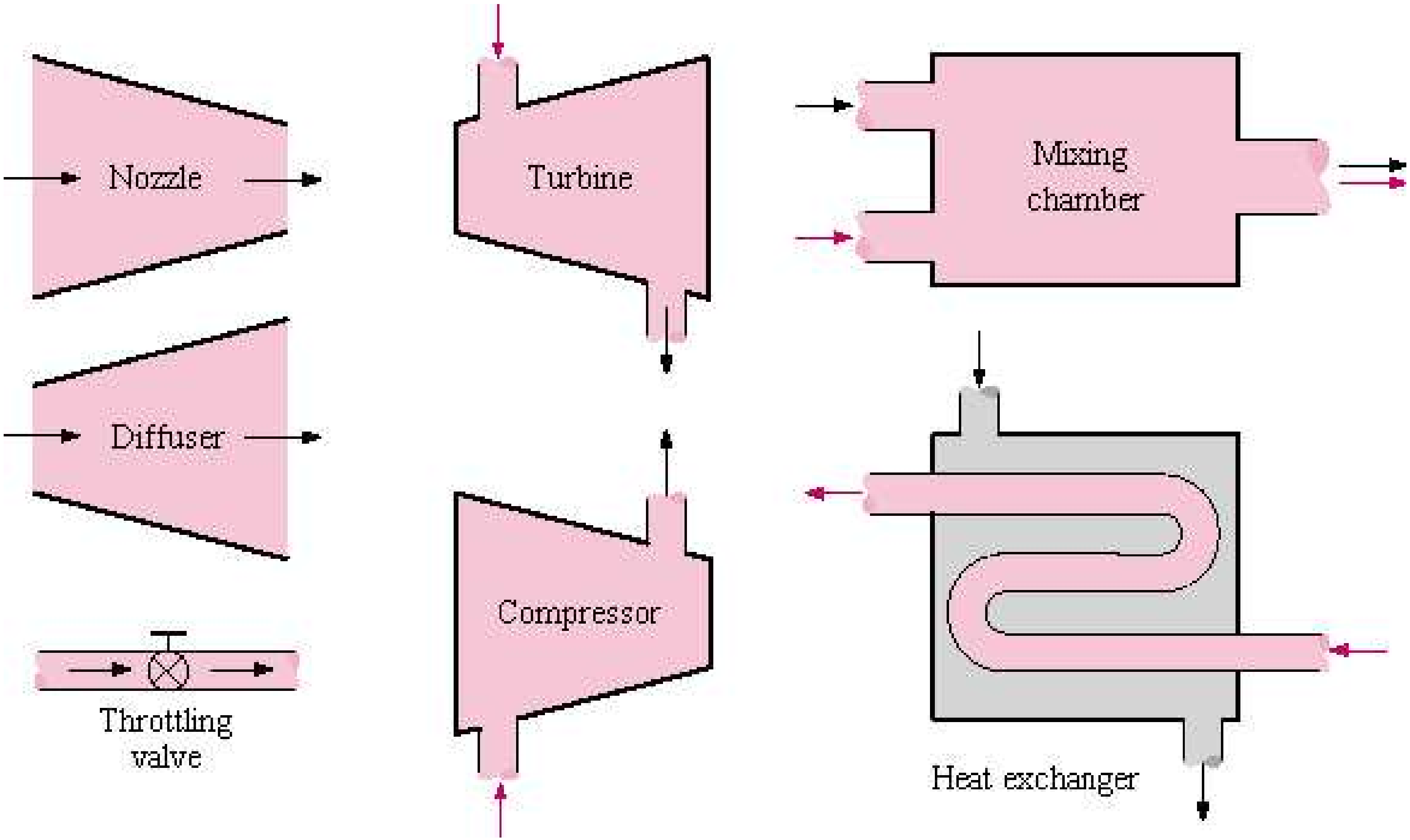
Componentes dos ciclos termodinâmicos

Componentes dos ciclos termodinâmicos

- **Quais podem ser os componentes de um ciclo termodinâmico?**

- **Turbinas, válvulas, compressores, bombas, trocadores de calor (evaporadores, condensadores), misturadores, etc.**

Sistemas abertos - V.C.



Ciclo de potência a vapor: Usina

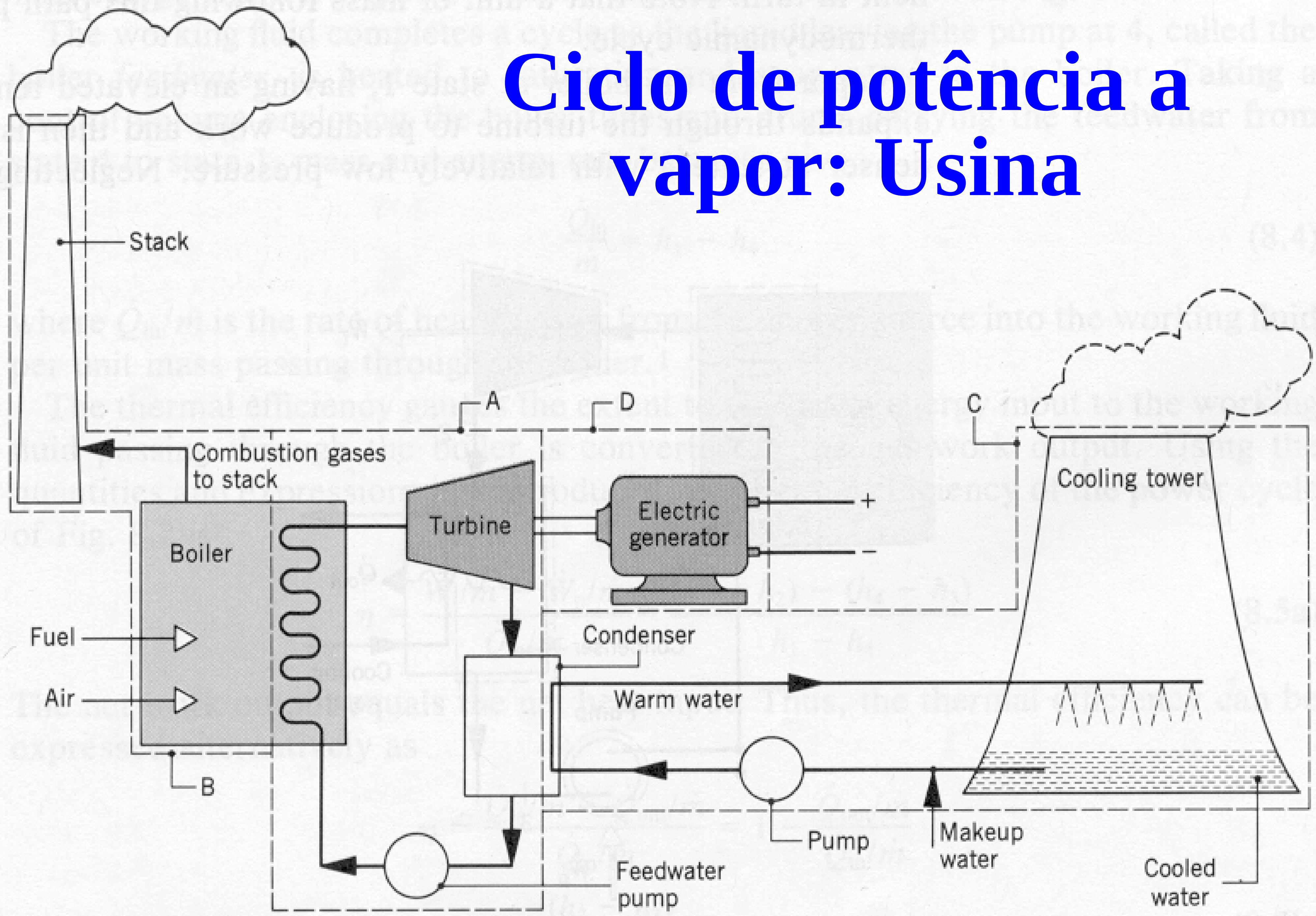


Figure 8.1 Components of a simple vapor power plant.

1ª Lei:

$$q - w = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Aplicações a alguns sistemas em regime permanente

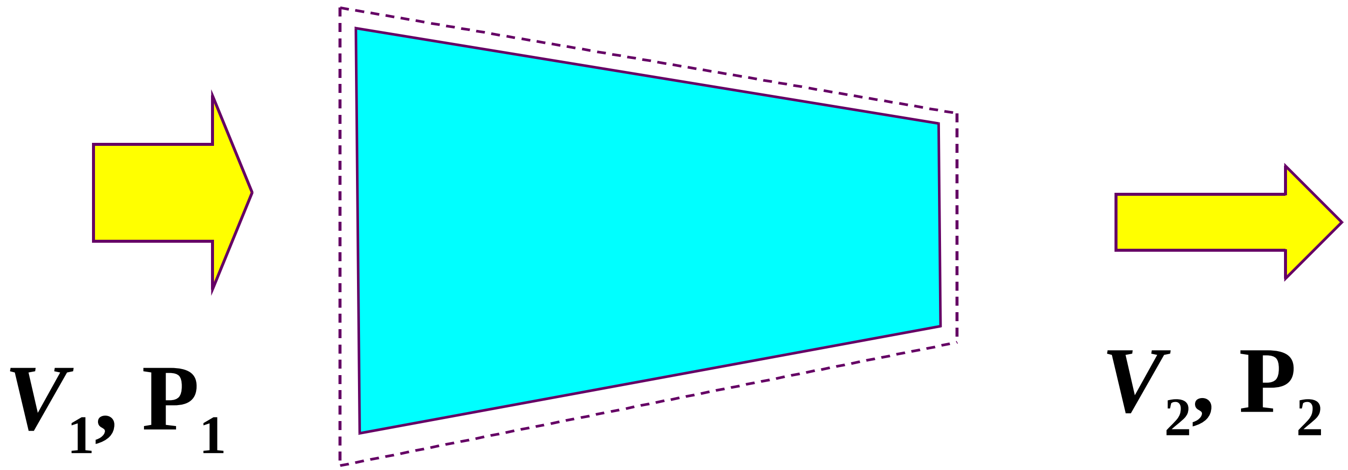
- Dispositivos simples
  - Bocais convergentes
  - Difusores
  - Válvulas
- Dispositivos com entrada/saída de potência
  - Turbinas
  - Compressores/bombas
- Dispositivos com múltiplas entradas e saídas
  - Trocadores de calor
  - Misturadores

Obtenção de resultados

- **Transporte de massa**
- **Transporte de Q.D.M. ou de transporte de energia**
- **Equações de estado**
- **Tabelas de propriedades**

Bocais convergentes e difusores

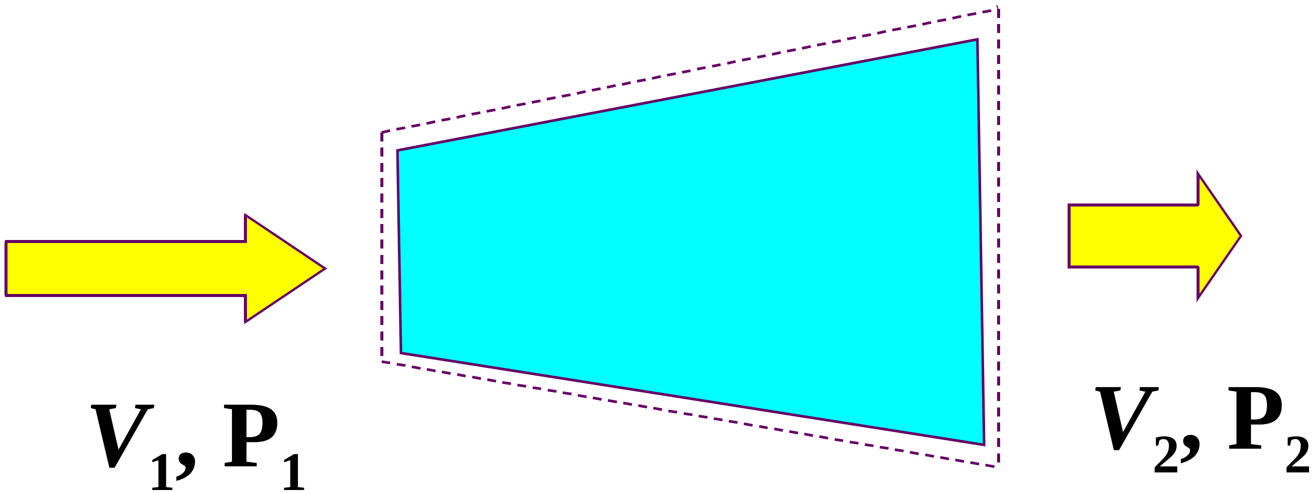
- **Bocal convergente: dispositivo que acelera o fluido, diminuindo sua pressão**



OBS: configuração para um escoamento subsônico

Bocais convergentes e difusores

- **Difusor: dispositivo que desacelera o fluido, aumentando a pressão**



OBS: configuração para um escoamento subsônico

Hipóteses normalmente utilizadas com convergentes e difusores

- Escoamento em regime permanente
- Não há trabalho
- Trocas de calor são desprezíveis
- Variações de energia potencial são desprezíveis

Transporte de massa:

Regime permanente

$$\frac{\partial\, \mathrm{m}_{cv}}{\partial\, \mathrm{t}} = 0$$

logo

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

Conservação de energia

$$\frac{\partial E_{cv}}{\partial t} = \dot{Q} - \dot{W}_{shaft} + \dot{m}\left[(h_i - h_e) + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + g(z_i - z_e)\right] = 0$$

Dividindo pelo fluxo de massa e simplificando:

$$\cancelto{0}{q} - \cancelto{0}{w} = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 \cancelto{0}{-} z_1)$$

q = 0 (adiabático)

w = 0 (<u>não são dispositivos que produzem trabalho</u>)

Assim:

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

Com um convergente ou um difusor, converte-se energia interna e do escoamento, representada por $\Delta h = \Delta(u + Pv)$ em energia cinética, ou vice-versa.

Abordagem utilizada na análise do dispositivo

- **Hipótese do regime do escoamento no dispositivo**
- **Equações de transporte de massa e de energia**

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

Questão

Um difusor adiabático é utilizado para reduzir a velocidade de uma corrente de ar de 250 m/s para 35 m/s. A pressão na entrada é 100 kPa e a temperatura na entrada é 300°C. Determinar a área de escape (saída) em cm^2 se o fluxo de massa é 7 kg/s e a pressão no escape 167 kPa.

Solução: dados do pb.

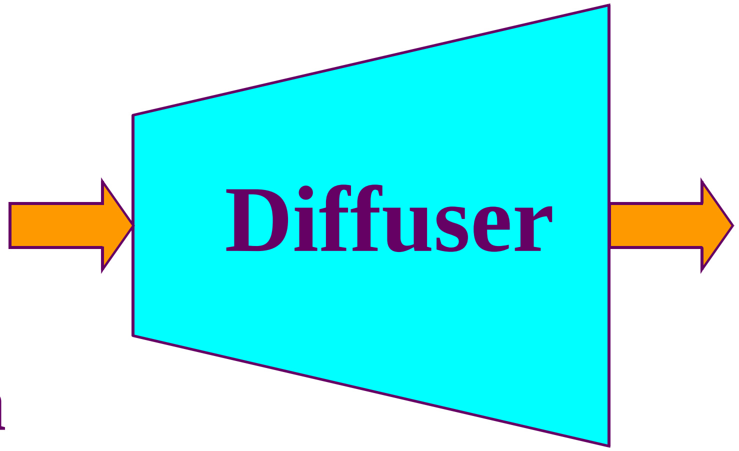
INLET

$T_1 = 300°C$

$P_1 = 100$ kPa

$V_1 = 250$ m/s

$\dot{m} = 7$ kg/s



OUTLET

$P_2 = 167$ kPa

$V_2 = 35$ m/s

Solução: hipóteses

- **Escoamento em regime permanente**
- **Adiabático**
- **Sem trabalho**
- **Variação de energia potencial = 0**
- **Ar é gás ideal**

Solução: transporte de massa

Transporte de massa

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

$$\dot{m} = \rho V A$$

Resolvendo para A_2

$$A_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 V_2}$$

Solução: equação de estado

Gás ideal:

$$P = \rho RT$$

ou

$$\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1} \quad \textbf{e} \quad \rho_2 = \frac{P_2}{RT_2}$$

Como conhecemos T_1 e P_1, achar ρ_1 é simples.

Conhecendo apenas P_2, como obter T_2 ou ρ_2?

Utiliza-se a equação da energia

Solução: equação da energia

$$q - w = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

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

V_1 e V_2 são conhecidos. Precisamos de h_2 para obter T_2 e v_2.

Se assumirmos calores específicos constantes, podemos obter diretamente T_2

$$c_p(T_2 - T_1) = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}$$

Solução

$$c_p(T_2 - T_1) = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}$$

$$T_2 = 590\text{K}$$

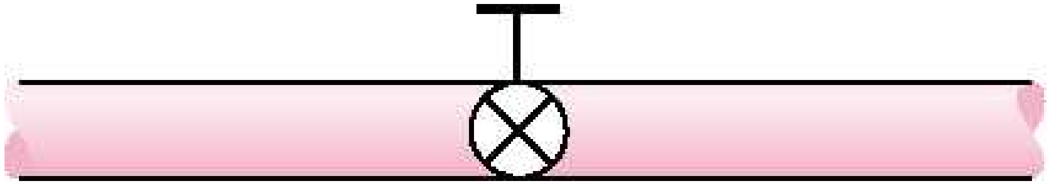
$$\rho_2 = \frac{P_2}{R\,T_2}$$

$$\rho_2 = 0{,}9858\,\frac{kg}{m^3}$$

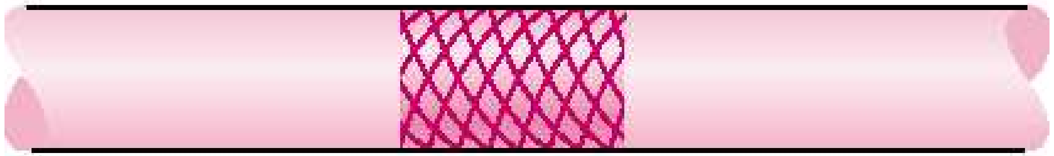
$$A_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 V_2}$$

$$A_2 = 2030\,cm^2$$

Dispositivos de “ajuste” (Válvulas)



(a) An adjustable valve



(b) A porous plug

(c) A capillary tube

Hipóteses típicas para estes dispositivos:

- **Não há trabalho**
- **Variações de energia potencial são desprezíveis**
- **Variações de energia cinética são desprezíveis**
- **Transferência de calor é desprezível**
- **Apenas duas portas**

Equação da energia

Aplicando as hipóteses precedentes:

$$\overset{0}{\cancel{q}} - \overset{0}{\cancel{w}} = (h_2 - h_1) + \overset{0}{\cancel{\frac{V_2^2 - V_1^2}{2}}} + \overset{0}{\cancel{g(z_2 - z_1)}}$$

obtemos:

$$(h_2 - h_1) = 0$$

ou

$$h_2 = h_1$$

Questão

A temperatura do fluido

aumenta,

diminui, ou

permanece constante

quando ele passa por uma válvula adiabática?

Análise durante passagem pela válvula

Se o fluido é um gás ideal:

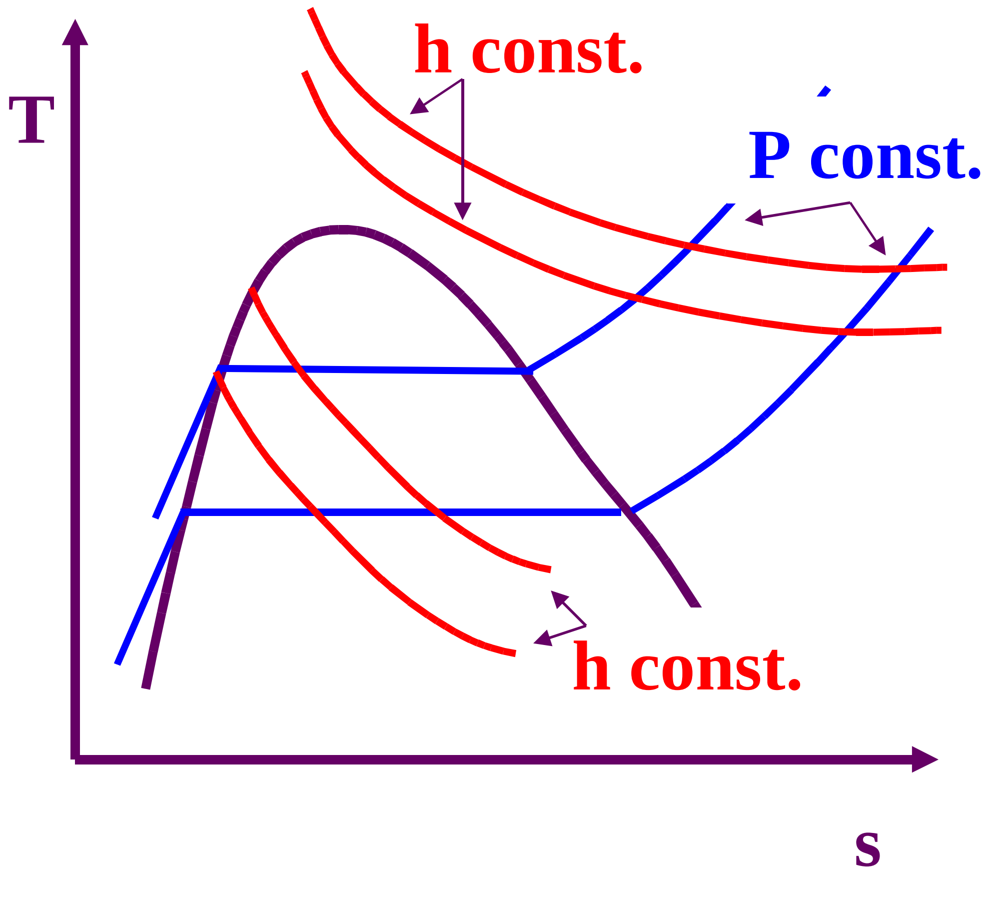
$$\left(h_2 - h_1\right) = C_p\left(T_2 - T_1\right) = 0$$

C_p é sempre positivo, logo:

$$T_2 = T_1$$

Análise durante passagem pela válvula

Se o fluido está em equilíbrio líquido/vapor:

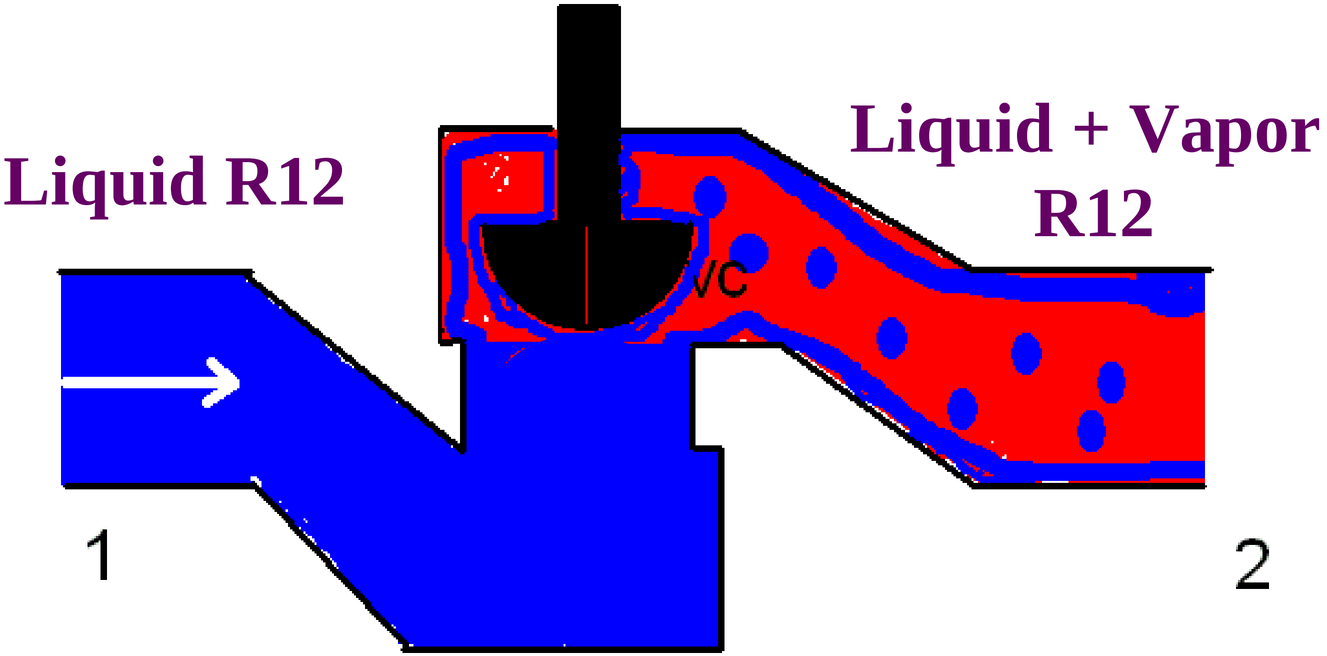


- A pressão cai,
- A temperatura cai
- A entalpia permanece constante

Questão

R12 entra em uma válvula como líquido saturado a 0.9607 Mpa e sai a 0.1826 MPa. Qual é o título e a temperatura do R12 na saída da válvula?

Questão (cont)



State (1)
Liquid saturated, x=0
Psat = 0.9607 MPa
Tsat = ?
Hliq = ?

State (2)
Liquid+vapor, x=?
Psat = 0.1826 MPa
Tsat = ?
Hliq = ?

Turbina

- **É um dispositivo no qual trabalho é produzido por um gás passando por uma série de pás fixas a um eixo, o qual pode girar livremente**

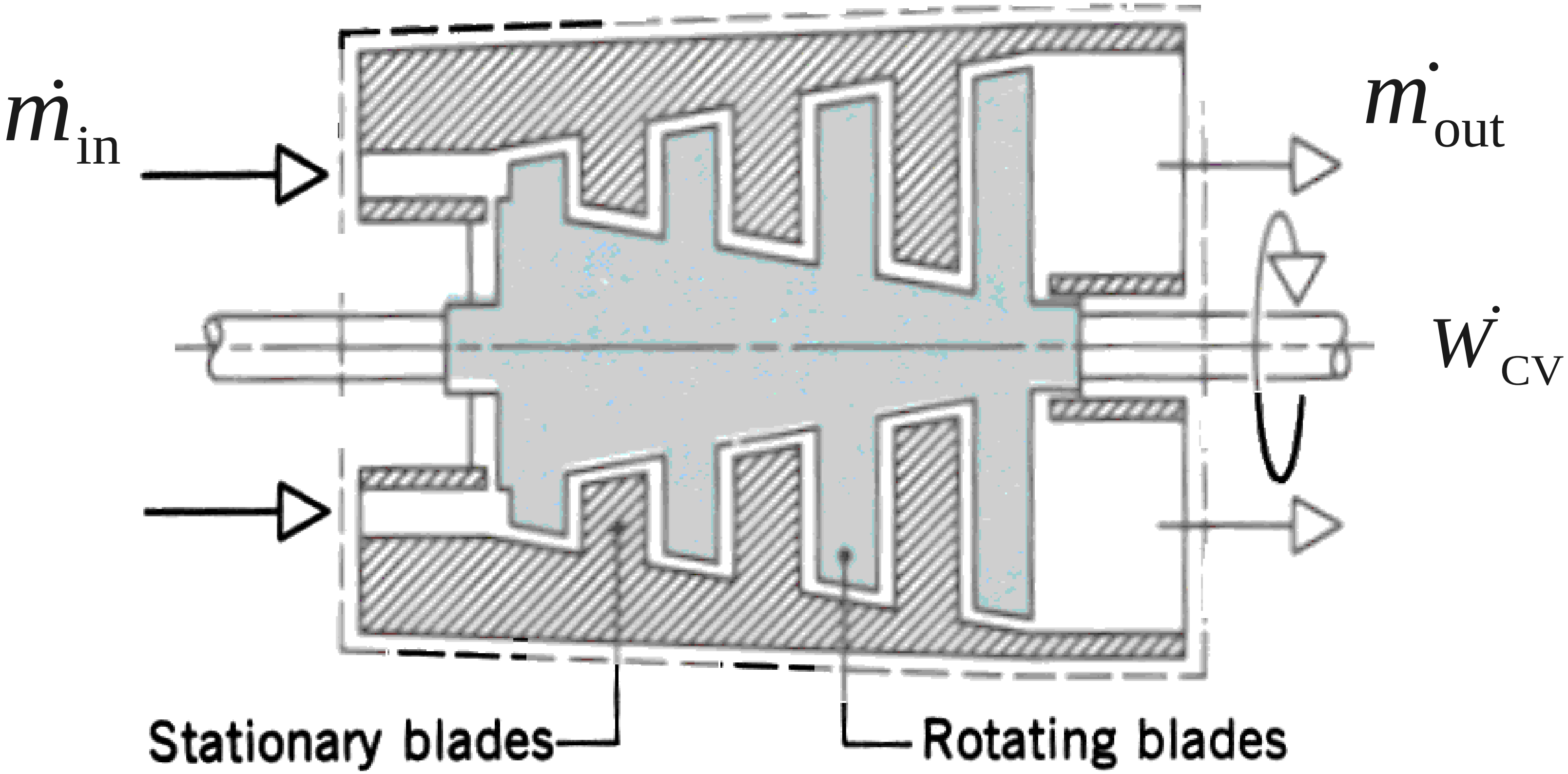
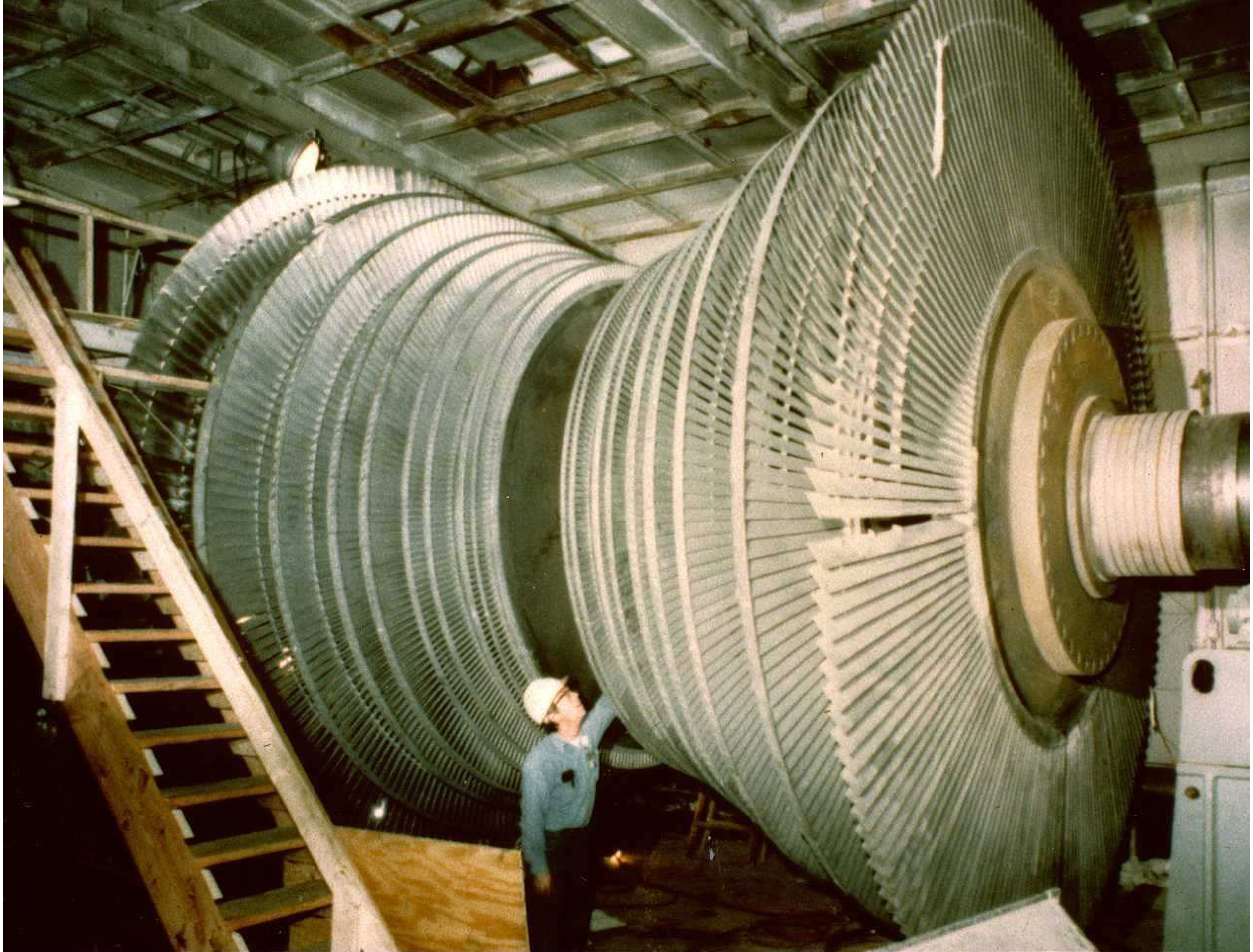


Figure 4.5 Schematic of an axial-flow turbine.

Overview of a steam turbine and main generator for a nuclear steam power station.
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)

Turbine bed for a steam power station.
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)



Low pressure steam turbine wheel.
(Courtesy of Carolina Power and Light Company)

Turbinas

Podemos assumir regime permanente,

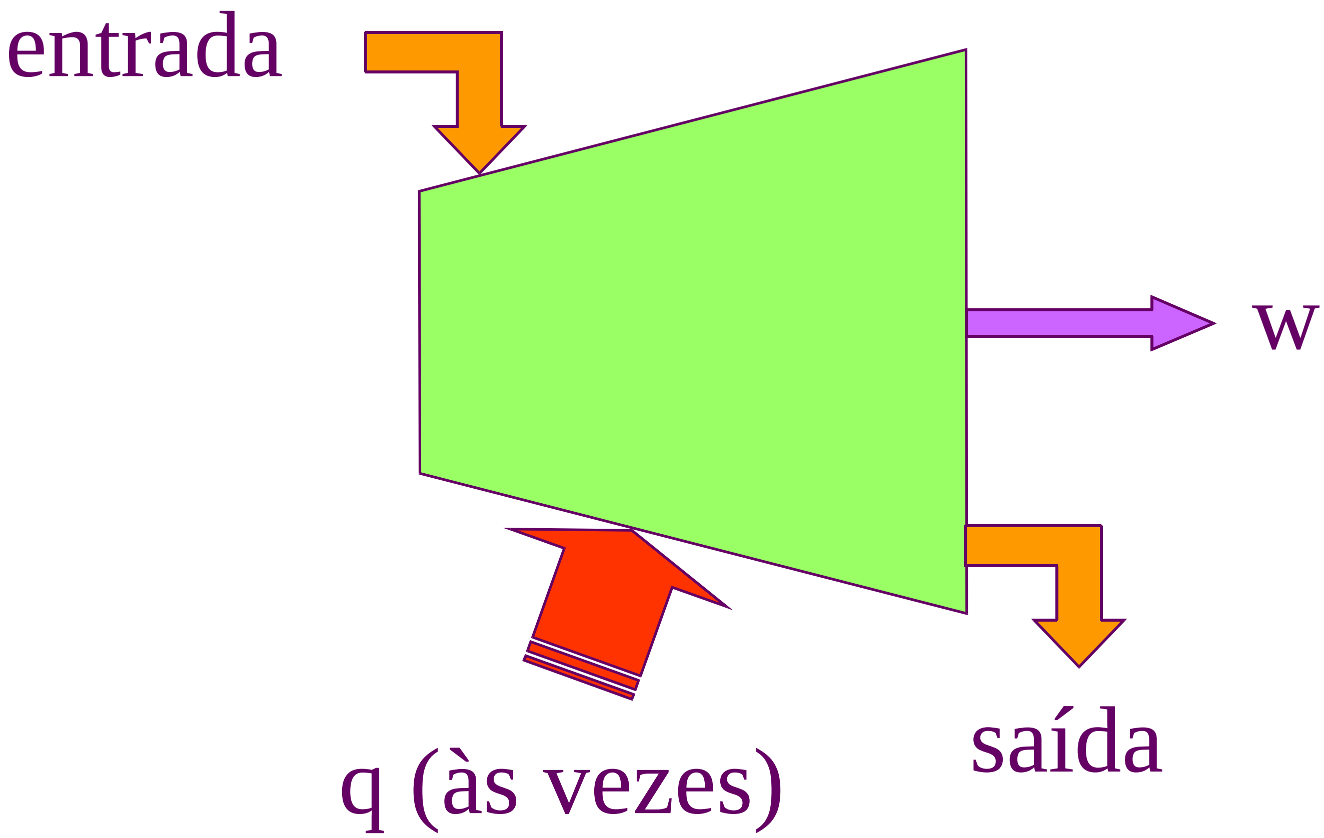
$$q - w = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Às vezes desprezado

Quase sempre desprezado

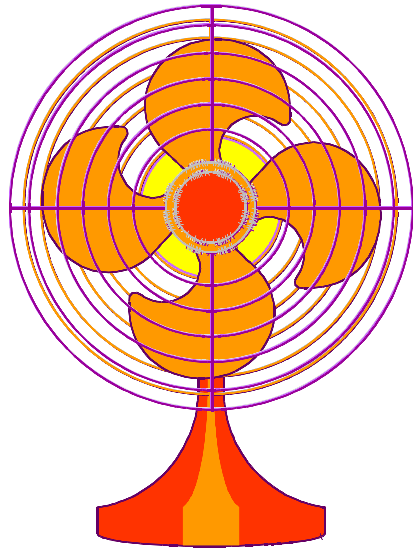
$$q - w = (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

Turbinas



Compressores, bombas e ventiladores

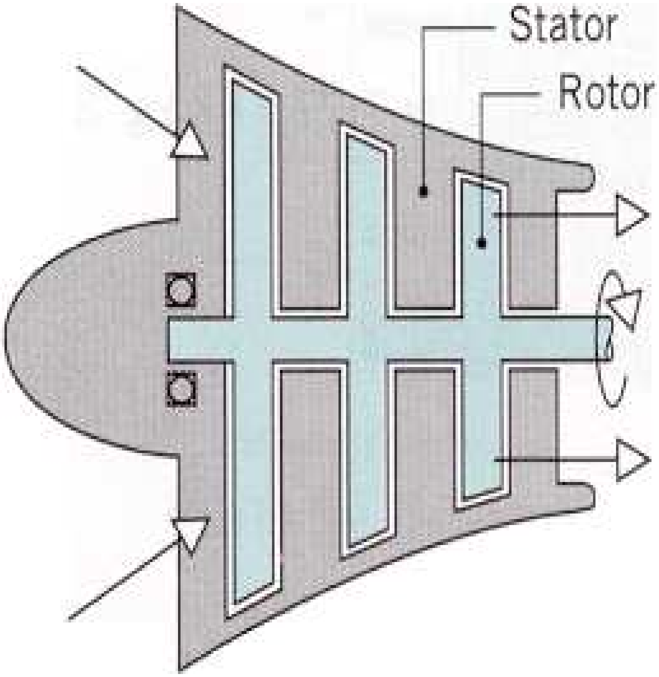
- **Dispositivos que realizam trabalho sobre um fluido para aumentar sua pressão, seu potencial ou sua velocidade**
- **A análise é a mesma que para turbinas, mas os sinais podem variar**

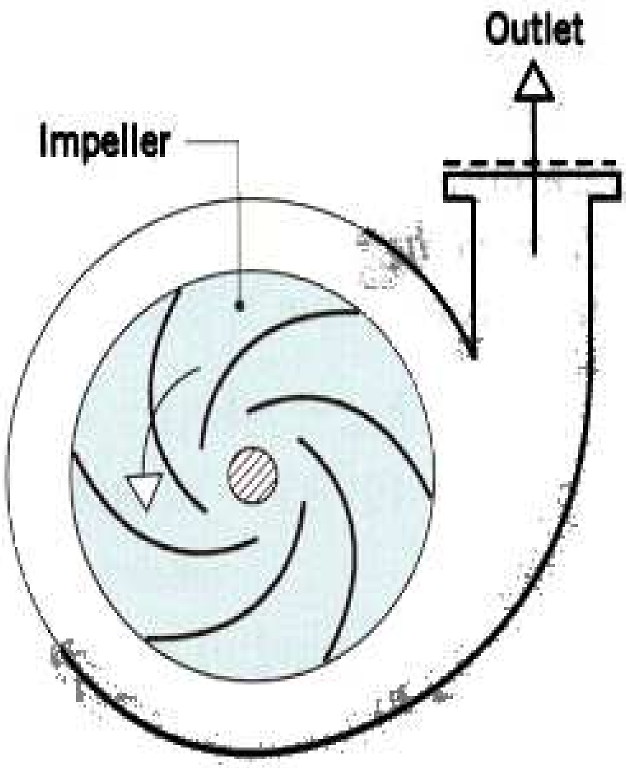


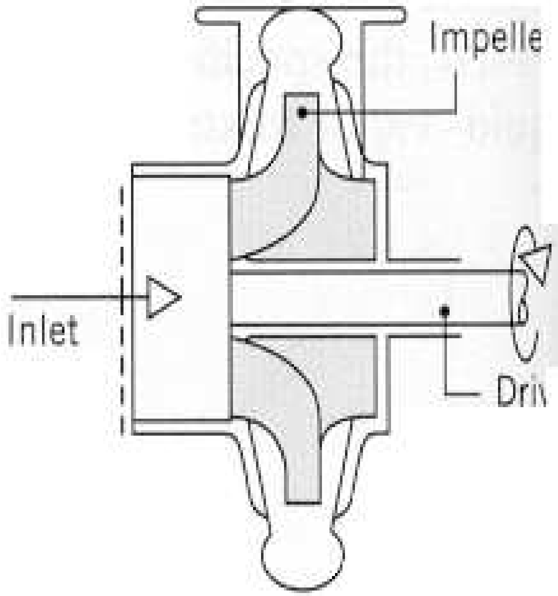
Principais diferenças

- **Compressor: utilizado para aumentar a pressão de um fluido compressível**
- **Bomba: utilizada para aumentar a pressão ou o potencial de um fluido incompressível**
- **Ventilador: utilizado para deslocar grandes quantidades de gás, mas normalmente quase sem aumento de pressão**

Compressores, bombas e ventiladores







Compressor

Bomba: vista lateral

Bomba: vista frontal

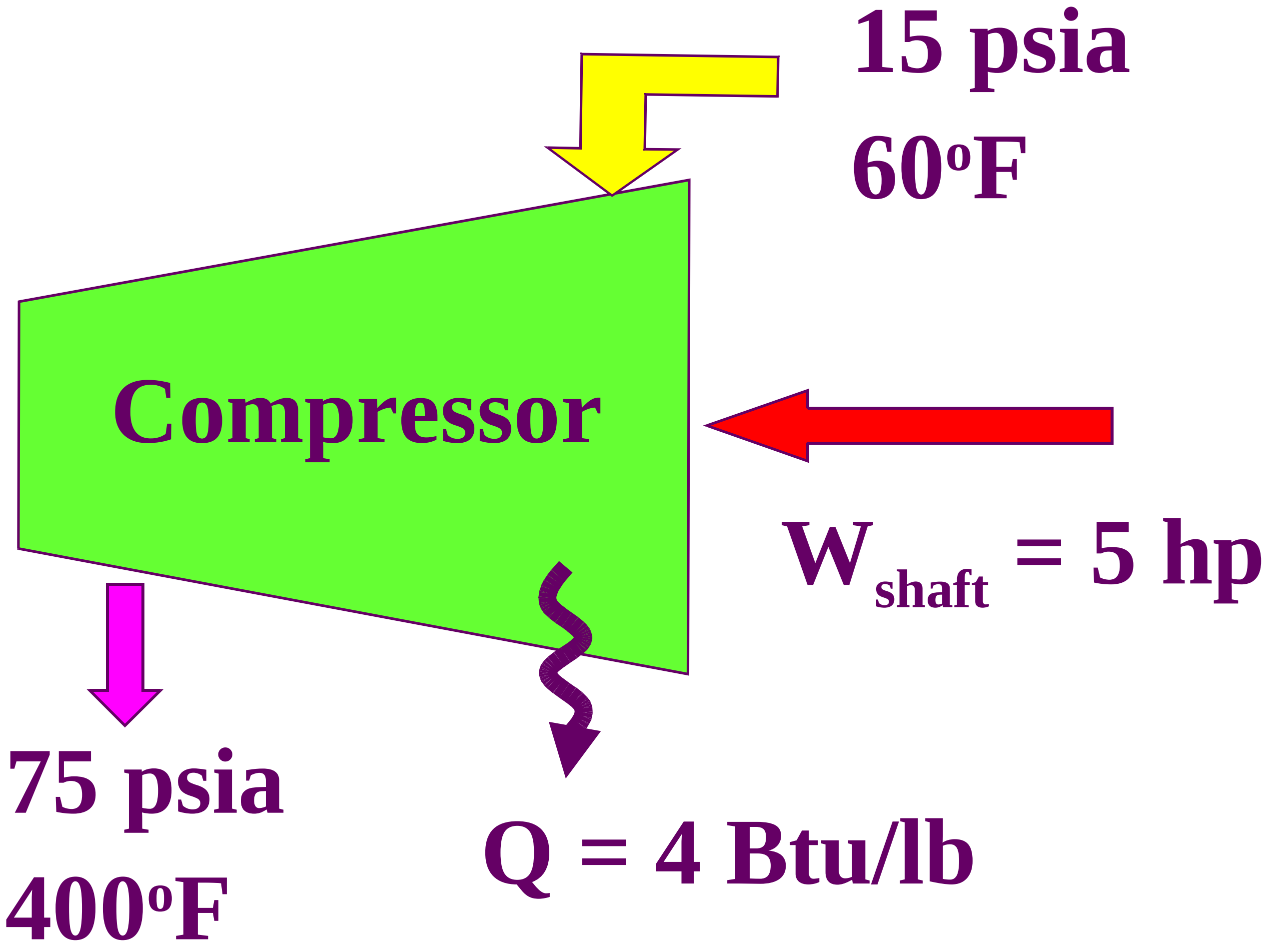
Axial flow compressor for a gas generator unit.
(Courtesy of S. Laney)

Compressor and turbine rotor blades for an industrial gas turbine.
(Courtesy of S. Laney)

Questão

Ar inicialmente a 15 psia e 60°F é comprimido a 75 psia e 400°F. A potência transferida ao ar é 5 hp e uma perda de calor de 4 Btu/lbm ocorre durante o processo. Determinar a vazão mássica em lbm/min.

Solução: Diagrama



Solução: Hipóteses

- Escoamento em regime permanente
- Variações de energia potencial desprezíveis
- Variações de energia cinética desprezíveis
- É gás ideal

Solução: primeira lei

$$\dot{Q} - \dot{W}_{\text{shaft}} + \dot{m}\left(h_1 + \cancelto{0}{\frac{V_1^2}{2}} + \cancelto{0}{gz_1}\right) - \dot{m}\left(h_2 + \cancelto{0}{\frac{V_2^2}{2}} + \cancelto{0}{gz_2}\right) = 0$$

Simplificando:

$$\dot{m}\,q - \dot{W}_{\text{shaft}} = \dot{m}\left(h_2 - h_1\right)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{q - \left(h_2 - h_1\right)}$$

Solução: primeira lei

$$h_2 - h_1 = c_p\left(T_2 - T_1\right)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{\text{shaft}}}{q - c_p\left(T_2 - T_1\right)}$$

$$\dot{m} \approx 5\,\frac{\text{lbm}}{\text{min}}$$

Trocadores de calor e misturadores

- **Trocadores de calor: são dispositivos que promovem a troca de calor entre diferentes fluidos**

- **Misturadores (às vezes também chamados de trocadores de calor): são dispositivos que combinam 2 ou mais fluidos para obter a saída desejada (temperatura, título, etc.)**

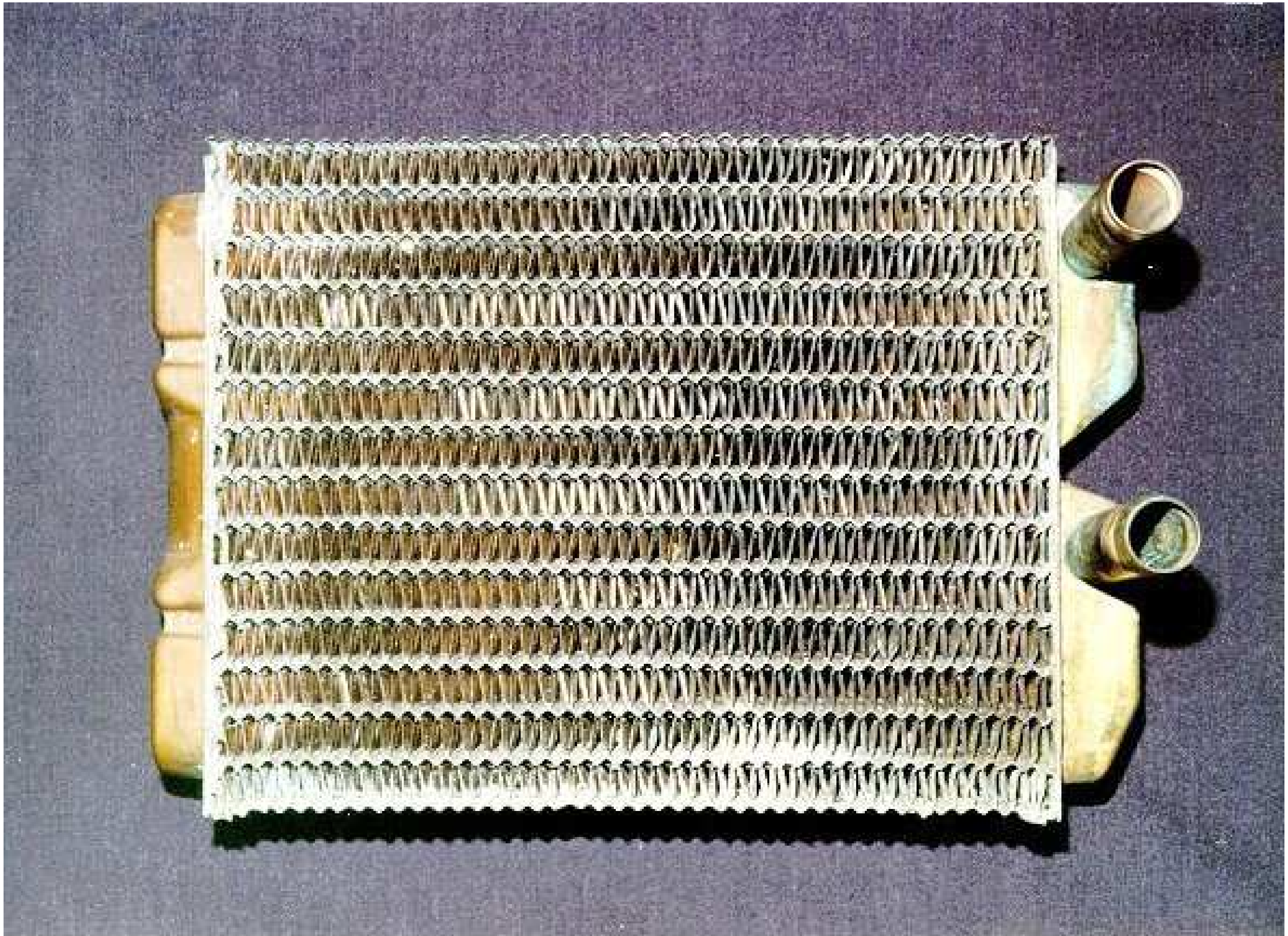
Inúmeras aplicações

- Radiador automotivo
- Radiador doméstico
- Evaporadores/condensadores (refrigeração, prodição de energia elétrica)
- Indústria petroquímica

Trocador de calor industrial

Large Paraflow plate heat exchanger being assembled.
(Courtesy of APV Heat Exchanger Product Group)

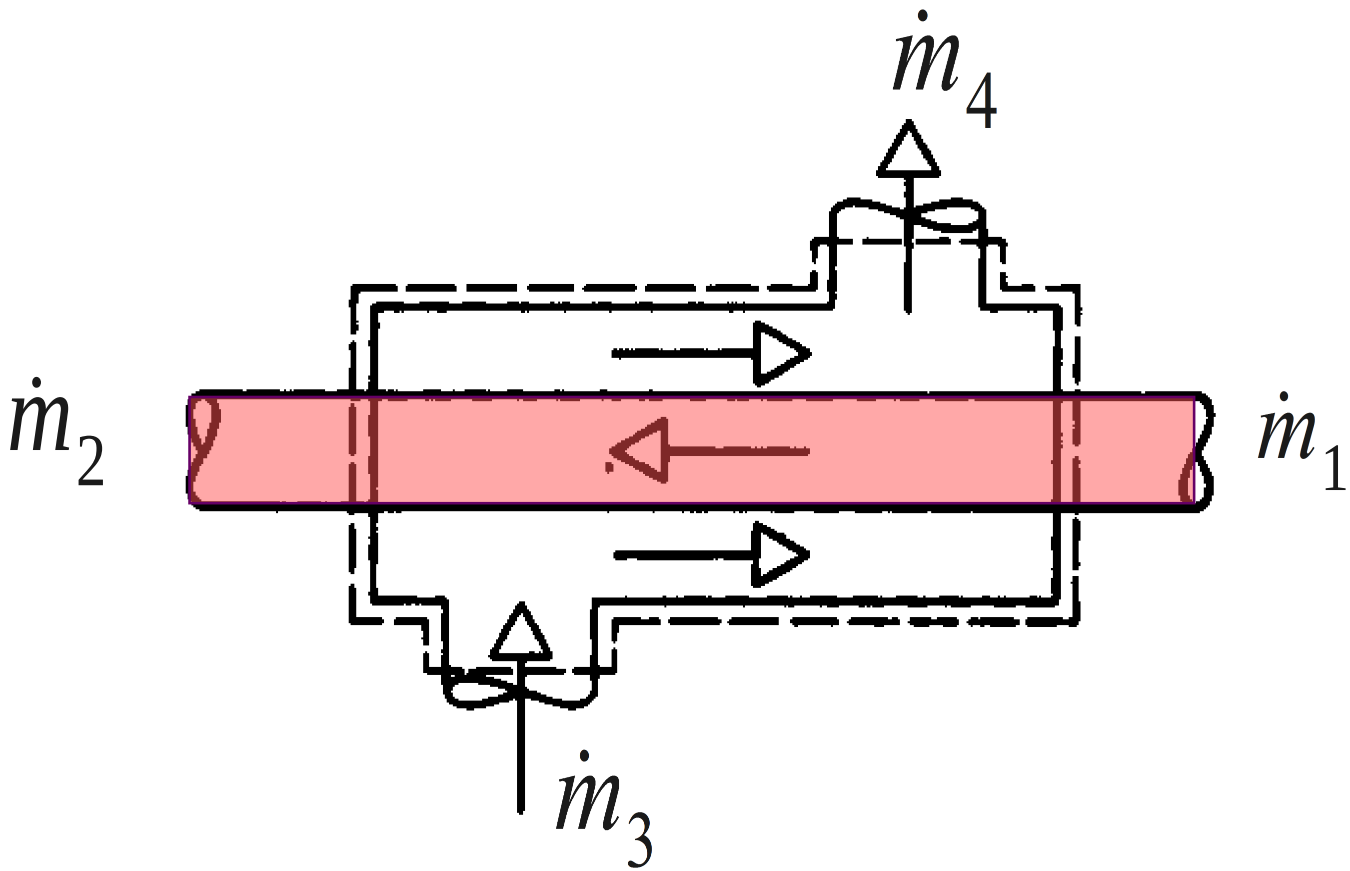
Radiador automotivo



Heat exchanger or heater core for
a 1966 Mustang heating system.

Trocador de calor

- **Múltiplas entradas e saídas:**



Questão

- **Em regime permanente, qual a relação entre**

$$\dot{m}_1\,,\ \dot{m}_2\,,\ \dot{m}_3,\ e\ \dot{m}_4?$$

$\boxed{\textbf{Transporte de massa}}$

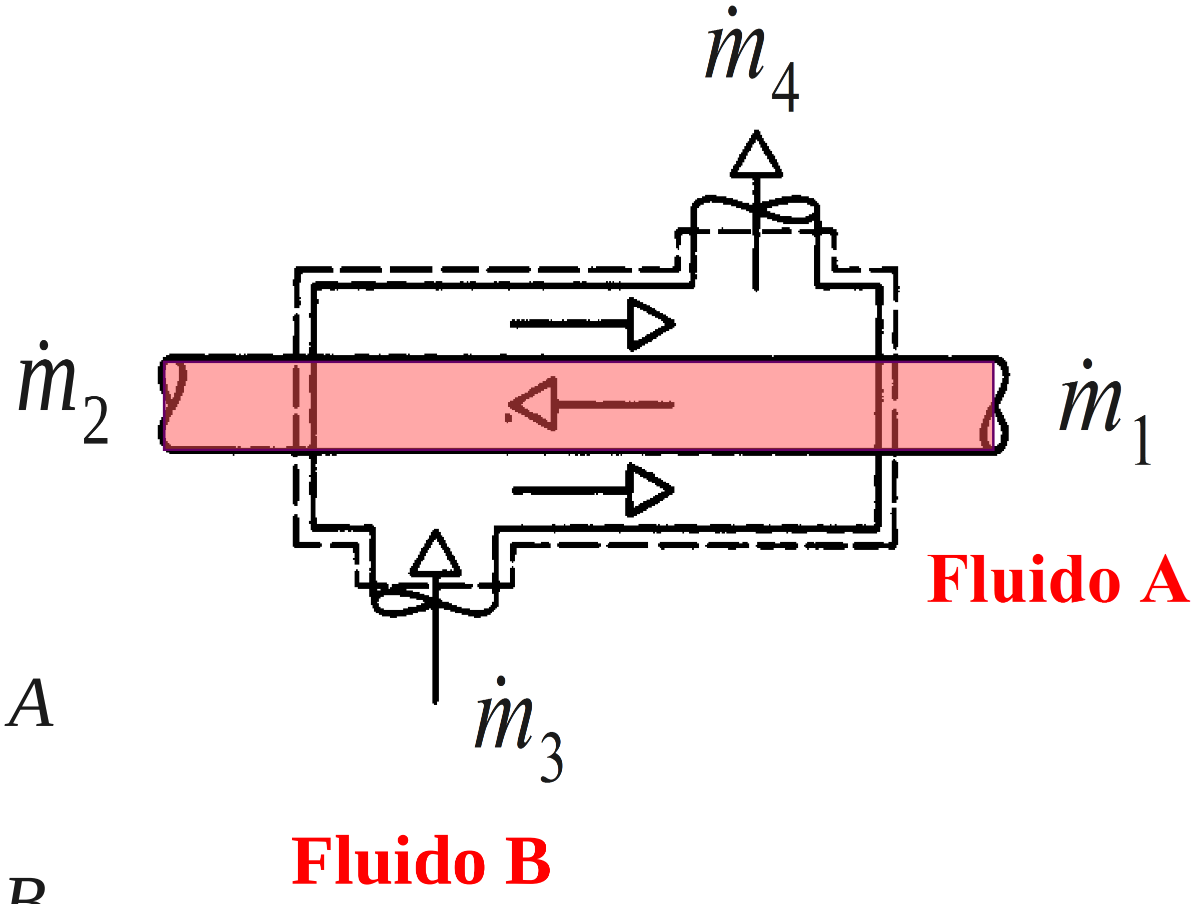
Hipóteses

- **Há produção ou consumo de potência de eixo?**
- **Há efeitos ligados à energia potencial?**
- **Há variação de energia cinética?**
- **Podemos desprezar as trocas de calor?**

Aplicando a conservação da massa às duas correntes:

Em R.P.:

$$\boxed{\frac{\partial m_{cv}}{\partial t} = 0}$$



logo

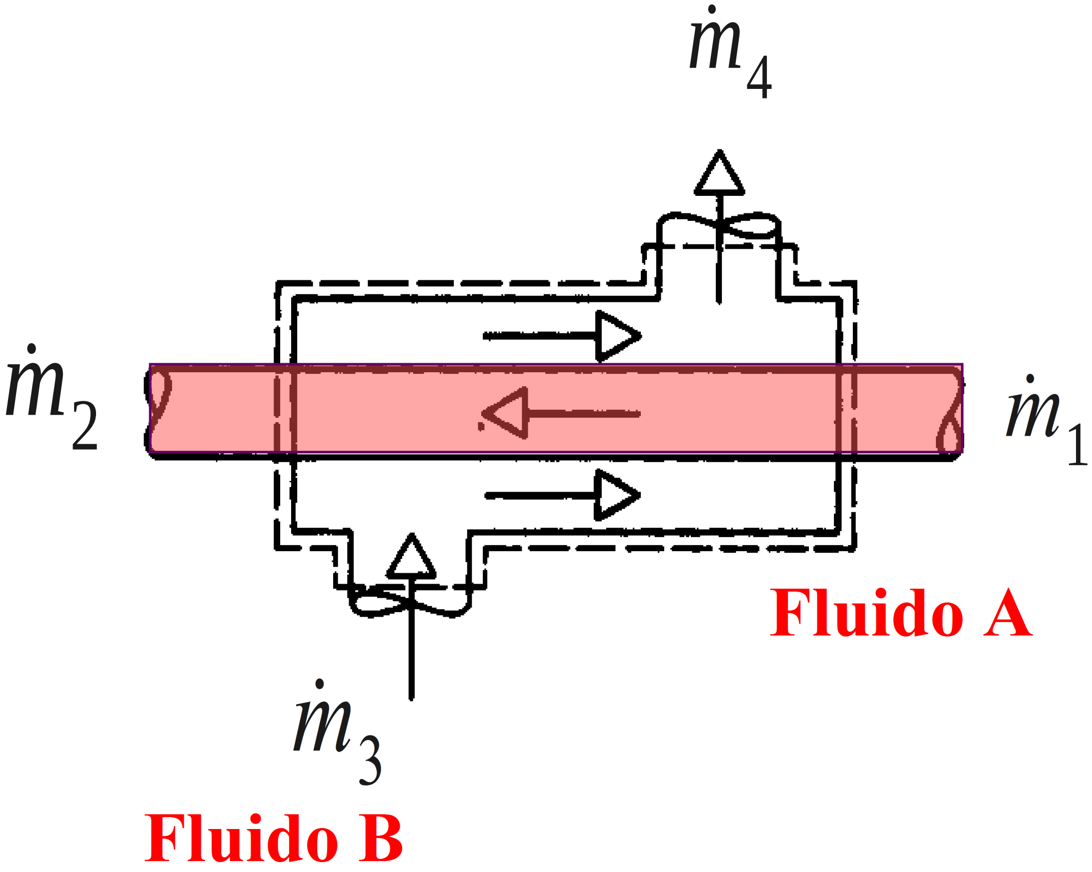
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_A$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_B$$

Conservação da energia

Se o V.C englobar todo o trocador de calor:

Não haverá calor cruzando o V.C.



Conservação de energia

$$\dot{Q} - \dot{W}_{CV} + \dot{m}_1\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} + gz_1\right) + \dot{m}_3\left(h_3 + \frac{V_3^2}{2} + gz_3\right)$$

$$-\dot{m}_2\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} + gz_2\right) - \dot{m}_4\left(h_4 + \frac{V_4^2}{2} + gz_4\right) = 0$$

Sabemos da conservação da massa:

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

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_B$$

Conservação de energia

Substituindo:

$$\dot{Q} - \dot{W}_{CV} + \dot{m}_A \left(\left(h_1 - h_2 \right) + \frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} + g \left(z_1 - z_2 \right) \right)_A$$

$$+ \dot{m}_B \left(\left(h_3 - h_4 \right) + \frac{V_3^2}{2} - \frac{V_4^2}{2} + g \left(z_3 - z_4 \right) \right)_B = 0$$

Trocadores de calor

- **Em geral não há transferência de calor de ou para o trocador como um todo, exceto aquela entrando ou deixando o trocador através das entradas e saídas.**
- **Assim,** $\dot{Q} \approx 0$
- **O dispositivo não realiza/recebe trabalho:**
- $\dot{W}_{CV} = 0$
- **Variações de energia cinética e potencial são desprezíveis.**

Trocadores de calor

$$\cancelto{0}{\dot{Q}} - \cancelto{0}{\dot{W}_{CV}} + \dot{m}_A\left(\left(h_1 - h_2\right) + \underbrace{\cancel{\frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2}}}_{\text{0, (as vezes desprezível)}} + \underbrace{\cancel{g\left(z_1 - z_2\right)}}_{\text{0, (normalm. desprezível)}}\right)_A$$

$$+\dot{m}_B\left(\left(h_3 - h_4\right) + \underbrace{\cancel{\frac{V_3^2}{2} - \frac{V_4^2}{2}}}_{\text{0, (as vezes desprezível)}} + \underbrace{\cancel{g\left(z_3 - z_4\right)}}_{\text{0, (normalm. desprezível)}}\right)_B = 0$$

Trocadores de calor

- **Assim:**

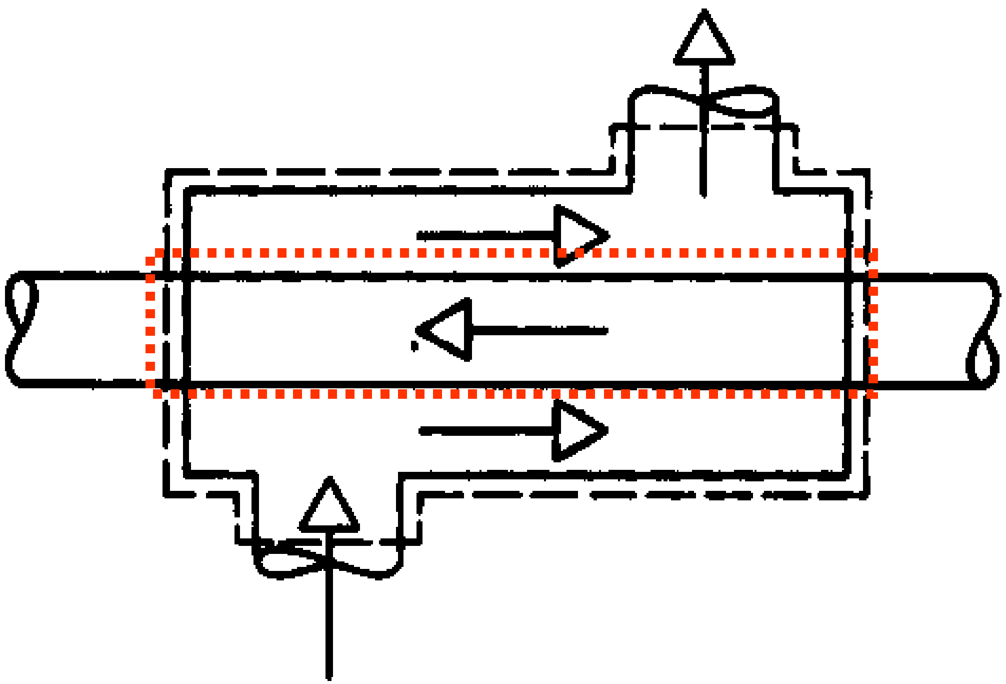
$$\dot{m}_A(h_1 - h_2) = \dot{m}_B(h_4 - h_3)$$

A variação de energia no fluido A é igual à variação de energia do fluido B (sinal oposto)

OBS: Trocadores de calor

- **Se quisermos conhecer o calor perdido ou recebido por cada um dos fluidos, devemos fazer um deles ser o V.C.**

$\dot{m}_2$



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

Questão

Como seria a equação da energia se tivéssemos desenhado uma S.C. em torno de cada fluido?

Trocadores de calor

Considerando o fluido A:

$$\dot{Q}_{CV,A} + \dot{m}_A \left(h_1 - h_2 \right) = 0$$

Ou, dividindo pela vazão mássica:

$$q_A = h_2 - h_1$$

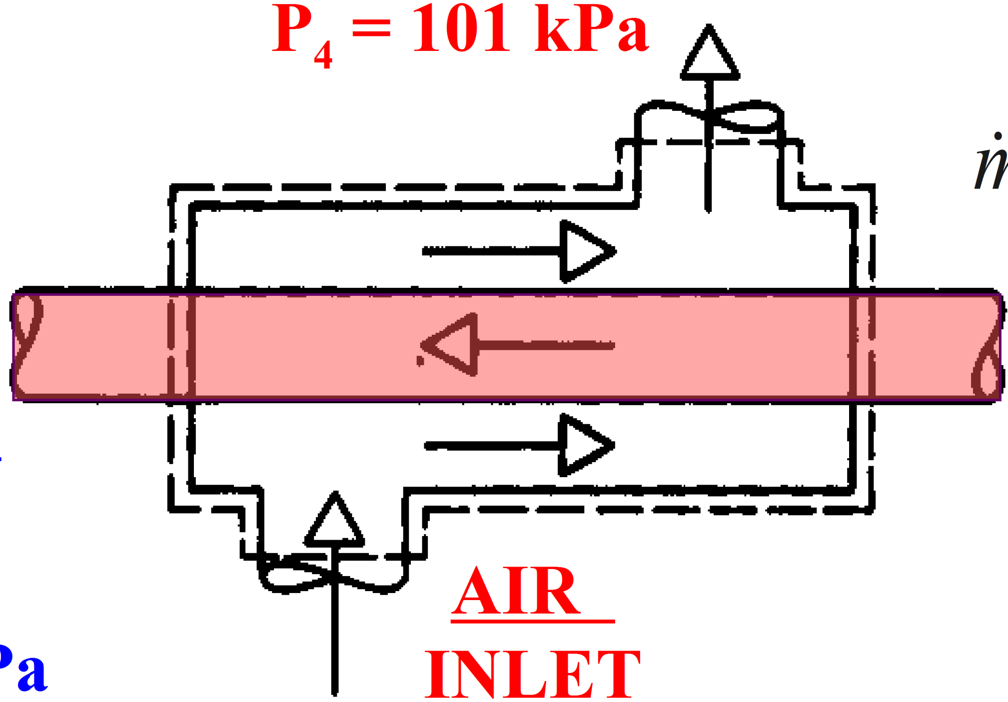
Questão

Refrigerante 134a com uma vazão mássica de 5 kg/min entra em um trocador de calor a 1.2 MPa e 50°C e o deixa a 1.2 MPa e 44°C. Ar entra pelo outro lado do trocador a 34 °C e 101 kPa e o deixa a 42 °C e 101 kPa. Calcular:

a) A transferência de calor do refrigerante para o ar

b) A vazão mássica do ar

Diagrama



AIR OUTLET
T_4=42°C
P_4 = 101 kPa
$\dot{m}_{Ref} = 5$ kg /min
R-134a INLET
T_1=50°C
P_1 = 1.2 MPa
R-134a OUTLET
T_2=44°C
P_2 = 1.2 MPa
AIR INLET
T_3=34°C
P_3 = 101 kPa
$\dot{m}_{air} = ?$

Hipóteses

- **Regime permanente**
- **Não há trabalho**
- **Ar é gás ideal**
- **Variação de energias cinética e potencial desprezíveis**

Análise do R-134a

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

Assim

$$\dot{Q}_{\mathrm{Ref}} = \dot{m}_{\mathrm{Ref}}(h_2 - h_1)$$

Podemos obter h_1 e h_2 das tabelas termodinâmicas.

Análise do R-134a

h_1 = 275.52 kJ/kg **h_2 = 112.22 kJ/kg**

Inserindo-os na equação da energia:

$$\dot{Q}_{\mathrm{Ref}} = 5\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{min}}(112.22 - 275.52)\frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_{\mathrm{Ref}} = -816.5\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{min}}$$

Análise do ar

Considerando agora um V.C. Englobando o ar:

$$\dot{Q}_{air} - \cancelto{0}{\dot{W}_{CV}} = \dot{m}_{\text{air}}\left[(h_4 - h_3) + \cancelto{0}{\frac{V_4^2 - V_3^2}{2}} + \cancelto{0}{g(z_4 - z_3)}\right]$$

Assim,

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{\text{air}}(h_4 - h_3)$$

Análise do ar

Para um gás ideal, podemos escrever:

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}_{air} C_p (T_4 - T_3)$$

Rearrumando:

$$\dot{m}_{\mathrm{air}} = \frac{\dot{Q}_{\mathrm{air}}}{C_p (T_4 - T_3)}$$

Quanto vale Q_{air}?

Análise do ar

Podemos escrever:

$$\dot{Q}_{\text{air}} = -\dot{Q}_{\text{ref}} \quad \therefore \quad \dot{Q}_{\text{air}} = +816.5\ kJ/\text{min}$$

Das tabelas termodinâmicas: C_p = 1.006 kJ/kg·K

$$\dot{m}_{\text{air}} = \frac{816.5\,\frac{\text{kJ}}{\text{min}}}{\left(1.006\,\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}\right)(42-34)K} = 101.4\,\frac{kg}{\text{min}}$$