

4.7: EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

4.7.1: EXERCÍCIO RESOLVIDO 3

Um aproveitamento de reação trabalha com uma turbina Francis. Seus dados são apresentados abaixo. Determine para esse aproveitamento:

- 1) Perdas na TOMADA DE ÁGUA.
- 2) Perdas na TUBULAÇÃO DE ADUÇÃO.
- 3) Altura disponível.
- 4) Potência mecânico-hidráulica em cv.

Dados:

$$\eta_C = 0,78; H_{TOP} = 132 \text{ m}; \Delta H_{TA} = 3\% \cdot H_{TOP}; Q = 3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

RESOLVENDO

I: DETERMINAÇÃO DAS PERDAS NA TOMADA DE ÁGUA:

A equação (4.9b) informa que as perdas na tomada de água, em metros de coluna de água, têm a seguinte expressão:

$$\Delta H_{TA} = H_{TOP} - H - \Delta H_{CA} \quad (4.9b)$$

Por outro lado, o exercício fornece dados para a determinação das perdas energéticas na tomada de água em relação à altura topográfica do aproveitamento:

$$\Delta H_{TA} = (3/100) \cdot 132 \quad (e1.1)$$

que resolvida, fornece:

$$\Delta H_{TA} = 3,98 \text{ m} \quad (e1.2)$$

em metros de coluna do fluido a ser transportado que, no caso, é a água.

II: DETERMINAÇÃO DAS PERDAS NA TUBULAÇÃO DE ADUÇÃO:

A equação (4.31) informa que as perdas na tubulação de adução, em metros de coluna de água, para um aproveitamento de ação, têm a seguinte expressão:

$$\Delta H_{CA} = (H_{TOP} - \Delta H_{TA}) \cdot (1 - \eta_C) \quad (4.31)$$

Por outro lado, o exercício fornece dados para a determinação dessas perdas energéticas. Levando esses dados à equação (4.31), resulta:

$$\Delta H_{CA} = (132 - 3,98) \cdot (1 - 0,78) \quad (e1.3)$$

que resolvida, fornece:

$$\Delta H_{CA} = 28,16 \text{ m} \quad (e1.4)$$

em metros de coluna do fluido a ser transportado que, no caso, é a água.

III: DETERMINAÇÃO DA ALTURA DISPONÍVEL DO APROVEITAMENTO DE REAÇÃO:

Como foi explanado em itens anteriores, o ponto D, que serve de ponto de análise para a determinação da potência mecânico-hidráulica de um aproveitamento de reação, situa-se na região de entrada do CARACOL da turbina. Por outro lado, a altura topográfica de um aproveitamento de reação é de determinação mais complexa porque a turbina pode estar "afogada" ou não. Assim, esse ponto D pode estar na cota do ponto F, um pouco acima ou até, um pouco abaixo. Por essa razão, para aproveitamentos de ação ou de reação, a altura disponível é determinada por equações particulares, mas esses detalhes devem ser elucidados ao longo do capítulo que tratará de TUBO DE ASPIRAÇÃO da turbina de reação. Da equação (4.9b), escreve-se:

$$H = (H_{TOP}) - [\Delta H_{TA} + \Delta H_{CA}] \quad (4.9b)$$

Levando à equação (4.9b) os valores obtidos nas equações (e1.2) e (e1.4), resulta:

$$H = (132 \text{ m}) - [3,98 \text{ m} + 28,16 \text{ m}] \quad (e1.5)$$

Resolvendo a equação (e1.5), resulta:

$$H = 99,86 \text{ m} \quad (e1.6)$$

IV: DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MECÂNICO-MOTRIZ DO APROVEITAMENTO DE REAÇÃO:

Tanto para aproveitamentos de ação como de reação, a potência disponível é determinada por:

$$P_{H(CV)} = \frac{1000}{75} \cdot Q \cdot H \quad \text{em cv} \quad (4.55)$$

Levando valores à equação (4.55), resulta:

$$P_{H(cv)} = \frac{1000}{75} \cdot 3 \cdot 99,86 \quad \text{em cv} \quad (e1.7)$$

Resultando:

$$P_{H(cv)} = 3994,4 \text{ cv} \quad (e1.8)$$

que é a potência mecânico-hidráulica do aproveitamento de reação. Ele irá trabalhar com uma turbina FRANCIS.

A turbina Francis, como pode ser visto no capítulo 6, é uma turbina de reação e seu rotor apresenta muitas particularidades ligadas à altura topográfica do aproveitamento.

4.7.2: EXERCÍCIO RESOLVIDO 4

O aproveitamento de reação do exercício anterior trabalha com uma turbina Francis. Seus dados são apresentados abaixo. Determine, para esse aproveitamento:

- 1) Velocidade específica da turbina a ser empregada.
- 2) Velocidade angular do eixo da referida turbina.
- 3) Número de pólos do gerador que será acionado pela mencionada turbina.
- 4) Teça amplos comentários sobre os componentes escolhidos nos itens anteriores.

Dados:

$$\eta_c = 0,78; H_{TOPR} = 132 \text{ m}; \Delta H_{TA} = 3\% \cdot H_{TOPR}; Q = 3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$H = 99,86 \text{ m}$$

Turbina Francis (de Reação)

Rendimento da Turbina: 0,85

RESOLVENDO

I: DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE ESPECÍFICA DA TURBINA FRANCIS:

A Francis é uma turbina de reação, empregada para uma ampla faixa de alturas topográficas e disponíveis. Assim, salvo casos muito particulares, muito específicos, essa turbina é a única que se encaixa no aproveitamento em tela. É uma altura topográfica muito pronunciada para uma turbina KAPLAN

e relativamente pequena para uma turbina PELTON, que é uma turbina de ação.

A velocidade específica da turbina FRANCIS é dada pela equação empírica:

$$n_s = \frac{2300}{\sqrt{H_{TOP}}} \quad (e2.1)$$

Levando valores numéricos à equação (e2.1), resulta:

$$n_s = \frac{2300}{\sqrt{132}} \quad (e2.2)$$

Em que:

$$n_s = 200 \text{ rpm} \quad (e2.3)$$

A tabela 4.1 informa, para:

$$120 \text{ rpm} \leq n_s \leq 200 \text{ rpm} \quad (e2.4)$$

e:

$$50 \text{ m} \leq H \leq 100 \text{ m} \quad (e2.5)$$

Empregar:

TURBINA FRANCIS DOTADA DE ROTOR FRANCIS MÉDIO

Pode-se, assim, observar que o desenvolvimento do exercício, quando seus resultados são comparados com tabelas oriundas da prática consagrada, leva a valores altamente satisfatórios. No capítulo 6, mostra-se o desenho de um ROTOR FRANCIS MÉDIO. A palavra médio está ligada à velocidade rotor específica do rotor sob análise e não ao seu tamanho físico e, tampouco, a sua capacidade de "engolimento".

II: DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE ANGULAR DO EIXO DA REFERIDA TURBINA:

A velocidade angular do eixo motriz da turbina é uma função da velocidade específica do rotor da turbina, da altura disponível do aproveitamento e da potência mecânica da referida.

$$n_s = n_T \cdot \frac{(P_{MT(cv)})^{0,5}}{(H)^{1,25}} \quad (4.56)$$

A potência mecânico-motriz da turbina é determinada a partir da potência mecânico-hidráulica do aproveitamento e essa necessita, para sua

determinação, do rendimento da turbina, que é um dado do exercício. Escrevendo:

$$\eta_T = \frac{P_{MT}}{P_H} = \frac{P_{MT(cv)}}{P_{H(cv)}} \quad (e2.6)$$

Em que:

$$\eta_T \cdot P_{H(cv)} = P_{MT(cv)} \quad (e2.7)$$

Levando valores numéricos à equação (e2.7), resulta:

$$P_{MT(cv)} = 3994,4 \cdot 0,85 \quad (e2.8)$$

Em que:

$$P_{MT(cv)} = 3395,24 \text{ cv} \quad (e2.9)$$

Retornando à equação (4.56), resulta:

$$n_S = n_T \cdot \frac{(P_{MT(cv)})^{0,5}}{(H)^{1,25}} \quad (4.56)$$

Em que:

$$200 = n_T \cdot \frac{(3395,24)^{0,5}}{(99,86)^{1,25}} \quad (e2.10)$$

Efetuada as operações, resulta:

$$n_T = 200 \cdot \frac{(315,67)}{(58,27)} \quad (e2.11)$$

Ou ainda:

$$n_T = 1083,47 \text{ rpm} \quad (e2.12)$$

que é a velocidade angular do eixo da turbina do ponto de vista mecânico-hidráulico. Porém, essa turbina irá acionar um gerador síncrono e, como foi visto no capítulo 2, as máquinas síncronas operam com velocidade absolutamente constante, e essa velocidade é uma função da frequência do sinal a ser gerado e do número de pólos do rotor, que é igual ao número de pólos do enrolamento da armadura. Assim:

$$N_S = \frac{(120 \cdot f)}{p} \quad (e2.13)$$

em rpm. Como o gerador é acoplado ao eixo da turbina, por acoplamento rígido, resulta:

$$N_S = n_T \quad (e2.14)$$

III: DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE PÓLOS DO GERADOR SÍNCRONO:

Como foi ressaltado no capítulo 2, a quase totalidade das turbinas usadas no Brasil e no mundo acionam GERADORES SÍNCRONOS e, para esses geradores, a velocidade angular do rotor é idêntica à velocidade angular do campo girante estabelecido no entreferro do referido. Assim:

$$N_S = \frac{(120 \cdot f)}{p} \quad (e2.13)$$

Por outro lado, a equação (e2.14) informa que, se o gerador está acoplado rigidamente à turbina, escreve-se:

$$N_S = n_T \quad (e2.14)$$

Em que:

$$n_T = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (e2.15a)$$

Para o Brasil, a frequência é constante e igual a 60 Hertz. Levando essa informação à equação (e2.15a), resulta:

$$1083,47 = \frac{120 \cdot 60}{p} \quad (e2.15b)$$

Em que:

$$p = 6,65 \text{ pólos} \quad (e2.16)$$

Como nas máquinas rotativas de estator contínuo, que são as máquinas convencionalmente encontradas operando como geradores, o número de pólos é INTEIRO E PAR, resultam duas possibilidades:

$$p = 6 \text{ pólos}$$

Em que:

$$n_T = N_S = \frac{(120 \cdot 60)}{6} \quad (e2.17a)$$

e:

$$n_T = N_S = 1200 \text{ rpm} \quad (e2.17b)$$

Que é uma solução para a presente colocação de dados, e:

$$p = 8 \text{ pólos}$$

Em que:

$$n_T = N_S = \frac{(120 \cdot 60)}{8} \quad (e2.18)$$

e:

$$n_T = N_S = 900 \text{ rpm}$$

(e.2.19)

que é outra solução para a presente colocação de dados. A solução em que o número de pólos da máquina é igual a seis, do ponto de vista eletromagnético é a melhor, porque o volume da máquina elétrica, para a mesma potência, diminui quando o número de pólos diminui. Assim, operando com seis pólos, a máquina é mais veloz e seu volume, quando comparado com a máquina de oito pólos, é menor.

IV: COMENTÁRIOS:

Observando o andamento do exercício, constata-se que, passo a passo, aproxima-se do problema de especificar uma turbina hidráulica. É muito importante ressaltar que existem situações em que duas ou mais turbinas são soluções para o aproveitamento. No presente caso, praticamente, só a turbina Francis era aconselhável. Se a altura topográfica fosse maior do que a especificada neste exercício, o pesquisador teria a possibilidade real de especificar uma turbina PELTON ou mesmo uma FRANCIS. Se a altura topográfica fosse menor, a "cesta" de escolhas seria muito mais ampla e, também, mais complexa. Passo a passo o leitor irá ganhando mais versatilidade no assunto e sua escolha será mais segura. Volte a estudar a TABELA 4.1. Copie essa tabela em uma folha separada do livro, pois será consultada com frequência.

4.8: EXERCÍCIOS PROPOSTOS

4.8.1: EXERCÍCIO PROPOSTO 1

Um aproveitamento de reação trabalha com uma turbina KAPLAN. Seus dados são apresentados abaixo. Determine, para esse aproveitamento:

- 1) Perdas na TOMADA DE ÁGUA.
- 2) Perdas na TUBULAÇÃO DE ADUÇÃO.
- 3) ALTURA DISPONÍVEL.
- 4) Potência Mecânico-hidráulica em CV.

Dados:

$$\eta_C = 0,86; H_{TOPR} = 54 \text{ m}; \Delta H_{TA} = 3\% \cdot H_{TOPR}; Q = 5 \text{ m}^3 / \text{s}$$

4.8.2: EXERCÍCIO PROPOSTO 2

O aproveitamento de reação do exercício anterior trabalha com uma turbina KAPLAN. Seus dados são apresentados abaixo. Determine, para esse aproveitamento:

- 1) VELOCIDADE ESPECÍFICA da turbina a ser empregada.
- 2) Velocidade angular do eixo da referida turbina.
- 3) Número de pólos do gerador que será acionado pela mencionada turbina.
- 4) Teça amplos comentários sobre os componentes escolhidos nos itens anteriores.

Dados:

$$\eta_C = 0,86; H_{TOPR} = 54 \text{ m}; \Delta H_{TA} = 3\% \cdot H_{TOPR}; Q = 5 \text{ m}^3 / \text{s}$$

H = exercício anterior

Turbina Francis (de Reação)

Rendimento da Turbina: 0,88

4.9: BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA PARA O CAPÍTULO

- Bossi, A. e E. Sexto. (1978). Instalações Elétricas. Hemus Livraria e Editora Ltda. São Paulo, S. P. 1070 p.
- Potess, E. S. (1976). Centrales Eléctricas. Editorial Gustavo Gilli S. A. Barcelona, Espanha. 619 p.
- Quantz, L. (1961). Motores Hidráulicos. Editorial Gustavo Gilli S. A. Barcelona, Espanha. 231 p.
- Macintyre, A. J. (1983). Máquinas Motrizes Hidráulicas. Livros Técnicos Editora - Guanabara Dois. Rio de Janeiro, R. J. 649 p.
- Sarrate, I. L. et al. (1973). Hidráulica, Motores Hidráulicos e Bombas. Editorial Labor. S. A. Barcelona, Espanha. 458 p.
- Schreiber, G. (1987). Usinas Hidrelétricas. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, S. P. 238 p.