0



$$\boxed{\Delta E_p = -W}$$

Porque o sinal positivo??

$$\Delta \dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$\Delta \dot{E}_p = 417000\ kg/60s \times 9.81 m/s^2 \times (0 - 100)m$$

$$\Delta \dot{E}_p = -6.82\ MJ/s = -6.82\ MW$$

=> A potência máxima possível = 6.82 MW

5.5.

Uma turbina é accionada pela passagem de 500 kg/h de vapor. O vapor entra na turbina a 44 bar e 450 ºC, com uma velocidade linear de 60 m/s, saindo da turbina 5 m abaixo do ponto de entrada, a 1 bar e com uma velocidade linear de 360 m/s. A turbina desenvolve uma potência de 700 kW. As perdas de calor são aproximadamente de 41.8 MJ/h. calcule a variação de entalpia associada ao processo

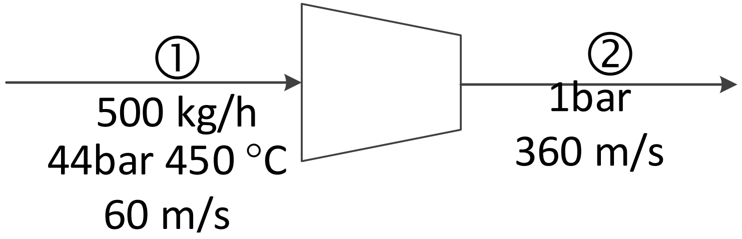
5.5.

Uma turbina é accionada pela passagem de 500 kg/h de vapor. O vapor entra na turbina a 44 bar e 450 ºC, com uma velocidade linear de 60 m/s, saindo da turbina 5 m abaixo do ponto de entrada, a 1 bar e com uma velocidade linear de 360 m/s. A turbina desenvolve uma potência de 700 kW. As perdas de calor são aproximadamente de 41.8 MJ/h. calcule a variação de entalpia associada ao processo

Resolução:

$$\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E_c} + \Delta\dot{E_p} = \dot{Q} - \dot{W_s}$$

Sistema aberto



$$\dot{m} = 500\,\frac{kg}{h}\frac{1h}{3600s} = 0.139\frac{kg}{s}$$

Q= 41.8 $\frac{MJ}{h}\frac{1h}{3600s}\frac{1000kJ}{1MJ} = 11611J/s$

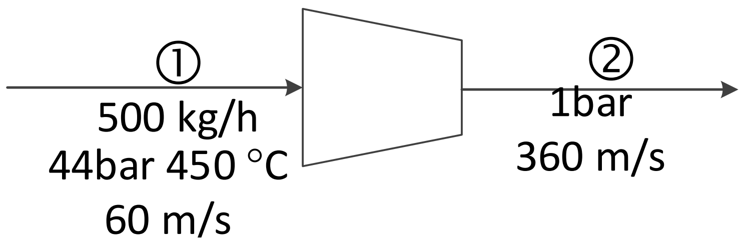
5.5.

Uma turbina é accionada pela passagem de 500 kg/h de vapor. O vapor entra na turbina a 44 bar e 450 ºC, com uma velocidade linear de 60 m/s, saindo da turbina 5 m abaixo do ponto de entrada, a 1 bar e com uma velocidade linear de 360 m/s. A turbina desenvolve uma potência de 700 kW. As perdas de calor são aproximadamente de 41.8 MJ/h. calcule a variação de entalpia associada ao processo

Resolução:

$$\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

Sistema aberto



$\dot{W}_s = 700\ kJ/s \qquad \dot{Q} = 11611\ kJ/s$

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$= 0.139\ kg/s \times 9.81 m/s^2 \times (0-5)m$$

$$= -6.81\ J/s$$

$$\dot{m} = 500\ \frac{kg}{h}\frac{1h}{3600s} = 0.139\frac{kg}{s}$$

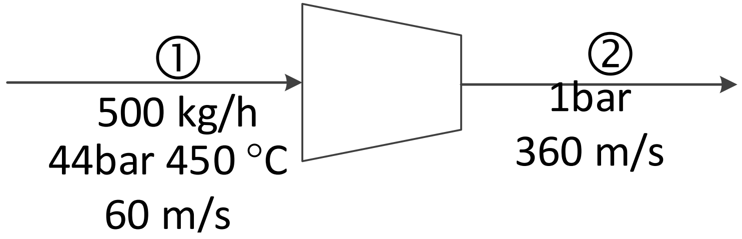
Q= 41.8 $\frac{MJ}{h}\frac{1h}{3600s}\frac{1000kJ}{1MJ} = 11611 J/s$

5.5.

Uma turbina é accionada pela passagem de 500 kg/h de vapor. O vapor entra na turbina a 44 bar e 450 ºC, com uma velocidade linear de 60 m/s, saindo da turbina 5 m abaixo do ponto de entrada, a 1 bar e com uma velocidade linear de 360 m/s. A turbina desenvolve uma potência de 700 kW. As perdas de calor são aproximadamente de 41.8 MJ/h. calcule a variação de entalpia associada ao processo

Resolução: $\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s$

Sistema aberto



$$\dot{W}_s = 700\ kJ/s \qquad \dot{Q} = 11611\ kJ/s$$

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$= 0.139\ kg/s \times 9.81 m/s^2 \times (0-5)m$$

$$= -6.81\ J/s$$

$$\dot{m} = 500\ \frac{kg}{h}\frac{1h}{3600s} = 0.139\frac{kg}{s}$$

$$Q = 41.8\frac{MJ}{h}\frac{1h}{3600s}\frac{1000kJ}{1MJ} = 11611 J/s$$

$$\Delta\dot{E}_c = \dot{E}_{c2} - \dot{E}_{c1} = \frac{1}{2}\dot{m}({u_2}^2 - {u_1}^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.139\ kg/s \times (360^2 - 60^2)$$

$$= +8750\ J/s$$

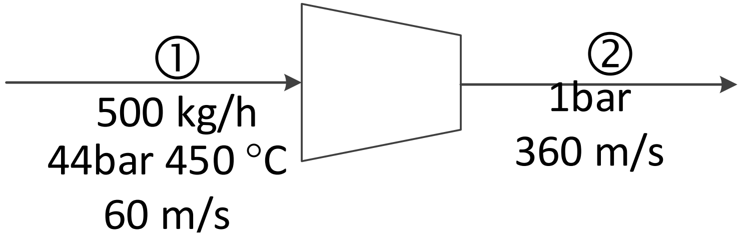
5.5.

Uma turbina é accionada pela passagem de 500 kg/h de vapor. O vapor entra na turbina a 44 bar e 450 ºC, com uma velocidade linear de 60 m/s, saindo da turbina 5 m abaixo do ponto de entrada, a 1 bar e com uma velocidade linear de 360 m/s. A turbina desenvolve uma potência de 700 kW. As perdas de calor são aproximadamente de 41.8 MJ/h. calcule a variação de entalpia associada ao processo

Resolução:

$$\Delta\dot{H} + \Delta\dot{E}_c + \Delta\dot{E}_p = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

Sistema aberto



$$\dot{W}_s = 700\ kJ/s \qquad \dot{Q} = 11611\ kJ/s$$

$$\Delta\dot{E}_p = \dot{E}_{p2} - \dot{E}_{p1} = \dot{m}g(h_2 - h_1)$$

$$= 0.139\ kg/s \times 9.81 m/s^2 \times (0-5)m$$

$$= -6.81\ J/s$$

$$\Delta\dot{E}_c = \dot{E}_{c2} - \dot{E}_{c1} = \frac{1}{2}\dot{m}({u_2}^2 - {u_1}^2)$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.139\ kg/s \times (360^2 - 60^2)$$

$$= +8750\ J/s$$

$$\dot{m} = 500\ \frac{kg}{h}\frac{1h}{3600s} = 0.139\frac{kg}{s}$$

$$Q = 41.8\ \frac{MJ}{h}\frac{1h}{3600s}\frac{1000kJ}{1MJ} = 11611 J/s$$

$$\boldsymbol{\Delta\dot{H} = -\Delta\dot{E}_c - \Delta\dot{E}_p + \dot{Q} - \dot{W}_s}$$

$$\boldsymbol{\Delta\dot{H} = -8750 + 6.81 - 11611 - 700000}$$

$\Delta\dot{H}$ =-720.3 kW