

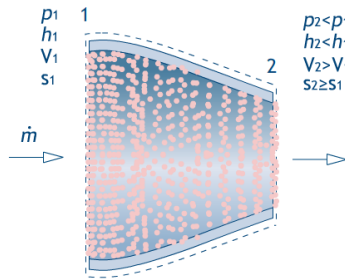
a. Definição de Bocal

b. Balanço de Massa do Bocal

c. Balanço da Taxa de Energia do Bocal

d. Balanço da Taxa de Entropia do Bocal

e. Eficiência Isentrópica do Bocal



Definição de Bocal

Um **bocal** é um duto com área de seção reta variável na qual a velocidade de um gás ou líquido aumenta no sentido do escoamento.

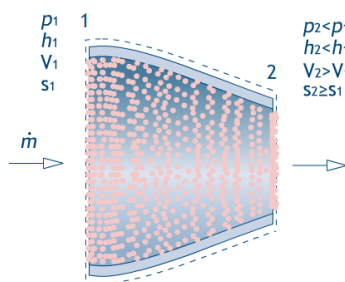
a. Definição de Bocal

b. Balanço de Massa do Bocal

c. Balanço da Taxa de Energia do Bocal

d. Balanço da Taxa de Entropia do Bocal

e. Eficiência Isentrópica do Bocal



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para um Bocal

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

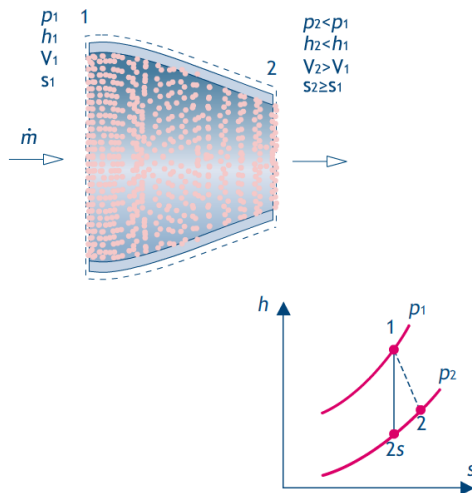
a. Definição de Bocal

b. Balanço de Massa do Bocal

c. Balanço da Taxa de Energia do Bocal

d. Balanço da Taxa de Entropia do Bocal

e. Eficiência Isentrópica do Bocal



Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. A variação da energia potencial da entrada para a saída é desprezível.
3. Não há transferência de calor significativa entre o bocal e sua vizinhança.
4. Não há trabalho (\dot{W}_{vc}) associado ao bocal.

Balanço da Taxa de Energia para um Bocal

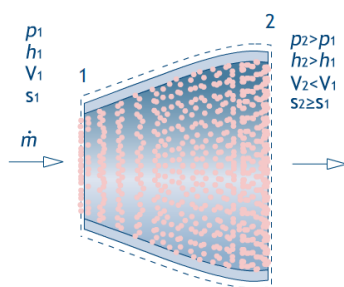
$$0 = (h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2}$$

a. Definição de Difusor

b. Balanço de Massa do Difusor

c. Balanço da Taxa de Energia do Difusor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Difusor



Definição de Difusor

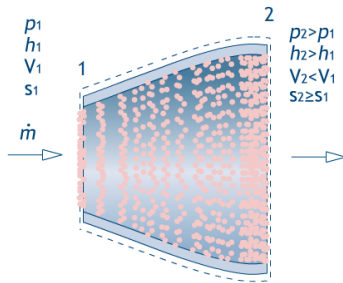
Um **difusor** é um duto com área de seção reta variável na qual a velocidade de um gás ou líquido diminui no sentido do escoamento.

a. Definição de Difusor

b. Balanço de Massa do Difusor

c. Balanço da Taxa de Energia do Difusor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Difusor



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para um Difusor

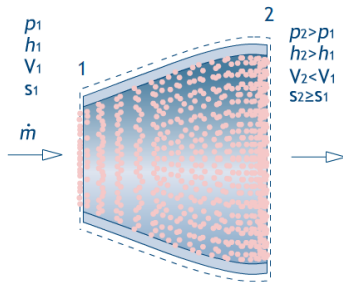
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

a. Definição de Difusor

b. Balanço de Massa do Difusor

c. Balanço da Taxa de Energia do Difusor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Difusor



Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

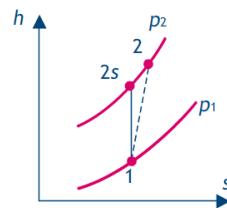
$$0 = \dot{Q}_{sc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. A variação da energia potencial da entrada para a saída é desprezível.
3. Não há transferência de calor significante entre o difusor e sua vizinhança.
4. Não há trabalho (\dot{W}_{vc}) associado ao difusor.

Balanço da Taxa de Energia para um Difusor

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



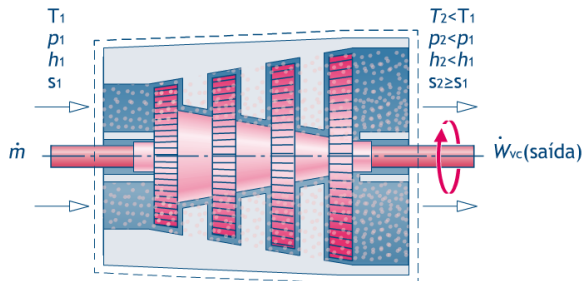
a. Definição de Turbina

b. Balanço de Massa da Turbina

c. Balanço da Taxa de Energia da Turbina

d. Balanço da Taxa de Entropia da Turbina

e. Eficiência Isentrópica da Turbina



Definição de Turbina

Uma **turbina** é um dispositivo que desenvolve potência em função da passagem de um gás ou líquido escoando através de uma série de pás colocadas em um eixo que se encontra livre para girar.

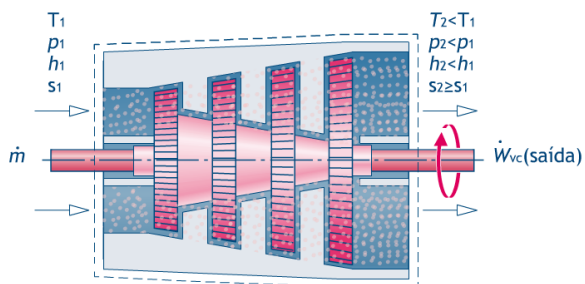
a. Definição de Turbina

b. Balanço de Massa da Turbina

c. Balanço da Taxa de Energia da Turbina

d. Balanço da Taxa de Entropia da Turbina

e. Eficiência Isentrópica da Turbina



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para uma Turbina

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

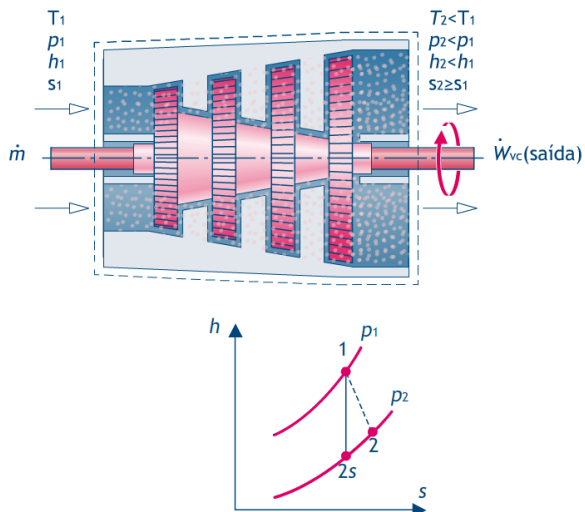
a. Definição de Turbina

b. Balanço de Massa da Turbina

c. Balanço da Taxa de Energia da Turbina

d. Balanço da Taxa de Entropia da Turbina

e. Eficiência Isentrópica da Turbina



Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. As variações das energias cinética e potencial entre a entrada e a saída são desprezíveis.
3. Não há transferência de calor significativa entre a turbina e sua vizinhança.

Balanço da Taxa de Energia para uma Turbina

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

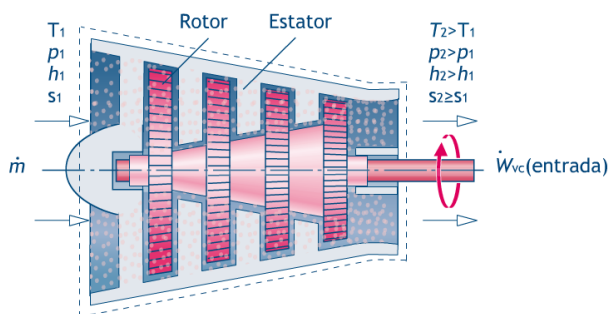
a. Definição de Compressor

b. Balanço de Massa do Compressor

c. Balanço da Taxa de Energia do Compressor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Compressor

e. Eficiência Isentrópica do Compressor



Definição de Compressor

Um **compressor** é um dispositivo no qual trabalho é realizado sobre um gás em escoamento ao longo do mesmo, de forma a mudar o estado do gás, normalmente aumentar a pressão.

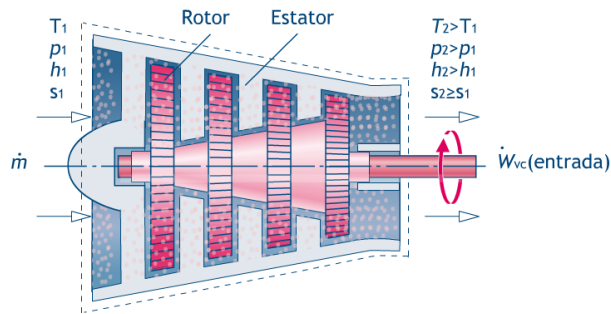
a. Definição de Compressor

b. Balanço de Massa do Compressor

c. Balanço da Taxa de Energia do Compressor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Compressor

e. Eficiência Isentrópica do Compressor



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para um Compressor

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

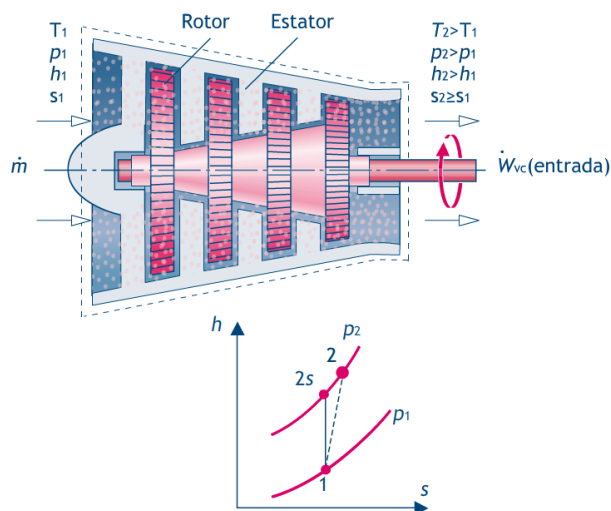
a. Definição de Compressor

b. Balanço de Massa do Compressor

c. Balanço da Taxa de Energia do Compressor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Compressor

e. Eficiência Isentrópica do Compressor



Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. As variações das energias cinética e potencial entre a entrada e a saída são desprezíveis.
3. Não há transferência de calor significativa entre o compressor e sua vizinhança.

Balanço da Taxa de Energia para um Compressor

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

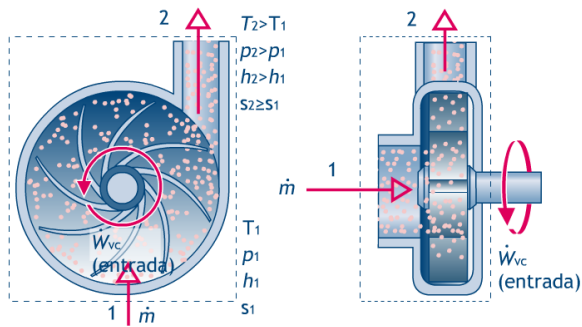
a. Definição de Bomba

b. Balanço de Massa da Bomba

c. Balanço da Taxa de Energia da Bomba

d. Balanço da Taxa de Entropia da Bomba

e. Eficiência Isentrópica da Bomba



Definição de Bomba

Uma **bomba** é um dispositivo no qual trabalho é realizado sobre um líquido em escoamento ao longo do mesmo, de forma a mudar o estado do líquido, normalmente aumentar a pressão e/ou elevação.

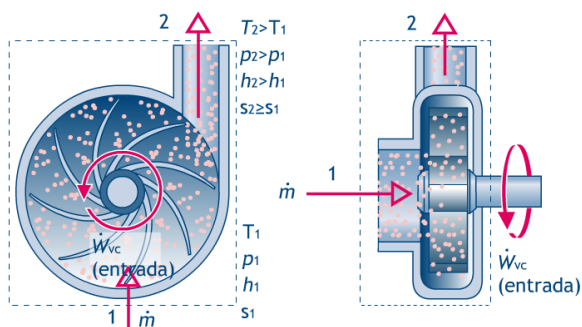
a. Definição de Bomba

b. Balanço de Massa da Bomba

c. Balanço da Taxa de Energia da Bomba

d. Balanço da Taxa de Entropia da Bomba

e. Eficiência Isentrópica da Bomba



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para uma Bomba

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

a. Definição de Bomba
b. Balanço de Massa da Bomba
c. Balanço da Taxa de Energia da Bomba
d. Balanço da Taxa de Entropia da Bomba
e. Eficiência Isentrópica da Bomba

Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. As variações das energias cinética e potencial entre a entrada e a saída são desprezíveis.
3. Não há transferência de calor significativa entre a bomba e sua vizinhança.
4. O líquido é incompressível (v é constante).

Balanço da Taxa de Energia para uma Bomba

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

a. Definição de Trocador de Calor
b. Balanço de Massa do Trocador de Calor
c. Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor
d. Balanço da Taxa de Entropia do Trocador de Calor

Trocador de Calor de Contato Direto

Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

Trocador de Calor - Visão Geral

Dois tipos de **trocadores de calor** frequentemente encontrados são o **trocador de calor de contato direto** e o **trocador de calor duplo tubo contracorrente**.

Trocador de Calor de Contato Direto
Um trocador de calor de contato direto é um reservatório no qual duas correntes, uma quente e a outra fria, se **misturam diretamente**.

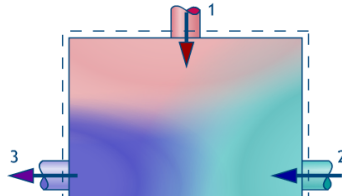
Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente
Um trocador de calor duplo tubo contracorrente é aquele no qual uma corrente de gás ou líquido é **separada** de outra corrente de gás ou líquido por uma parede através da qual a energia é conduzida. A transferência de calor ocorre da corrente quente para a corrente fria, conforme as correntes escoam em sentidos opostos.

a. Definição de Trocador de Calor

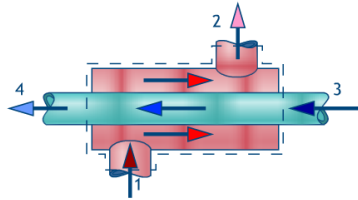
b. Balanço de Massa do Trocador de Calor

c. Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Trocador de Calor



Trocador de Calor de Contato Direto



Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

Balanço de Massa do Trocador de Calor

Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa

$$\sum_e \dot{m}_e = \sum_s \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente.

Balanço de Massa para um Trocador de Calor de Contato Direto

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

Balanço de Massa para um Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

Como a corrente quente e a corrente fria não se misturam, os balanços das taxas de massa para as duas correntes em regime permanente ficam reduzidos a

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad \text{e} \quad \dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

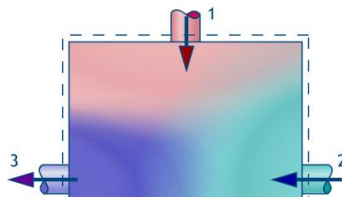


a. Definição de Trocador de Calor

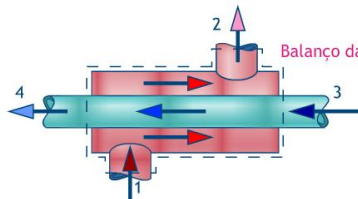
b. Balanço de Massa do Trocador de Calor

c. Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Trocador de Calor



Trocador de Calor de Contato Direto



Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor

Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia

$$0 = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right)$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente.
2. A variação da energia potencial das entradas para as saídas é desprezível.
3. Não há transferência de calor significativa entre o trocador de calor e sua vizinhança.
4. A variação da energia cinética entre as entradas e as saídas é desprezível.
5. Não há trabalho (\dot{W}_{VC}) associado ao trocador de calor.

Balanço da Taxa de Energia para um Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

$$0 = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \dot{m}_3 \left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + gz_3 \right) - \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \dot{m}_4 \left(h_4 + \frac{V_4^2}{2} + gz_4 \right)$$

$$0 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_4 h_4$$

Substituindo o resultado do balanço de massa, tem-se

$$0 = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) + \dot{m}_3 (h_3 - h_4)$$

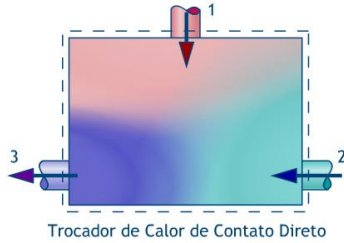


a. Definição de Trocador de Calor

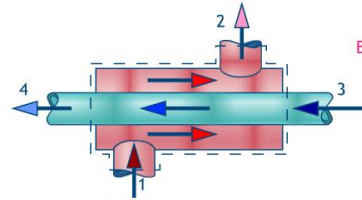
b. Balanço de Massa do Trocador de Calor

c. Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor

d. Balanço da Taxa de Entropia do Trocador de Calor



Trocador de Calor de Contato Direto



Trocador de Calor Duplo Tubo Contracorrente

Balanço da Taxa de Energia do Trocador de Calor

Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right)$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente.
2. A variação da energia potencial das entradas para as saídas é desprezível.
3. Não há transferência de calor significativa entre o trocador de calor e sua vizinhança.
4. A variação da energia cinética entre as entradas e as saídas é desprezível.
5. Não há trabalho (\dot{W}_{vc}) associado ao trocador de calor.

Balanço da Taxa de Energia para um Trocador de Calor de Contato Direto

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) - \dot{m}_3 \left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + gz_3 \right)$$

$$0 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3$$

Substituindo o resultado do balanço de massa, tem-se

$$0 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

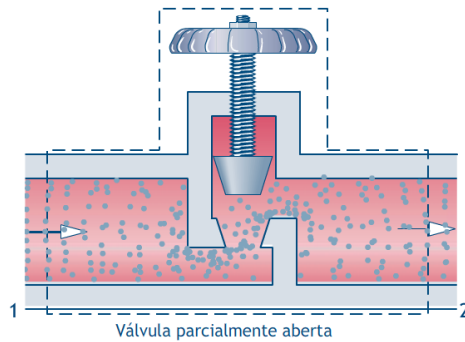


a. Definição de Dispositivo de Estrangulamento

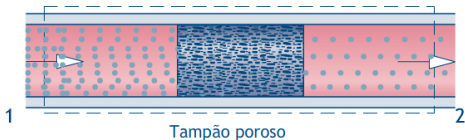
b. Balanço de Massa do Dispositivo de Estrangulamento

c. Balanço da Taxa de Energia do Dispositivo de Estrangulamento

d. Balanço da Taxa de Entropia do Dispositivo de Estrangulamento



Válvula parcialmente aberta



Tampão poroso

Definição de Dispositivo de Estrangulamento

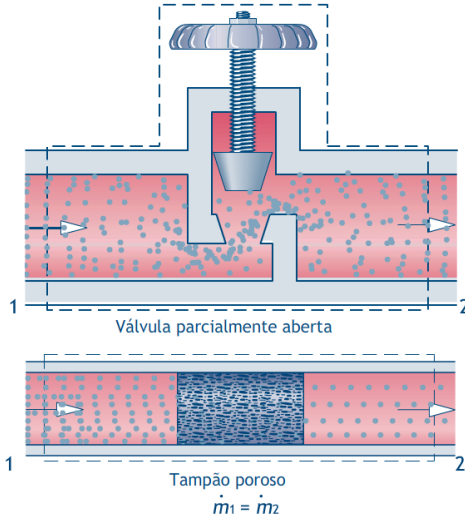
Um **dispositivo de estrangulamento** é aquele em que uma redução apreciável de pressão pode ser obtida pela simples introdução de uma restrição na linha pela qual um gás ou líquido escoam. Os meios para introduzir tal restrição incluem uma válvula parcialmente aberta ou um tampão poroso.

a. Definição de Dispositivo de Estrangulamento

b. Balanço de Massa do Dispositivo de Estrangulamento

c. Balanço da Taxa de Energia do Dispositivo de Estrangulamento

d. Balanço da Taxa de Entropia do Dispositivo de Estrangulamento



Formulação em Regime Permanente do Balanço de Massa em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.

Balanço de Massa para um Dispositivo de Estrangulamento

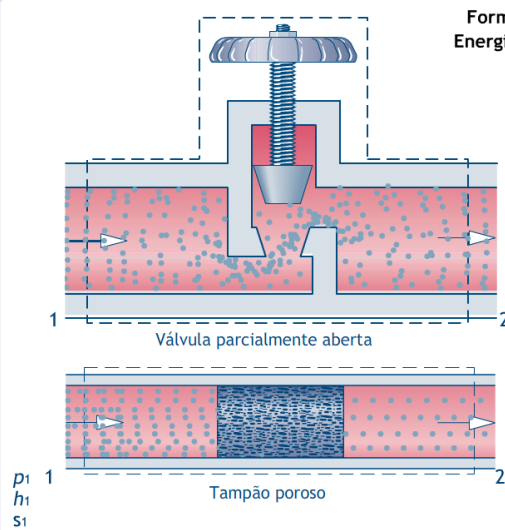
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

a. Definição de Dispositivo de Estrangulamento

b. Balanço de Massa do Dispositivo de Estrangulamento

c. Balanço da Taxa de Energia do Dispositivo de Estrangulamento

d. Balanço da Taxa de Entropia do Dispositivo de Estrangulamento



Formulação em Regime Permanente do Balanço da Taxa de Energia em um Volume de Controle (Uma Entrada, Uma Saída)

$$0 = Q_{vc} - W_{vc} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Modelo de Engenharia:

1. Volume de controle em regime permanente, com uma entrada e uma saída.
2. A variação da energia potencial da entrada para a saída é desprezível.
3. Não há transferência de calor significativa entre o dispositivo de estrangulamento e sua vizinhança.
4. Embora as velocidades possam ser relativamente altas nas imediações da restrição imposta pelo dispositivo de estrangulamento sobre o fluxo, medições realizadas a montante e a jusante da área de redução do escoamento mostram que a variação da energia cinética específica da substância em escoamento entre esses locais pode ser desprezada.

5. Não há trabalho (\dot{W}_{vc}) associado ao dispositivo de estrangulamento.

Balanço da Taxa de Energia para um Dispositivo de Estrangulamento

$$h_2 = h_1$$