

2298772

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE FORMATURA

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE
EFICIÊNCIA TÉRMICA EM CALDEIRAS

AUTOR: OLÍMPIO DE MELO ALVARES JUNIOR
ORIENTADOR: PROF. SILVIO DE OLIVEIRA JR.

1981

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer do fundo do coração ao professor -
Silvio de Oliveira Junior que com tanta boa vontade, disposição
e bom humor ajudou e orientou na realização deste trabalho.

INTRODUÇÃO

É geralmente frequente nas indústrias que utilizam geradores de vapor d'água, a realização de testes de eficiência nestas unidades, com o objetivo de verificar se os equipamentos funcionam dentro das especificações, aproveitando então ao máximo a energia que lhe é fornecida.

Este trabalho tem por objetivo apresentar ao leitor alguns métodos de cálculo de eficiência, com seus respectivos procedimentos de teste, de uma maneira simples e objetiva, apontando aparelhos envolvidos, melhores maneiras para medições, erros possíveis, etc., visando portanto, uma eventual utilização prática.

CAPÍTULO I

1. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA PELO MÉTODO DIRETO

2. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA PELO MÉTODO INDIRETO

Neste capítulo, analisaremos 2 métodos de determinação da eficiência térmica de um gerador de vapor d'água apresentados no livro: "Energy Saving by Increasing Boiler Efficiency", editado por L.H.Yaverbaum, 1979, New Jersey, USA.

1. Procedimento do Teste para o Método Direto.

A caldeira deve ser testada em diferentes vazões de vapor, que variam entre si de 10% da capacidade nominal da caldeira.

O seguinte procedimento é recomendado:

- 1) Instalar instrumentos calibrados de acordo com as figuras 1 e 2.
- 2) A caldeira deve estar funcionando por uma hora com a carga desejada antes do início do teste.
- 3) Marca-se o nível da água na caldeira
- 4) Realiza-se um teste de duração de aproximadamente uma hora, -
lendo:
 - temperaturas a cada 10 minutos;
 - pressões a cada 10 minutos;
 - vazões a cada 15 minutos ou a vazão total durante todo o -

- teste.

- 5) Parar o teste quando o nível da água na caldeira estiver na mesma posição do início do teste .

É importante que as vazões, temperaturas e pressões - se mantenham praticamente constantes durante o teste, o que nos garantirá um mínimo de incertezas ao avaliarmos os resultados do teste.

- Método de Medição, Instrumentos e Técnicas

Para obter-se desempenho ótimo em uma caldeira, temos que definir os métodos necessários para a obtenção da relação ótima ar/combustível. O método mais econômico e confiável de determinação da relação de combustão de um sistema em situação industrial é a análise dos produtos na saída. Efeitos de infiltração de ar, - desta maneira, são levados em consideração.

Note-se que a observação visual da chama serve de acelerador para o processo de ajuste da relação ar/combustível.

As medições de vazão poderão ser feitas mediante uso de venturi, bocais de vazão, rotômetros, etc.

Desde que a análise dos gases de saída é o método - mais recomendável para a determinação da relação de combustão, é - importante que conheçamos a significância dos produtos de combustão. Os produtos de combustão contêm CO_2 , N_2 e vapor d'água.

A figura 3 mostra a análise em base seca dos produtos da combustão de gás natural para vários valores da relação ar/combustível.

A figura 4 mostra a mesma análise para o propano. Vapor d'água não aparece em tais análises, devido ao fato de que é condensado durante a retirada da amostra.

Um queimador devidamente ajustado deve operar com um pequeno excesso de ar nos produtos. Esta quantidade deve ser preferencialmente entre 2,5 e 5% e não deve exceder a 10%. Consequentemente, os produtos conterão entre 0,5 e 1% de oxigênio, nunca excedendo a 2%.

A ausência de oxigênio nos produtos de combustão não significa, é claro, condições estequiométricas de reação. Portanto, quando observa-se ausência de O_2 nos produtos, ajustes devem ser feitos no sentido de se detectar pequenas quantidades desta substância nos produtos, o que indica operação próxima da reação estequiométrica.

A situação ideal, entretanto, é medir-se pelo menos 2 dos constituintes dos produtos. Isto permite a obtenção imediata e exata da relação ar/combustível. Os sistemas de medições descritos na tabela 1 são sugeridos.

TABELA 1

sistema de medida	vantagem	desvantagens
Medição apenas de oxigênio	É necessário apenas um instrumento para medição.	Condições estequiométricas - não são definidas
Medição de oxigênio e combustível	Um só instrumento poderá medir ambos oxigênio e combustíveis	
Medição de oxigênio e dióxido de carbono	Define perfeitamente as condições de combustão.	2 instrumentos são requeridos.
Medição de oxigênio e monóxido de carbono	Define perfeitamente as condições de combustão.	2 instrumentos são requeridos
Medição apenas de dióxido de carbono.	Apenas 1 instrumento é requerido.	Informações sobre o combustível e equilíbrio dos gases do produto definem condições estequiométricas.

Os aparelhos listados na tabela 2 são considerados de boa aplicação para ajustes da relação ar/combustível.

TABELA 2

Aparelho	Medidas	Observações
Analizador Orsat	CO ₂ , O ₂ , CO, H ₂ e CH ₄ N ₂ por diferença.	Absorção relativa dos constituintes por reação química.
Teste de Calor (Heat prover)	O ₂ , porcentagem de combustível.	Mede O ₂ por princípio paramagnético - ou reação eletroquímica.
Analizador de O ₂	O ₂	Mede O ₂ por princípios paramagnéticos ou princípios eletroquímicos.
Analizador infra-vermelho	CO, CO ₂ ou C H ₄	Mede a quantidade absorvida da radiação infravermelha - por determinado gás, que é proporcional à concentração deste gás.
Absorção de gás	O ₂ ou CO ₂	Trabalha de forma semelhante ao analisador Orsat, porém apenas um constituinte é medido em cada unidade.

Os fabricantes dos aparelhos de medição vão sempre - nos definir claramente os instrumentos e procedimentos corretos - para a obtenção de medidas representativas. Em grande parte dos casos, ajustes de pressão no queimador são necessários e esta medida deve ser feita em posição correta.

Devido à baixa pressão, a medida mais aplicável e - econômica deve ser feita com o manômetro inclinado. O problema da alta temperatura envolvida no processo, pode ser resolvido com o uso de tubo de metal liga que se estende do ponto de tomada de - pressão no interior do forno a aproximadamente 1,5m para fora des - te. A ele será ligado outro tubo, porém flexível que estará liga - do ao manômetro.

Uma vez que a pressão no queimador está ajustada, a retirada das amostras dos produtos de saída devem começar. Em adi - ção aos instrumentos de medição citados anteriormente, tubos de metal liga, tubos de borracha, provador de cerâmica, serão neces - sários para conduzir os gases do produto ao instrumento. Cuidados devem ser tomados para assegurar condições de não vazamento.

Dos cinco instrumentos indicados pela tabela 2, ape - nas os "HEAT provers", os analisadores de O_2 e os analisadores - infravermelhos, requerem amostragem contínua. Uma bomba de amos - tragem é usualmente parte integrante do instrumento. Se a bomba - ali não constar, uma deve ser incluída. Se um medidor de vazão - não for parte integrante do instrumento, da mesma forma um deve - ser providenciado. Para evitar acúmulo de sujeira, carbono e umi - dade no instrumento, é sempre desejável o uso de um filtro na li - nha entre queimador e instrumento.

A retirada de amostras dos produtos de saída para medições com Orsat e unidades de absorção não consiste em processo contínuo. Geralmente, bombas, filtros e medidores de vazão não são requeridos com estes instrumentos. As amostras são colocadas nos instrumentos por ação de bombeamento inerente da operação do sistema.

O ponto de tomada de amostra é fator muito importante do processo. Cuidados devem ser tomados para que se assegure amostras representativas das condições reais. O melhor ponto está no começo da tubulação de saída dos gases, ou em algum ponto do forno onde os gases estão bem misturados. É conveniente remarcar que melhores amostras são obtidas com a caldeira trabalhando em carga máxima.

- Cálculo da Eficiência pelo Método Direto

A eficiência térmica de uma caldeira é definida pelo método direto como:

$$\eta = \frac{\dot{M}_v (h_{5a} - h_4)}{\dot{M}_c (PCS)} \quad (1)$$

onde:

PCS = poder calorífico superior do combustível (kcal/kg)

h_4 = entalpia da água na entrada da caldeira (kcal/kg)

h_{5a} = entalpia do vapor que deixa a caldeira (kcal/kg)

\dot{M}_c = vazão em massa do combustível (kg/h)

\dot{M}_V = vazão em massa do vapor (kg/h)

$$\dot{M}_V = \dot{M}_{H_2O} - \text{Purga}$$

\dot{M}_{H_2O} = vazão em massa de água que entra na caldeira

Purga = vazão em massa da água não transformada em vapor

η = eficiência da caldeira.

Sem a existência de "PURGA", as medidas necessárias são:

Para água entrando na caldeira

- Vazão em massa, \dot{M}_{H_2O}
- Temperatura, T_4
- Pressão, P_4

Para vapor que sai da caldeira

- Temperatura, T_{5a}
- Pressão P_{5a} ou título x_{5a} , se o vapor estiver saturado.

Para o combustível

- Vazão em massa, \dot{M}_C
- Temperatura, T_1
- Pressão, P_1
- Poder calorífico superior, PCS.

O poder calorífico superior é usualmente obtido, mandando-se amostra convenientemente retirada a um laboratório de análise de combustível.

A eficiência pode ser calculada então, usando-se a equação | 1 | e as medidas acima.

- Precisão dos Instrumentos

Erros associados aos instrumentos de medição estão sempre envolvidos nos cálculos de eficiência de uma caldeira. Assim sendo, mesmo que os instrumentos usados na obtenção das medidas tenham boa precisão, grandes erros cumulativos resultarão ao longo de todo processo de cálculo. É então importante que as medidas sejam tomadas com o máximo de precisão, para que os resultados tenham suficiente representatividade.

- Precisão dos Cálculos e Efeitos

A eficiência de uma caldeira pode ser dada pela equação (1). Pode-se notar nesta equação que quatro dados de medida (\dot{M}_V , Δh_{H_2O} , M_C e PCS) e seus erros associados formam uma expressão que descreve a eficiência da caldeira.

A relação entre o erro percentual associado com qualquer um dos quatro fatores determinantes e a eficiência da caldeira é apresentada pela figura 5. Note que o eixo das abcissas é o erro percentual associado com uma só quantidade (\dot{M}_V , M_C , Δh_{H_2O} ou PCS) com as outras três assumidas 100% precisas.

Por exemplo, com $\pm 2\%$ de precisão associado ao PCS, para eficiência de 80% da caldeira, observa-se que podemos esperar um erro de $\pm 1,6\%$ no valor calculado da eficiência da caldeira. Como as precisões das outras três quantidades são determináveis pelo mesmo processo, são elas então combinadas de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{erro combinado} = \sqrt{(\text{erro } \dot{M}_V)^2 + (\text{erro } \dot{M}_C)^2 + (\text{erro } \Delta h_{H_2O})^2 + (\text{erro PCS})^2}$$

- Análise Individual dos Erros

Medidores de Vazão:

A precisão dos instrumentos de medição de vazão são dadas como porcentagem da vazão real ou como porcentagem da vazão máxima. Os instrumentos que tem seu erro baseado no valor real da vazão tem geralmente melhor precisão que aqueles que tem seu erro fixo, independentemente do valor real da vazão.

Assim sendo, com um instrumento que indica erro de $\pm 1/2\%$ do valor real da vazão, pode-se entrar na figura 5 diretamente e predizer, para uma eficiência de 80%, um erro de $\pm 0,4\%$ na eficiência.

A figura 6 pode ser usada para determinação do erro percentual associado com as medições da vazão com o segundo tipo de medidor (de erro fixo)

- Variação da Entalpia, Δh_{H_2O} :

A entalpia da água na entrada e na saída da caldeira é função de temperatura e pressão em cada estado. Com estes dois parâmetros conhecidos, a entalpia do líquido ou do vapor pode ser obtida pelas Tabelas de Vapor.

A entalpia da água na entrada da caldeira é assumida como a do líquido saturado àquela temperatura, portanto, a pressão não é o fator determinante. O erro associado com as medidas de temperatura da água que entra na caldeira, geralmente causa pequenos erros na entalpia.

Na saída do vapor, entretanto, temperatura e pressão são necessárias para a determinação da entalpia, se o vapor é superaquecido. Os erros em Δh_{H_2O} versus o erro percentual das medidas de pressão e temperatura são indicados na figura 7. Esta figura claramente indica que as precisões usuais das medidas de pressão e temperatura tem pequeno efeito sobre a precisão de Δh_{H_2O} .

- Poder Calorífico Superior:

Amostras de combustível são analisadas em laboratório para a determinação do poder calorífico superior. Desta maneira, valores podem ser obtidos com precisão especificada pelo teste de laboratório. Valores típicos são insuficientes para o cálculo

lo da eficiência com precisão necessária.

A tabela 3 mostra instrumentos para testes em caldeiras.

TABELA 3

Instrumentos para o Método Direto			
Instrumento	Descrição	Máximo Erro permitido	Uso
Medida de vazão	Tipo Turbina	$\pm 0,25$ da vazão	Medidas de combustível, água de alimentação e vazão.
Termopar	Tipo K Cromo-Alumínio	± 2 °C	Medidas de temperatura da água, combustível.
Medida de Pressão	Hiess Gauge	$\pm 1/2\%$ da pressão total.	Mede pressão do combustível e da água de alimentação.

2. Procedimento do Teste para o Método Indireto

Como no método direto, a caldeira deve ser testada em várias condições de operação. As seguintes recomendações sobre o procedimento do teste são sugeridas:

- 1) Instalar instrumentos calibrados (figura 8)
- 2) Operar a caldeira em carga nominal, por aproximadamente uma hora antes de fazer os testes.
- 3) Fazer análise Orsat nos gases de saída
- 4) Retirar amostra do combustível medindo sua temperatura e composição química.
- 5) Dados relativos a:
 - a) Temperatura, pressão e umidade relativa do ar na entrada
 - b) Temperatura e composição química dos gases na saída
 - c) Composição química do combustível.

Vazões e temperaturas devem permanecer essencialmente constantes durante o teste.

Os métodos de medição, aparelhos e técnicas envolvidos no cálculo da eficiência da caldeira pelo método indireto - são análogos aos do método direto.

- Cálculo da Eficiência pelo Método Indireto

Este método exprime a eficiência da reação de combustão na caldeira:

$$\eta = \frac{h_{\text{produtos}} - h_{\text{reagentes}}}{P C S}$$

onde:

h_{produtos} = entalpia dos produtos de combustão por kg de combustível

$h_{\text{reagentes}}$ = entalpia dos reagentes por kg de combustível

- Resumo das Medidas Requeridas

Ar de Combustão

Temp. (°C)	Pressão (kgf/cm ²)	Umidade %
------------	--------------------------------	-----------

Gases de saída

Composição (porcentagem molar)				Temp. (°C)
CO ₂	CO	O ₂	Outros	

Propriedades do Combustível

Composição (porcentagem molar)							PCS($\frac{\text{kcal}}{\text{Kg}}$)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Composi- ção equi- valente ao hidro- carboneto	
*	α	N_2	H_2O	O_2	C	H_2	S_2	CO_2	C_A	H_B
									A	B

* Moles do hidrocarboneto equivalente.

As medidas necessárias são:

- Para o ar:
 - temperatura, T_2
 - umidade realtiva, ω_2
 - pressão, P_2

- Para os gases de saída:
 - temperatura, T_s
 - composição

- Para o combustível:
 - temperatura, T_1
 - composição
 - PCS
 - pressão, se gasoso

O poder calorífico superior e a composição química do combustível são preferivelmente obtidos pelo envio de amostras a um laboratório de análises.

A umidade relativa do ar de combustão pode ser determinada medindo-se as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido da sala em que se encontra a caldeira.

A eficiência da combustão da caldeira pode ser calculada usando-se a equação (2) e as medidas acima relacionadas.

- Análise dos Erros

As variáveis consideradas na análise dos erros - são CO_2 , CO , O_2 e temperatura de saída dos gases. Estas variáveis foram escolhidas porque são as mais significativas no cálculo da eficiência.

O método de análise é essencialmente o mesmo que no método direto. O erro esperado para a eficiência é tomado como - sendo a raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros individuais.

A figura 9 mostra o tamanho relativo dos erros de - uma única medida. A única composição variável significativa é o - CO_2 , desde que é a maior medida e contribui significativamente na entalpia dos produtos de combustão.

A figura 10 mostra o efeito combinado de todas as - três composições variáveis. Como esperado, os efeitos dos erros - seguem de perto o efeito do erro do CO_2 quando considerado isoladamente.

Quando se estima o erro da eficiência, deve ser no-

tado que, geralmente o erro de saída aumenta. Assim sendo, as curvas de erro da eficiência mostram maiores valores para maiores valores da temperatura.

- Tipos de Instrumentos

A tabela 4 mostra os instrumentos usados na determinação da eficiência da caldeira.

TABELA 4

Instrumentos para o método indireto

Instrumentos	Descrição	Máximo erro permitido	Uso
Analizador dos gases de saída.	Analizador Orsat	$\pm 1\%$ do volume real	Mede CO_2 , CO e O_2
Analizador de O_2	Hagan Cell	$\pm 4\%$ do volume real	Mede O_2 na saída dos produtos.

Figura 1

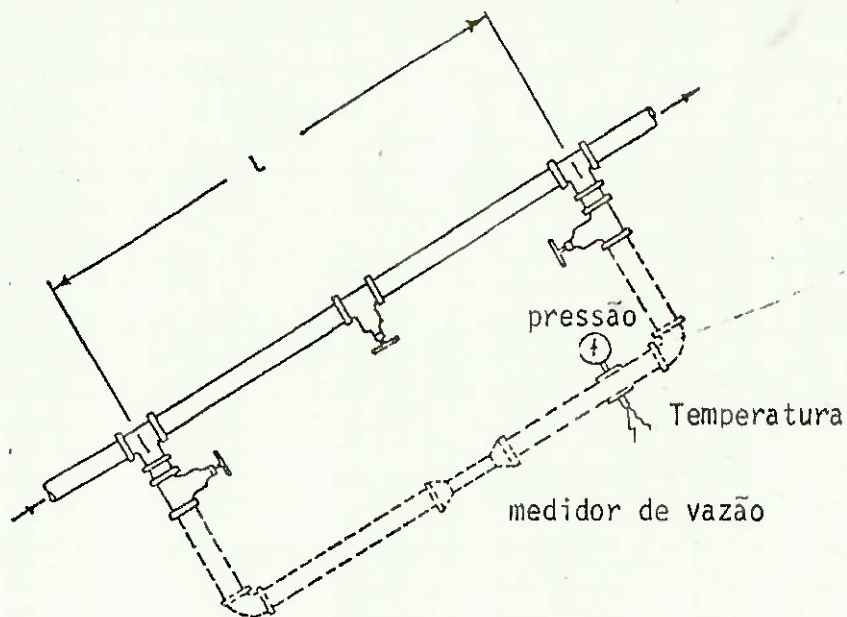


Figura 2

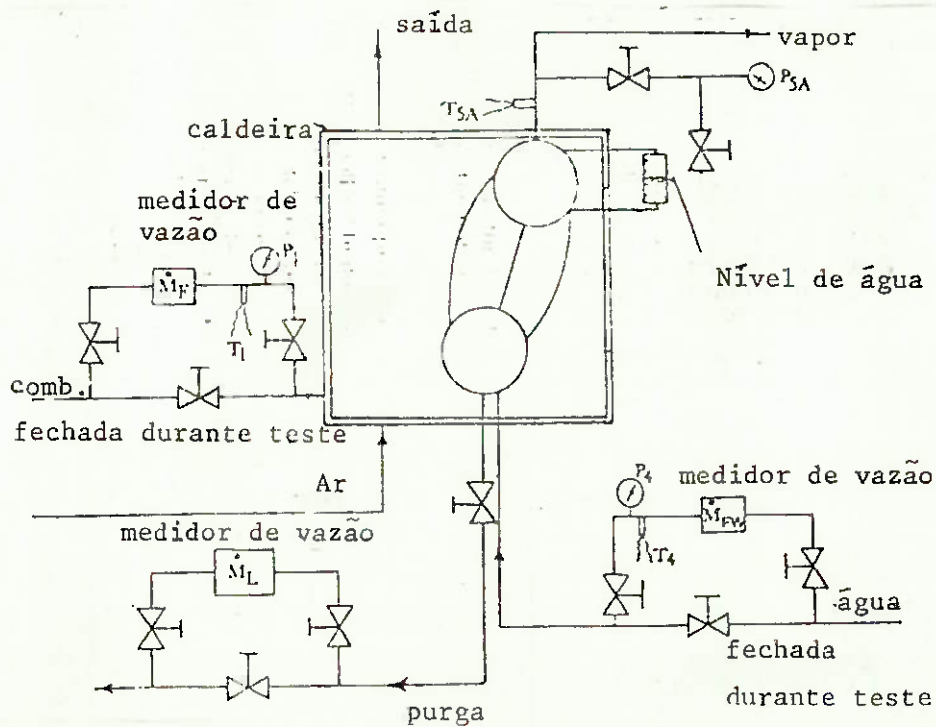


Figura 3

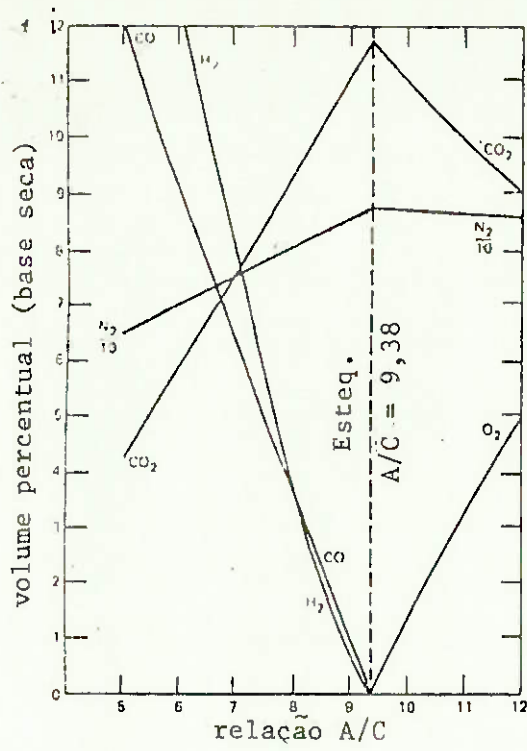


Figura 4

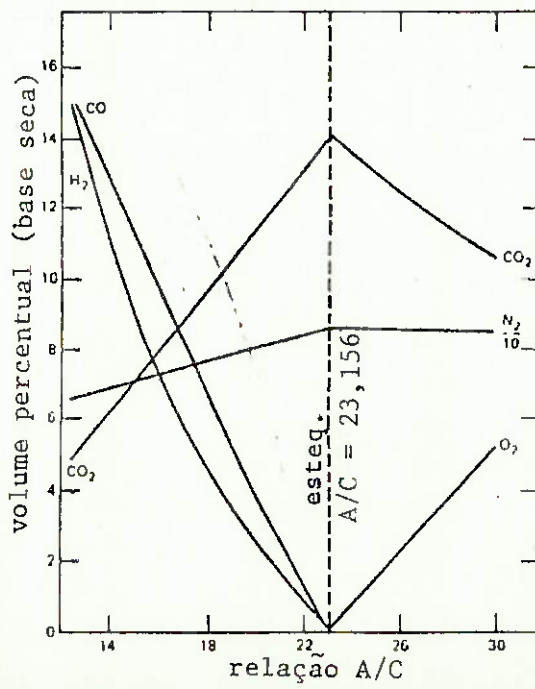


Figura 5

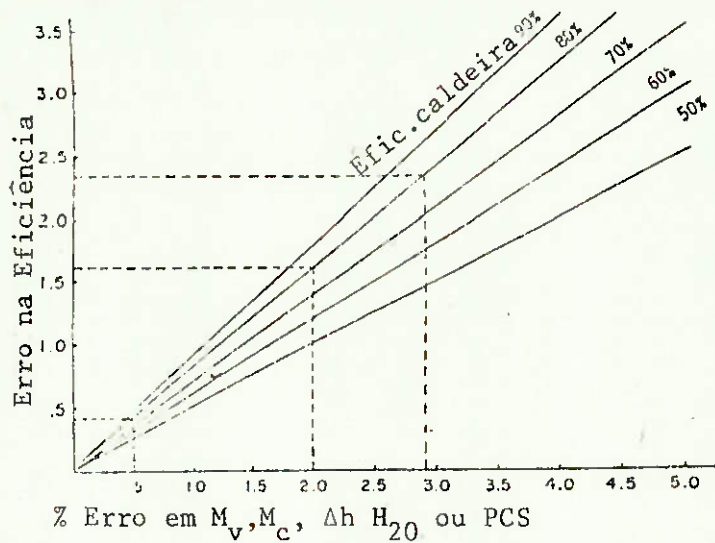


Figura 6

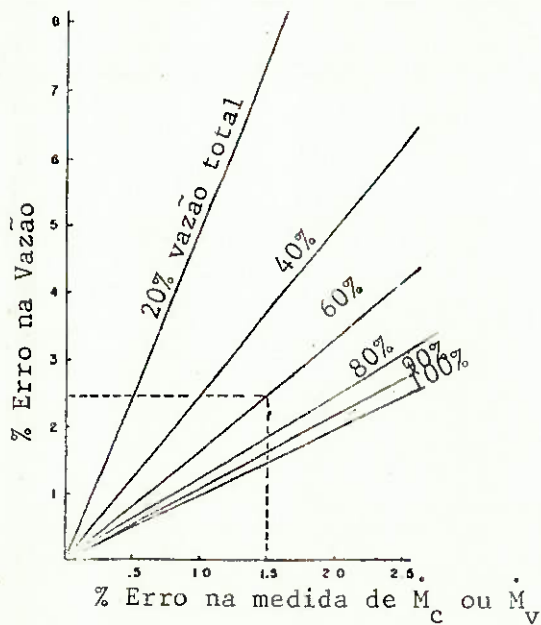


Figura 7

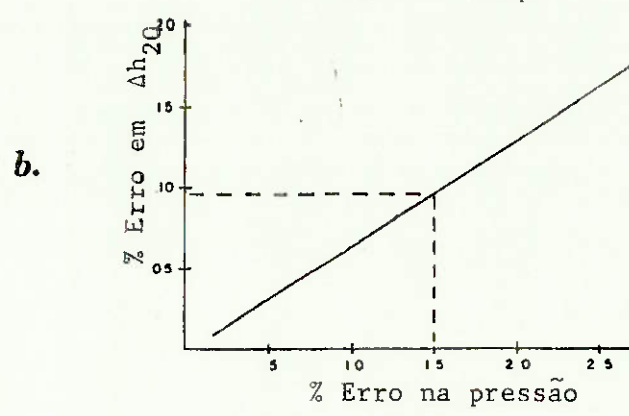
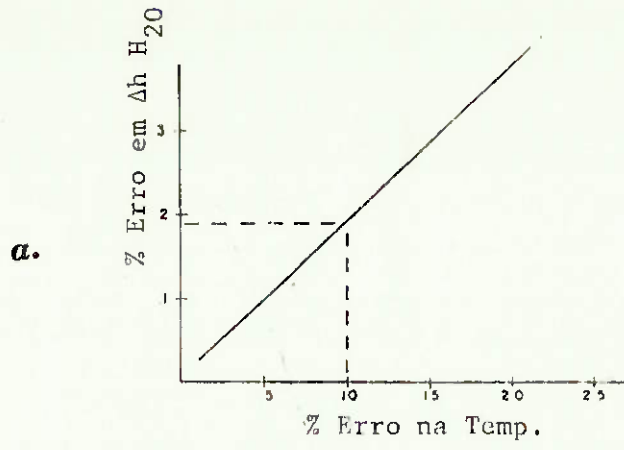


Figura 8

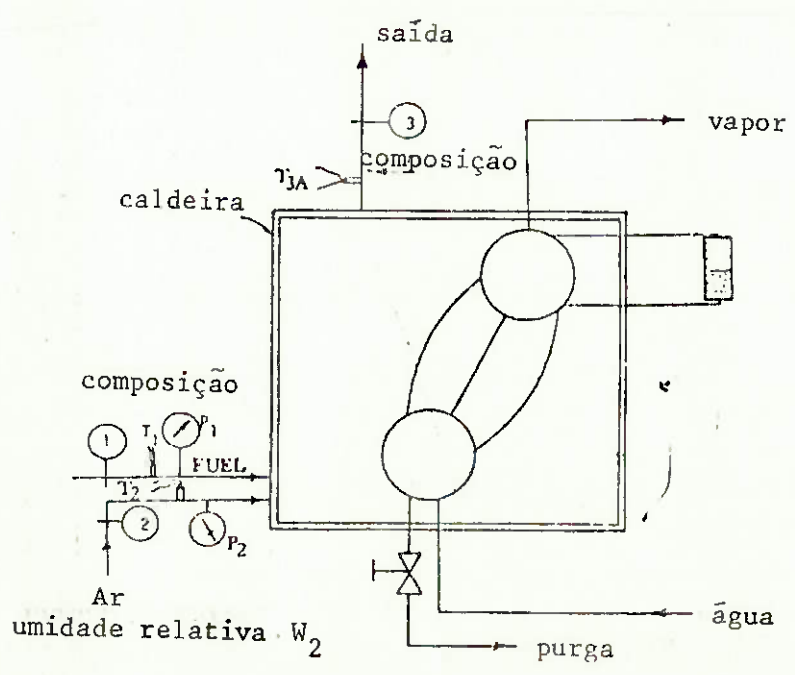


Figura 9

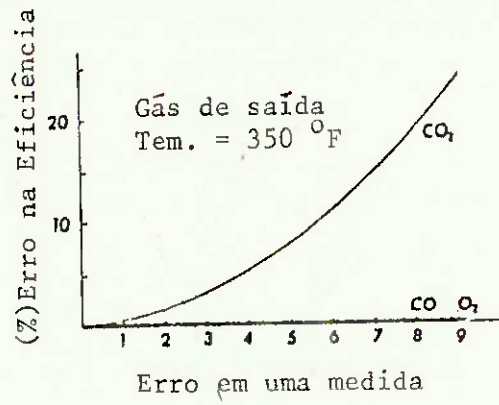
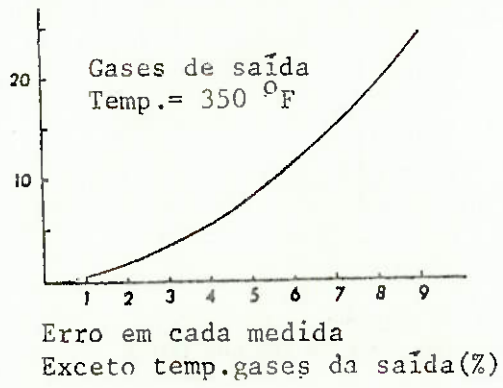


Figura 10



CAPITULO II

1. MÉTODO ENTRADA - SAÍDA (INPUT-OUTPUT)
2. MÉTODO PERDA DE CALOR (HEAT-LOSS)
3. EFICIÊNCIA REFINADA - "net efficiency"

Neste capítulo, descreveremos mais alguns métodos - de cálculo de eficiência de caldeiras, material este extraído da "ASME POWER TEST CODES" "Test Code for Steam Generating Units": PTC-4.1"

1. Método Entrada - Saída

O método entrada-saída requer as medidas precisas - da quantidade e do poder calorífico superior do combustível, calores adicionais (que serão definidos posteriormente), e do calor absorvido pelo fluido de trabalho, ou seja, a água para geração - de vapor.

Entrada é definido como o calor proveniente da energia química do combustível, ou seja, poder calorífico superior de terminado em laboratório, mais créditos que se adicionam ao fluido de trabalho, ao ar, gás ou outros circuitos de fluidos que -

atravessam o volume de controle. O volume de controle engloba todos os equipamentos que formam a unidade de geração de vapor, como mostra a figura 1.

A entrada e saída (Input e Output) de calor do volume de controle são envolvidos no cálculo da eficiência.

Saída é definida como o calor absorvido pelo fluido de trabalho.

Calores adicionais são definidos como as quantidades de calor adicionadas ao gerador de vapor, que não as provenientes do combustível. Incluem quantidades tais como calores sensíveis (que são função do calor específico e da temperatura) no combustível, no ar e no vapor atomizante, calor proveniente da potência do pulverizador, bomba de circulação, ventilador de ar primário e ventilador de recirculação.

A figura 2 nos ajuda a entender a relação entre entrada, saída, calores adicionais e perdas.

A eficiência pelo método entrada saída é expressa por:

$$\eta = \frac{\text{saída}}{\text{entrada}} = \frac{\text{Calor absorvido pelo fluido de trabalho}}{\text{Calor no combustível} + \text{calores adicionais}} \times 100$$

Se quisermos conduzir um teste abreviado, o que é de muita importância em testes de rotina em equipamentos industriais, considera-se apenas as perdas principais e os calores adicionais são desprezados.

Todos os testes apresentados, deve-se lembrar, são aplicáveis a geradores de vapor que operam com combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.

- Tolerâncias e Limites de Erro

Os limites prováveis de erro na eficiência devem ser tomados como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos efeitos individuais.

A tabela 1 é incluída como guia para mostrar o efeito de erro de medida sobre a eficiência. As variações dos erros de medida da tabela 1 não consistem em valores impostos, mas sim, concordam aproximadamente com a experiência. Estes valores não devem ser usados nos cálculos de eficiência.

- Preparação para os Testes

O sistema deve ser inicialmente checado quanto a vazamentos, sendo que os excessivos devem ser reparados.

Qualquer desvio dos padrões e condições de especificação no estado físico do equipamento, limpeza das superfícies de troca, características do combustível e constância de alimentação, devem ser claramente descritos no relatório do teste.

Um teste preliminar deve ser feito com o objetivo de checar a operação de todos os instrumentos, treinamento do pessoal, ajuste de detalhes e ajuste da relação ar/combustível para performance ótima do gerador de vapor d'água.

TABELA 1

Erros de Medidas Prováveis e Erros Resultantes
nos Cálculos da Eficiência (Entrada - Saída)

Medida	Erro de medida (%)	Erro na Eficiência (%)
Tanques de passagem	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
Tanques volumétricos	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$
Medidor de vazão calibrado	$\pm 0,35$	$\pm 0,35$
Calor no combustível	carvão $\pm 0,50$	$\pm 0,50$
	gás ou gasol. $\pm 0,35$	$\pm 0,35$
Temperaturas	$\pm 0,25$	$\pm 0,15$
Pressões	$\pm 1,00$	0,00

As condições de combustão, alimentação de combustível, de água, nível da água, excesso de ar, temperaturas e pressões devem ser aproximadamente iguais no começo e no fim do teste, assim como devem permanecer essencialmente constantes ao longo do teste. Deve-se certificar que o sistema opera em regime permanente antes do início do teste.

Este período, até o alcance do equilíbrio, varia de uma a três horas, dependendo do equipamento testado.

A duração do teste não deve ser menor que 4 horas - para caldeiras que usam combustível líquido ou gasoso e de não menos que 24 horas para combustíveis sólidos.

As leituras de medidas devem ser feitas com intervalos de 15 minutos. Se sérias inconsistências forem observadas nas leituras ao longo do teste, este deve ser imediatamente rejeitado.

- Medida de Entrada (Input)

Medida da Quantidade de Combustível Sólido

O combustível deve ser medido perto do ponto em que ele deverá ser usado. Toda perda de combustível deve ser levada em consideração. As escalas de pesagem devem ser calibradas antes das medições e depois destas. A experiência indica que o erro possível percentual desta medida é de $\pm 0,25$. Checagem e calibração devem ser feitas de acordo com PTC 19.5, capítulo 1.

De acordo com PTC 3.2, o primeiro princípio para a coleta de amostra para combustíveis sólidos, é a obtenção do mesmo de uma linha móvel de combustível.

A amostra destinada à determinação da umidade deve ser rapidamente colocada em recipiente não corrosível e fechada logo em seguida.

Como já foi visto anteriormente, a determinação do poder calorífico superior do combustível deve ser feita em laboratório de análises.

- Medida de Quantidade de Combustível Líquido

Essas medidas devem ser feitas em tanques de pesagem calibrados com erro percentual correspondente de $\pm 0,25$.

A retirada de amostras para combustível líquido é feita em concordância com PTC 3.1. O valor do poder calorífico superior à pressão constante, deve ser obtido em laboratório de análises.

- Medida de Quantidade de Combustível Gasoso

As medidas de quantidade de combustível gasoso devem ser realizadas mediante o uso de Venturi calibrado.

Se forem observadas flutuações nas medidas de vazão, as diferenças entre os valores máximos e mínimos indicados devem ser minimizados e devem ser não maiores a $\pm 5\%$ da vazão média.

As amostras retiradas devem estar de acordo com PTC 3.3 e a medida do poder calorífico superior, como não podia deixar de ser, deve ser realizada em laboratório de análises.

- Medidas dos Calores Adicionais

Calores adicionais como já foi visto, são calores sensíveis adicionados ao volume de controle e estão listados na figura 2. Os calores de cada um deles são determinados por uma medida de quantidade multiplicada por uma diferença de entalpia, ou por conversão de medida elétrica de energia para medida térmica,

- Medidas de Saída (OUTPUT)

O peso da água usada para qualquer vapor ou condensado entrando ou saindo do ciclo deve ser corrigido. Um balanço térmico deve ser providenciado para evidenciar suprimentos adicionais de calor ao circuito da água.

Tanques volumétricos devem ser calibrados antes e depois do teste e devem ter erro percentual possivelmente até 0,25%.

- Medida da Vazão do Vapor

A medida da vazão do vapor é consequência da medida da vazão da água, considerando-se sempre vazamentos de vapor, - eventual purga, etc.

- Temperatura do Vapor e Água de Alimentação

A temperatura do vapor saturado deve ser medida o - mais próximo possível da saída do vapor. A temperatura do vapor superaquecido por sua vez, o mais próximo possível da saída do - superaquecedor. A temperatura da água de alimentação deve ser me - dida o mais próximo possível do economizador e entrada da caldei - ra.

Os erros máximos possíveis são de 0,25% para a água e 0,50% para o vapor. Termômetros de mercúrio, de resistência ou termo pares são aceitáveis para estas medições. Todos os ins - trumentos devem ser calibrados antes e depois das medições.

- Pressões do Vapor e da Água de Alimentação

O arranjo feito com o objetivo de medir pressões po - de ser considerado satisfatório se os valores máximos e mínimos de pressão instantânea não diferem de mais de 2,0% do valor mé - dio. Os locais devem ser instalados de acordo com PTC 19.2. Os instrumentos devem ser calibrados antes e depois do teste.

Procedimento para o Cálculo da Eficiência de Uma Caldeira pelo Método Entrada - Saída .

$$\eta = \frac{\text{saída}}{\text{entrada}} \times 100$$

onde saída é definido como o calor absorvido pelo fluido de trabalho ou pelos fluidos de trabalho e entrada, definido como o calor no combustível proveniente de sua combustão mais calores adicionais adicionados ao fluido, ar, gás ou outros circuitos fluidos que cruzam o volume de controle.

A figura 1 apresenta um sistema de geração de vapor completo com sua respectiva distribuição de aparelhagem. Fica a cargo do leitor que tem por objetivo a realização do teste, cortar parâmetros que aparecem ao longo dos cálculos tendo em vista as diferenças entre seu sistema e o sistema apresentado nesta figura.

$$\eta = \left| \frac{W_{se31} (h_{s32} - h_{w24}) + W_{we25} (h_{s32} - h_{w25})}{H_f + W_{fe} + B_e} + \frac{W_{se33} (h_{s34} - h_{s33}) + W_{we26} (h_{s34} - h_{w26}) + W_{we35} (h_{w35} - h_{w24})}{H_f \times W_{fe} + B_e} \right|$$

A equação precedente se aplica ao caso de reaquecimento simples. Para reaquecimentos múltiplos, o calor absorvido nos estágios sucessivos de reaquecimento são adicionados no numerador.

$$1) W_{se31} = \frac{Kg_{vapor}}{h} = \text{vazão de vapor entrando no superaquecedor}$$

$$2) W_{se33} = \frac{Kg_{vapor}}{h} = \text{vazão de vapor no reaquecedor}$$

$$3) h_{s32}, h_{s34}, h_{s34} = \frac{kcal}{Kg_{vapor}} = \text{Entalpia do vapor, na saída do superaquecedor, na entrada do reaquecedor, na saída do reaquecedor.}$$

$$4) h_{w24}, h_{w25}, h_{w26}, h_{w35}, h_{w47}, h_{w48} = \frac{kcal}{Kg_{H_2O}} = \text{Entalpia da}$$

água de alimentação que adentra a caldeira, entalpia da "spray water" do superaquecedor, entalpia do "spray water", entalpia "purga", entalpia da injeção de água, entalpia dos "vazamentos".

$$5) W_{we25}, W_{we26}, W_{we35}, W_{we47}, W_{we48} = \frac{Kg_{H_2O}}{h} = \text{vazão de água "spray" do superaquecedor, vazão de água "spray" do reaquecedor, vazão do "purga", vazão de injeção e vazão "vazamento".}$$

$$6) H_f = \frac{kcal}{Kg} = \text{poder calorífico à pressão constante do combustível empregado.}$$

$$7) W_{fe} = \frac{\text{kg de combustível}}{h} = \text{total dos calores adicionais} = BA_e + B_{ze} + B_{fe} + B_{xe} + B_m Ae$$

$$B_{ae} = \frac{\text{kcal}}{h} = \text{calor fornecido pelo ar proveniente de fontes - tais como aquecedores de ar.}$$

$$B_{ae} = (W_{A',s} - W_{A',b}) \times W_{fe} \times CpA' | t_{a7,a8} - t_{ra} | + W_{a',5} \times W_{fe} + CpA' | t_{a',s} - t_{ra} | \quad \text{onde:}$$

$$W_{A'} = \frac{\text{kg de ar seco}}{\text{kg de combust.}}$$

$$W_{A'} = \frac{(W_{G',N_2} - M)}$$

onde

$$W_{G',N_2} = \frac{\text{Kg de nitrogênio no gás seco}}{\text{Kg de combustível}} = \frac{\text{Kg gás seco}}{\text{Kg de comb.}} = \frac{\text{Kg de nitrog.gás seco}}{\text{Kg de gás seco}}$$

$$W_{G',M_2} = \frac{W_{G'} \times 28,02 M_2}{44,0 CO_2 + 32,00 O_2 + 28,02 M_2 + 28,01 CO}$$

$$W_{G'} = \frac{\text{Kg gás seco}}{\text{Kg de combust.}}$$

$$W_{G'} = \frac{44,01 CO_2 + 32,00 O_2 + 28,02 M_2 + 28,01 CO}{12,01 (CO_2 + CO)} \left(C_b + \frac{12,01 S}{32,07} \right)$$

$$W_{G'M_2} = \frac{28,02 M_2}{12,01(CO_2+CO)} \left(C_b + \frac{12,01 S}{32,07} \right)$$

$$W_{A'} = \frac{W_{G'M_2} - M}{0,7685}$$

CO_2 , O_2 e CO = porcentagem em volume no gás seco

M_2 sendo determinado por $100\% - CO_2 - O_2 - CO$

$$C_b = C - \frac{W_{d'p'} \times H_{d'p'}}{14500}$$

onde:

$$C_b = \frac{\text{Kg de carbono queimado}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$C = \frac{\text{Kg de carbono}}{\text{Kg de combustível}} = \text{análise de laboratório.}$$

$$W_{d'p'} = \frac{\text{Kg sobras secas}}{\text{Kg combustível}}$$

$$H_{d'p'} = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg ar}} = \text{Poder calorífico das sobras secas determinadas em laboratório.}$$

$$S = \frac{\text{Kg de enxofre}}{\text{Kg de combust.}} = \text{determinada em laboratório.}$$

$$M = \frac{\text{Kg de nitrogênio}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h} = \text{vazão de combustível}$$

C_{pA} = calor específico médio do ar seco à temperatura de entrada

t_{A7} ou t_{A8} = temperatura de entrada do ar

t_{RA} = temperatura de referência

$$B_{ze} = \frac{\text{kcal}}{h} = \text{calor fornecido pelo vapor atomizante}$$

$$B_{ze} = W_{ze} \times (h_{24} - h_{rv})$$

onde

$$W_{ze} = \frac{\text{kg}}{h} = \text{vazão medida de vapor atomizante}$$

L_{z42} = Entalpia atomizante

h_{rv} = Entalpia do vapor saturado à temperatura de referência

$$B_{fe} = \frac{\text{kcal}}{h} = \text{calor sensível fornecido pelo combustível}$$

$$B_{fe} = W_{fe} \times C_{pf} (t_{f 1,3,4} - t_{RA})$$

onde

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h} = \text{vazão de combustível}$$

$$C_{pf} = \frac{\text{kcal}}{^{\circ}\text{C Kg}} = \text{calor específico médio do combustível}$$

$t_f, t_{f3}, t_{f4} = ^\circ\text{C} =$ temperatura de entrada do combustível

$t_{RA} =$ temperatura de referência do ar

$B_{xe} = \frac{\text{kcal}}{h} =$ calor fornecido por auxiliares dentro do volume de controle.

$$B_{xe} = W_{sxe} (h_{sx} - h_{ix}) \eta_x$$

onde:

$$W_{sxe} = \frac{\text{kg}}{h} = \text{vazão do vapor}$$

$$h_{sx} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = \text{entalpia do vapor dos auxiliares}$$

$$h_{ix} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = \text{entalpia do vapor à pressão de saída}$$

$\eta_x =$ eficiência incluindo turbina e engrenagens

Se os auxiliares são elétricos

$$B_{xe} = 3413 (\text{Kwh}) \eta_x$$

$\eta_x =$ inclui eficiência do motor e engrenagens.

$B_{mac} = \frac{\text{kcal}}{h} =$ calor fornecido pela umidade que entra com o ar.

$$B_{mae} = W_{mA'} \times W_{A'C} \times Cps \times (t_{A7}, t_{A8} - t_{RA})$$

onde:

$$W_{mA'} = \frac{\text{Kg de vapor}}{\text{Kg de ar seco}}$$

$$W_{A'e} = W_{A'} \times W_{fe}$$

onde

$$W_{A'e} = \frac{\text{Kg}}{h} \text{ de ar seco}$$

$$W_{A'} = \frac{\text{Kg}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h}$$

$$Cps = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} = \text{calor específico médio do vapor}$$

t_{A7} ou t_{A8} = temperatura de entrada do ar

t_{RA} = Temperatura de referência do ar

2. Método Perda de Calor (Heat - Loss)

Este método é baseado em informações precisas e completas que tornarão possível a realização dos cálculos para a determinação das perdas e dos calores adicionais. A eficiência é igual a 100% menos um quociente expresso pela soma de todas as perdas dividido pelo calor no combustível mais calores adicionais.

- Análise dos Gases de Saída

A análise Orsat dos gases na saída do gerador de vapor é requerida. A retirada de amostras deve ser feita nos pontos 15, 14 ou 12 da figura 1.

Informações mais detalhada sobre esta análise podem ser tomadas na PTC 19.10.

- Temperatura do Ar e Gases de Saída.

A temperatura dos gases na saída deve ser tomada nas posições 15, 14 ou 12 da figura 1. As temperaturas de ar primário e ar secundário devem ser tomadas observando-se as mesmas precauções citadas anteriormente.

- Sobras

Este método requer a determinação das perdas devido a combustível não queimado que forma as sobras, assim como a retirada de amostras.

Do ponto de vista do teste, a parte mais difícil é a determinação exata destas perdas, pois todas as sobras devem ser retiradas, o que as vezes se torna impossível. No entanto, a quantidade destas sobras pode ser estimada. A umidade contida nas sobras deve ser determinada em laboratório de análises. A fuligem presente nos gases de saída deve ser colhida, pesada e analisada separadamente. A análise determinará umidade, quantidade de combustível não queimado e poder calorífico das sobras.

Informações mais detalhadas devem ser obtidas em PTC 21 e PTC 27, pois a precisão destas medidas é importante para um cálculo representativo das perdas nas sobras.

- Umidade no Ar de Combustão

Por intermédio de psicrômetro, a umidade no ar de combustão, fator importante para o cálculo da eficiência pelo método "Perda de Calor", pode ser determinada.

- Superfície de Radiação e Convecção

As perdas por radiação podem ser determinadas mediante o uso da carta incluída na secção 7, figura 8 da PTC 4.1.

Testes recentes de radiação em grandes instalações mostraram que os valores das perdas por radiação são normalmente altas.

- Perdas por Radiação no Cinzeiro.

Parte do calor libertado no queimador é transmitido por radiação ao cinzeiro e é levado com as cinzas que o perdem na forma de calor sensível. Desde que se torna difícil e imprático a medida destas perdas, o ítem anterior já as inclui, pois elas provêm como já dissemos, de calor radiante proveniente da queima.

Procedimento para o Cálculo da Eficiência de uma Caldeira pelo Método Perda de Calor .

A eficiência pelo método Perda de Calor pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{L}{H_f + B} \times 100$$

Note que o denominador " $H_f + B$ " é idêntico ao denominador usado no cálculo da eficiência pelo método "Entrada-Saída" nos limitaremos, portanto, a apresentar abaixo ao procedimento de cálculo para o numerador L .

$$L = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg de combustível}} = \text{Total das perdas na caldeira.}$$

$$L = L_{UC}^* + L_{G'} + L_{mf} + L_A + L_{mA} + L_2^* + L_{CO} + L_{UH} + L_{UMC} + L_B + L_p^* + L_d^* + L_r^* + 0$$

* vazão de combustível é utilizada para o cálculo destas perdas.

1- L_{UC} = perda devido a carbono não queimado nas sobras secas

$$L_{UC} = W_{d'p'} \times H_{d'p'}$$

onde:

$$W_{d'p'} = \frac{W_{d'p'e}}{W_{fe}}$$

onde

$$W_{d'p'} = \frac{\text{Kg das sobras secas}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$W_{d'p'e} = \frac{\text{Kg das sobras secas}}{h}$$

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h}$$

$$H_{d'p'} = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg sobras secas}} = \text{determinada em laboratório}$$

2. $L_{G'}$ = perdas devido ao calor contido nos gases de saída secos

$$L_{G'} = W_{G'} \times C_p G' (t_6 - t_{RA})$$

onde

$$W_{G'} = \frac{\text{Kg de gás seco}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$W_{G'} = \frac{44,01 \text{ CO}_2 + 32,00 \text{ O}_2 + 280,2 \text{ N}_2 + 28,01 \text{ CO}}{12,01 (\text{CO}_2 + \text{CO})} \times \left| C_b + \frac{12,01 \text{ S}}{32,07} \right|$$

CO_2 , O_2 e CO = porcentagem em volume do gás de saída seco medidos nas posições 12, 14 ou 15 da figura 1.

$$\text{N}_2 = 100 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - \text{CO}$$

$$C_b = C - \frac{W_{d'p'} \times H_{d'p'}}{14500}$$

onde:

$$C = \frac{\text{Kg de carbono}}{\text{Kg de combustível}} = \text{laboratório}$$

$$W_{d'p'} = \frac{\text{Kg de sobras secas}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$H_{d'p'} = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg de sobras}} = \text{laboratório}$$

$$S = \frac{\text{Kg de enxofre}}{\text{Kg de combustível}} = \text{laboratório}$$

$$C_{pG'} = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} = \text{calor específico médio dos gases de saída secos}$$

t_G = temperatura do gás que sai da caldeira

t_{RA} = temperatura de referência

3. L_{mf} = perdas devido à umidade no combustível

$$L_{mf} = m_f (h_{12,14,15} - h_{RW})$$

onde:

$$m_f = \frac{\text{Kg de umidade no combustível}}{\text{Kg de combustível}} = \text{laboratório}$$

$h_{12,14,15}$ = entalpia do vapor à pressão parcial e temperatura $t_{G 12,14,15}$

$$P_{mG} = \frac{P_A}{1 + \frac{100 \times 1,5 C_b}{m_G (CO_2 + CO)}}$$

onde:

$$P_{mG} = \frac{\text{Kcal}}{\text{cm}^2} = \text{pressão parcial da umidade nos gases de saída.}$$

P_A = pressão atmosférica

$$C_b = \frac{\text{Kg de carbono}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$m_G = 8,936 H + (W_{mA'}) (W_{A'}) + m_f + W_z + m_p$$

onde:

$$m_G = \frac{\text{Kg de umidade nos gases de saída}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$H = \frac{\text{Kg de hidrogênio exclusive o da umidade}}{\text{Kg de combustível}} = \text{laboratório}$$

$$W_{mA'} = \frac{\text{Kg de umidade na entrada da caldeira}}{\text{Kg de ar seco}}$$

$$W_{A'} = \frac{\text{Kg de ar seco}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$m_f = \frac{\text{Kg de umidade}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$W_z = \frac{\text{Kg de vapor atomizante}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$m_p = \frac{\text{Kg de umidade evaporada no cinzeiro}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$h_{Rw} = \text{entalpia do líquido saturado a } t_{RA}$$

4. L_H = perda devido à umidade na queima do hidrogênio.

$$L_H = 8,936 \times H (L_{12,14,15} - L_{RW})$$

onde:

$$H = \frac{\text{Kg de hidrogênio exclusive o da umidade}}{\text{Kg de combustível}}$$

5. L_{mA} = perda devido à umidade no ar

L_{ma} = perda devido à umidade no ar

$$L_{mA} = W_{mA'} \times W_{A'} |h_{12,14,15} - h_{RV}|$$

onde:

$$W_{mA'} = \frac{\text{Kg de vapor}}{\text{Kg de ar seco}}$$

$$W_{A'} = \frac{\text{Kg de ar seco}}{\text{Kg de combustível}}$$

h_{RV} = entalpia do vapor saturado a t_{RA}

6. L_z = perda devido ao calor no vapor atomizante

$$L_z = \frac{W_{ze}}{W_{fe}} (h_{12,14,15} - h_{Rv})$$

onde:

$$W_{ze} = \frac{\text{Kg de vapor atomizante}}{h}$$

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h}$$

7. L_{eo} = perda devida à formação de CO

$$L_{eo} = \frac{CO}{CO_2 + CO} \times 10160 \times C_b$$

8. L_{UH} = perda devido à não queima de hidrogênio

$$L_{UH} = \frac{H_2 \times W_{G'} \times 318,9}{\text{peso específico dos gases de saída}}$$

onde:

H_2 = porcentagem em volume de H_2 nos gases de saída secos.
Laboratório.

$$W_{G'} = \frac{\text{Kg de gás seco}}{\text{Kg de combustível}}$$

peso específico dos gases de saída secas =

$$= 0,0401 \left[\frac{\text{CO}_2}{35,11} + \frac{\text{O}_2}{48,28} + \frac{\text{CO}}{55,16} + \frac{\text{N}_2}{55,14} + \frac{\text{SO}_2}{24,12} + \frac{\text{H}_2}{766,36} + \frac{\text{HC}}{1545} \right] \text{ M HC}$$

onde

M_{HC} = peso molecular do hidrocarboneto nos gases de saída.

9. L_{UHC} = Perda devido a hidrocarboneto não queimado

$$L_{\text{UHC}} = \frac{\text{UHC} \times W_{\text{G}'} \times K_{\text{UHC}}}{100 \times \text{peso específico dos gases de saída}}$$

onde:

UHC = porcentagem em volume dos hidrocarbonetos nos gases de saída.

$$W_{\text{G}'} = \frac{\text{Kg de gás seco}}{\text{Kg de combustível}}$$

$$K_{\text{UHC}} = \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \text{ dos hidrocarbonetos não queimados}$$

10. L_B = perda devido a radiação e convecção

Obtida na ABMA, carta de perda por radiação, figuras 8 e 9 da PTC-4.1.

11. L_p = perda devido à radiação no cinzeiro

L_p = Perda devido ao incremento de temperatura da água no cinzeiro + perda evaporação da água no cinzeiro + calor sensível das sobras quando estas deixam o cinzeiro.

$$\text{perda incremento de temperatura} = \frac{W_{we\ 38} \times (t_{w\ 39} - t_{w\ 38})}{W_{fe}}$$

onde

$$W_{we\ 38} = \frac{\text{Kg de água no cinzeiro}}{h}$$

$t_{w\ 39}$ = água deixada no cinzeiro

$t_{w\ 38}$ = água entrando no cinzeiro

$$W_{fe} = \frac{\text{Kg de combustível}}{h}$$

Perda devido à evaporação da água no cinzeiro =

$$= \left| W_{we\ 38} + \left(W_{fe} \frac{P}{100} \times \left(\frac{\text{Calor especif. da água}}{\text{calor espec. sobras}} \right) - W_{w\ 39} \right) \right| \times \left| \frac{h_{v\ 12,14,15} - h_{w\ 39}}{W_{fe}} \right|$$

P = porcentagem de combustível nas sobras.

Perda devido ao calor sensível, nas sobras que deixam o cinzeiro = $C_{pp} \frac{W_{pe}}{W_{fe}} (t_{w39} - t_{RA})$

onde:

C_{pp} = calor específico das sobras úmidas

$$W_{pe} = \frac{\text{Kg de sobra úmida}}{h}$$

12. $L_{d'}$ = perdas devido à fuligem

$$L_{d'} = \frac{C_{d'} (t_{G12,14,15} - t_{RA}) \times W_{d'e}}{W_{fe}}$$

onde:

$C_{d'}$ = calor específico da fuligem à temperatura dos gases de saída.

$t_{G12,14,15}$ = temperatura do gás, nas posições de coleta

$W_{d'e}$ = peso da fuligem em cada ponto de coleta. Pode ser estimado.

13. L_r = perda devido à pulverização das sobras.

$$L_r = \frac{W_{re} \times H_r}{W_{fe}}$$

onde:

$$W_{re} = \frac{\text{Kg de sobras pulverizadas}}{h}$$

H_r = poder calorífico das sobras pulverizadas

3. Eficiência Refinada "Net Efficiency"

A eficiência de uma caldeira pode ser calculada pelos diversos métodos já apresentados neste trabalho. Porém o cálculo refinado da eficiência de uma caldeira pode eventualmente ser objeto de interesse e assim sendo apresentaremos a seguir as seguintes observações:

A eficiência refinada pode ser calculada somando-se - ao denominador das duas expressões apresentadas neste capítulo, uma parcela que inclui o calor devido aos auxiliares que estão fora da caldeira, assim como aqueles que estão dentro desta.

Os auxiliares que normalmente estão fora da caldeira são:

- ventiladores para circulação forçada do ar
- ventiladores de corrente induzida
- ventiladores de recirculação
- sistema de carregamento de cinzas
- precipitadores elétricos
- bombas de combustível
- preparadores de carvão

- resfriador de água

Os auxiliares que pertencem à caldeira são:

- pulverizadores

- exaustores

- moedores

- bombas de circulação

- ventiladores de recirculação de gás

- aquecedor de ar

O calor equivalente aos auxiliares elétricos será:

$$\text{Kilowatt entrada} \times 3413 = \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

onde este valor deve ser convertido para kcal/h.

Este "Kilowatt entrada" deve ser medido por um registrador de consumo de energia elétrica.

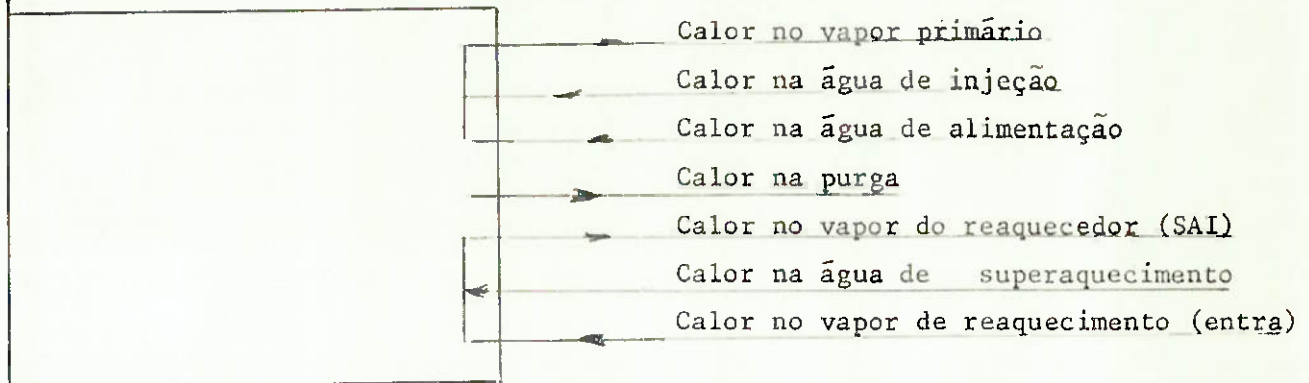
Para maiores detalhes é interessante que se consulte PTC 19.6, que trata de medidas elétricas em circuitos de potência.

Podem então assim, somar os valores obtidos para cada aparelho e calcular a eficiência refinada da caldeira.

Figura 2

CALOR NO COMB. (H_f)

- B_A calor no ar
- B_2 calor no vapor atomizante
- B_f calor sensível no comb.
- B_x potência do pulverizador
- B_x potência da bomba de circ.
- B_x potência do ventilador ar primário
- B_x potência do ventilador de recirculação
- B_{ma} calor na umidade do ar
- B_w calor na água de resfriamento



- L Carvão não queimado
- L_G Calor no gás seco
- L_{mf} Calor na umidade de comb.
- L_M Umidade no hidrog. queimado
- L_2 Calor no vapor atomizante
- L_{co} Monóxido de carbono
- L_{um} Hidrog. não queimado
- L_{uhc} Hidrocarbonetos não queimados
- L_b Radiação e convecção
- L_p Radiação no cinzeiro
- L_o Calor sensível nos resíduos
- L_w Calor na água de resfriamento

CONCLUSÃO

Foram apresentados neste trabalho 5 expressões que nos possibilitam o cálculo da eficiência térmica de um gerador de vapor de água.

Pode-se facilmente observar que os métodos apresentados no capítulo primeiro são simplificados, ou seja, não incluem detalhes ao nível dos métodos indicados no segundo capítulo, limitando-se apenas a considerações de quantidades maiores de energia envolvida no processo, já os métodos Input-Output, Heat Loss e Eficiência Refinada, (segundo capítulo), propostas na PTC-4.1 da ASME entram num elevado nível de detalhamento, pois tentam cobrir todas as quantidades de energia envolvidas no balanço térmico da caldeira.

Em situação de aplicação de teste de eficiência, o leitor escolherá um dos cinco métodos, escolha que dependerá da precisão desejada na determinação deste valor. É evidente que quanto maior a precisão, maior o número de detalhes a serem considerados, tais como instrumentação necessária, e número de duração e número de ensaios.

Se o leitor desejar conhecer outros procedimentos para determinação de eficiência que não os apresentados, fatalmente os encontrará, mas sempre deve ser lembrado que os diferentes métodos se equivalem, ou seja, todos partem de uma mesma metodologia: o balanço térmico de uma caldeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) "Energy Saving by Increasing Boiler Efficiency"

Editado pro L.H.Yaverbaum

N.Jersey, USA.

(2) "ASME POWER TEST CODES"

Test Code for Steam Generating Unites -

PTC - 4.1.