

Geradores de Vapor

4º ano

Aula 8



Perdas de Calor nos geradores de vapor

- Tópicos
 - Balanço de energia
 - Perdas de Calor
 - Método do Balanço Directo
 - Método do Balanço Indirecto
 - Perdas de Calor com Gases Efluentes
 - Perdas de Calor devido a Combustão Incompleta
 - Perdas devido ao Combustível não queimado
 - Perdas de Calor pelo Costado
 - Perdas por Calor Sensível\Rendimento e consumo de combustível

Balanco de Energia

O calor absorvido pelo vapor provém a partir do calor libertado pela combustão do combustível. Por uma variedade de razões, o combustível não queima completamente, e também o calor libertado não pode ser totalmente utilizado. A perda de calor é inevitável. Um equilíbrio térmico mostra o quanto de calor é efetivamente utilizado e quanto é desperdiçado. O propósito de um balanço de calor é identificar as fontes de perda de calor e de encontrar meios para reduzi-los e, assim, melhorar a eficiência da caldeira.



Perdas de Calor

As perdas podem ter duas origens:

- Perdas ocasionais: decorrentes da má operação ou deficiência do projecto ou e do equipamento. Estas perdas devem ser sistematicamente atenuadas ou eliminadas;
- Perdas normais: constantes de cada gerador, pré fixadas pelo projecto, fazendo parte da operação do equipamento.

Na maioria dos casos, as perdas ocasionais procedem da fornalha, seja por má combustão ou por queda de combustível no cinzeiro e outras.



Método do Balanço Directo

Este método é somente empregue em instalações de caldeira em operação, não sendo aplicável ao projecto de novas instalações, uma vez a equação conter duas variáveis interrelacionadas o rendimento térmico do gerador η_v e o consumo do combustível **B**. Além disto como as medições das vazões de vapor, ar e combustível estarem sujeitas a erros significativos, ele não permite o cálculo do rendimento térmico com precisão suficiente nas caldeiras de grande porte.

Este método só é recomendável no cálculo do balanço térmico de pequenas caldeiras, e particularmente nas que são operadas intermitentemente.



O Método do Balanço Indirecto

consiste em determinar o rendimento bruto da caldeira pela soma das perdas de energia; produz um resultado mais preciso que o balanço directo, uma vez que a soma das perdas de energia constitui aproximadamente 10% do Calor Disponível Q_{disp} e todos estes itens poderem ser medidos de maneira fiável. Este é o único método disponível para estimar o rendimento térmico de uma caldeira nova, durante ainda o estágio de projecto.

Uma grande vantagem deste método é a de os erros de medição não produzirem uma alteração significativa no valor da eficiência. Assim, se a eficiência da caldeira for de 90%, um erro de 1% no método directo, resultará numa significativa alteração do valor da eficiência, ou seja, $90 \pm 0.9 = 89,1-90,9$. No método indirecto um erro de 1% na medição das perdas resultará em variação da eficiência da caldeira em $\pm 0,1\%$ ou seja; $100 - (10 \pm 0,1) = 90 \pm 0,1 = 89,9-90,1$



O Método do Balanço Indirecto

Uma parte do calor disponível é **utilizado** para gerar vapor (Q_1) e o restante transforma-se em perdas

$$Q_{disp} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (8.1)$$

O somatório do calor utilizado e das perdas resulta em 100%, daí:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (8.2)$$

Onde:

Q_{disp} – é a soma do Poder Calorífico inferior do combustível, do calor que entra na fornalha com o ar pré-aquecido e do calor do combustível pré-aquecido;

q_1 - é o calor utilizado para a vaporização da água;

q_2 - São as perdas com gases efluentes (de escape);

q_3 - São as perdas por combustão química incompleta;

q_4 - São as perdas por combustão mecânica incompleta;

q_5 - São as perdas pelo costado para o meio ambiente;

q_6 - São as perdas de calor com a escória.



Calor Disponível

O calor total introduzido nas caldeiras a carvão ou a óleo, também chamado Calor Disponível, é dado por:

$$Q_{disp} = Q_i^t + H_c + Q_{ar} + Q_{ac} - Q_d \quad \text{kJ/kg} \quad (8.3)$$

Onde:

Q_i^t — é o valor do poder calorífico inferior, na base obtida;

H_c — é o calor sensível do combustível;

Q_{ar} — é o calor sensível transportado pelo ar quando aquecido por um aquecedor de ar externo;

Q_{ac} — é o calor total do vapor de atomização do combustível;

Q_d — é o calor gasto na decomposição de carbonatos em xisto betuminoso ou calcário alimentado como sorvente, é proporcional à quantidade de CO_2 liberto pela decomposição.



Calor Disponível

O calor sensível do combustível é dado por:

$$H_c = C_{pcomb} \cdot T_{comb} \quad \text{kJ/kg} \quad (8.4)$$

Onde:

C_{pcomb} — é o calor específico do combustível, na base recebida;

T_{comb} — é a temperatura do combustível a saída do queimador ou alimentador.

Tabela 8.1 Calor específico do combustível na base seca kJ/kg°C

Antracite	Bituminoso	Lenhite	Óleo de xisto	Óleo pesado
0,92	1,09	1,13	0,88	$0,415 + 0,0006T_c$



Calor Disponível

O calor sensível do carvão, H_c , pode ser negligenciado se o carvão não for pré-aquecido, mas se sua percentagem de humidade, W^t , exceder $(Q_i/1500)$, é necessário considerar o H_c .

O calor específico do combustível é calculado com base na equação:

$$C_{pc} = C_{pc}^{seco} \frac{100 - W^t}{100} + \frac{W^t}{100} 4,186 \quad \text{kJ/kg} \quad (8.5)$$

Onde

C_{pc}^{seco} - é o calor específico do combustível, na base seca, kJ/kg.

Para diferentes tipos de carvão, é escolhido da Tabela 8.1: O calor específico do combustível, na base seca, às vezes toma-se por aproximação como $2,09 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$



Calor Disponível

O calor sensível transportado pelo ar quando aquecido por um aquecedor de ar externo é calculado como:

$$Q_{ar} = \alpha (I_q^0 - I_a^0) \quad \text{kg/kg}_{comb} \quad (8.6)$$

Onde I_q^0 e I_a^0 são as entalpias de ar teórico (por quilograma de combustível queimado) à entrada do queimador e às condições ambientais, respectivamente. Quando o ar de combustão não é pré-aquecido por um aquecedor de ar externo, $Q_{ar} = 0$.



Calor Disponível

A entalpia de vaporização é calculada a partir de:

$$Q_{ac} = G_v (I_{av} - 2500) \quad \text{kg/kg}_{comb} \quad (8.7)$$

Onde:

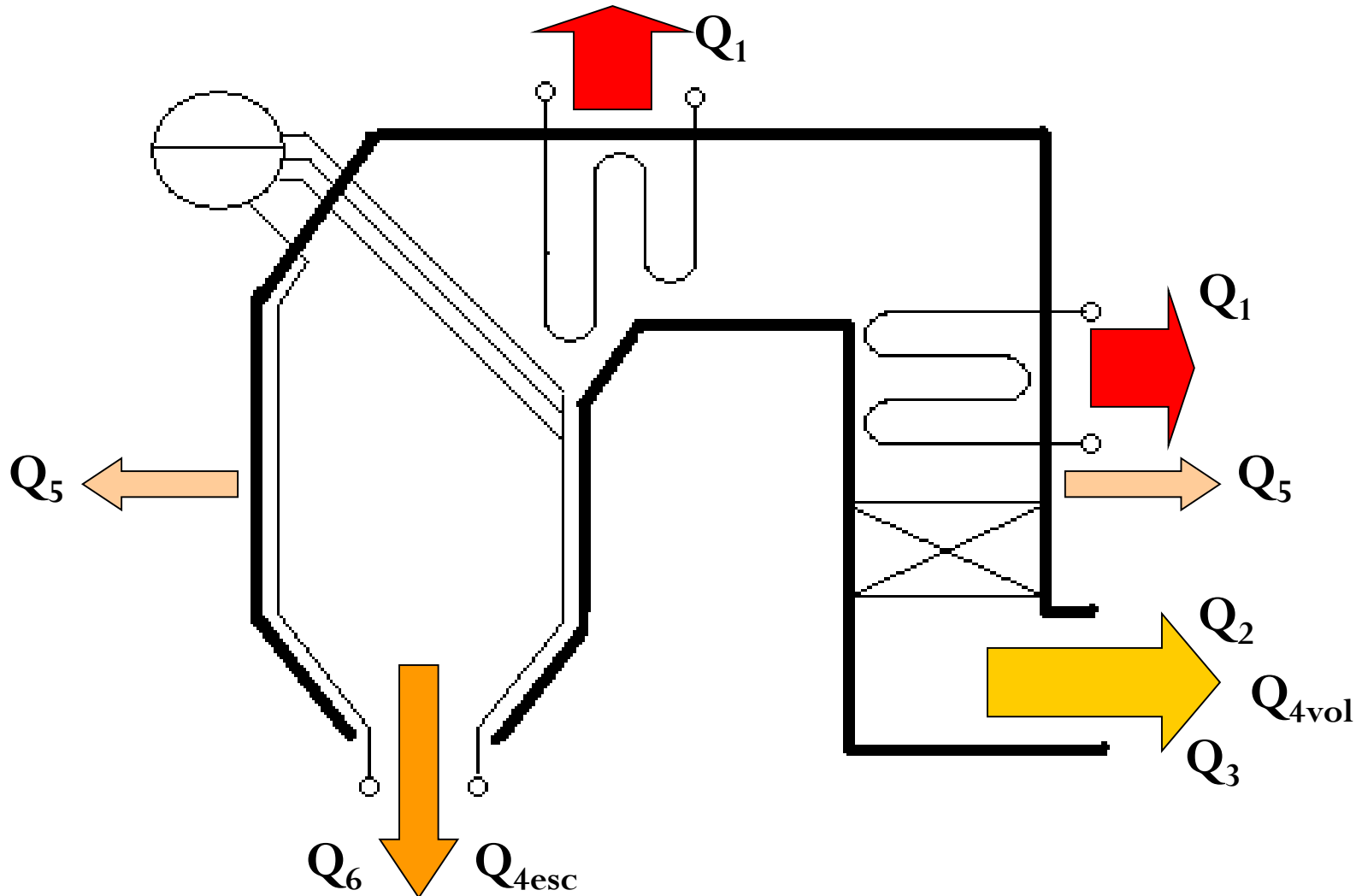
G_v — é o consumo de vapor para a atomização do óleo
(usualmente 0,05-0,1 kg de vapor por kg de óleo)

I_{av} — é a entalpia do vapor de atomização (kJ/kg)

2500 — é a entalpia do vapor nas condições médias de saída do gás de combustão (kJ/kg)



O Método do Balanço Indirecto



Perdas de Calor com os Gases Efluentes (Q_2)

A perda (q_2) aumenta com o aumento da temperatura de saída do gás de escape. Geralmente q_2 aumenta em 1% quando a temperatura de saída do gás de combustão aumenta em 10°C . Por isso é sempre desejável reduzir tanto quanto possível a temperatura de saída do gás de escape. No entanto, quando a temperatura de saída do gás de escape é inferior ao ponto de orvalho, o dióxido de enxofre existente no gás transforma-se em ácido sulfúrico corroendo os metais no interior do aquecedor de ar.

O gás de combustão resultante da combustão de um combustível com alto teor de enxofre deve ter um elevado ponto de orvalho. Portanto, uma caldeira concebida para combustível desse tipo deve ter uma temperatura mais elevada de saída do gás de escape. Para caldeiras de grande porte, a temperatura do gás de escape a saída da chamine é escolhida na gama de $110 - 180^\circ \text{C}$.



Perdas de Calor com os Gases Efluentes (Q_2)

A entalpia do gás de escape da combustão da caldeira é maior que a da entrada de ar de combustão na caldeira. Assim, há sempre uma perda líquida de calor na caldeira. Esta perda é dada por:

$$Q_2 = V_g c_{pg} (T_{wg} - T_{amb}) \quad [\text{kJ/kg}_{\text{comb}}] \quad (8.8)$$

Onde: V_g é o volume dos produtos da combustão ($\text{m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$), c_{pg} o calor específico médio destes produtos, T_{wg} a temperatura de saída da caldeira dos produtos $^{\circ}\text{C}$ e T_{amb} a temperatura externa (a temperatura a que se avaliou o poder calorífico)



Perdas de Calor com os Gases Efluentes (Q_2)

Tabela 8.2 Temperaturas recomendadas do gás de escape

Tipo de Combustível	Capacidade de Geração de vapor G, [t/h]		
	<10	10-20	>20
Sólido como valor $W^t < 4$	140-160	130-150	120-140
Sólido como valor $4 \leq W^t \leq 12$	150-170	140-160	130-150
Sólido como valor $W^t \geq 12$	160-180	150-170	140-160
Mazute	160-180	140-160	130-150
Gás natural	150-170	130-150	120-140



Perdas de Calor com os Gases Efluentes (Q_2)

A fórmula mais usada para o cálculo de q_2 , devido à sua simplicidade, é a 8.5 que se obtém fazendo o balanço térmico em referência a 0°C , e tomando-se em consideração a variação da entalpia dos produtos de combustão em relação ao ar introduzido na caldeira (tanto o controlado como o infiltrado)



$$Q_2 = \left(I_{wg} - \alpha_{wg} I_{amb} \right) \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad [\text{kJ/kg}_{\text{comb}}] \quad (8.9)$$



$$q_2 = 100 \frac{Q_2}{Q_{disp}} = \frac{\left(I_{wg} - \alpha_{wg} I_{amb} \right) \left(1 - \frac{q_4}{100} \right)}{Q_{disp}} 100 \quad [\%] \quad (8.10)$$

Perdas de Calor com os Gases Efluentes (Q_2)

Onde:

I_{wg} - é a entalpia dos gases efluentes (kJ/kg);

I_{amb} - é a entalpia do ar de combustão a temperatura atmosférica (kJ/kg)

$\alpha_{wg} = \alpha + \Delta\alpha$ (sendo α o excesso de ar na fornalha e $\Delta\alpha$ o factor de infiltração através dos diversos elementos da fornalha;

$(100-q_4)/100$ - é um factor de correcção que é devido à diferença entre os consumos de combustível calculado e o real.



Perdas Devido à Combustão Incompleta (Q_3)

Os produtos da combustão podem conter certos elementos gasosos combustíveis tais como o CO , H_2 ou CH_4 . A queima destes componentes após a saída da fornalha é praticamente impossível, uma vez que a temperatura dos gases e a concentração destes elementos combustíveis é muito baixa. A energia que pode ser produzida pela pós-queima destes componentes constitui a perda de energia pela combustão incompleta Q_3 ($\text{kJ/kg}_{\text{comb}}$) calculada pela seguinte expressão:

$$Q_3 = (126,4 \cdot \text{CO} + 108 \cdot \text{H}_2 + 358,2 \cdot \text{CH}_4) V_{gs} (1 - 0,01q_4) [\text{kJ/kg}_{\text{comb}}] \quad (8.11)$$

Onde CO , H_2 e CH_4 , são as concentrações volumétricas dos produtos da combustão incompleta nos gases secos (%), V_{dg} é o volume dos gases secos em ($\text{m}^3/\text{kg}_{\text{comb}}$). $(100-q_4)/100$ factor de correção devido à diferença entre o consumo de combustível calculado e o real.



Perdas Devido à Combustão Incompleta (Q_3)

Uma boa mistura entre o combustível eo ar na fornalha e uma aerodinâmica adequada podem reduzir as perda de combustível. Para a redução da perda de CO, a temperatura da fornalha não deve ser demasiado baixa. A perda de combustão incompleta (q_3) geralmente é pequena.

Tabela 8.3 Valores típicos de perdas devido à combustão incompleta

Combustível	Perdas de calor % q_3
Lenhite	0,5
Carvão betuminoso	0,5-1,0
Carvão pulverizado	0
Antracite	0
Turfa fresada	0
Mazute	0,5
Gás natural e gás de coque	0,5
Gás do alto forno	1,4



Perdas devido ao Combustível não queimado (Q_4)

A perda de energia com o combustível não queimado ($\text{kJ/kg}_{\text{comb}}$) é determinada pela presença de matéria combustível não queimada nas escórias ou cinzas retiradas das fornalhas e as cinzas volantes arrastadas pelos gases. Na queima de combustíveis sólidos esta perda ocorre essencialmente devido à partículas de coque retiradas da zona de combustão com as, escória cinzas ou cinzas volantes. Na queima de combustíveis líquidos ou gasosos, esta perda de energia apresenta-se na forma de partículas sólidas ou de partículas de fuligem, que podem ser formadas nas zonas de combustão de alta temperatura, com deficiência de oxigénio ($\alpha < 0,6$).



A perda de calor, devido a átomos de carbono não queimado depende dos tipos, de fornalha, do combustível, do equipamento de construção do queimador, da carga da caldeira, das condições de operação, da temperatura da fornalha e da mistura ar-combustível.

Perdas devido ao Combustível não queimado (Q_4)

As perdas de calor devido ao combustível não queimado determinam-se de:

$$Q_4 = 3,21A \left(a_{esc+cin} \frac{C_{esc+cin}}{100C_{esc+cin}} + a_{vol} \frac{C_{vol}}{100C_{vol}} \right) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (8.12)$$

Onde $a_{esc+cin}$ e a_{vol} são respectivamente as fracções de cinza do combustível presente nas escórias+cinzas e cinzas volantes (%) e

$C_{esc+cin}$ e C_{vol} são o teor de matéria combustível presente na escória + cinzas e nas cinzas volantes em (%), A o teor de cinzas no combustível (%).



Perdas devido ao Combustível não queimado (Q_4)

Tabela 8.4 Valores típicos de perdas com combustível não queimado

Tipo de fornalha	Tipo de combustível	Perdas de calor $q_4\%$
Com grelha fixa e alimentação manual	Lenhite	6,0-8,0
	Carvão mineral	5,0-7,0
	Antracite	8,0-10,0
Com grelha fixa e alimentador pneumático	Lenhite	5,0-8,0
	Carvão mineral	4,0-7,0
	Antracite	10,0-13,0
Com grelha de cadeia de percurso directo	Lenhite	4,0-5,5
	Carvão mineral	3,0-6,0
Com grelha de cadeia de percurso inverso	Lenhite	3,0-7,0
	Carvão mineral	3,0-8,0
De cuba com cadeia	Turfa	2,0



Perdas devido ao Combustível não queimado (Q_4)

Tabela 8.5 Valores típicos de perdas com combustível não queimado

Tipo de fornalha	Tipo de combustível	Perdas de calor $q_4\%$
Queima de Combustível pulverizado com remoção de escória pelo fundo da fornalha	Carvão bituminoso	$\leq 2\%$
Queima de Combustível pulverizado com em fornalha de fundo seco	Carvão bituminoso	$\leq 3\%$
Queima de queima de combustível pulverizado	Antracite	$\leq 4\%$
Fornalhas a combustível líquido e gasoso		≈ 0



Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

Quando a caldeira está em funcionamento, a temperatura, da superfície externa da fornalha, das condutas de gases de combustão, dos tubos de vapor, e do teto do forno é maior do que a do ambiente. A perda de calor é causada pela transferência de calor entre as superfícies e o ambiente tanto por convecção como por radiação. A perda de calor depende primariamente da área da superfície da parede da fornalha, da camada de isolamento dos tubos e da temperatura do meio ambiente. A perda de calor é calculada de:

$$Q_5 = \frac{A_{bw}}{B_r} (h_c + h_r) (T_{bw} - T_{esc}) \quad [\text{kJ/kg}_{\text{comb}}] \quad (8.13)$$



Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

Onde

A_{bw} - é a área da superfície do costado e demais elementos da caldeira (m^2), h_c e h_r são os coeficientes de transmissão de calor por convecção e radiação (kW/m^2K) e T_{bw} e T_{exc} , são respectivamente as temperaturas médias do costado e meio ambiente da sala de caldeiras $^{\circ}C$.



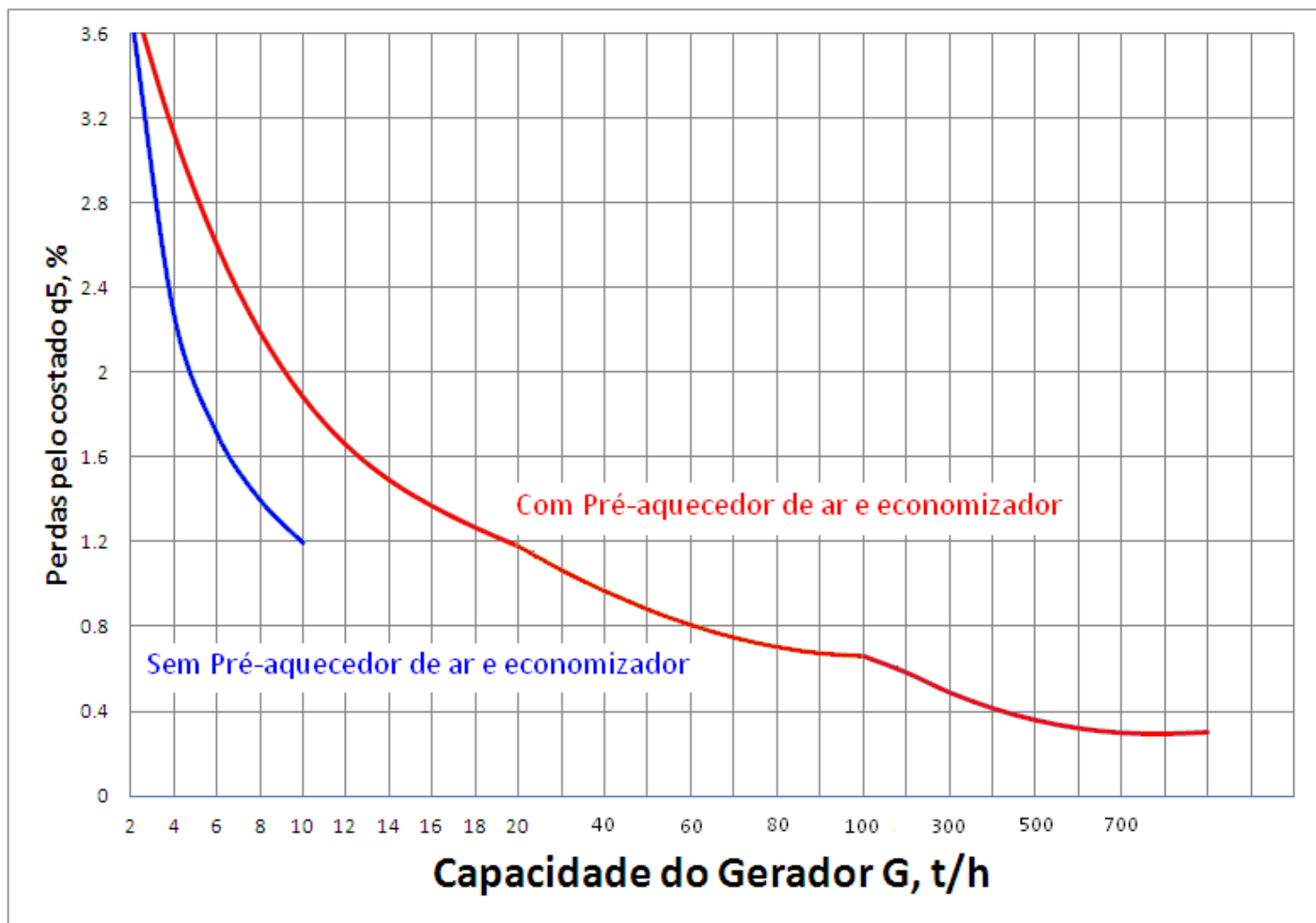
Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

O consumo de combustível é directamente proporcional à capacidade da caldeira, mas a superfície exterior da caldeira não aumenta na mesma proporção. Assim as perdas da caldeira por convecção e radiação (q_5) como percentagem do calor total disponível diminuem com o aumento da capacidade da caldeira. Uma vez que as perdas de calor são muito difíceis de quantificar, elas são obtidas a partir de dados experimentais. Figura 8 mostra valores típicos de perdas pelo costado de Geradores de Vapor Industriais





Gráfico das Perdas pelo Costado (q_5)



Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

Quando uma dada caldeira funciona a baixa carga, a temperatura da sua superfície exterior não se altera muito. Assim, enquanto a perda de calor Q_5 não varia muito, o calor Q de entrada diminui. Portanto, parte da perda de calor q_5' aumenta com a diminuição da carga da caldeira.

$$q_5' = q_5 \frac{D}{D'} \quad (8.14)$$

Onde:

q_5, q_5' - são as perdas de calor nominal e em carga, respectivamente

D, D' - são as capacidades nominal e operacional da caldeira, respectivamente, kg/s



Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

Nos cálculos de caldeiras, as perdas de calor devido à convecção e radiação das superfícies devem ser considerados para cada superfície de cada secção de aquecimento. Para simplificar o cálculo, a diferença entre as temperaturas de projecto e ambiente das diferentes secções dos dutos dos gases de escape é ignorada, e as perdas de calor são atribuídas proporcionalmente à quantidade de calor transferido a partir de cada secção. Sob estas condições, um coeficiente φ , conhecido como **COEFICIENTE DE CONSERVAÇÃO DE CALOR**, é utilizado para calcular estas perdas de calor.



$$j = \frac{\text{Calor transferido da superfície de aquecimento para o vapor ou água}}{\text{Transferência de calor da superfície para a água ou vapor} + \text{Transferência de calor da superfície para o ambiente}}$$

Perdas de Calor pelo Costado (Q_5)

O coeficiente de conservação de calor também é igual à razão entre o calor libertado pelo gás de combustão e o calor absorvido pelo vapor ou água. Se assumir-se ser constante para todas as secções de vapor/água da passagem de gás de combustão, ϕ é dado por:

$$j = \frac{Q_1 + Q_{aqa}}{Q_1 + Q_{aqa}^a + Q_5} \quad (8.15)$$

Onde:

Q_{aqa} — é o calor absorvido pelo aquecedor de ar

Q_1 — é o calor absorvido pela água e vapor

Quando a caldeira não tem aquecedor de ar, ou a proporção de calor absorvido pelo aquecedor de ar é muito pequena em comparação com a absorvida pelo vapor e a água, ϕ pode ser representado como:

$$1 - j = \frac{q_5}{h_v + q_5} \quad (8.16)$$

onde η_v é o rendimento do gerador de vapor



Perdas por Calor Sensível (Q_6)

Quando um combustível sólido é queimado, as cinzas e as escórias, são retiradas da fornalha a uma temperatura bastante elevada (cerca de 600-800 °C). Isto resulta em perdas de calor sensível pelas cinzas e escórias. A perda de calor depende do teor de cinzas no combustível, do Poder Calorífico do combustível e do método de deposição da escória. Para um combustível com elevado teor de cinzas e baixo Poder Calorífico, a perda, q_6 é grande.



Perdas por Calor Sensível (Q_6)

A perda de calor sensível de uma fornalha com remoção de cinzas pela base é maior do que a de uma fornalha com a base seca. Uma caldeira de leito fluidizado utilizando carvão com alto teor de cinzas ou absorventes também perde calor através das cinzas de fundo ou pelo dreno do leito. Assim, para estas caldeiras, esta perda de calor deve ser considerada. Para uma fornalha de queima de carvão pulverizado, esta perda deve ser considerada apenas para carvão com alto teor de cinzas.

$$A > \frac{Q^i}{419} \quad (8.17)$$



Perdas por Calor Sensível (Q_6)

Para uma fornalha com dreno de escória, a perda de calor sensível pode ser calculada por:

$$Q_6 = x_{rm} \frac{100}{100 - C_{cf}} C_{p_c} \times \frac{A}{100} \times T_{esc} \quad \frac{\text{é kJ}}{\text{ê kg}} \quad (8.18)$$

Onde

C_{p_c} - Calor específico de cinzas e escórias, kJ/kg°C

x_{rm} - Fracção de cinzas removidas

C_{cf} - Teor de carbono nas cinzas

A - Percentagem de cinzas no combustível

T_{esc} - Temperatura da escória



Perdas por Calor Sensível (Q_6)

Se a temperatura da escória não for conhecida, pode-se usar as seguintes aproximações:

Tipo de Gerador de Vapor	Temperatura da Escória
Fornalha com com fundo seco	600 °C
Fornalha com remoção de escória de fundo	$T_m + 100$ °C
Fornalha de leito fluidizado com recuperação de calor e com com cinzas refrigeradas	300 °C
Fornalha de leito fluidizado sem refrigerador de cinzas	800 °C



Onde T_m é a temperatura média

Perdas por Calor Sensível (Q_6)

Tabela 8.7 Valores típicos da fracção de cinzas arrastadas x_{cf}

Tipo de fornalha	Com grelha fixa e alimentação manual			Com grelha fixa e alimentador pneumático			Com grelha de cadeia de percurso directo		Com grelha de cadeia de percurso inverso		Fornalhas com extracção de cinzas líquidas			
	Lenhite	Carvão mineral	Antracite	Lenhite	Carvão mineral	Antracite	Lenhite	Carvão mineral	Lenhite	Carvão mineral	Lenhite	Carvão mineral	Antracite	Turfa fresada
Fracção de cinzas arrastadas a_{rr}	0,2	0,15	0,15	0,12	0,1	0,1	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,08-0,2	0,2-0,3	0,2	0,2	0,15



Perdas por Calor Sensível (Q_6)

Tabela 8.8 Valores típicos composição das cinzas x_{cf}

Componente	Bituminoso (%)	Subbituminoso (%)	Lenhite (%)
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
Carbono	0-15	0-3	0-5

TºC	Cp kJ/kgºC
0	0,7955
100	0,8374
200	0,8667
300	0,8918
400	0,9211
500	0,9240
600	0,9504
700	0,9630
800	0,9797
900	1,0048
1000	1,0258
1100	1,0509
1200	1,0960
1300	1,1304
1400	1,1849
1500	1,2228



Rendimento e consumo de combustível

O calor de combustão do combustível é, em parte, absorvido pela água e vapor. O calor utilizado, Q_1 , é calculado a partir de

$$Q_1 = \frac{G_{vs} (I''_{vs} - I_{aa}) + G_{vr} (I''_{vr} - I'_{vr}) + G_p (I' - I_{aa})}{B} \quad (8.19)$$

Onde:

B - Consumo de combustível, kg/s

G_{vs} - Fluxo do vapor superaquecido, kg/s

I_{vs} - Entalpia do vapor superaquecido, kJ/kg

I_{aa} - Entalpia da água de alimentação, kJ/kg

G_{vr} - Fluxo do vapor reaquecido, kg/s

I'_{vr}, I''_{vr} - Entalpia do vapor na entrada e saída do reaquecedor, kJ/kg

G_p - Caudal das purgas de água, kg/s

I' - Entalpia da água saturada à pressão do vapor do tambor, kJ/kg



Rendimento e consumo de combustível

O vapor de purga pode, por vezes, ser de até 5-10% do fluxo de principal vapor numa pequena caldeira. Assim, o calor retirado pelas purgas deve ser considerado. Contudo, numa unidade com condensador de água a purga da caldeira não ultrapassa 1-2% do do fluxo de vapor principal. Assim, a perda de calor pelas purgas pode ser desprezada.

Se o calor fornecido ao vapor (Q_1), o calor de entrada (Q_{disp}), e o consumo de combustível da caldeira (B) forem conhecidos, a eficiência da caldeira pode ser calculada. Alternativamente, se o calor de entrada (Q_{disp}) o calor fornecido ao vapor (Q_1) e o rendimento da η_v) forem conhecidos, o consumo de combustível da caldeira B pode ser calculado.



Rendimento e consumo de combustível

$$\eta_v = \frac{100}{BQ_{disp}} \left[G_{vs} (I''_{vs} - I_{aa}) + G_{vr} (I''_{vr} - I'_{vr}) + G_p (I' - I_{aa}) \right] \quad (8.20)$$

$$B = \frac{100}{\eta_v Q_{disp}} \left[G_{vs} (I''_{vs} - I_{aa}) + G_{vr} (I''_{vr} - I'_{vr}) + G_p (I' - I_{aa}) \right] \quad (8.21)$$

Nos cálculos de combustão, considera-se que o combustível queima completamente. Mas, devido a átomos de carbono não queimado, apenas $(1 - q_4/100)$ kg de 1 kg de combustível alimentado, na verdade, gera calor de combustão. Portanto, o volume total de ar necessário para a combustão propriamente dita e o volume total dos gases de combustão são reduzidas na mesma proporção. Assim, nesses cálculos de volume, a quantidade de combustível deve ser corrigida. Isto é, o consumo real de combustível B deve ser calculado a partir do combustível queimado, B_j .



$$B_j = B_{cl} - \frac{q_4}{100} \frac{\ddot{c}}{\ddot{e}} \quad (8.22)$$

O cálculo do consumo de combustível deve se fazer na base no consumo real de combustível e não na do combustível queimado.