

EXPERIÊNCIA Nº 2 - CALDEIRA

1. OBJETIVO

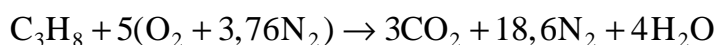
Avaliar o desempenho energético de uma caldeira. Calcular sua eficiência térmica. Efetuar estudos de combustão: efeito da relação ar/combustível na transferência de calor, na temperatura de gases de escape, queima incompleta, etc., para combustíveis líquidos e gasosos.

2. TEORIA

O equipamento a ser utilizado nesta experiência é mostrado na Figura 1.1.

Para estudarmos o efeito da relação ar/combustível precisamos conhecer a composição do gás a ser usado. Como exemplo, utilizaremos neste resumo da teoria, o propano.

a) **Reação da queima de propano.**



Massa molecular $\text{C}_3\text{H}_8 = 44$

Considerando gases perfeitos, precisamos portanto, de $5 \times 4,76$ moles de ar para queimar 1 mol de C_3H_8 estequiometricamente, ou seja, uma relação ar/combustível de:

Relação A/C massa: 15,6.

Portanto, nesta relação teremos a máxima temperatura de chama. Se a relação A/C for maior ou menor que a estequiométrica, a temperatura de chama deverá cair.

b) **O estudo do efeito na transferência de calor realiza-se com o balanço de massa e energia para cada relação ar/combustível.**

O calor liberado pela queima da mistura de gases pode ser calculado conhecendo-se o PCI do gás.

Deve-se lembrar que nem sempre todo gás injetado na câmara será queimado, devendo-se subtrair a quantidade levada pelos gases de combustão, quando a relação A/C estiver abaixo da estequiométrica.

Pelo princípio de conservação temos:

$$\dot{m}_{\text{ar}} + \dot{m}_{\text{gases combustíveis}} = \dot{m}_{\text{produtos combustão}}$$

$$\dot{m}_{\text{água entrada}} = \dot{m}_{\text{água saída}}$$

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{Q}_{\text{retirado pelos gases combustão}} + \dot{Q}_{\text{retirado pela água de refrigeração}} + \dot{Q}_{\text{retirado pelas paredes}}$$

(i) Calor retirado pelos gases de combustão

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} \cdot cp_{\text{CO}_2} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{CO}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{gases não queimados}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{excesso de ar}} \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot cp_{\text{N}_2} \cdot \Delta T$$

onde:

ΔT = temperatura de saída dos gases menos temperatura de entrada do ar

\dot{m} = vazões em massa de cada componente

cp_{CO_2} = 0,203 kcal/kg K

cp_{CO} = 0,249

$cp_{\text{H}_2\text{O}}$ = 0,455

cp_{N_2} = 0,248

(ii) Calor retirado pela água de refrigeração:

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot cp_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T$$

onde:

$cp_{\text{H}_2\text{O}}$ = 1 cal/g° C

\dot{m} = vazão de água

ΔT = diferença entre as temperaturas de saída e entrada de água

(iii) O calor retirado pelas paredes da câmara será desprezado.

Portanto,

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

Já o calor gerado pode ser obtido pelo PCI do combustível:

$$\dot{Q}_{\text{gerado}} = \dot{m}_c \cdot \text{PCI}$$

\dot{m}_c = fluxo de massa de combustível utilizado

PCI = poder calorífico inferior do combustível utilizado

Portanto a relação fica:

$$\dot{m}_c \text{ PCI} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

ou, simplificadamente:

$$\dot{m}_c \text{PCI} = (\dot{m}_{\text{comb}} + \dot{m}_{\text{ar}}) c_{p_{\text{gases}}} \Delta T_{\text{gases}} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

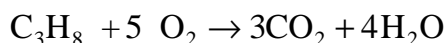
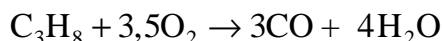
onde:

$$c_{p_{\text{gases}}}: 0,25 \text{ kcal} / \text{kg}^\circ\text{C}$$

A eficiência térmica pode ser calculada como:

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \Delta T}{\dot{m}_c \cdot \text{PCI}}$$

- c) **Para estudarmos o efeito na composição dos gases temos que lembrar que quando a combustão não é completa a oxidação em CO₂ deve ser subdividida em 2 semi-reações.**



Nem todo CO no entanto é oxidado até CO₂, havendo uma quantidade residual que sai com os gases de descarga.

A composição dos gases de escape pode ser determinada com o Orsat.

3. PROCEDIMENTO

3.1 Procedimento de Ignição: Combustível Gasoso.

1. A variação do fluxo do combustível gasoso é controlado pela válvula no painel do instrumento. O fluxo de ar é controlado pelo ajustamento do nível de controle no queimador.
2. Garanta que as válvulas de controle do líquido e do gás no painel do instrumento estejam desligadas.
3. Garanta que haja suficiente gás para o programa de teste. Informe-se com o Técnico.
4. Ajuste os botões do manômetro no lado do painel de controle do combustível para dar zero nas leituras dos manômetros de fluxo de massa de ar e pressão do combustível gasoso.

5. Verifique o suprimento de água de refrigeração na câmara e ligue a bomba assegurando um fluxo adequado. O nível de suprimento de água na câmara deve estar cheio.
6. Ajuste o fluxo de água para aproximadamente 1500 kg/h controlando-o pela válvula do painel e pela válvula de drenagem.
7. Com o nível de controle de ar fechado na posição nº 1, ligue o suprimento da corrente de ar. Quando o motor alcançar a velocidade de operação abra a válvula de suprimento do ar para a posição nº 8 e verifique o fluxo de massa, o fluxo máximo deve ser maior que 170 kg/h. Volte a válvula para a posição nº 0 e o fluxo mínimo deve ser menor do que 50 kg/h.
8. Abra o nível de controle do suprimento do ar do ventilador por 2 minutos para purgar a unidade. **Sob nenhuma condição se deve permitir que combustível não queimado siga para o coletor da câmara de combustão e duto de exaustão.**
9. Ligue a ignição no painel. Aperte o botão de ignição e esteja atento ao zumbido da faísca. Solte-o.
10. Mova o nível de controle do ar para a posição nº 1.
11. Comece com o ventilador de ar e ajuste o nível de controle do ar para dar um fluxo de ar de 110 kg/h.
12. Ajuste o indicador da temperatura de saída da água para 80°C.
13. Ligue o suprimento de combustível gasoso na fonte e na tubulação de entrada.
14. Ligue o relé e verifique se a luz vermelha do indicador de temperatura de saída da água está funcionando.
15. Aperte o botão do reset.
16. Aperte o botão de ignição após ouvir o «clac» da eletroválvula e sustente-o.
17. Abra a válvula de controle do combustível gasoso no painel do instrumento para dar aproximadamente 7 kg/h de GLP. Quando a combustão ficar estável solte o botão de ignição.
18. Caso não se inicie a combustão em 15 segundos, feche o gás, abra todo o ar por 2 minutos e repita a partir do procedimento nº 11.
19. Ajuste o teste às condições requeridas.

3.2 Procedimento de Fechamento.

23. Desligue as válvulas de combustível no painel do instrumento.
24. Desligue o suprimento de combustível na fonte.
25. Desligue o relé ligado ao painel de instrumento.
26. Assegure que o nível de controle do ventilador esteja na posição nº 8. Purgue a câmara com ar por 2 minutos.
27. Desligue o ventilador do ar e corte o suprimento de eletricidade.
28. Mova a alavanca de controle do queimador para a posição nº 1.
29. Deixe a água de refrigeração fluir por 5 minutos depois do fechamento e antes do desligamento final.

4 REQUER-SE

Com a câmara em operação, variar as razões A/C e observar as variações em suas condições de operação, coletando simultaneamente os gases de exaustão com o Orsat.

Realizar o experimento para a condição estequiométrica e para, pelo menos, mais outras 4 situações diferentes (2 abaixo e 2 acima da relação A/C estequiométrica).

Preparar antecipadamente as reações de combustão e relações estequiométricas de ar/combustão.

O gás utilizado é o GLP. O combustível líquido é o querosene.

5. CÁLCULOS E RESULTADOS

Construir gráficos que mostrem a influência da relação ar-combustível na transferência de calor para a água, no calor perdido pelos gases de escape, e na composição dos gases de escape (teórica e experimental) e na eficiência térmica, para os dois combustíveis utilizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 6.1 Pera, H. - Geradores de Vapor de Água - EPUSP.
- 6.2 Handbook of Butane, Propane & Gases - Chilton Company, 1962 - 4ª edição.
- 6.3 Gas Engineers Handbook, The Industrial Press, N. York, 1965.
- 6.4 Francis, W.E., Fuels & Fuel Technology, Vol. 1 e 2, Pergamon Press, 1965.

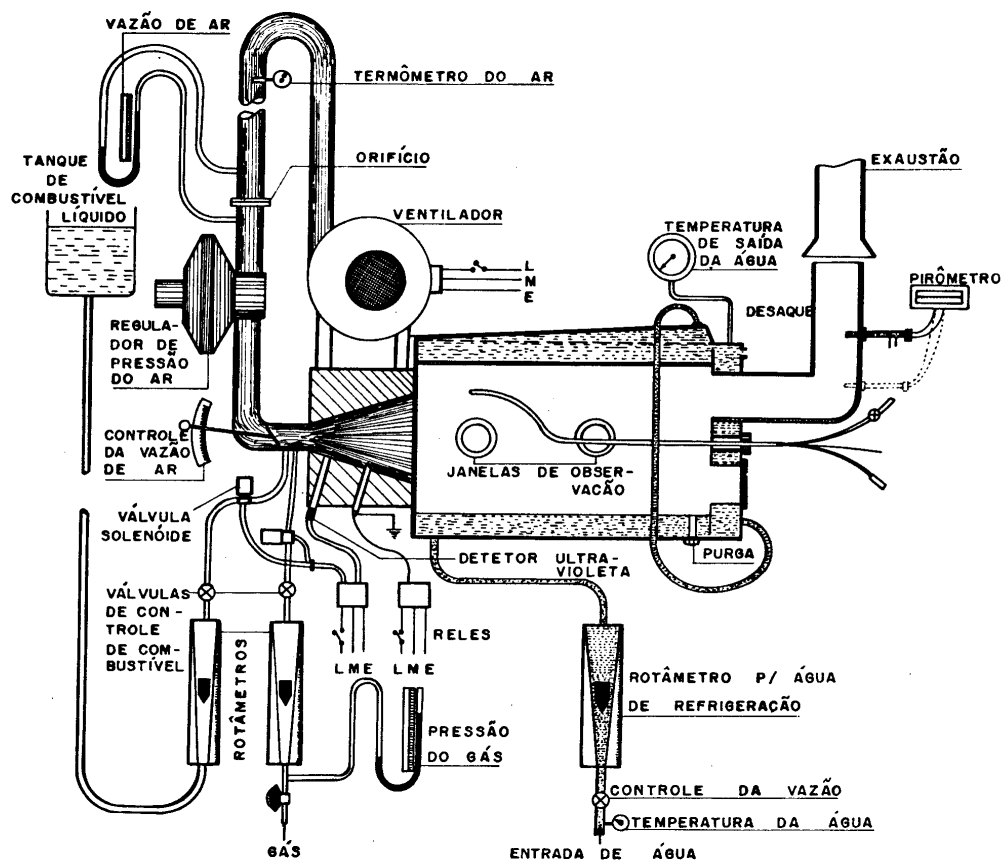


Figura 1.1 - Câmara de Combustão Contínua.