

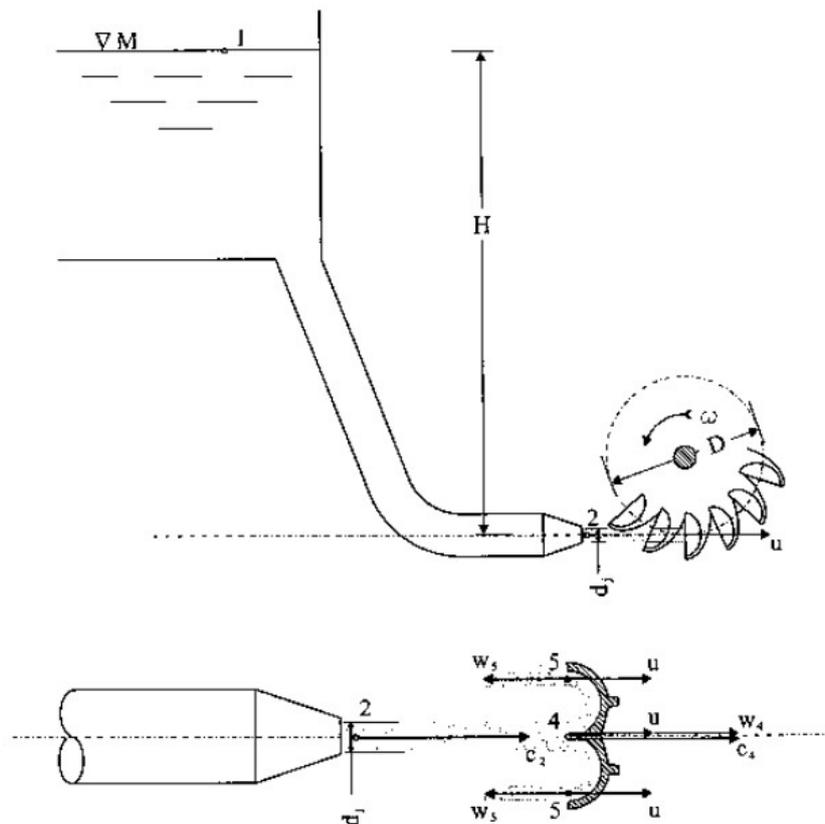
P1 de Máquinas de Fluxo I

Período: 212^a

Aluno: _____ Data: 31/03/22

1ª Questão (3,0) Uma turbina Kaplan ($\rho=1000\text{kg/m}^3$) gera no seu eixo 200MW quando gira à 360rpm e é submetida a uma altura de queda de 100mca. Sabendo que $D_e=4\text{m}$, $D_i/D_e=0,5$, $\eta_i=0,93$, $\eta_r=0,88$, $\eta_a=0,98$, $\eta_m=0,97$, $\mu=0.8$ e $v_{m4}=v_{m5}=v_5$ (para todos os diâmetros do rotor), calcular: (a) Q , em m^3/s ; (b) v_m , em m/s ; (c) u_e e u_i , em m/s ; (d) $w_{p\acute{a}o}$, em J/kg ; (e) v_{u4e} e v_{u4i} , em m/s ; (f) β_{4e} , e β_{4i} , em graus.

2ª Questão (3,5) Uma usina hidroelétrica possui uma altura de queda de 950m e uma vazão disponível de $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$ para acionar uma turbina hidráulica Pelton ($\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$) que deverá girar à 500rpm. Considerando nulas as perdas na tubulação adutora que leva água da barragem até a turbina, e nulas também as perdas na própria turbina ao escoamento para $v_5=0$, calcular: (a) O raio R do rotor Pelton, em m (distância do seu eixo de rotação ao eixo geométrico do jato); (b) o diâmetro d_j do jato d'água incidente, em mm; (c) sua Pe , em kW; (d) o grau de reação teórico ρ_r da turbina. Suponha, agora, que deseja-se construir um modelo de dimensões 10 vezes menores, e submetido a uma queda 5 vezes menor. para o qual deseja-se calcular: (e) sua rotação n , em rpm; (f) sua vazão Q , m^3/s ; (g) sua Pe , em kW;



Representação esquemática da turbina Pelton e seus triângulos de velocidades.

3ª Questão (3,5) Os dados de uma usina hidroelétrica na qual será instalada uma turbina hidráulica ($\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$) são os seguintes: $Q=250\text{m}^3/\text{s}$, $H=70\text{m}$, $D_4=5,5\text{m}$, $n=150\text{rpm}$ e $Pe=240\text{MW}$. Determinar: (a) o tipo da turbina, justificando; (b) o σ_{min} ; (c) o $NPSH_b$ estimado, em mCA; (d) o $H_{sgmáx}$, em mca, supondo o canal de fuga aberto à atmosfera e uma temperatura de descarga $T=35^\circ\text{C}$. Desejando-se agora projetar e ensaiar um modelo reduzido em um laboratório que dispõe de um reservatório de nível constante com queda disponível de 8m vazão de $0,04\text{m}^3/\text{s}$, pergunta-se: (e) D_{4M} , em mm; (f) n_M , em rpm; (g) Pe_M , em W.

ANEXO – Fórmulas, Gráficos e Diagramas

Equação de Euler: $w_{pa} = u_5 v_{u5} - u_4 v_{u4}$ (Geradores) ; $w_{pa} = u_4 v_{u4} - u_5 v_{u5}$ (Motores) ;

Torque no eixo $T_e (J) = P_e (W) / \omega (Hz) = 30 P_e / n \pi$ (SI) ; $T_e (kgm) = 30 \times 75 P_e (CV) / n$ (ST)

Área do Rotor: $Q_{rot} = A_{rot} v_m$ com A_{rot} dada por:

$$A_{rot} = \pi D b \quad (\text{Radial}) ; \quad A_{rot} = \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2) \quad (\text{Axial}) ; \quad A_{rot} = \pi \frac{(D_e + D_i)}{2} b \quad (\text{Semi-Axial})$$

Deficiência de Potência: $w_{pa} = \mu w_{pa_{\infty}}$ (Geradores) ; $w_{pa} = w_{pa_{\infty}}$ (Motores)

Grau de Reação Teórico: $\rho_t = \frac{w_{est}}{w_{pa}} = 1 - \frac{w_{din}}{w_{pa}}$

Efeito de escala: $\frac{1 - \eta_{ip}}{1 - \eta_{im}} = \left(\frac{D_m}{D_p}\right)^{1/4} \left(\frac{H_m}{H_p}\right)^{1/10}$ (Bombas); $\frac{1 - \eta_{ip}}{1 - \eta_{im}} = \left(\frac{D_m}{D_p}\right)^{1/5}$ (Turbinas Francis);

$$\frac{1 - \eta_{ip}}{1 - \eta_{im}} = 0,3 + 0,7 \left(\frac{Re_m}{Re_p}\right)^{1,5} ; \quad Re = \frac{D}{\nu} \sqrt{2 g H_n} \quad (\text{Turbinas Hélice e Kaplan});$$

$$\eta_{ip} = \eta_{im} \quad (\text{Turbinas Pelton}) ; \quad \frac{1 - \eta_{ep}}{1 - \eta_{em}} = 0,5 + 0,5 \left(\frac{Re_m}{Re_p}\right)^{0,2} ; \quad Re = \frac{\pi \omega D^2}{\nu} \quad (\text{Ventiladores})$$

Leis de variação: $\frac{w}{w'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2$, $\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'}$, $\frac{P_e}{P_e'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^3$

Grand. Unitária:(SI) $n_1 = \frac{n}{w^{1/2}}$, $Q_1 = \frac{Q}{w^{1/2}}$, $Pe_1 = \frac{Pe}{w^{3/2}}$;(ST) $n_1 = \frac{n}{H^{1/2}}$, $Q_1 = \frac{Q}{H^{1/2}}$, $Pe_1 = \frac{Pe}{H^{3/2}}$

Bi: $n_{11} = \frac{Dn}{w^{1/2}}$, $Q_{11} = \frac{Q}{D^2 w^{1/2}}$, $Pe_{11} = \frac{Pe}{D^2 w^{3/2}}$ (ST) $n_{11} = \frac{Dn}{H^{1/2}}$, $Q_{11} = \frac{Q}{D^2 H^{1/2}}$, $Pe_{11} = \frac{Pe}{D^2 H^{3/2}}$

Velocidade específica: $n_Q = \frac{10^3 n [rps] Q^{1/2}}{w^{3/4}}$

Seleção de Turbomáquinas:

| Turbina Pelton | $n_Q = 5$ a 70 | Bomba Centrífuga | $n_Q = 30$ a 250 |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Turbina Francis Lenta | $n_Q = 50$ a 120 | Bomba Semi-Axial | $n_Q = 250$ a 450 |
| Turbina Francis Normal | $n_Q = 120$ a 200 | Bomba Axial | $n_Q = 450$ a 1000 |
| Turbina Francis Rápida | $n_Q = 200$ a 320 | Ventilador Centrífugo | $n_Q = 20$ a 330 |
| Turbina Kaplan e Hélice | $n_Q = 300$ a 1000 | Ventilador Axial | $n_Q = 330$ a 1800 |

No. Pólos de Gerador Elétrico Síncrono: $p = \frac{2 f [Hz]}{n [rps]}$

Correlações do coeficiente de Thoma mínimo:

| | | | |
|----------------------------------|--|-----------------------|--|
| Turbina reativa de eixo vertical | $\sigma_{min} = 2,4 \times 10^{-5} n_Q^{1,64}$ | Turbina Hélice/Kaplan | $\sigma_{min} = 0,28 + 2,124 \times 10^{-9} n_Q^3$ |
| Turbina Francis | $\sigma_{min} = 3,95 \times 10^{-6} n_Q^2$ | Bomba Hidráulica | $\sigma_{min} = 2,9 \times 10^{-4} n_Q^{4/3}$ |

Propriedades do vapor d'água:

| T(°C) | p_v (kgf/m ²) | p_v (kPa) | γ (kgf/m ³) | T(°C) | p_v (kgf/m ²) | p_v (kPa) | γ (kgf/m ³) |
|-------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| 15 | 174 | 1,707 | 999 | 65 | 2547 | 24,986 | 981 |
| 20 | 238 | 2,335 | 998 | 70 | 3175 | 31,147 | 978 |
| 25 | 322 | 3,159 | 997 | 75 | 3929 | 38,543 | 975 |
| 30 | 429 | 4,208 | 996 | 80 | 4828 | 47,363 | 972 |
| 35 | 572 | 5,611 | 994 | 85 | 5894 | 57,820 | 969 |
| 40 | 750 | 7,358 | 992 | 90 | 7149 | 70,132 | 965 |
| 45 | 974 | 9,555 | 990 | 95 | 8620 | 84,562 | 962 |
| 50 | 1255 | 12,312 | 988 | 100 | 10333 | 101,367 | 958 |
| 55 | 1602 | 15,716 | 986 | 105 | 12320 | 120,859 | 955 |
| 60 | 2028 | 19,895 | 983 | 110 | 14609 | 143,314 | 951 |

Expressões de NPSH_d: $NPSH_d = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - H_{sg} - H_{ps} + \frac{v_2^2}{2g}$

Expressões de $NPSH_b$: $NPSH_b \approx \sigma_{min} H$ (estimado)

Altura máxima de sucção geométrica ($p_{atm} [kgf/m^2] = 10330 - Z_j [m] / 0,9$)

$$H_{sgmax} = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - \sigma_{min} H - H_{ps} - \frac{v_3^2}{2g} \quad (\text{Bombas}) ; \quad H_{sgmax} = \frac{p_{atm}}{\gamma} - \frac{p_v}{\gamma} - \sigma_{min} H \quad (\text{Turbinas})$$

Curva característica de sistema de canalizações (reg. turbulento):

$$(SI) \quad w = \frac{\Delta p}{\rho} + g \Delta z + K Q^2 \quad \text{com} \quad K = \frac{8}{\pi^2 D^4} + f \frac{8 L_{eq}}{\pi^2 D^5} ; (ST)$$

$$H = \frac{\Delta p}{\gamma} + \Delta z + K' Q^2 \quad \text{com} \quad K' = \frac{K}{g}$$

$$(\text{Bombas}) \quad H = z_d - z_a + H_p = H_G + K' Q^2 ; \quad (\text{Ventiladores}) \quad \Delta p_t = \rho \frac{V^2}{2} + \Delta p_p = K Q^2$$

Diagrama Topográfico Unitário de uma Turbina Hidráulica



Curvas características de ventiladores centrífugos para diferentes valores de β_5 :



Diagrama Topográfico de uma Bomba Hidráulica

