

Breve Análise dos Rendimentos de Centrais Hidroeléctricas

António Fernando Coelho Pinto
Engenheiro Técnico (I.S.E.C.)

1. Introdução

A utilização da energia potencial contida em grandes massas de água acumuladas albufeiras das centrais hidroeléctricas é, nos dias de hoje, uma das principais fontes primárias para a produção de energia eléctrica. O projecto e a construção de uma central hidroeléctrica são demasiado complexos para serem abordados num simples artigo. No entanto, uma breve análise dos rendimentos energéticos desse tipo de centrais é simples, resumindo-se em poucas equações.

O presente trabalho tem apenas a pretensão de apresentar um método de análise de rendimentos muito simples, breve e com um certo grau de exactidão, podendo ser utilizado do ponto de vista pedagógico como uma primeira abordagem ao vasto tema da produção de energia eléctrica por via hídrica.

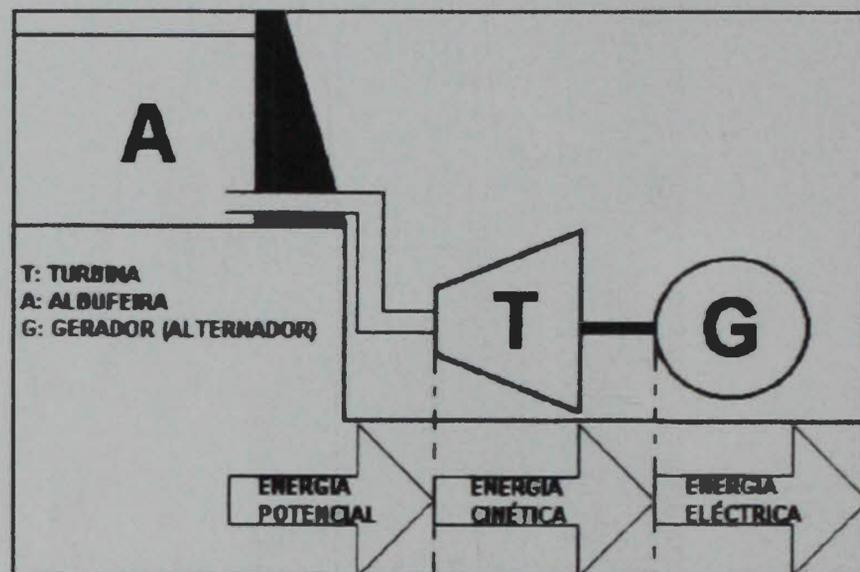


Fig. 1 - Transformação da energia potencial da água numa albufeira em energia eléctrica.

2. Energia Potencial

Começamos por abordar o conceito de energia potencial. A energia potencial contida numa determinada massa de água situada a uma dada altura do solo, é transformada em energia eléctrica. Estas transformações de energia e máquinas intervenientes estão ilustradas na figura 1.

O valor quantitativo da energia potencial (E_p) de uma massa de água (m), situada a uma dada altura de queda útil (h) é dado pela seguinte equação:

$$E_p = m.g.h$$

sendo m : massa de água (kg);
 h : altura de queda útil (m);
 g : aceleração da gravidade, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;
 E_p : energia potencial (J)

3. Potência em jogo

3.1. Potência Hidráulica

Considerando um caudal (Q) em m^3/s como uma massa de água em movimento, e dado que 1 m^3 de água tem 1000 kg de massa de água, o caudal corresponde a uma massa de $1000.Q$ por cada segundo e sendo o quociente entre a energia e o tempo designado por potência, pode-se obter o valor da potência hidráulica (P) de uma massa de água que cai de uma altura (h) utilizando a seguinte equação:

$$P = 1000.Q.g.h$$

onde Q : caudal (m^3/s);
 h : altura de queda útil (m);
 g : aceleração da gravidade, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;
 P : potência hidráulica (W).

Mas, dado que o watt, na prática e à escala industrial, é menor utilizado que o seu múltiplo, o quilo-watt, e sendo $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ temos a potência em kW dada pela seguinte equação, onde já se substituiu o valor da aceleração da gravidade (g):

$$P = 9,81.Q.h$$

sendo Q : caudal (m^3/s);
 h : altura de queda útil (m);
 P : potência hidráulica (kW);

3.2. Potência mecânica da turbina

A potência mecânica (P_m) fornecida pela turbina ao veio do alternador, a partir da transformação da energia potencial em energia cinética, é directamente proporcional ao binário (T) da turbina dado em N.m e a sua velocidade angular (ω) dada em rad/s. O valor quantitativo é dado pela equação

$$P_m = T.\omega$$

sendo T : binário (N.m);
 ω : velocidade angular (rad/s);
 P_m : potência mecânica em (W).

3.2. Potência Eléctrica

A potência eléctrica fornecida pelo alternador trifásico à rede depende da tensão composta (U_c) pretendida ao seus terminais e da corrente debitada (I), bem como do factor potência ($\cos\phi$). O seu valor quantitativo é dado pela equação

$$P_e = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I \cdot \cos\phi$$

sendo U_c : tensão composta (V);
 I : corrente debitada (A);
 $\cos\phi$: factor potência (adimensional);
 P_e : potência eléctrica (W).

4. Análise dos Rendimentos

Depois da abordagem dos vários tipos de potência que estão em jogo na produção de energia eléctrica no processo hidroeléctrico, a análise dos rendimentos de cada uma das máquinas e do sistema no seu todo é simples.

Qualquer rendimento é dado pelo quociente entre a potência fornecida pela máquina e a potência consumida pela mesma.

Com base nesta definição, apresentam-se de seguida os rendimentos da turbina, do gerador e do sistema na sua globalidade.

4.1. Rendimento da Turbina

O rendimento da turbina (η_t) é dado pelo quociente entre a potência mecânica e a potência hidráulica, e o seu valor é apresentado normalmente sob a forma de percentagem como indica a equação seguinte:

$$\eta_t = \frac{P_m}{P} \cdot 100$$

4.2. Rendimento do Gerador (Alternador)

O rendimento do alternador (η_g) é dado pelo quociente entre a potência eléctrica e a potência mecânica, e o seu valor é apresentado normalmente sob a forma de percentagem como indica a equação

$$\eta_g = \frac{P_e}{P_m} \cdot 100$$

4.3. Rendimento Global do Sistema

O rendimento do sistema (η_s) é dado pelo cociente entre a potência eléctrica e a potência hidráulica, sendo o seu valor geralmente apresentado sob a forma de percentagem como se mostra a seguir:

$$\eta_s = \frac{P_e}{P} \cdot 100$$

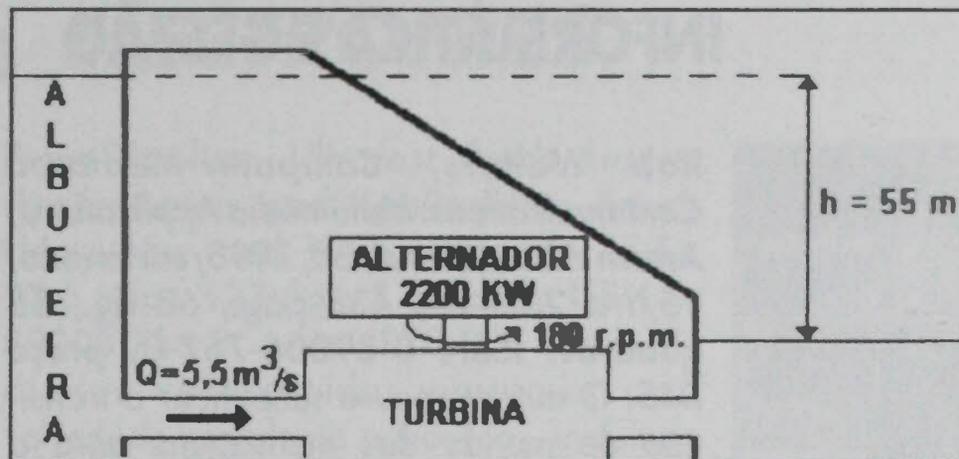


Fig. 2 - Características do aproveitamento hidroeléctrico exemplificado.

5. Exemplo

Como exemplo de aplicação da análise de rendimentos de centrais hidroeléctricas aqui apresentada, vamos resolver o problema a seguir enunciado.

Uma central hidroeléctrica tem uma altura de queda útil de $h = 55$ m e debita um caudal de água para a turbina de $Q = 5,5$ m³/s. A turbina instalada está dimensionada para que o seu veio tenha uma velocidade angular de $\omega = 180$ r.p.m. e um binário de $T = 1,2 \cdot 10^5$ N.m. A potência eléctrica de saída do alternador é de $P_e = 2200$ kW. Com base nestes dados, pretende-se determinar:

- O rendimento da turbina (η_t);
- O rendimento do gerador (η_g);
- O rendimento global do sistema (η_s).

A respectiva resolução será:

■ Cálculo da potência hidráulica;
 $P = 9,81 \cdot Q \cdot h = 9,81 \cdot 5,5 \cdot 55 = 2967,525$ kW

■ Cálculo da velocidade angular em rad/s:
 como 1 r.p.m. = $\frac{2\pi}{60}$ rad/s, então vem
 $\omega = 180 \cdot \frac{2\pi}{60} \cup 18,85$ rad/s

■ Cálculo da potência mecânica:
 $P_m = T \cdot \omega = 1,2 \cdot 10^5 \cdot 18,85 = 2262$ kW

■ Cálculo do rendimento da turbina:
 $\eta_t = \frac{P_m}{P} = \frac{2262}{2967,525} \cdot 100 = 76,2 \%$

■ Cálculo do rendimento do gerador:
 $\eta_g = \frac{P_e}{P_m} = \frac{2200}{2262} \cdot 100 = 97,3 \%$

■ Cálculo do rendimento global do sistema:
 $\eta_s = \frac{P_e}{P} = \frac{2200}{2967,525} \cdot 100 = 74,1 \%$

Note-se que os valores das variáveis caudal, altura de queda útil, velocidade angular e binário da turbina, e potência eléctrica do alternador que entram nos cálculos apresentados não se referem a nenhuma central hidroeléctrica em particular. □