Análise da 1ª e 2ª leis para um V.C.

Equação da Energia: Regime Permanente

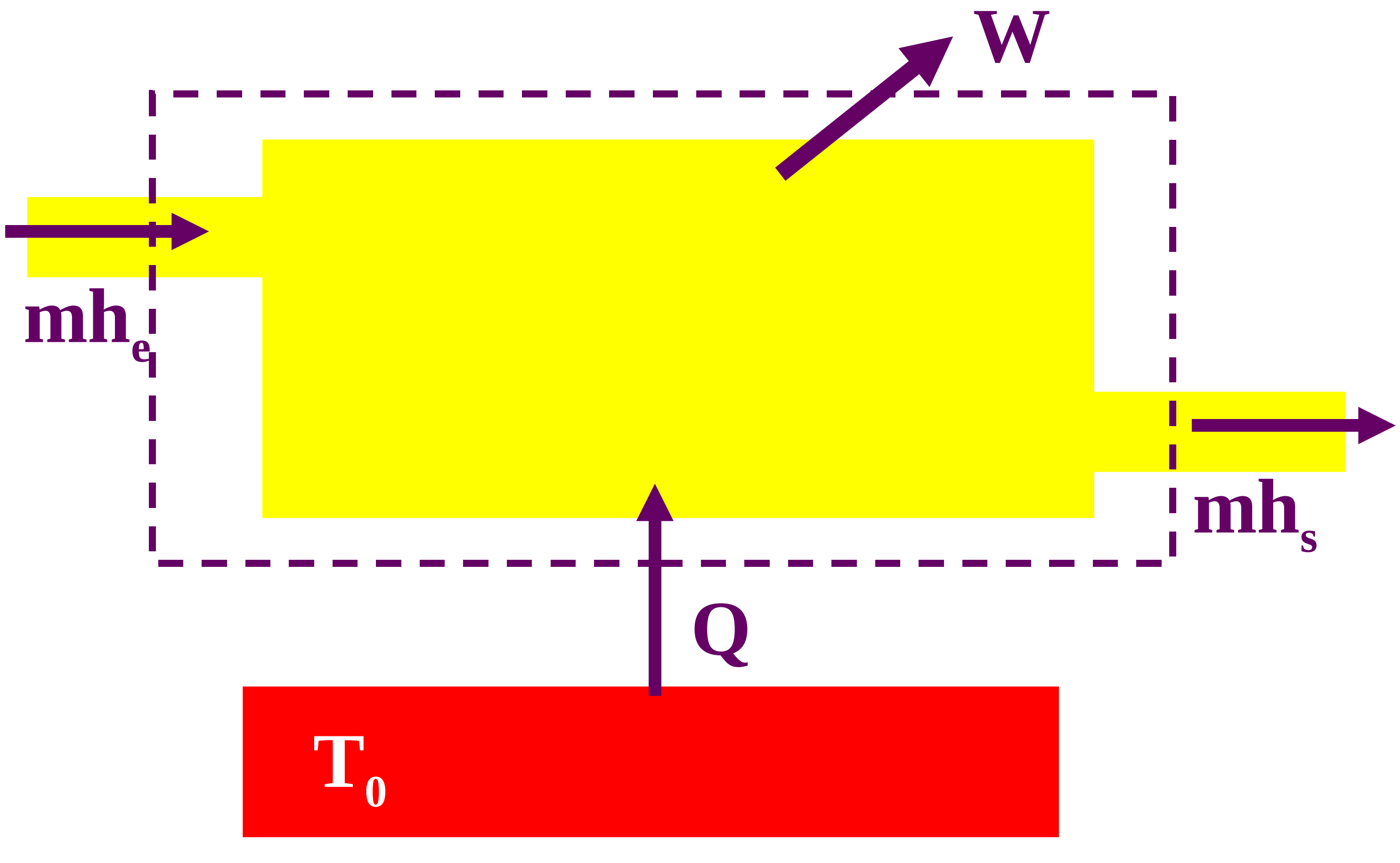
$$-\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{IN}+\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{OUT}=\dot{Q}-\dot{W}_{shaft}$$

- **Considere o V.C. com duas portas (uma entrada / uma saída)**
- **Expressando em função do <u>calor e trabalho específicos</u> (dividindo por $\dot{m}$):**

$$\left(\frac{V_I^2}{2}+gz+\underbrace{u+\frac{P}{\rho}}_{h}\right)_{\mathrm{OUT}}-\left(\frac{V_I^2}{2}+gz+\underbrace{u+\frac{P}{\rho}}_{h}\right)_{\mathrm{IN}}=q-w_{shaft}\quad\left[\frac{\mathrm{Joules}}{\mathrm{kg}}\right]$$

Caso Estudo

- **Aplicação de um balanço de energia para dispositivos que operam com fluxo de energia (entalpia), produzem trabalho e trocam calor com um reservatório a T_0**



Qual Tipo de Máquina Opera da Maneira do Caso de Estudo?

- Turbinas a vapor,
- Turbinas a gás,
- Compressores,
- Escoamento em tubulações,
- e qualquer outro tipo de processo que envolve transporte de uma propriedade

Turbina a vapor ATP 4 - ABB

Output range up to 100 MW

Live steam conditions:

Temperature up to 540 °C

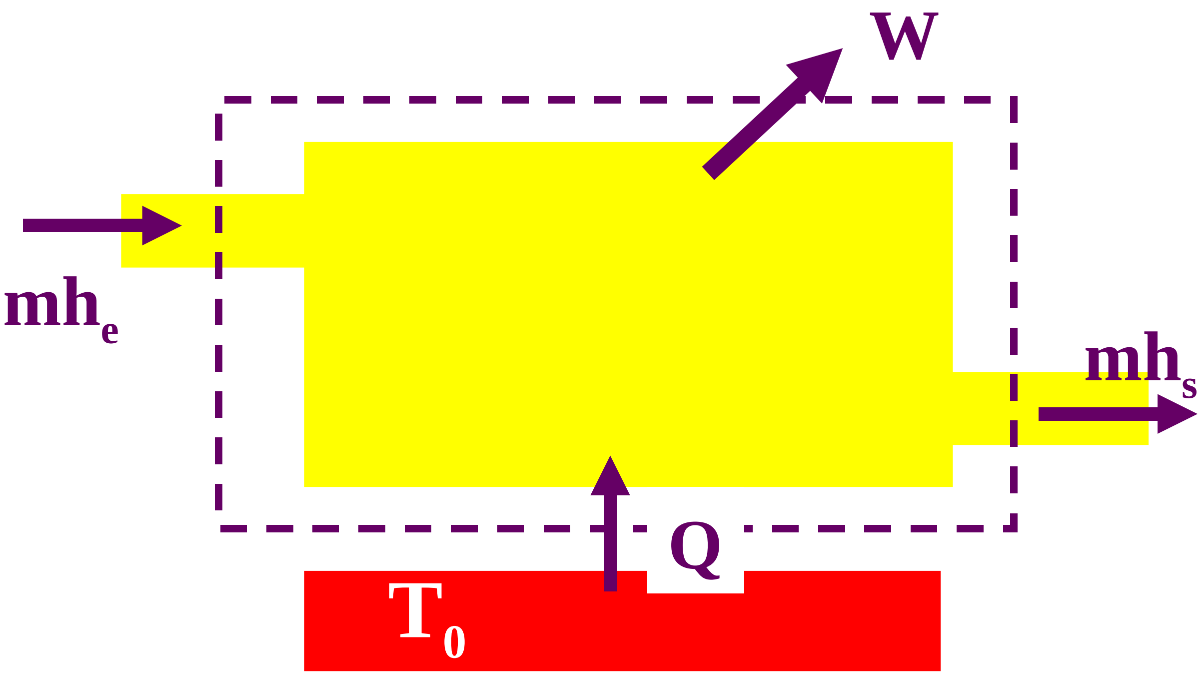
Pressure up to 140 Bar

Exhaust steam conditions:

3-16 Bar/300 °C

Condensing 0,03 - 0,25 Bar

Identifique os fluxos para a Turbina Adiabática



Adiabática, Q = 0

A fonte a T_0 não troca calor e portanto não é necessária

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

Modelagem: se considerarmos entropia cte...

A entropia do sistema é constante durante um processo reversível adiabático

Isoentrópico

$$s_2 = s_1$$

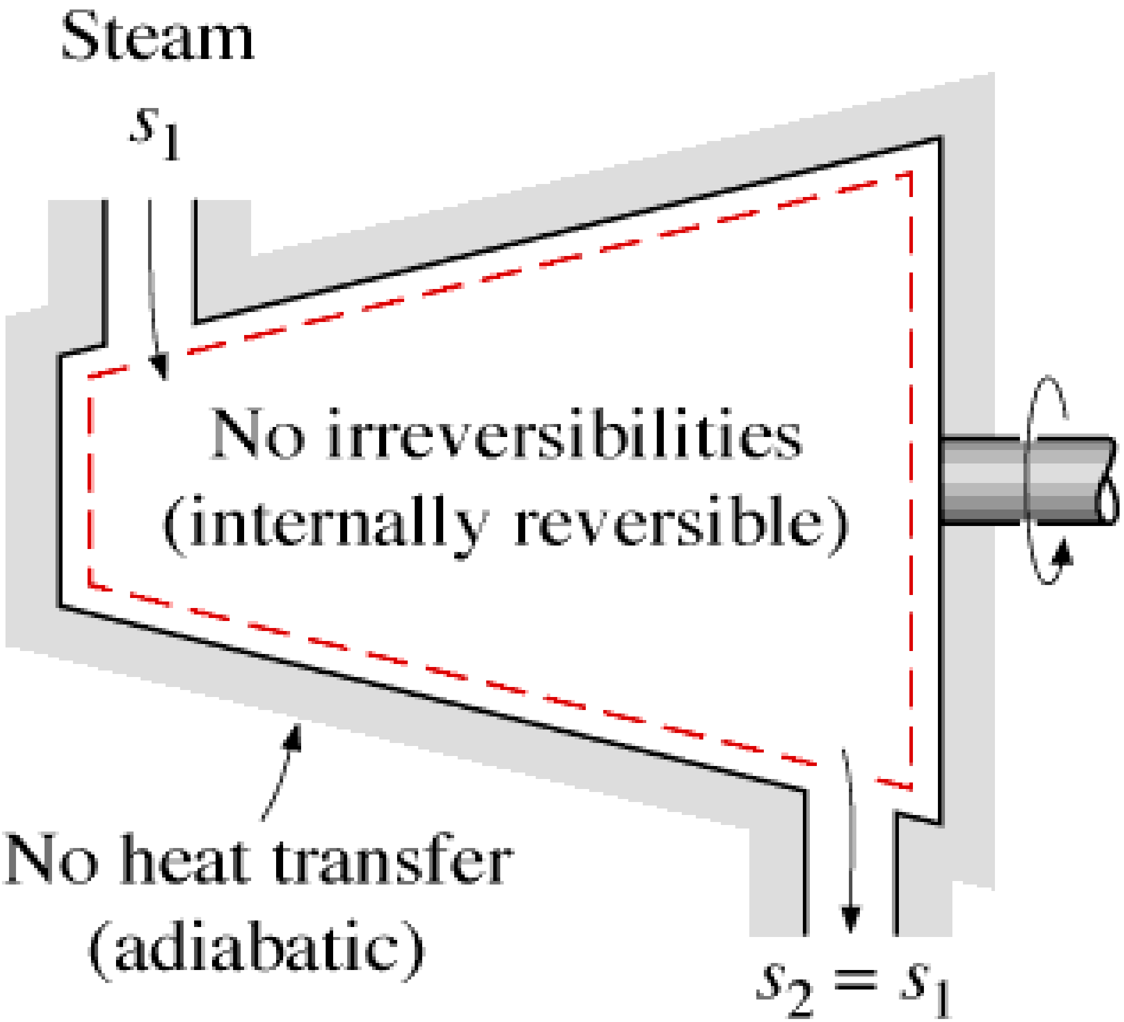
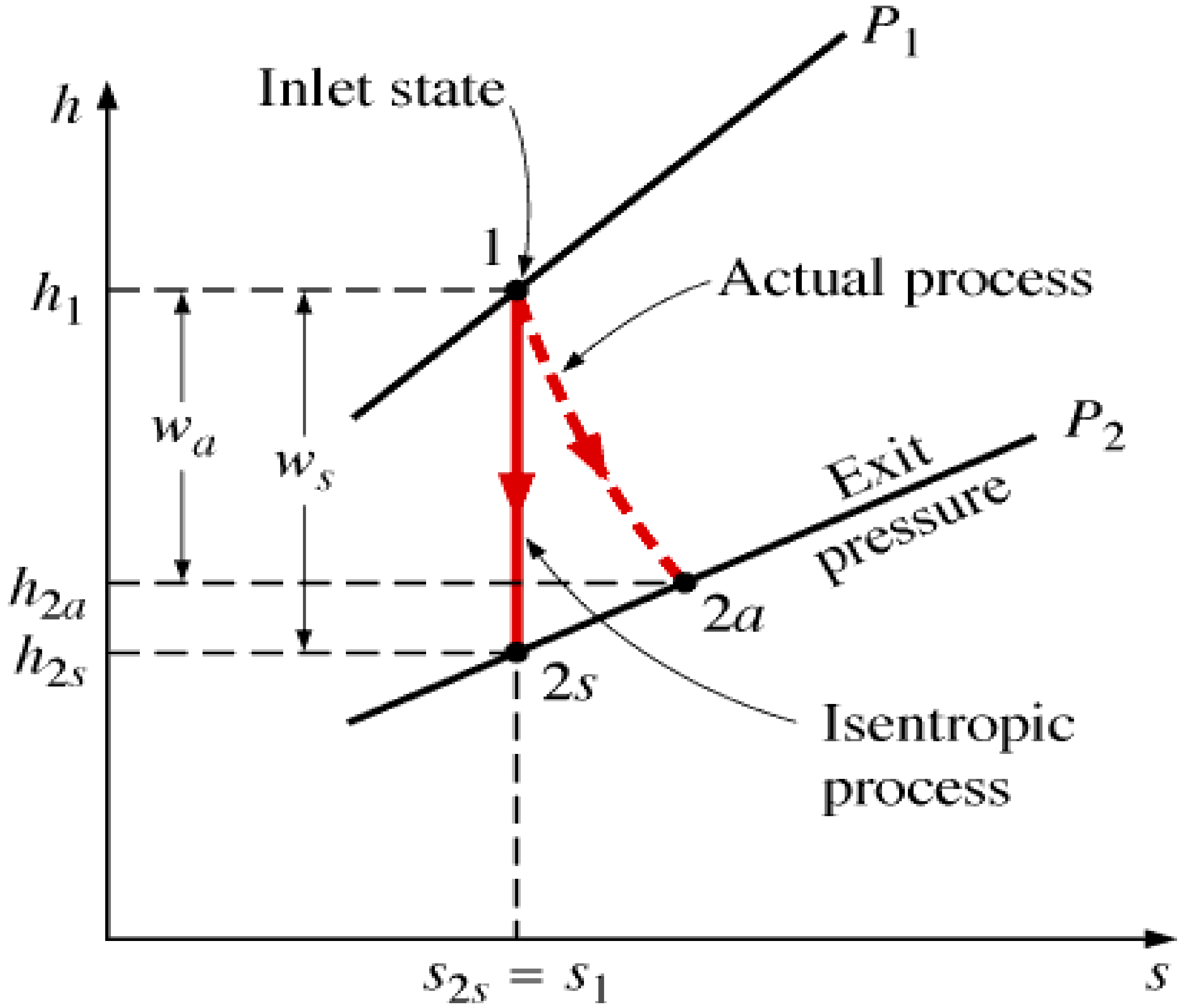
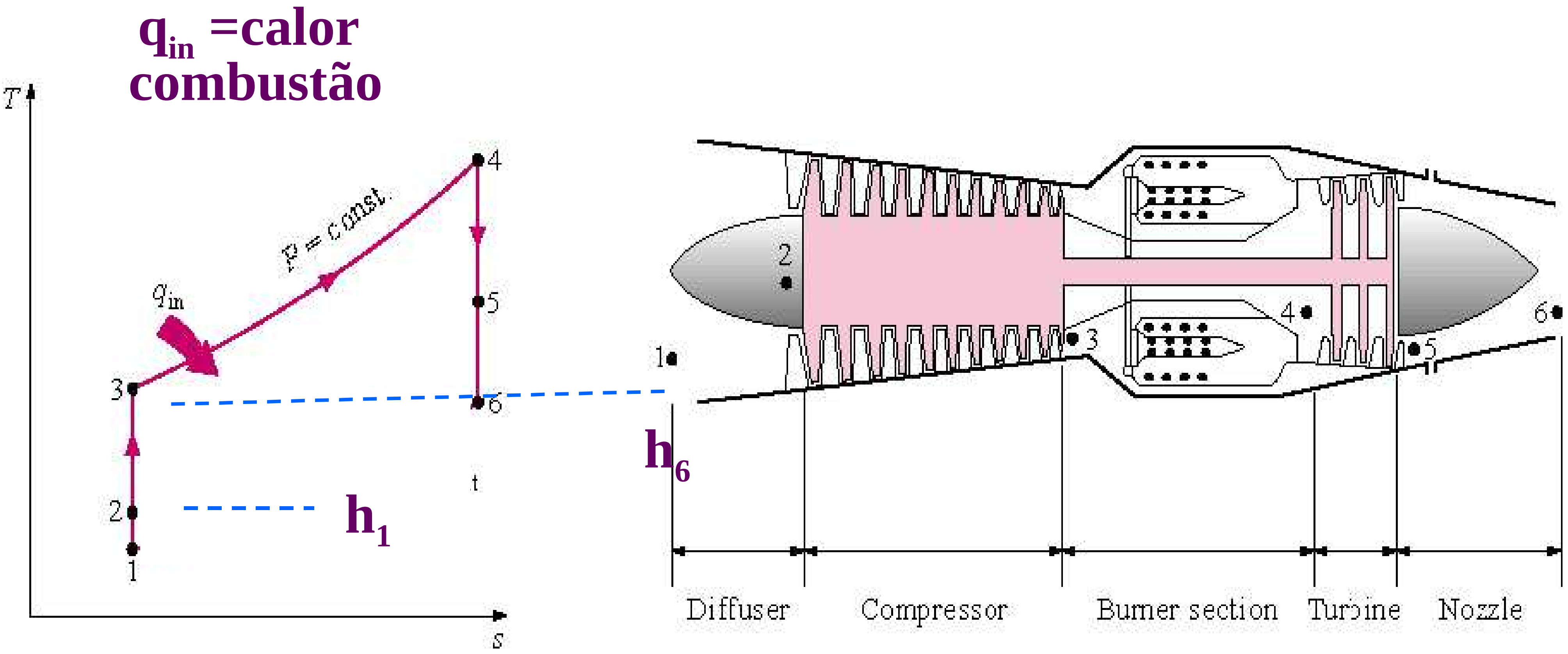


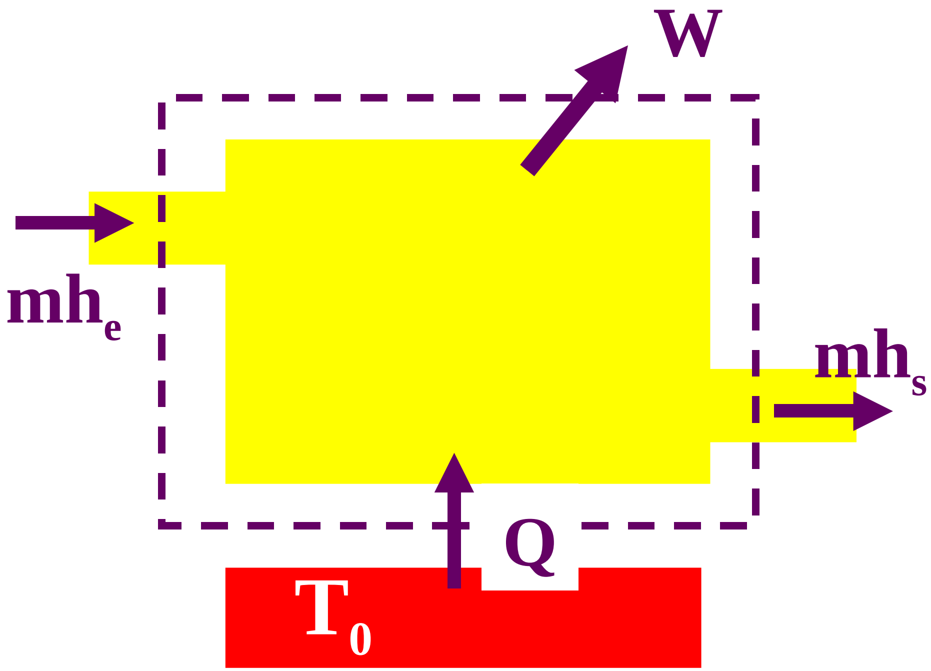
Diagrama h-s para uma turbina adiabática



Componentes básicos e diagrama T-s de um turbojato ideal.



Identifique os fluxos para um Motor a Jato

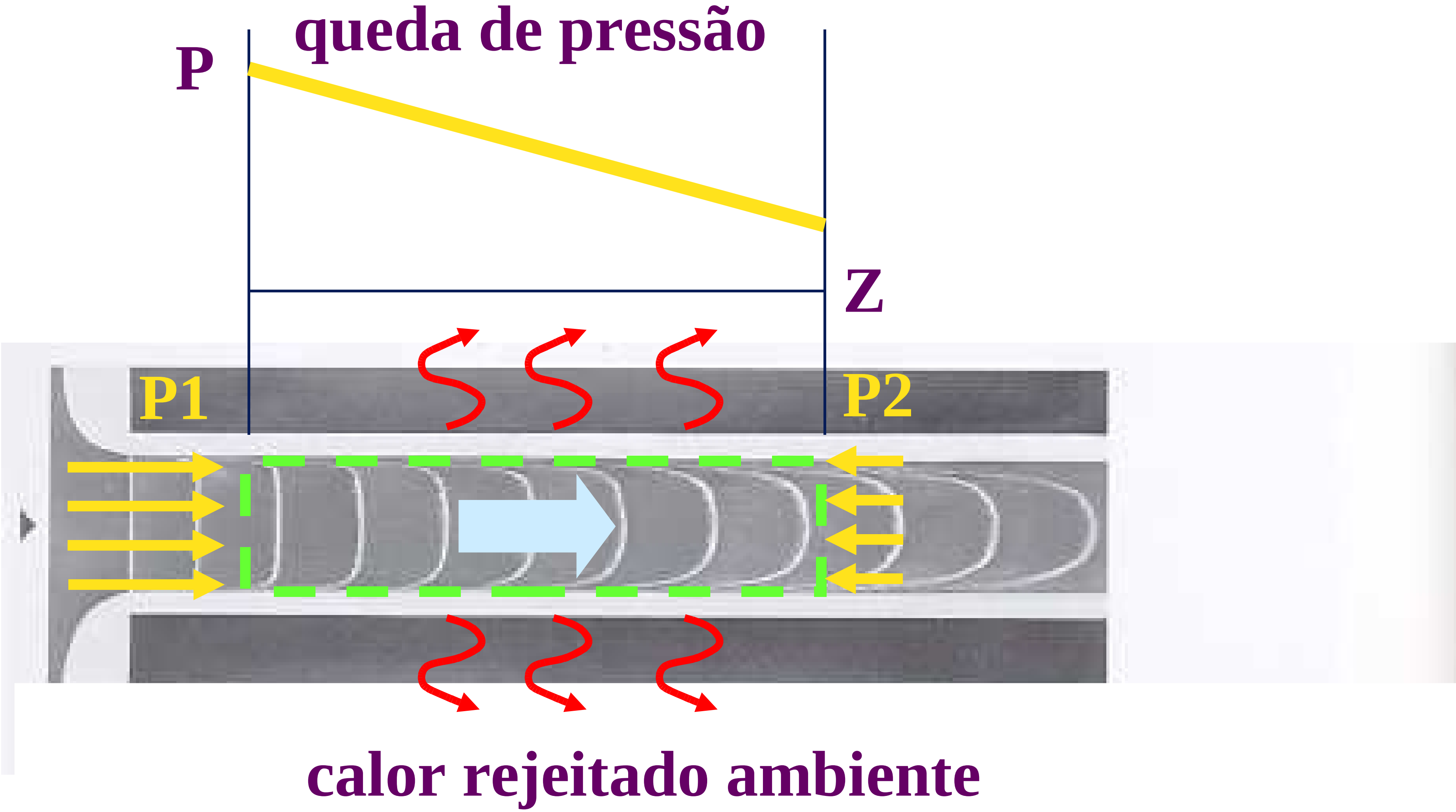


- **Há adição de calor a pressão constante pela queima do combustível.**
- **A temperatura T_0 é a temperatura da câmara de combustão**

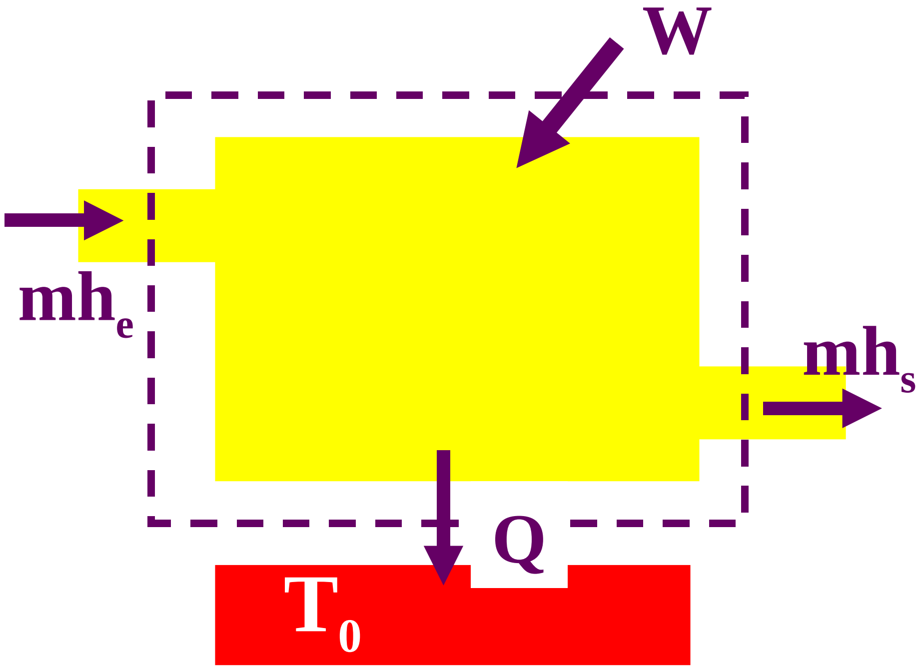
$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = q + (h_1 - h_2) - w$$

Trabalho sistemas auxiliares

Escoamento Incompressível e Isotérmico em Tubulações



Identifique os fluxos para a Tubulação



- O v.c. não realiza nem recebe trabalho

- O atrito do fluido nas paredes é transformado em calor (irreversibilidade).

- A temperatura T_0 é a temperatura do ambiente

- 1ª lei: $0 = q - (hs - he)$
- Se Δu é despr.: $q = \Delta p/\rho$

Onde Chegamos Até Agora?

- **A 1ª lei expressa o balanço de energia, isto é, se conhecermos dois dos termos envolvidos poderemos determinar o terceiro.**
- **É interessante estabelecer limites e sentido das transformações,**
- **<u>Com limites</u> se estabelece padrões de comparação com processos reais,**
- **<u>Com o sentido</u> pode-se saber se tal processo pode ocorrer ou não**

Como Estabelecer o Máximo/Mínimo Trabalho/Calor que se Pode Extrair/Necessitar?

Como Determinar se um Processo Pode ou Não Ocorrer?

Utilizando a 2ª lei que envolve os conceitos de processos reversíveis e irreversíveis e geração de entropia

2^a Lei V.C. & Regime Permanente

- **A 1^a lei expressa o balanço de energia, a 2^a lei indica o sentido da transformação.**

$$\left(\dot{m}\,s\right)_{out}-\left(\dot{m}\,s\right)_{in} \quad = \quad \frac{\dot{Q}}{T_0}+\dot{S}_{gen}$$

- **Vamos expressar o calor em função da 2^a lei:**

$$q=T_0\left[\left(s\right)_{out}-\left(s\right)_{in}\right]-T_0\,s_{gen}$$

- ***OOps*, o que é mesmo T_0? É a temperatura do reservatório térmico onde o processo troca calor**
- **O que de especial tem $T_0 s_{gen}$? Este termo é sempre MAIOR ou IGUAL a zero.**

1^a e 2^a Lei Combinadas, Limite Trabalho

Substituindo a expressão do calor da 2^a lei na primeira lei e isolando o termo de trabalho chega-se a:

$$w_{shaft} = \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + u + \frac{P}{\rho} - T_0 s \right)_{IN} - \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + u + \frac{P}{\rho} - T_0 s \right)_{OUT} - T_0 s_{gen}$$

Como $T_0 S_{gen} \geq 0$, a 2^a lei estabelece um limite superior para o trabalho

$$w_{shaft} \leq \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + u + \frac{P}{\rho} - T_0 s \right)_{IN} - \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + u + \frac{P}{\rho} - T_0 s \right)_{OUT}$$

1ª e 2ª Lei Combinadas: Conclusões

O maior trabalho produzido ocorre para processos reversíveis. Neste caso, $S_{gen}=0$.

$$w_{real} \leq w_{rev}$$

Pode-se definir a eficiência do processo utilizando w_{rev} como referência:

$$\eta_{processo} = \frac{w_{real}}{w_{rev}}$$

Trabalho Reversível p/ V.C.

- O termo de trabalho que aparece exclui o trabalho de fluxo.

- Ele representa os outros modos de trabalho (usualmente executados por meio de um eixo)

- Para $\Delta KE = \Delta PE = 0$

$$w_{rev} = \left(h - T_0 s\right)_{in} - \left(h - T_0 s\right)_{out}$$

Trabalho Reversível p/ V.C.

Um processo reversível, $T_0 ds = dh - vdP$.

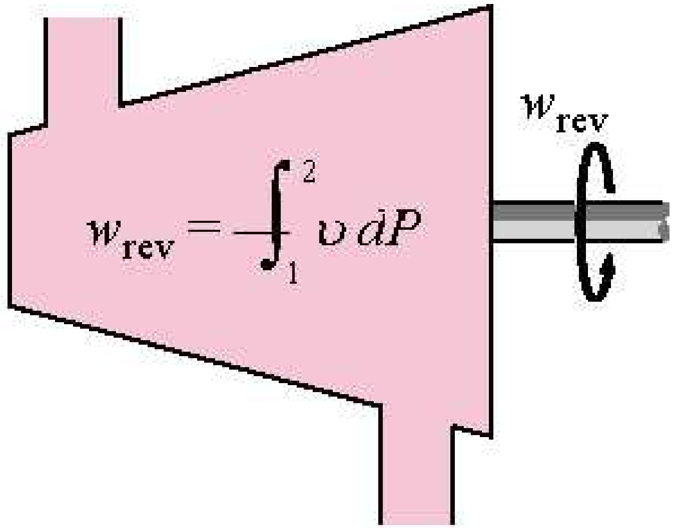
Integrando do estado (out) – (in) temos que:

$$\int_{in}^{out} vdP = \int_{in}^{out} dh - T_0 \int_{in}^{out} ds \equiv \left(h - T_0 s\right)_{out} - \left(h - T_0 s\right)_{in}$$

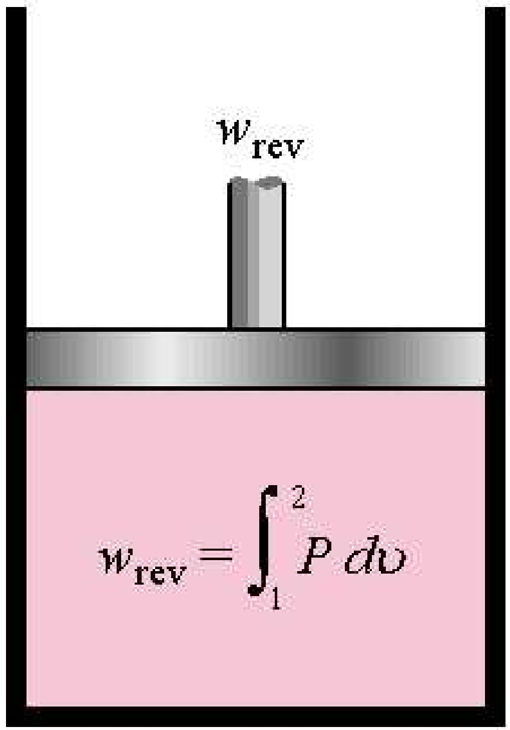
Substituindo na expressão do trabalho reversível, tem-se que para um V.C.:

$$w_{rev} = -\int vdP$$

Relações de trabalho reversível para regime permanente e sistemas fechados



(a) Steady-flow system



(b) Closed system

- **Vamos isolar os termos associados ao trabalho mecânico daqueles associados ao calor:**

$$w_{shaft} = \underbrace{\left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_{\mathrm{IN}} - \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_{\mathrm{OUT}}}_{\text{TERMOS MECÂNICOS}}$$

$$+ \underbrace{\left(u - T_0 s\right)_{IN} - \left(u - T_0 s\right)_{OUT} - T_0 S_{gen}}_{\text{TERMOS TÉRMICOS}}$$

TERMOS MECÂNICOS x TÉRMICOS

- **O trabalho de eixo transfere energia às parcelas dos termos mecânicos e térmicos**
- **<u>PORÉM</u> a conversão entre os termos mecânicos e térmicos não é reversível**
- **Toda energia mecânica pode ser convertida em térmica nas não ocorre no sentido inverso**

$$V^2/2 \rightleftarrows gz \rightleftarrows P/\rho$$

MECÂNICOS

$$u \rightleftarrows T_0 s \rightleftarrows T_0 s_{gen}$$

TÉRMICOS

OS TERMOS TÉRMICOS

- **Uma parcela da energia mecânica é convertida nos termos térmicos de forma irreversível**

$$w_{irr} = \underbrace{(u - T_0 s)_{IN} - (u - T_0 s)_{OUT} - T_0 S_{gen}}_{\text{TERMOS TÉRMICOS}} < 0$$

$$w_{shaft} = \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_{\text{IN}} - \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_{\text{OUT}} + w_{\text{irr}}$$

- **P. exemplo: o papel de uma bomba é transferir energia para os termos mecânicos e também para as irreversibilidades.**

Equação em Termos da Altura

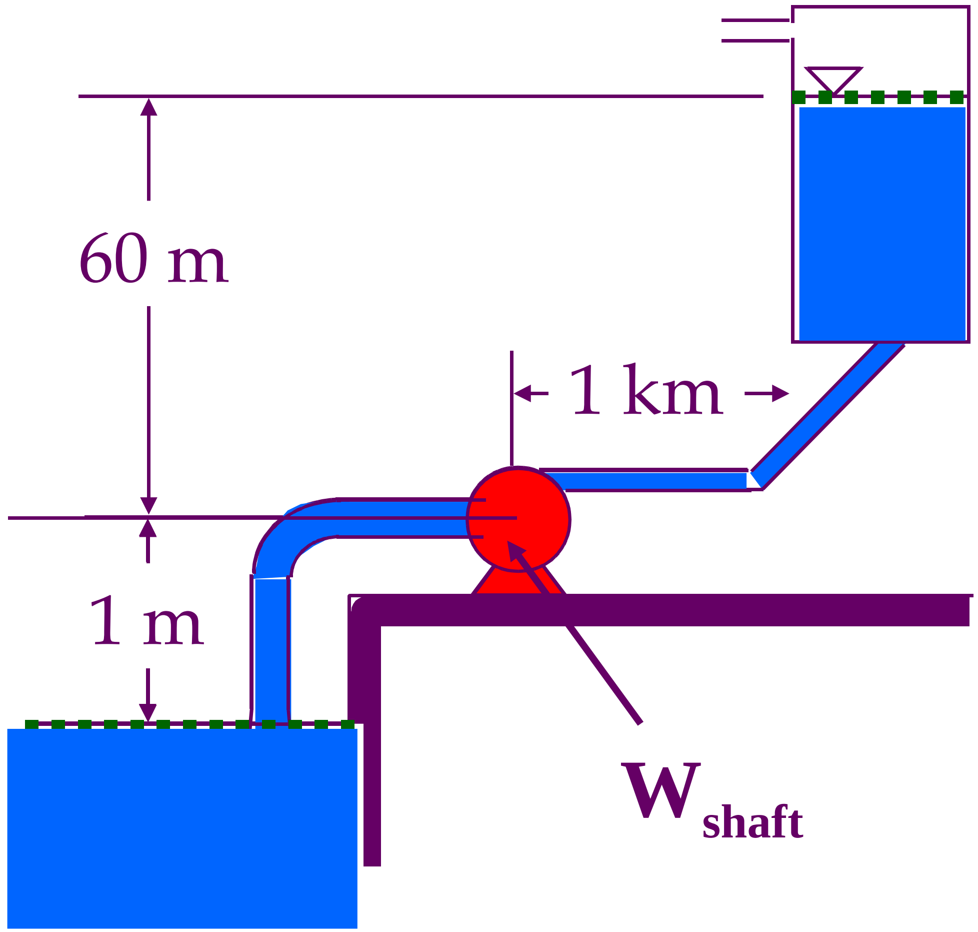
- **É usual expressar estas energias em termos de altura equivalente h. (/ g). Como w_{irr} <0 , é comum utilizar:**

$$h_{irr} = \frac{-w_{irr}}{g}$$

$$\frac{w_{shaft}}{g} = \left(\frac{V_I^2}{2\mathrm{g}} + z + \frac{P}{\rho g} \right)_{\mathrm{IN}} - \left(\frac{V_I^2}{2\mathrm{g}} + z + \frac{P}{\rho g} \right)_{\mathrm{OUT}} - h_{\mathrm{irr}}$$

CASO ESTUDO:
ELEVAÇÃO DE FLUIDO

Dadas as alturas entre reservatórios, o diâmetro da tubulação deseja-se determinar a potência da bomba para transferir um volume de fluido na unidade de tempo

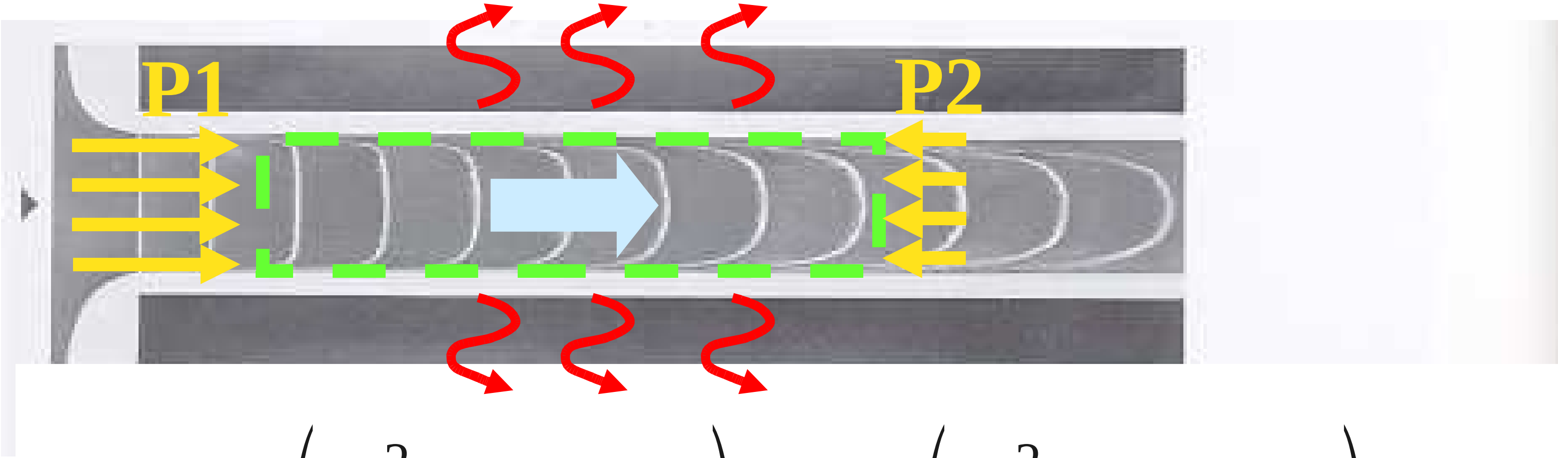


ESCOAMENTO EM TUBULAÇÕES

Uma instalação típica possui:

- **Uma bomba que transfere trabalho de eixo para o fluido**
- **O fluido é bombeado de um reservatório baixo para outro elevado**
- **O processo normalmente ocorre com pouca transferência de calor**
- **Há perdas do trabalho transferido pela bomba ao fluido que se traduzem na redução da capacidade de elevação ou na queda de pressão**

Escoamento numa Tubulação horizontal



$$\frac{w_{shaft}}{g} = \left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{IN} - \left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} - h_{irr}$$

- $w_{shaft} = 0$, $V_{in} = V_{out}$, $z_{in} = z_{out}$
- **Quem supre as irreversibilidades é a diferença de pressão:**

$$\left(\frac{P}{\rho g}\right)_{IN} - \left(\frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} = h_{irr} \quad \rightarrow \quad \boxed{\Delta P = \rho\, g\, h_{irr}}$$

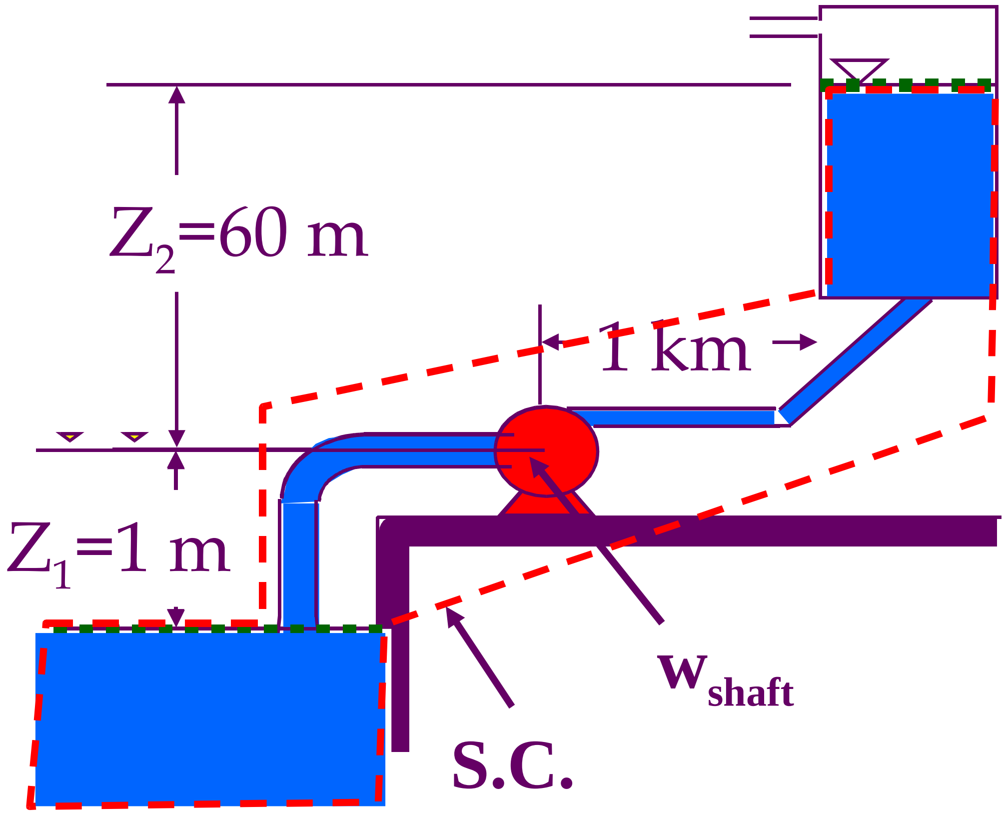
Escoamento numa Tubulação horizontal

- **A queda de pressão é proporcional a altura equivalente das perdas (irreversibilidades)**

$$\Delta P = \rho \; g \, h_{irr}$$

- **Isto é, para passar uma determinada vazão pela tubulação ela necessita de um ΔP para suprir as irreversibilidades.**

Qual é a potência necessária para bombear uma vazão Q?



Considerações:

- **D reserv. >> d tubulação**
- **Vel. Reserv. ~ 0**
- **h_{irr} representa uma altura equivalente das perdas da en. mecânica**

$$1. \Rightarrow \quad \frac{w_{shaft}}{g} = \left(V_I^2/2g + z + P/\rho g\right)_{IN} - \left(V_I^2/2g + z + P/\rho g\right)_{OUT} - h_{irr}$$

$$2. \Rightarrow \quad \frac{w_{shaft}}{g} = \left(0 + Z_1 + P_{atm}/\rho g\right)_{IN} - \left(0 + Z_2 + P_{atm}/\rho g\right)_{OUT} - h_{irr}$$

$$3. \Rightarrow \quad \frac{w_{shaft}}{g} = \left(Z_1 - Z_2 - h_{irr}\right) \quad \rightarrow \dot{W} = \dot{m} g \left(Z_1 - Z_2 - h_{irr}\right)$$

BERNOULLI: *UM CASO ESPECIAL*

Considere um processo:

- ***Reversível:*** $s_{gen} = 0$
- ***Sem Transf. de Calor:*** $s_{in} = s_{out}$
- ***Sem realização de trabalho:*** $w_{shaft} = 0$

O que restou da Equação da Energia?

$$\left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_1 = \left(\frac{V_I^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho}\right)_2$$

EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Primeira solução que relaciona campo de velocidade com campo de pressão.

$$\left(\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)_1 = \left(\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)_2$$

- **Ela estabelece a conservação da energia mecânica entre dois pontos do escoamento.**

- **Há uma conversão reversível entre os termos de energia potencial, de campo e de pressão**