Seções 5.5 a 5.7

1ª e 2ª Lei

Equação da Energia: Regime Permanente

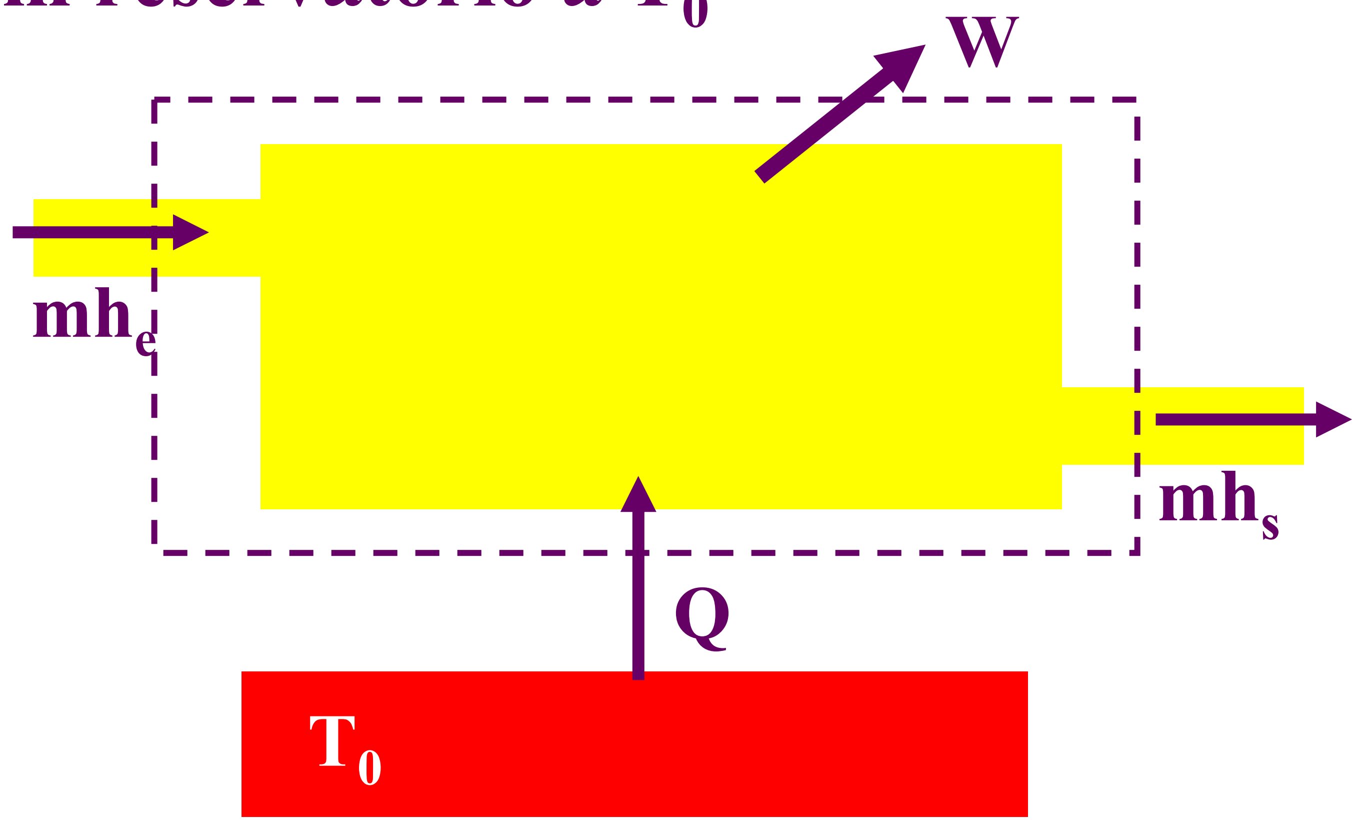
$$-\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{IN}+\sum\left[\left(u+\frac{V_I^2}{2}+gz+\frac{P}{\rho}\right)\dot{m}\right]_{OUT}=\dot{Q}-\dot{W}_{shaft}$$

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

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

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



2ª Lei V.C. & Regime Permanente

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

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

- Vamos expressar o calor em função da 2ª 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? E o que de especial tem $T_0 s_{gen}$?
- É a temperatura do reservatório térmico onde o processo troca calor
- Este termo é sempre MAIOR ou IGUAL a zero.

1ª e 2ª Lei Combinadas: Limite Trabalho

Substituindo a expressão do calor da 2ª lei :

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

na primeira lei

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

chega-se a:

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

1ª e 2ª Lei Combinadas ∾ Limite Trabalho

O trabalho de eixo passa a ser:

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

mas, como T_0Sgen ≥ 0, a 2ª lei estabelece um limite superior para o trabalho:

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

Ou, se preferirmos podemos definir o trabalho reversível (Sgen = 0) como:

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

1ª e 2ª Lei Combinadas ∾ Conclusões

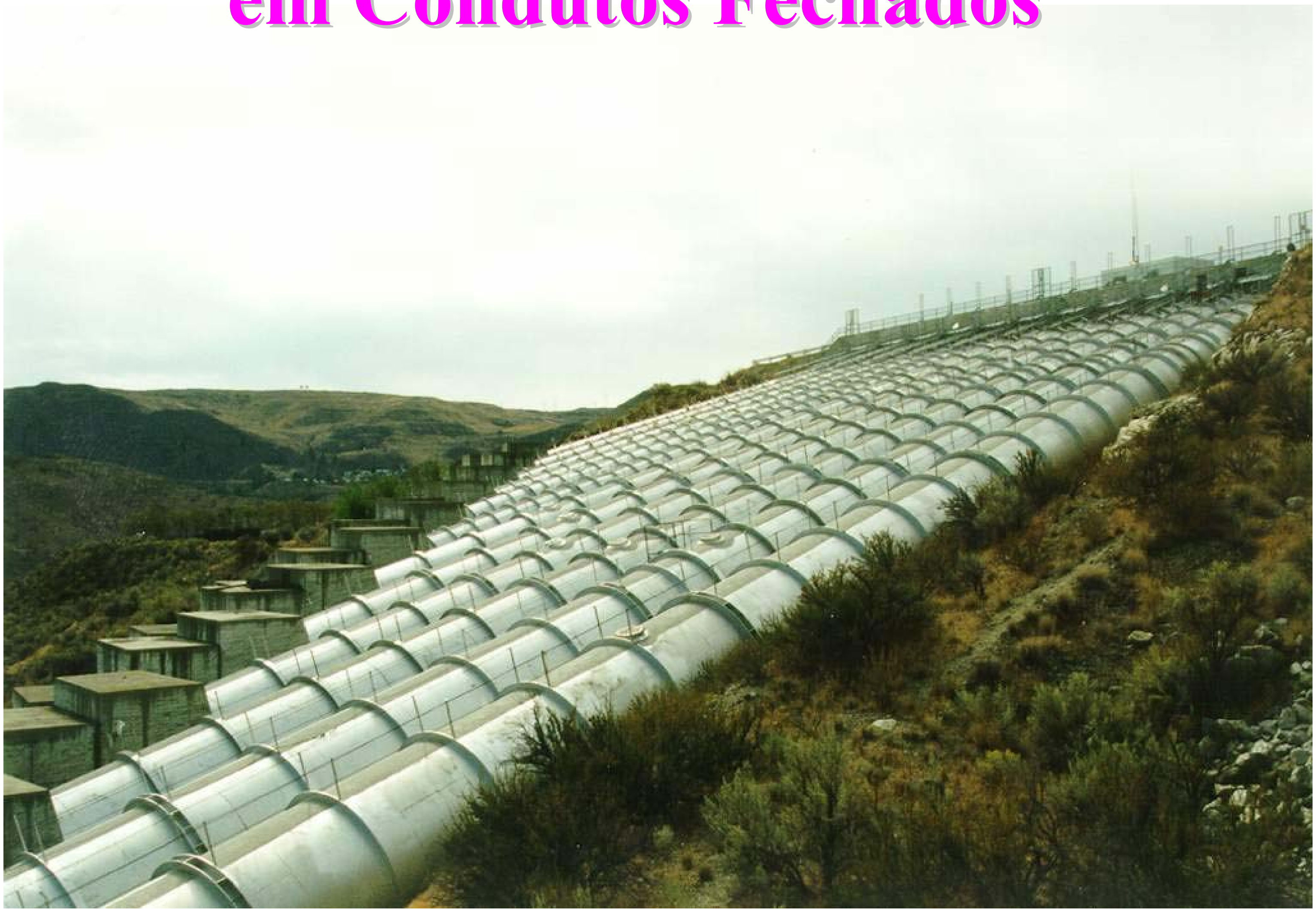
O maior trabalho produzido ocorre para processos reversíveis. Neste caso, Sgen=0.

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

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

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

Escoamento em Condutos Fechados



ESCOAMENTO EM TUBULAÇÕES

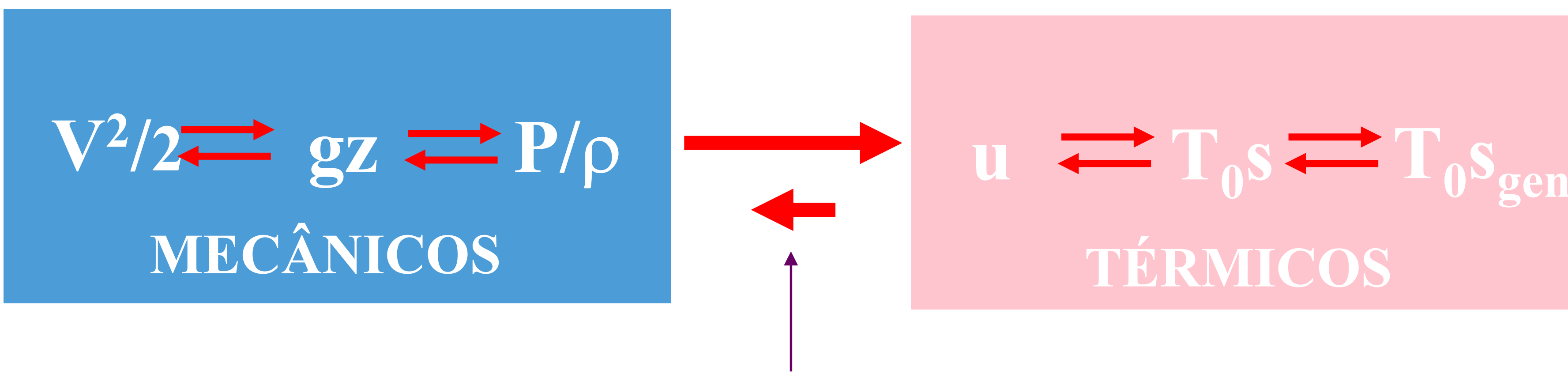
- **Vamos isolar os termos associados ao trabalho mecânico daqueles associados ao calor:**

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

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

TERMOS MECÂNICOS x TÉRMICOS

- O trabalho de eixo transfere energia às parcelas dos termos mecânicos e térmicos.
- **PORÉM,** 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.



Se houver efeitos compressíveis

OS TERMOS TÉRMICOS

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

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

ou

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

- O papel da 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.**

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

- **veja Eq. 5.33 do livro texto**

$$\underbrace{\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{IN}}_{HT_{in}} = \underbrace{\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{OUT}}_{HT_{out}} + \underbrace{h_L}_{Hperda} + \underbrace{\frac{w_{shaft}}{g}}_{H_{trabalho}}$$

- **Esta é a EQUAÇÃO desta aula! Lembrem-se que ela veio da Cons. Energia**

Perda de Carga

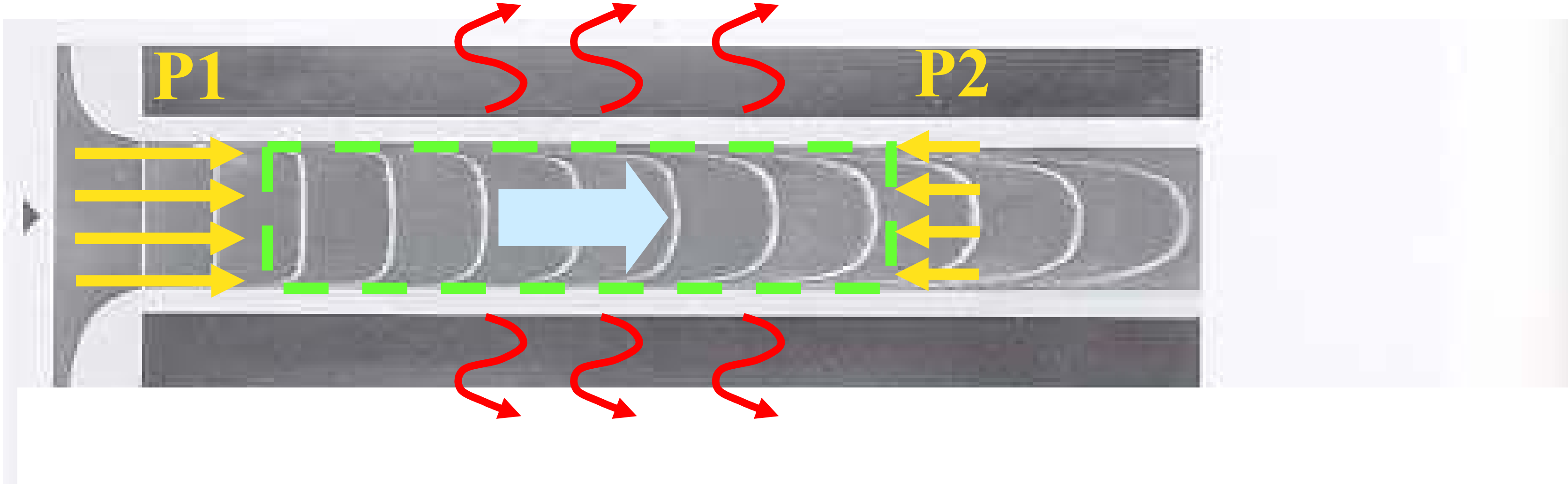
- A perda de carga, h_L, ocorre devido às irreversibilidades (atrito, turbulência).

- Ela representa uma parcela da energia (pressão + potêncial + cinética) que é convertida em calor de forma irreversível!

- Será visto no Cap. 6 como estimar h_L.

$$\underline{h_L \sim V^2}$$

Escoamento numa Tubulação



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

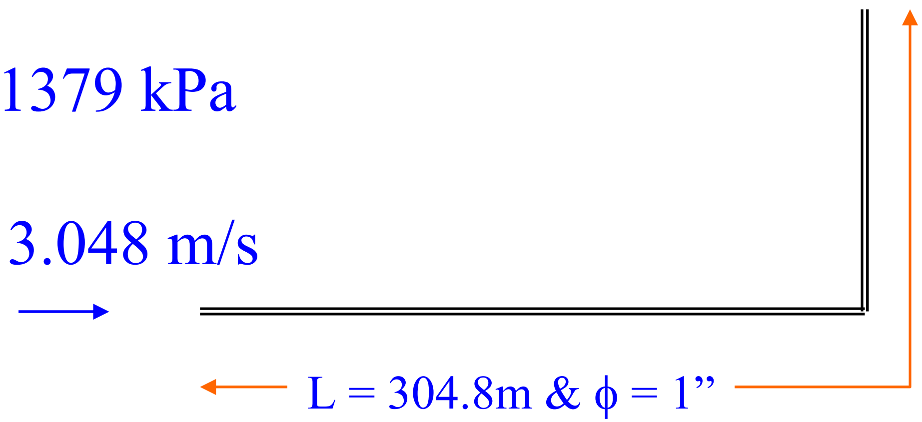
- $w_{shaft} = 0, \quad V_{in} = V_{out}, \quad z_{in} = z_{out}$
- **Quem supre as irreversibilidades é a diferença de pressão:**

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

- Ex. 2.29 - Água escoa a 3.048 m/s (10 ft/s) através de um tubo de ϕ 1” que tem um comprimento de 304.8 m (1000 ft). A pressão manométrica na entrada é P_1 = 1379 kPa (200psig) e a saída está a 30.48 m (100 ft) acima da seção de entrada. Qual deve ser a pressão na saída se a perda de carga distribuída for 107 m CA (350 ft)?

$P_1 = 1379$ kPa
$z = 0$
$V_1 = 3.048$ m/s

$P_2 = ?$ kPa
$z = +30.48$
$V_2 = 3.048$ m/s

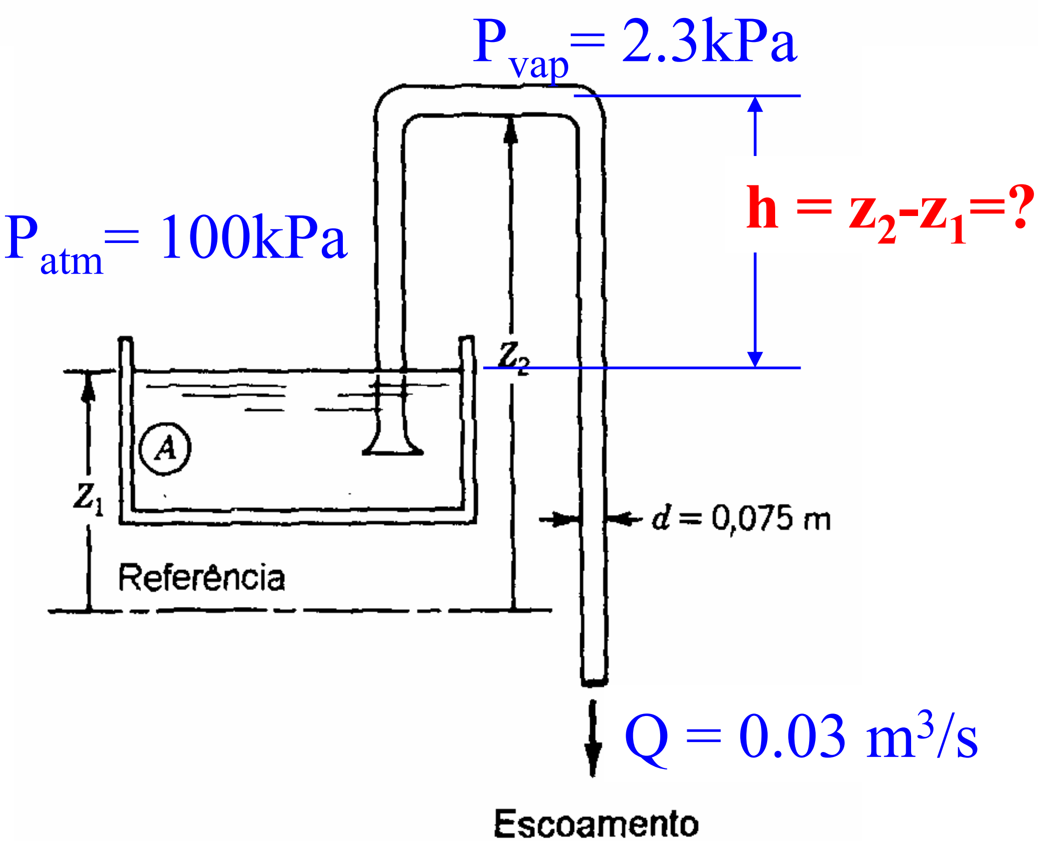


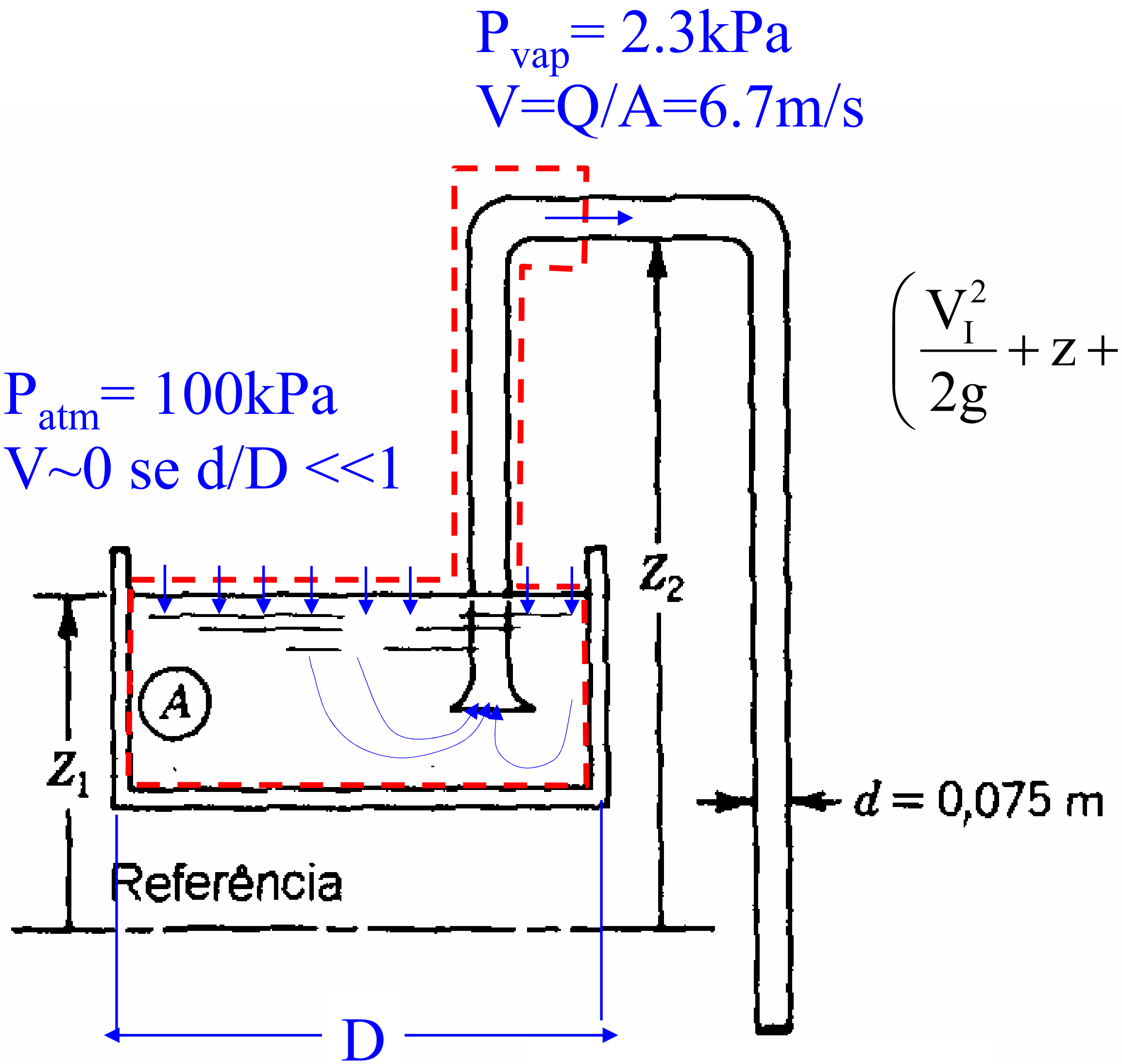
$$\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{IN} = \left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} + h_L + \frac{w_{shaft}}{g}$$

Resp:
P_2 = 30.3 kPa
Ou 4.4 psig

EXEMPLO 5-5

Um sistema de sifão com diâmetro interno $d = 0{,}075$ m é utilizado para remover água de um recipiente *A* para um recipiente *B*, conforme a Fig. E5-5*a*. Quando em operação a vazão em regime permanente através do sifão é de $0{,}03\ m^3/s$. A temperatura da água é 20°C e sua densidade é $998{,}3\ kg/m^3$. Calcule qual a elevação do sifão acima da superfície da água no reservatório *A*, Δz, na qual a pressão mínima do sifão seja igual à pressão de vapor da água ($P_v = 2{,}339$ kPa). Admite-se que a perda de carga devido ao atrito e à transferência de calor pode ser desprezada, ou seja, $h_L = 0$. Admitir que o nível de água no reservatório é mantido constante.





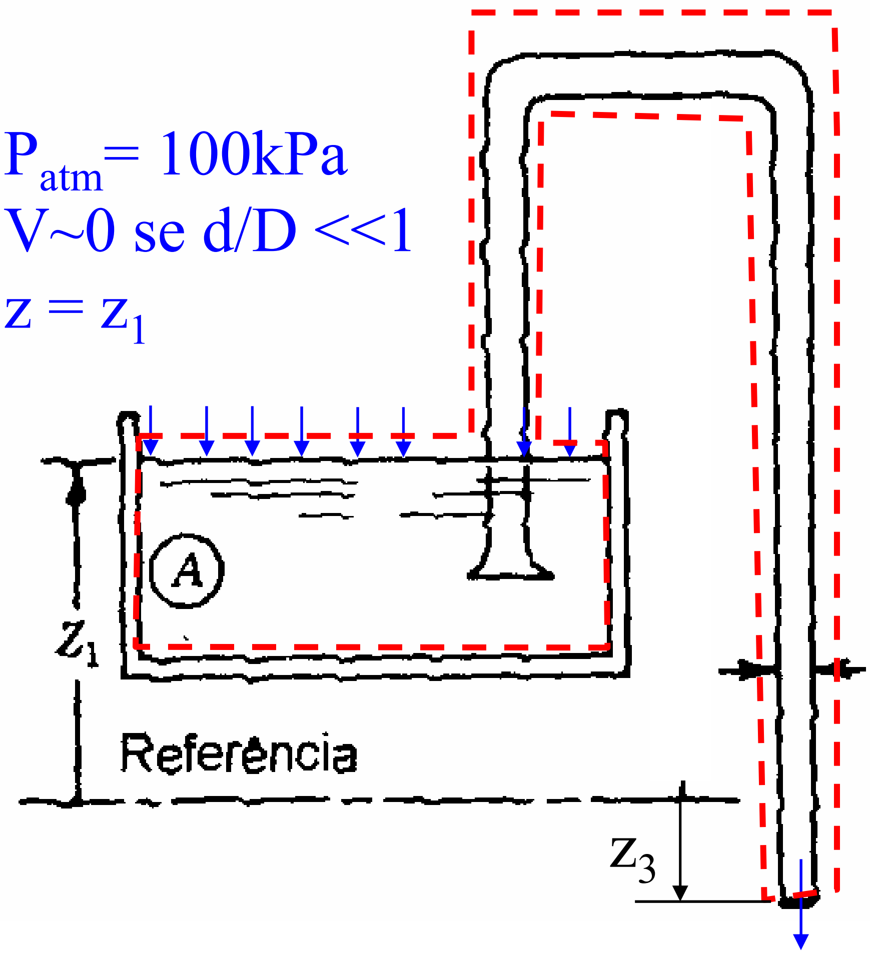
$$\left(\frac{V_I^2}{2g}+z+\frac{P}{\rho g}\right)_{IN} = \left(\frac{V_I^2}{2g}+z+\frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} + h_L + \frac{w_{shaft}}{g}$$

5-25 O sistema de sifão descrito no Exemplo 5-5 apresenta uma perda de carga, muito embora esta tenha sido desprezada na solução daquele exemplo. Se a saída do sifão for colocada a uma distância de 10,0 m abaixo da superfície do reservatório, determine a perda de carga h_L no sifão.

P_{atm}= 100kPa

V~0 se d/D <<1

$z = z_1$



Note que: $z_1 - z_3 = 10$m

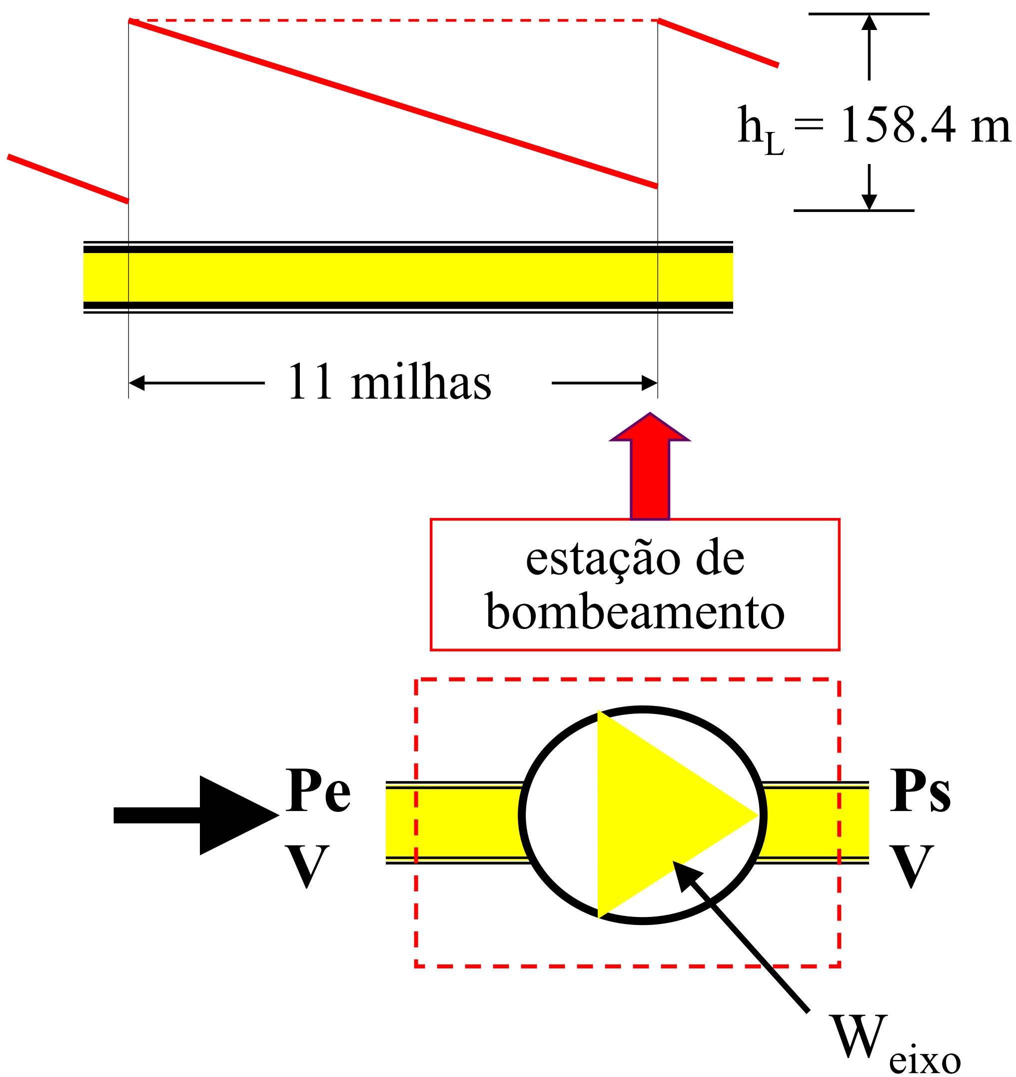
$$\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{IN} = \left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} + h_L + \frac{w_{shaft}}{g}$$

P= 100kPa

V=Q/A=6.7m/s

$z = z_3$

5-30E Por um oleoduto de 2,5 ft de diâmetro circula óleo (densidade relativa = 0,86) a uma taxa de 400.000 barrís/dia. A perda de carga distribuída devido ao atrito é de 4,5 ft para cada 500 ft de tubo. Estações de bombeamento estão localizadas a cada 11 milhas ao longo do oleoduto. Calcule a queda de pressão entre duas estações de bombeamento. Qual a potência em hp que seria necessária para bombear o óleo em cada uma das estações?



Conversão

$Q = 4106$ bpd $= 0.741\ m^3/s$

$\rho = 860\ kg/m^3$

$L = 11$ milhas $= 17600$ m

$h_L = 17600*4.5/500$

$$\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{IN} =$$

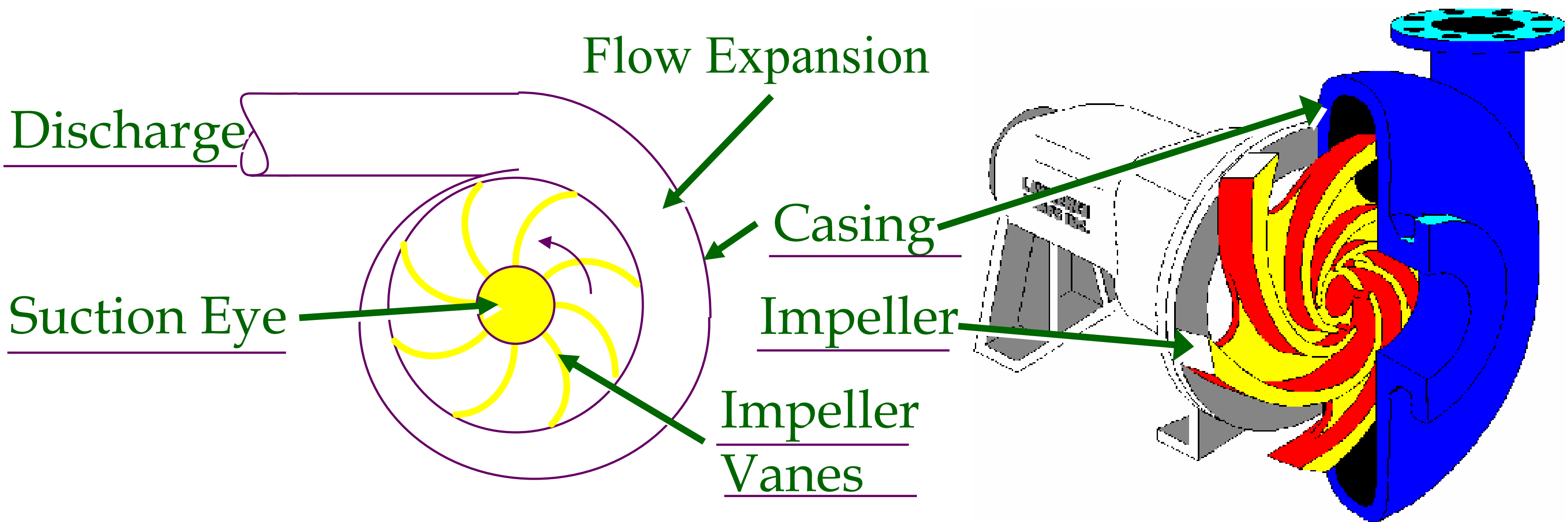
$$\left(\frac{V_I^2}{2g} + z + \frac{P}{\rho g}\right)_{OUT} + h_L + \frac{w_{shaft}}{g}$$

Resp.:

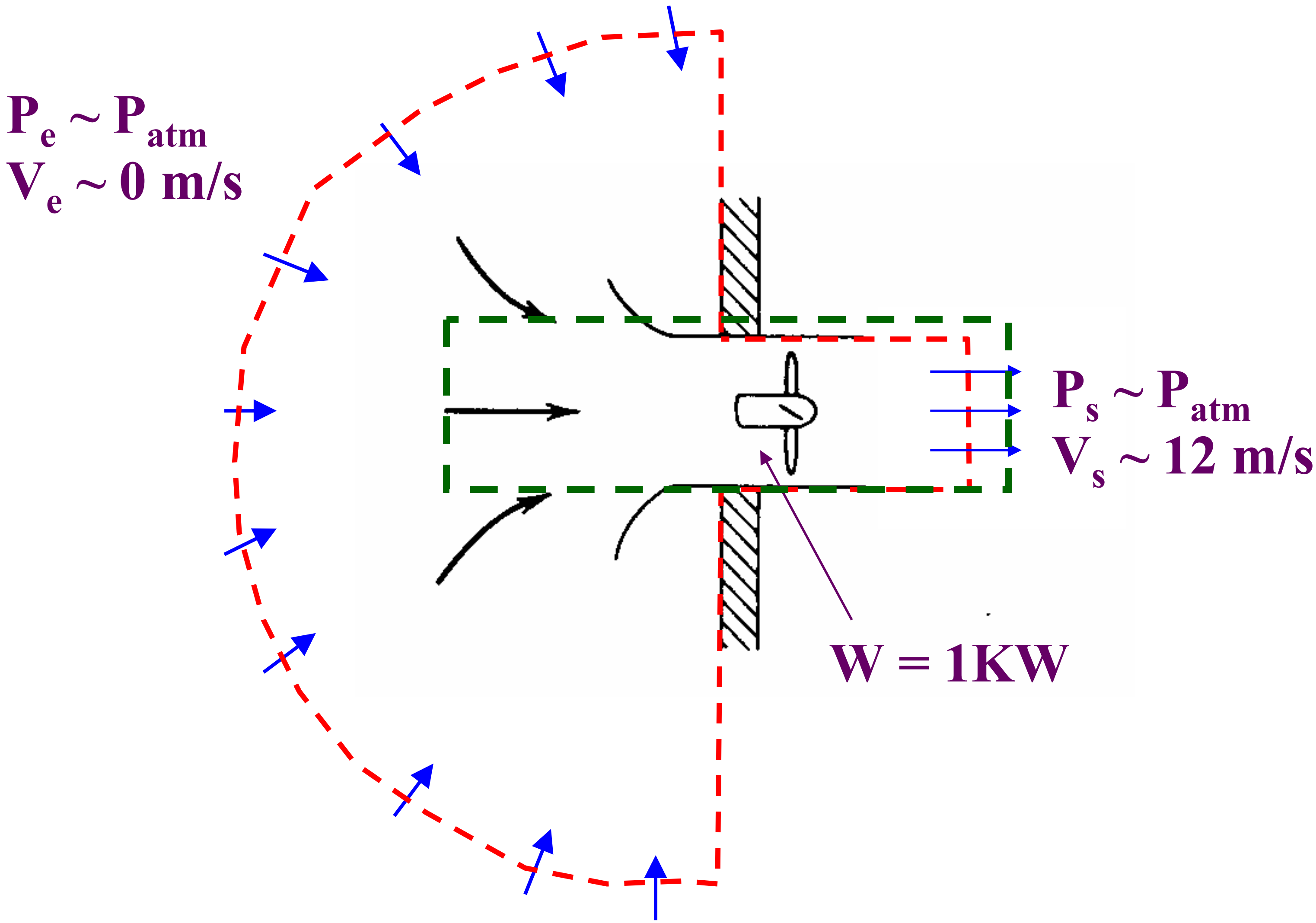
W = 0.988 MW

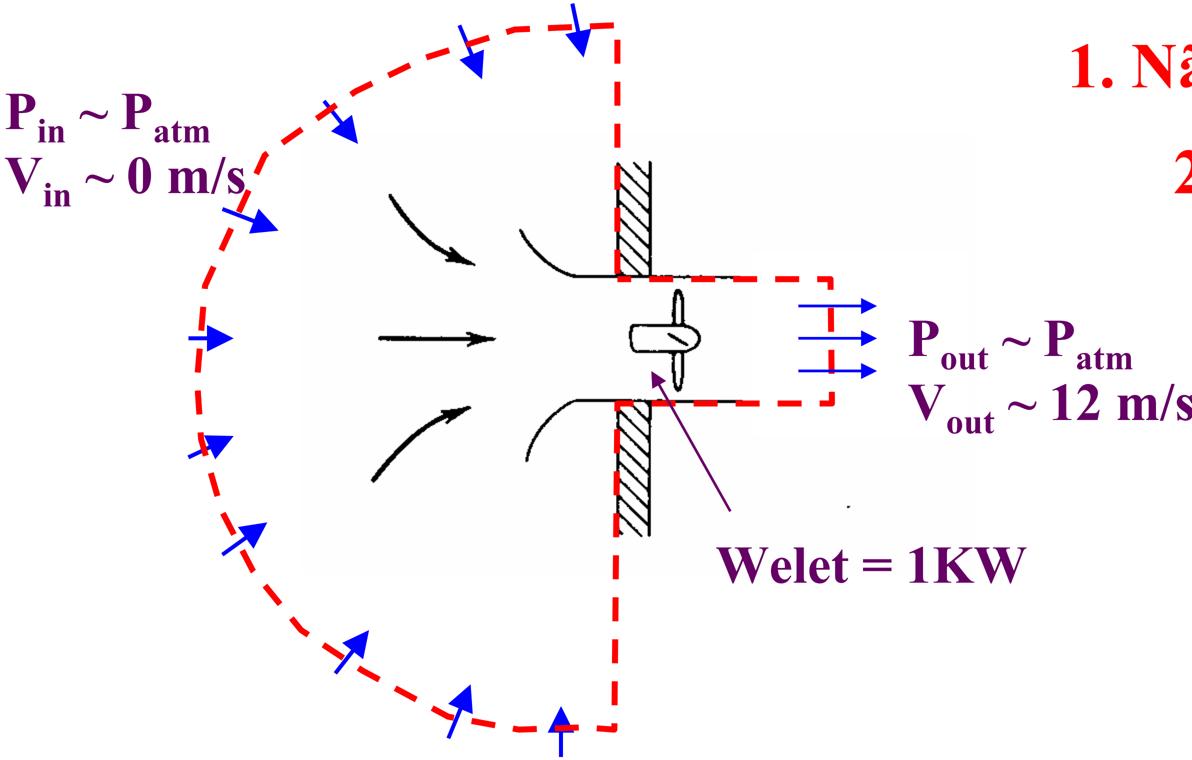
Como é uma bomba Centrífuga?

- **Possuem uma grande faixa de pressão e vazão de operação**
- **Pressões elevadas são atingidas com o aumento da rotação ou do diâmetro do rotor.**



5-31 Um motor elétrico de 1,0 kW é utilizado para acionar um ventilador. O ventilador movimenta uma corrente de ar (temperatura de 300 K) por um canal de 0,75 m de diâmetro com uma velocidade média de 12 m/s. Determine a eficiência do sistema de ventilação se as pressões no ambiente de onde o ar é aspirado e para onde o ar é descarregado são iguais à pressão atmosférica. Veja Fig. P5-31.





1. Não há variação Z;
2. P_{atm} se cancelam;
3. V_{in} é muito pequena!
4. Não há perdas;
5. O que sobrou?

$$\frac{w_{shaft}}{g} = -\frac{V_{out}^2}{2g} \rightarrow W_{eixo} = -\underbrace{\left(\rho_{ar} V_{out} A\right)}_{\dot{m}} \frac{V_{out}^2}{2}$$

O trabalho (potência) que o 'ar' recebeu foi de:

$$W_{eixo} = -\underbrace{\left(\rho_{ar} V_{out} A\right)}_{\dot{m}} \frac{V_{out}^2}{2}$$

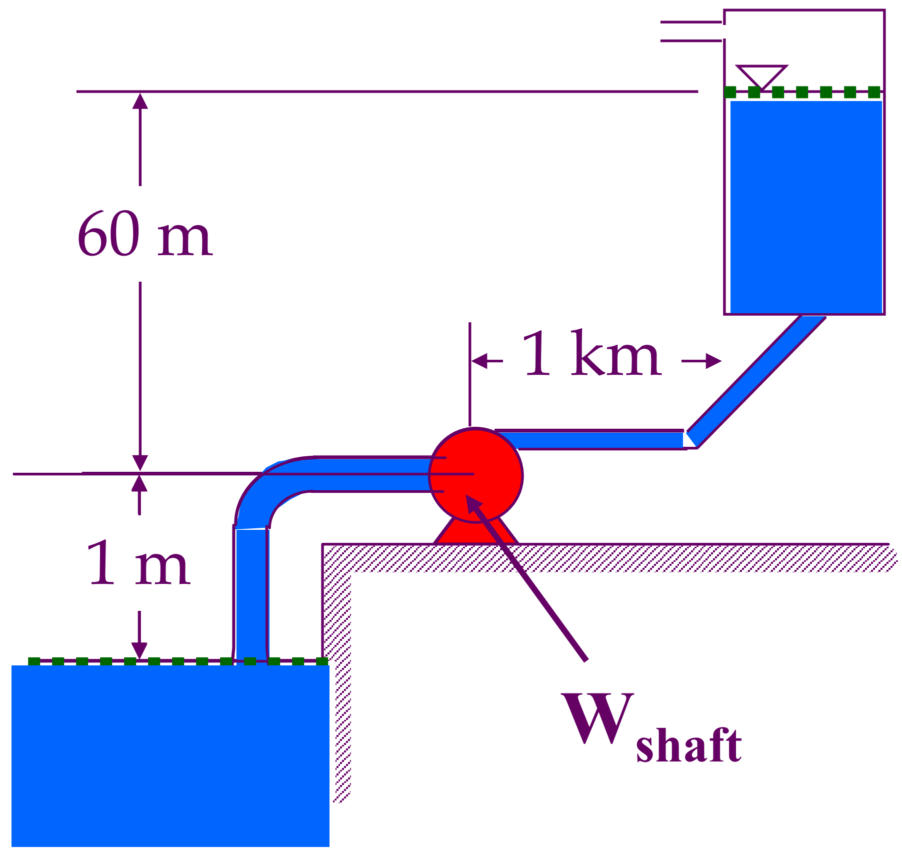
O trabalho elétrico que cruzou a S.C. foi W_{elet}.

Pode-se definir a eficiência do ventilador como:

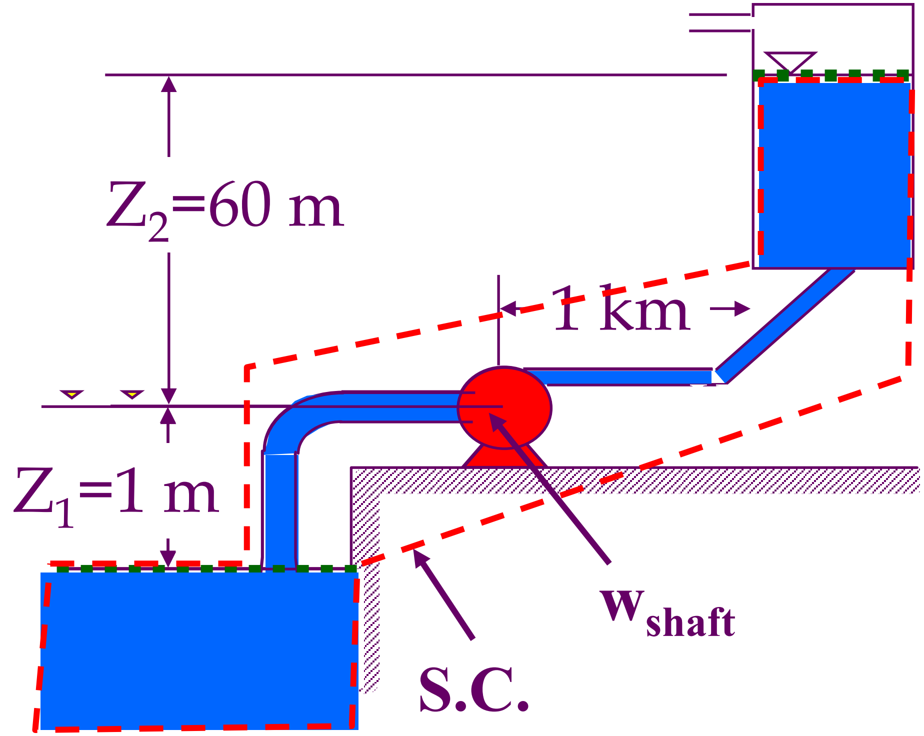
$$\eta = \frac{W_{eixo}}{W_{elet}}$$

CASO PROBLEMA: 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



Qual é a potência necessária para bombear uma vazão Q?



Considerações:

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

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

$$2.\Rightarrow \quad \frac{w_{shaft}}{g} = \left(0 - Z1 + P_{atm}/\rho g\right)_{IN} - \left(0 + Z2 + P_{atm}/\rho g\right)_{OUT} - h_{irr}$$

$$3.\Rightarrow \quad \frac{w_{shaft}}{g} = -\left(Z1 + Z2 + h_{irr}\right) \quad \rightarrow \quad \boxed{\dot{W} = -\dot{m}g\left(Z1 + Z2 + h_{irr}\right)}$$