

2299782

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE FORMATURA

Gran 90
1000

RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE MODIFICAÇÕES NAS RELAÇÕES GEOMÉTRI-

CAS INTERNAS DE UMA CÂMARA DE COMBUSTÃO CICLÔNICA.

Autores: Moacyr Eugênio Almeida Silva
Svetislav Tomas Andreyevich

Orientador: Prof. Dr. Clemente Greco

1981

SUMÁRIO

A contínua demanda energética em nosso país faz ser grande a necessidade do desenvolvimento de novos métodos de aproveitamento de diferentes fontes energéticas além do petróleo, e, neste caso, a intensificação dos trabalhos no aperfeiçoamento do protótipo de um queimador ciclônico, para combustíveis sólidos, se torna extremamente importante.

Ao longo do ano de 1981 foram realizadas inúmeras experiências visando obter parâmetros importantes para a utilização industrial deste tipo de equipamento. Estas nos permitiriam obter um grande número de informações a respeito dos fenômenos envolvidos.

Cabe aqui ressaltar que qualquer tipo de desenvolvimento depende principalmente de continuidade e persistência dos trabalhos, pois, a partir de novas descobertas é que se faz possível o aprimoramento de uma tecnologia desconhecida.

Partindo-se de um protótipo que apresentava um funcionamento satisfatório, desenvolveu-se um novo protótipo que a princípio não tinha a mesma performance. Entendemos ser esta uma das razões que nos levaram a um estudo mais profundo dos fenômenos inerentes às relações geométricas do equipamento. Esperamos que seja dada continuidade aos nossos trabalhos, para se alcançar um melhor conhecimento da tecnologia envolvida e um aproveitamento deste recurso adicional na utilização de combustíveis alternativos.

ADRADECIMENTOS

Gostaríamos de prestar nossos agradecimentos aos colegas Luiz Cesar Floriano Baldo, Sergio V. Filippi e Paschoal Federico Neto pela ajuda e incentivo; à Tenge Industrial, pela construção do protótipo; à Vani pela datilografia; ao Professor Clemente Greco pela sua orientação e oportunidade de participar do desenvolvimento de câmaras de combustão ciclônica; e, em especial à C.Greco - Engenharia, Estudos e Projetos Ltda., que custeou todo o trabalho, sem a qual não seria possível a realização do mesmo.

I N D I C E

Folha

1. INTRODUÇÃO	01
2. QUEIMADORES CICLÔNICOS	03
3. DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO	06
4. MODIFICAÇÕES NO NOVO PROTÓTIPO	15
5. OBSERVAÇÕES EXPERIMENTAIS	20
6. CONCLUSÕES	39
7. SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	42
8. BIBLIOGRAFIA	45

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de formatura vem dar continuidade ao trabalho ante-
rior " Estudo preliminar visando o desenvolvimento de um combustor
de alta intensidade para combustíveis sólidos " de 1980 de autoria
de An Wan Bing, Carlos Alexandre Orosco Coelho Lobo e Marco Antonio
Soares de Paiva sob a orientação do Prof. Dr. Clemente Greco.

Nesse estudo conseguiu-se construir um protótipo de um queimador
ciclônico, cujo funcionamento foi plenamente satisfatório logo nas
primeiras experiências realizadas. Isto demonstrou a viabilidade
de se aproveitar industrialmente este tipo de equipamento. Para
tanto um aperfeiçoamento dos seus componentes e das relações geomé-
tricas da câmara em geral se fez necessário.

A continuidade deste trabalho dependia então da construção de um
novo protótipo, visto que o anterior se encontrava em condições
precárias devido a intensa utilização. Baseados na geometria e com
portamento do protótipo anterior, foi construído um novo equipamen
to com algumas modificações, que tinham por objetivo otimizar o
funcionamento deste tipo de combustor e conseguir levantar os parâ-
metros importantes neste processo de combustão.

2. QUEIMADORES CICLÔNICOS

Em linhas gerais o queimador ciclônico nada mais é do que uma câmara compacta, onde a partir de uma grande massa de ar em revolução consegue-se a combustão de diversos tipos de combustíveis com uma grande eficiência de queima.

Foi inicialmente desenvolvida para a combustão de combustíveis sólidos moídos a grosso modo e, se mostrou extremamente conveniente, para combustíveis de baixa qualidade, pois devido às altas temperaturas desenvolvidas, as cinzas podem ser recolhidas na forma líquida.

O aparecimento dos queimadores ciclônicos deu-se quando da necessidade de ampliação de queimadores de partículas sólidas, visto que as clássicas grelhas e os queimadores de carvão pulverizado já não mais atendiam às exigências técnicas econômicas. Isto se caracterizava por grandes dimensões de fornalha para a geração, em grelhas, de grandes cargas térmicas, o que acarretava em processos de combustão com baixa eficiência e grande quantidade de não queimados. No caso do carvão pulverizado, o crescente custo de moagem limitava sua utilização.

A fornalha ciclônica veio de encontro a solucionar tais problemas mostrando-se conveniente, pois ocupava menores volumes para a mesma quantidade de combustível queimado.

Devido às características de escoamento do ar de combustão na câma
ra consegue-se um melhor controle da combustão trabalhando-se com
baixos excessos de ar e consequentemente com altas temperaturas.

3. DESCRIÇÃO DE FUNCIONAMENTO

O queimador ciclônico resume-se praticamente em um cilindro horizontal onde o ar de combustão é injetado tangencialmente na parede da câmara a uma velocidade de aproximadamente 100 m/s. O combustível a ser queimado é injetado no centro da grande massa de ar em rotação, sofrendo a ação das forças de arraste, que fornecem ao material uma velocidade tangencial e este, por inércia, choca-se com a parede. Encontrando-as em temperatura suficientemente alta, ocorre a combustão dessas partículas. Devido a rotação da massa de ar, o material descreve uma trajetória helicoidal; porém com a diminuição do diâmetro das partículas devido à sua queima, a ação da força de arraste vai se tornando gradativamente menor, o que ocasiona conjuntamente ao movimento helicoidal, o movimento espiral das partículas em direção ao eixo do cilindro.

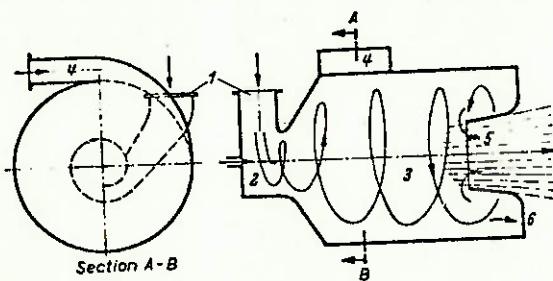


Figura 1
Esquema de uma fornalha ciclônica

Esta superposição de trajetórias torna o movimento resultante das partículas bastante complexo, e exige que as características geométricas da câmara sejam bem estudadas de modo que não haja a emissão de material não queimado pela boca de saída de gases.

Dessa forma aumenta-se o tempo de residência das partículas maiores no interior da câmara.

Uma das principais características dos queimadores ciclônicos é a alta taxa de mistura entre o combustível e o oxidante, devido à grande turbulência inerente ao escoamento dos gases neste tipo de equipamento. A figura 2 ilustra a maneira pela qual ocorre este escoamento.

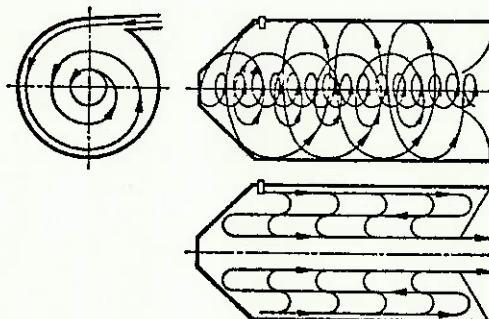


Figura 2

Fluxo de gases num ciclone

A trajetória resultante consiste de três hélices concéntricas, num movimento de vai-vem ao longo da câmara, sendo que as partículas, quando injetadas, ficam sujeitas a três velocidades distintas:

- velocidade tangencial (w);
- velocidade radial (v);
- velocidade axial (u).

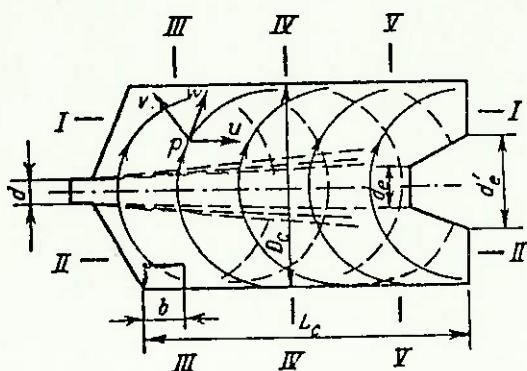


Figura 3
Representação das velocidades

Para que o escoamento se dê conforme a figura 2, a velocidade axial (u) deve mudar de sentido pelo menos duas vezes no interior da câmara, sendo que é imprescindível para um bom funcionamento do equipamento, que estas zonas de recirculação sejam bem definidas o que só é alcançado através de um bom dimensionamento geométrico da câmara.

Experimentalmente (segundo a referência (3)) verificou-se que a velocidade axial troca seu sentido três vezes ao longo do raio da câmara cilíndrica. Isto pode ser verificado na figura 4, que mostra o diagrama de variação da velocidade axial (u) em duas seções distintas. Ao se rastrear a câmara procurando os pontos de velocidade axial (u) nula, verificou-se a existência de três superfícies cónicas ao longo da fornalha, nas quais este fenômeno é verificado.

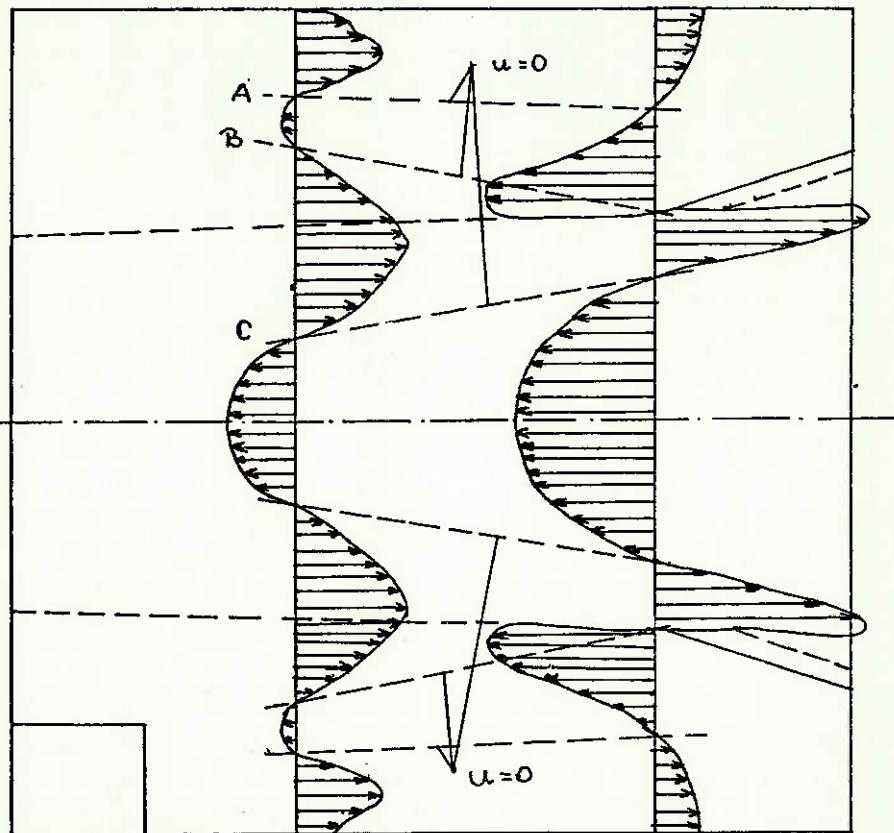


Figura 4

Diagrama de variação da velocidade axial em um ciclone

As superfícies A e B (fig. 4) são formadas devido à existência do bocal de saída de gases, de formato cônico cujo vértice imaginário se encontra no interior da fornalha. A terceira superfície C é devida ao vórtice formado em consequência da inércia dos gases, criando duas zonas distintas de pressão dentro da câmara. Uma zona periférica de pressão positiva e uma central de pressão negativa, responsável pela recirculação dos gases para dentro da câmara. Desta forma a saída dos gases se dá através de uma coroa circular situada no bocal de saída, a grandes velocidades.

A superfície A passa através do epicentro da turbulência responsável pela recirculação dos gases, situado ao longo de uma secção toroidal entre as paredes externas e frontal do ciclone e a superfície interna do bocal de saída dos gases.

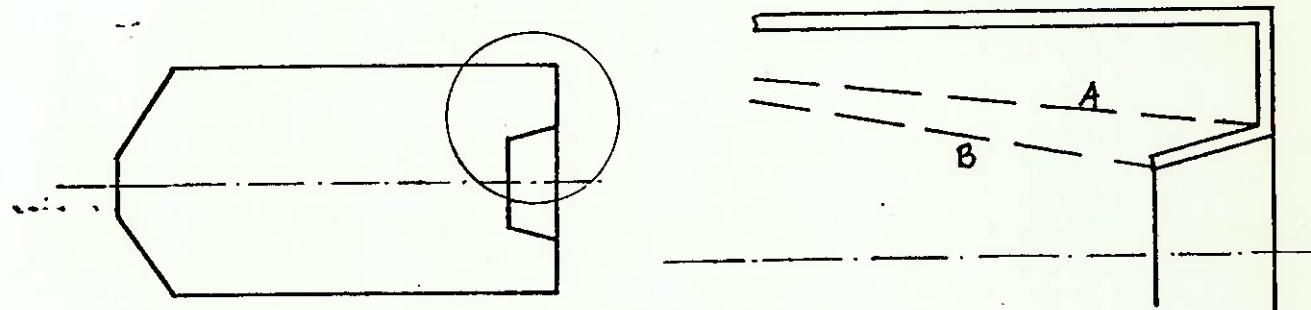


Figura 5

Detalhe da zona onde ocorre recirculação

A superfície B da velocidade axial $u = 0$ nasce da base interna do bocal de saída de gases em direção ao interior da fornalha.

A superfície C criada pelo vórtice é encontrada no interior da seção do bocal de saída de gases, se constituindo no limite que separa o ar de refluxo que entra no ciclone dos gases que saem a alta velocidade.

São essas mudanças de sentido na velocidade axial que respondem pela enorme turbulência encontrada dentro das fornalhas ciclônicas, e que, sob o ponto de vista da combustão, se tornam extremamente importantes para promover uma intensa interação entre combustível e oxidante.

Do ponto de vista de combustão de sólidos, pode-se considerar que o ciclone ocupa uma posição intermediária entre a combustão de pulverizados e a combustão em grelha. Esta posição justifica-se devido ao fato de que uma grande faixa de sólidos pode ser utilizada como combustível (carvão, serragem, casca de arroz, semente de girassol, bagaço de cana, etc), e que a granulação a ser utilizada cobre uma faixa que varia desde o pó até partículas com um diâmetro médio de 5 mm aproximadamente.

A câmara ciclônica apresenta as seguintes vantagens quando comparadas a outros tipos de fornalhas.

3.1. Uma melhor mistura entre combustível e oxidante, que no caso dos carvões de baixa qualidade, elimina o problema da cinza vir a impedir a combustão completa das partículas, e, aumenta sensivelmente a eficiência da combustão, baixando o excesso de ar.

3.2. Grandes cargas térmicas geradas num menor volume de fornalha. As capacidades alcançadas pelas câmaras ciclônicas, situam-se entre 2×10^6 a 8×10^6 kcal/m³h.

3.3. Altas temperaturas de combustão, como consequência do baixo excesso de ar.

Devido às altas temperaturas desenvolvidas no interior das câmaras ciclônicas, as cinzas do carvão fundem-se escorrendo pel as paredes, e, recobrindo-as com uma fina camada.

Estas serão posteriormente escoadas para um poço de cinzas, já dentro da caldeira.

3.4. Grande maleabilidade quanto ao uso de diferentes combustíveis.

3.5. Este tipo de equipamento vem sendo utilizados sob duas diferentes versões. A versão norte americana, também utilizada na União Soviética, infeta o combustível pelos fundos da câmara, como podemos observar na figura 6.

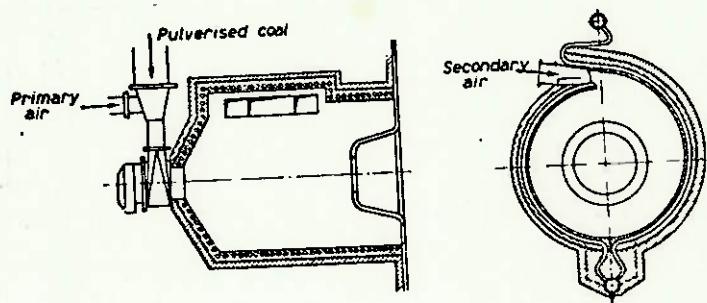


Figura 6

Ciclone Norte-Americano

Na Alemanha, (figura 7), o material é injetado na câmara segundo uma corda que corta a circunferência da seção do ciclone.

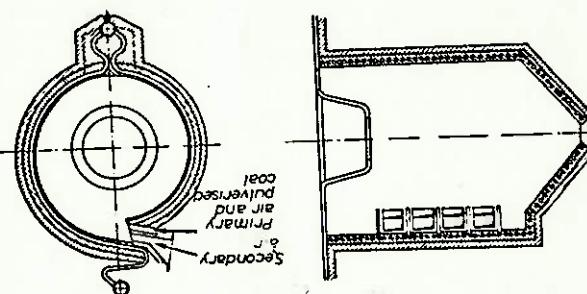


Figura 7

Ciclone Alemão

4. MODIFICAÇÕES NO NOVO PROTÓTIPO

Como consequência da intensa utilização do primeiro protótipo, esse se mostrou extremamente avariado, e sem condições de vir a ser utilizado para uma nova série de experiências. Viu-se a necessidade de construção de um novo protótipo, aproveitando-se de tal incômodo para inserir neste novo equipamento algumas modificações anteriormente sugeridas e outras que teriam o objetivo de otimizar o seu desempenho. As modificações feitas são:

4.1. Usô do concreto refratário em substituição à massa de socar, por resistir mais à erosão das partículas e por ser mais fácil de se manusear.

4.2. Colocação de um visor na parte posterior da câmara com a finalidade de se facilitar a ignição do combustível de aquecimento da câmara e a observação dos fenômenos ocorrentes dentro da câmara durante a combustão.

4.3. Mudança do ângulo de inclinação da câmara.

O primeiro protótipo possuia uma inclinação de aproximadamente 15° em relação à horizontal. Com o intuito de se estudar o arraste das cinzas com o escoamento dos gases dentro da câmara, e prevendo-se uma futura adaptação em uma caldeira flamotubular, optou-se por um protótipo que operasse na horizontal e fosse passível de alterações na angulação.

4.4. Alimentação de combustível sólido.

Para solucionar os problemas de entupimento na linha de alimentação de combustível sólido, aumentou-se o diâmetro do ciclone de alimentação, construindo-o de tal maneira que se tornou uma peça independente da carcaça da câmara. O sistema de alimentação por venturi foi mantido, porém o ventilador do ar de transporte foi trocado, de tal maneira que se obtivesse maior depressão na garganta do venturi e consequentemente maior transporte de material.

4.5. Saída de cinzas

Com a alteração da inclinação da câmara em relação à horizontal, mudou-se a saída de cinzas para a parte da frente da câmara (logo abaixo do bocal de saída de gases). Tendo em vista dessa forma que as cinzas fossem arrastadas pela componente axial dos gases.

4.6. Injeção do ar de combustão.

No protótipo anterior a injeção do ar de combustão era feita na parte inferior da câmara. Com a fusão das cinzas, formava-se uma obstrução no canal de injeção. Este problema tentou ser resolvido com a mudança do canal de injeção para a parte superior da câmara de maneira que as cinzas escorressem a partir do canal e não em direção ao mesmo. Para que esta alteração fosse construtivamente possível, foi necessário mudar-se a entrada do ar na câmara de refrigeração da parte inferior

direita, para a superior esquerda.

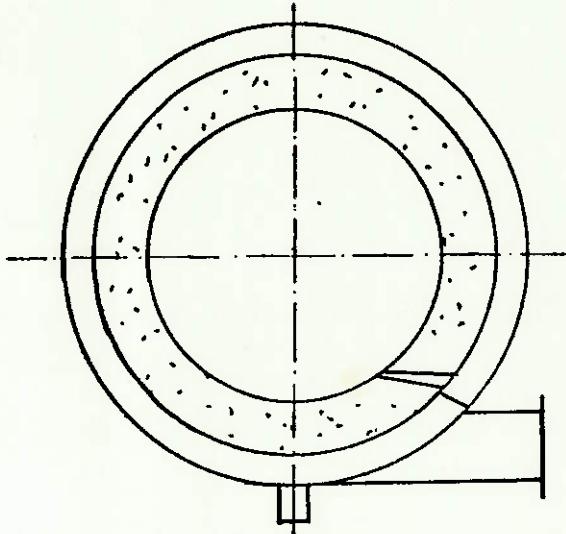


Figura 8

Primeiro Protótipo

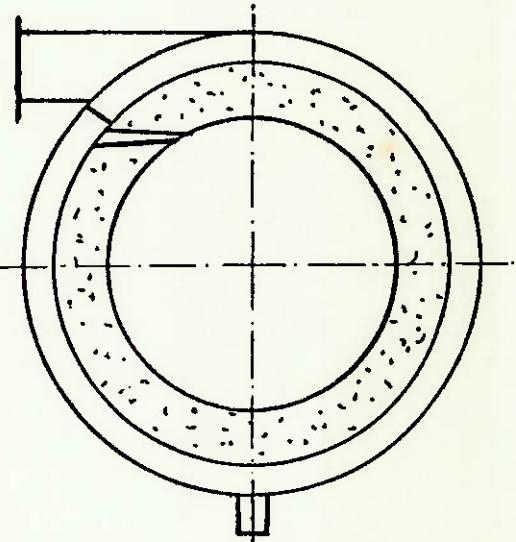


Figura 9

Novo. Protótipo

4.7. Saída dos gases quentes.

Procurou-se no novo equipamento prover o queimador com um modo de saída de gases que tivesse uma maior penetração no interior da câmara e desta maneira, diminuir a emissão de partículas cuja combustão não tivesse sido completada. Optou-se por uma solução que facilitasse a construção e possíveis modificações, bem como desse margem ao acoplamento numa caldeira flam-tubular.

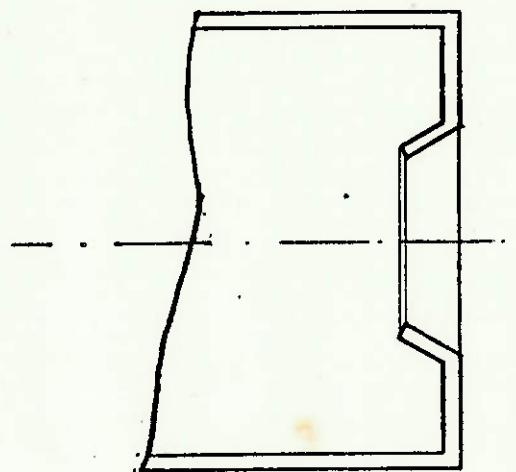


Figura 10
Primeiro Protótipo

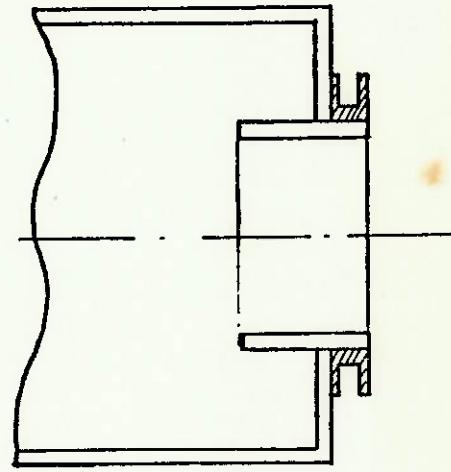
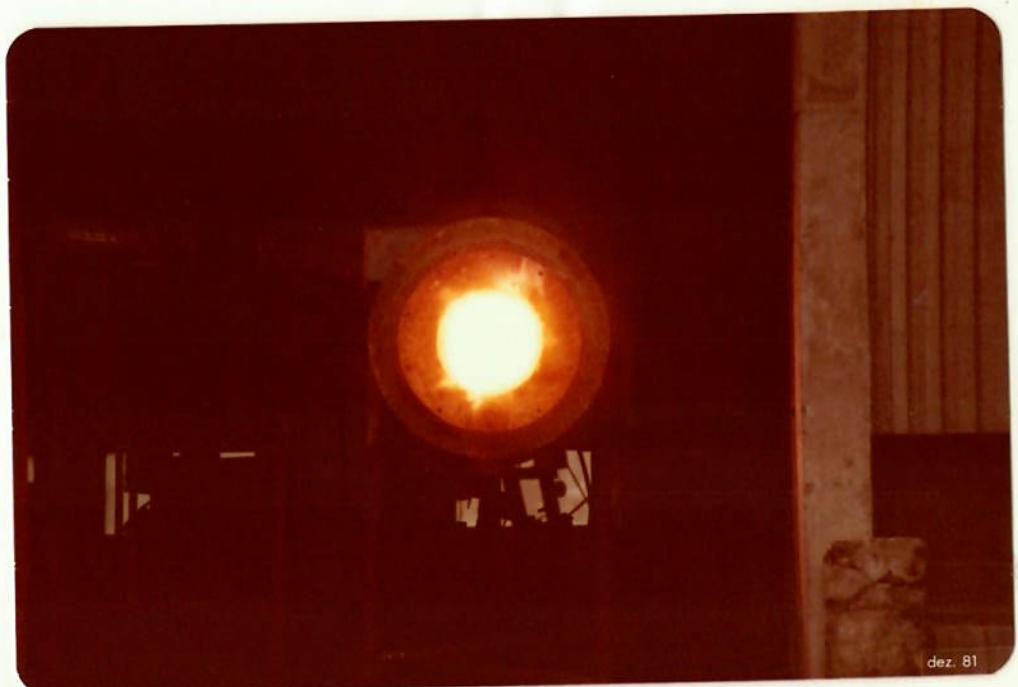


Figura 11
Novo Protótipo

4.8. Diminuição do diâmetro total.

O tubulão interno por questões de resistência mecânica, foi construído de aço inoxidável. Devido ao problema de disponibilidade de material, foi necessária a diminuição de seu diâmetro, mantendo-se entretanto, o comprimento da câmara. Isto ocasionalmente, acarretaria em uma diminuição da capacidade do equipamento e uma menor emissão de não queimados pela saída de gases para esta nova capacidade. A diminuição no diâmetro foi de aproximadamente 8%.

5. OBSERVAÇÕES EXPERIMENTAIS



5.1. Recepção e instalação do equipamento

Com todas as modificações propostas, foi feito um novo dese-
nho do queimador e enviado a uma indústria de caldeiraria pa-
ra a sua execução. Com a câmara pronta, foi providenciado o
transporte da indústria até o recinto do Departamento de Enge-
nharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo, onde ocorreriam as experiências.

Cuidou-se então da instalação da câmara nova, utilizando-se
totalmente os recursos existentes e a mão de obra disponível.

O ventilador de ar de combustão, que promove a ciclonagem das
partículas dentro da câmara, foi mantido em seu lugar origi-
nal, criando-se portanto, uma tubulação de PVC para o acopla-
mento no queimador. Tentou-se também a utilização de uma vál-
vula rotativa para promover o tratamento pneumático do mate-
rial a ser queimado. A câmara foi instalada na posição hori-
zontal e o queimador de óleo para o aquecimento da câmara ne-
cessitou de algumas adaptações para encaixar-se satisfatori-
amente no local para si destinado. Apresentamos a seguir um es-
quema da instalação.

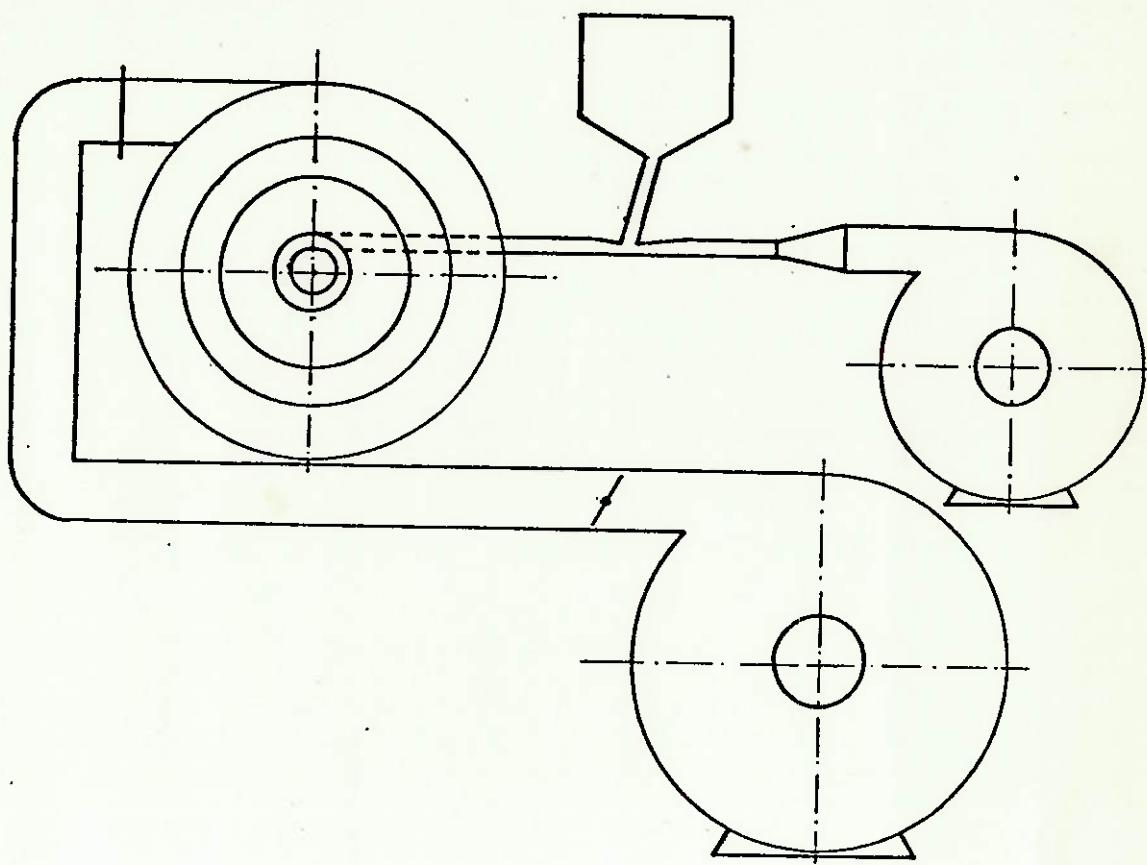


Figura 12
Lay-Out da Instalação

5.2. Descrição e resultados das experiências

Uma vez instalado o equipamento seria necessário permitirmos uma acomodação do concreto refratário dentro do tubulão interno, para evitar futuras quebras.

Passamos então a uma fase de sucessivos aquecimentos e resfriamentos da câmara, a fim de promover tal acomodação.

Em seguida aquecemos a câmara o suficiente e passamos a introduzir carvão vegetal através da válvula rotativa e do sistema de transporte.

Pudemos observar neste caso um grande acúmulo de material no fundo da câmara que, segundo uma primeira interpretação, aconteceu devido ao mal direcionamento do jato de entrada do ar de combustão, que se encontrava tangente à câmara. Isto acarretava uma desaceleração acentuada do ar, ao se encontrar com as paredes além do que havia na saída do jato, segundo nossas interpretações, velocidades muito baixas. Na tentativa de solucionar os problemas encontrados, procurou-se diminuir a secção do rasgo de injeção para aumentar a velocidade do ar, e, ao mesmo tempo colocamos deflectores para procurar descolar o jato da parede.

Partindo-se destas modificações, notamos que persistia o problema, além do que o sistema de alimentação mostrou-se ineficiente, pois a alimentação se dava aos pulsos o que não seria conveniente para o processo. Para solucionar o problema da alimentação, resolvemos voltar ao sistema de venturi e para tanto foram necessárias algumas adaptações. Atribuimos o problema do acúmulo de combustível à falta de vazão de ar de combustão, ao jato ainda mal direcionado e à grande perda de car-

ga inerente ao sistema entre o ventilador e a entrada da câmara de ar do queimador. Procuramos então melhorar o direcionamento do jato de ar, através da inserção de uma chapa de aço inox, devidamente conformada, internamente e ao longo de toda a secção de entrada do ar de combustão juntamente com espaçadores que aumentavam a altura do rasgo para 4 mm. Com o intuito de diminuir a perda de carga e consequentemente aumentar a vazão, o ventilador de ciclonagem foi deslocado de sua posição original para uma mais próxima da entrada da camisa de ar.

Apresentamos a seguir um novo esquema da instalação.

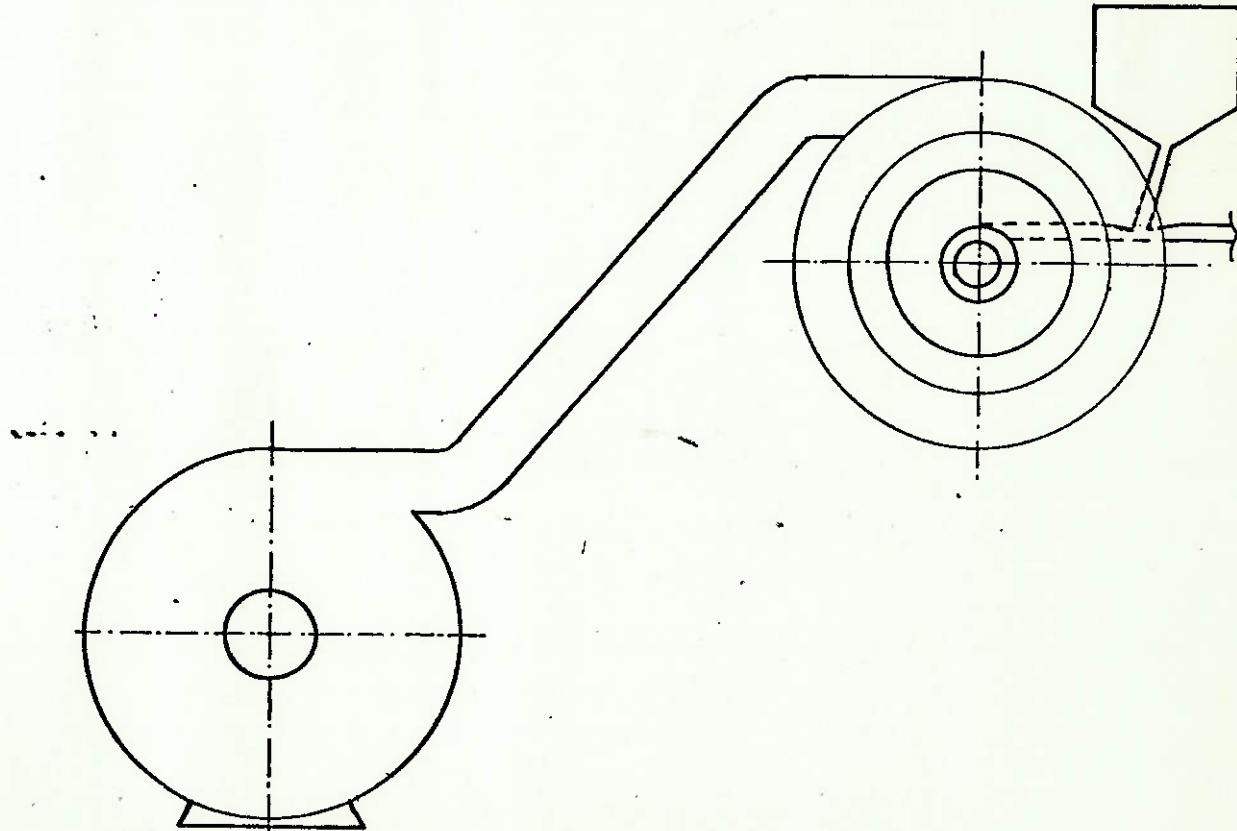


Figura 13

Novo esquema da instalação

Em sequência, notamos uma diminuição no acúmulo de material, porém, constatou-se que o material não tinha uma velocidade axial, de avanço ao longo da câmara, resultando numa grande massa de combustível girando no cone traseiro do queimador.

Supusemos que tal fato ocorria devido à falta de vazão fornecido pelo ventilador de ciclonagem, pois o jato de ar de combustão já se encontrava satisfatoriamente direcionado. Observamos também, que a perda de carga existente entre o ventilador e a entrada da camisa de ar era de aproximadamente 80 mm.c.a. Procuramos então, posicionar o ventilador o mais proximo possível da entrada da camisa de ar e, aumentamos a espessura do rasgo de entrada do ar de combustão de 4 para 6 mm aproximadamente. A tentativa de solucionar o problema anterior, mostrou-se infrutífera. Pensamos a seguir que a rotação de material no fundo da câmara fosse consequência da má distribuição do jato ao longo do comprimento do rasgo.

A etapa subsequente constituiu-se na observação do comportamento das partículas sólidas frente a diversas modificações no rasgo, conforme figura abaixo.

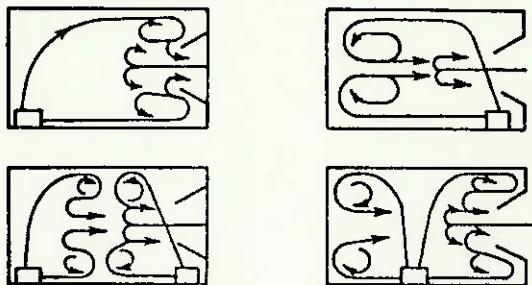


Figura 14

Configuração do escoamento do ar dentro
de uma câmara ciclônica para diversos
tipos de entrada de ar

As consequências das diversas modificações inseridas, nos mostravam que o problema anteriormente descrito, não se resolvia com a solução aplicada.

Neste momento, necessitávamos das vazões aproximadas dos ventiladores, para que pudéssemos calcular as velocidades desenvolvidas no processo.

Para tanto foi necessário o levantamento das curvas dos ventiladores, o que se realizou a grosso modo, procurando sempre nos manter fiéis a uma boa precisão nas medições.

As figuras 15 e 16, ilustram as curvas dos ventiladores de alimentação de carvão e de ciclonagem.

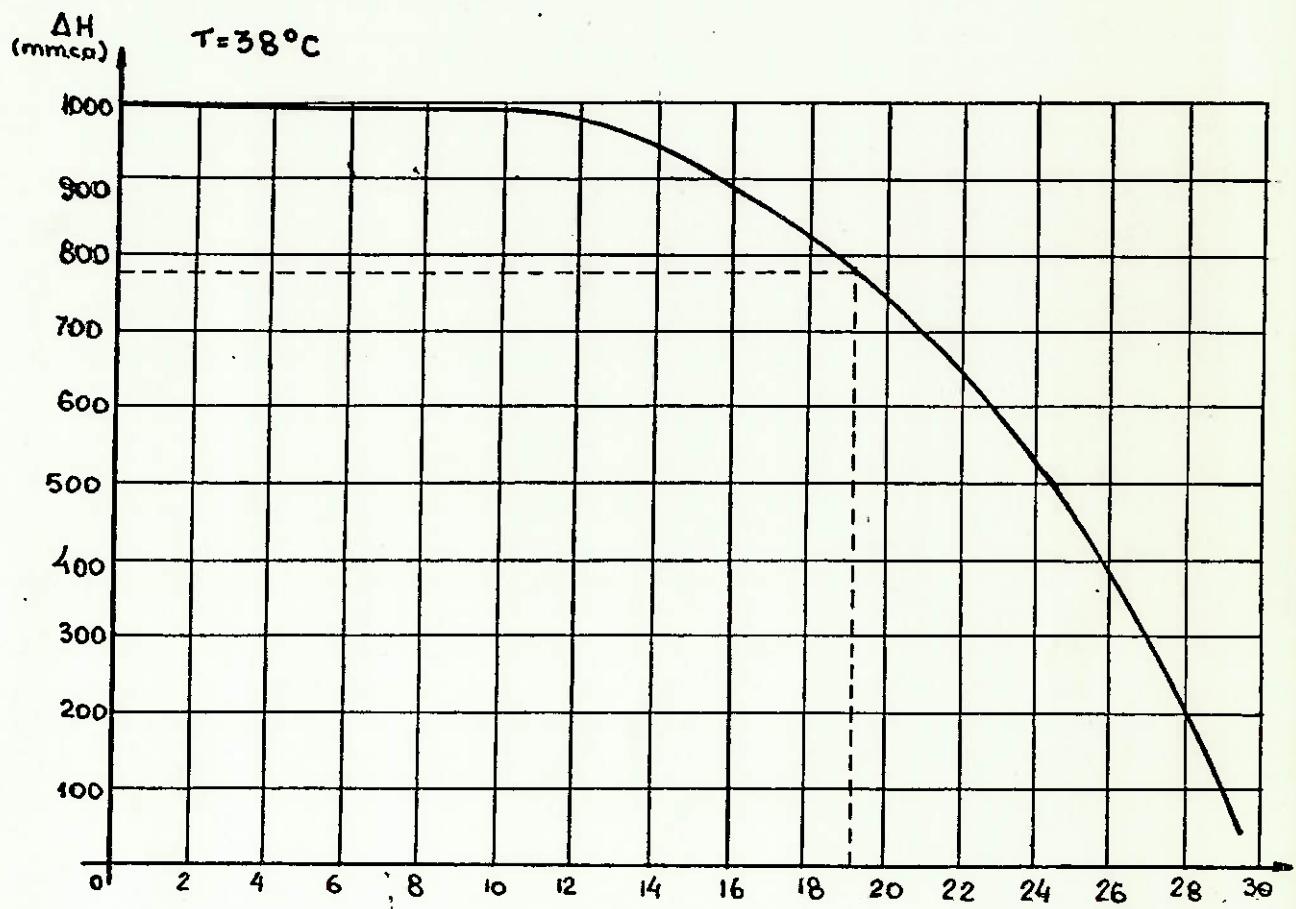


Figura 15

Curva característica $Q \times \Delta H$ do ventilador
de ciclonagem

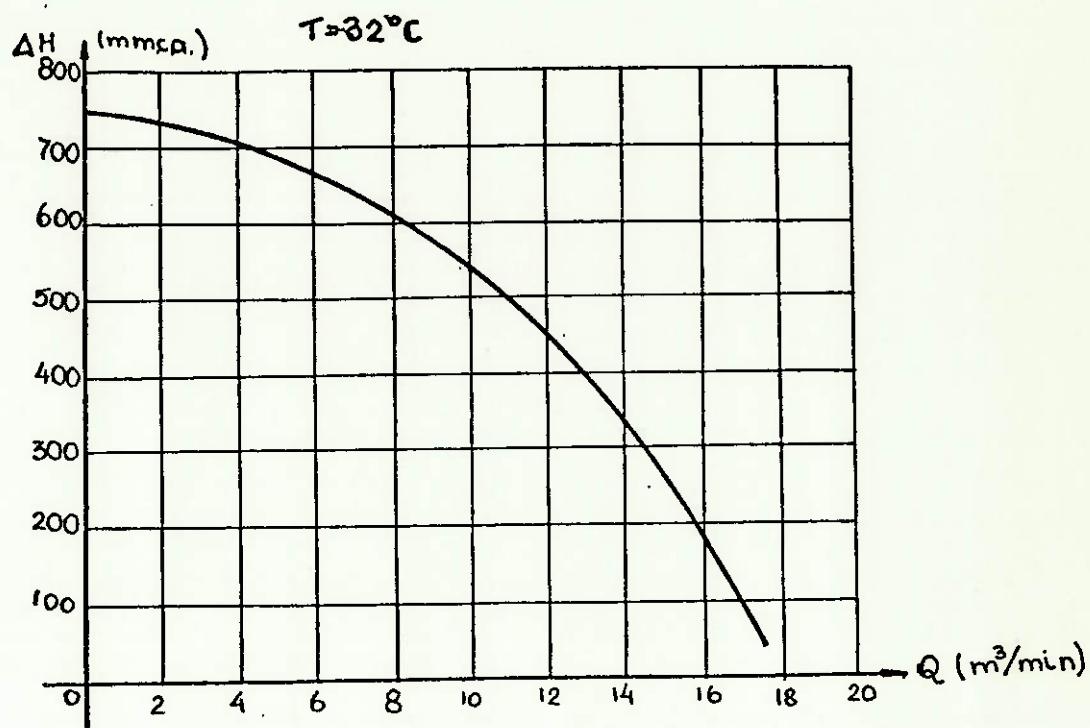


Figura 16

Curva característica $Q \times \Delta H$ do ventilador de alimentação

Através da curva do ventilador de ciclonagem pudemos verificar qual a vazão que tal equipamento fornecia nas condições de operação, visto que haviam sido medidas as pressões dos ventiladores, quando do funcionamento do conjunto. Constatou-se que a velocidade do jato de ar era satisfatória, pois, situava-se em torno de 90 m/s.

Lançando mão das bibliografias existentes a respeito deste tipo de equipamento, procuramos modificar o bocal de saída de gases, e avaliar as alterações introduzidas no comportamento do escoamento de gases no interior da câmara ciclônica.

Com a confecção de um bocal de saída, cônico, com aproximadamente 70 mm de profundidade, diâmetro menor de 250 mm, houve uma melhoria sensível no comportamento do queimador, sendo que conseguiu-se uma boa ignição do carvão, sem no entanto atingir uma performance satisfatória, isto é, ao longo do tempo a combustão do carvão não mantinha o aquecimento da câmara.

Foram experimentadas várias geometrias de bocal, sem uma melhoria sensível no comportamento.

Sentindo a necessidade de um maior respaldo teórico para a resolução deste problema, procuramos uma maior discussão teórica a respeito do assunto com o professor orientador, e, chegou-se à conclusão de que a recirculação dos gases dentro do queimador não era satisfatória, devendo-se portanto aumentar o espaço entre a parede interna da camara e a base do bocal

que deve ser cônico para um melhor desempenho.

Comparando-se as relações geometricas entre os dois protótipos constatou-se que realmente, o primeiro equipamento possuia a distância acima referida bem maior que o protótipo em estudo.

A justificativa da importância destas duas relações geométricas pode ser verificada ao capítulo 3 deste trabalho, analisando-se o diagrama de velocidades axiais no interior de uma câmara ciclônica.

Posto em marcha o equipamento já provido das modificações, observou-se um comportamento próximo do desejável, tendo-se a impressão visual de que a quantidade de combustível alimentado não era suficiente para manter a câmara em funcionamento embora podia-se notar nitidamente uma boa recirculação dos gases na câmara.

Ao se verificar a linha de alimentação de combustível sólido, encontrou-se uma obstrução que ocasionava um baixo transporte de material e consequentemente uma baixa carga térmica no queimador ciclônico.

Desobstruído o duto de alimentação, partimos imediatamente para uma nova experiência.

Ao ser inserido o carvão na câmara, pudemos observar, um funcionamento plenamente satisfatório, com a chama preenchendo totalmente o espaço interno da câmara.

A temperatura atingida pelo combustor foi de tal intensidade que o bocal de saída de gases por ter sido construído com cimento refratário de baixa qualidade não resistiu por muito tempo, quebrando-se após poucos minutos de operação.

A câmara continuava a operar, porém, com a quebra do bocal de saída de gases aumentou sensivelmente a emissão de partículas parcialmente queimadas.

Mostraremos a seguir uma série de fotografias que ilustram a última experiência anteriormente descrita. Infelizmente só conseguimos registrar o comportamento da câmara após a quebra do bocal.



Figura 17

Aquecimento da câmara com óleo diesel

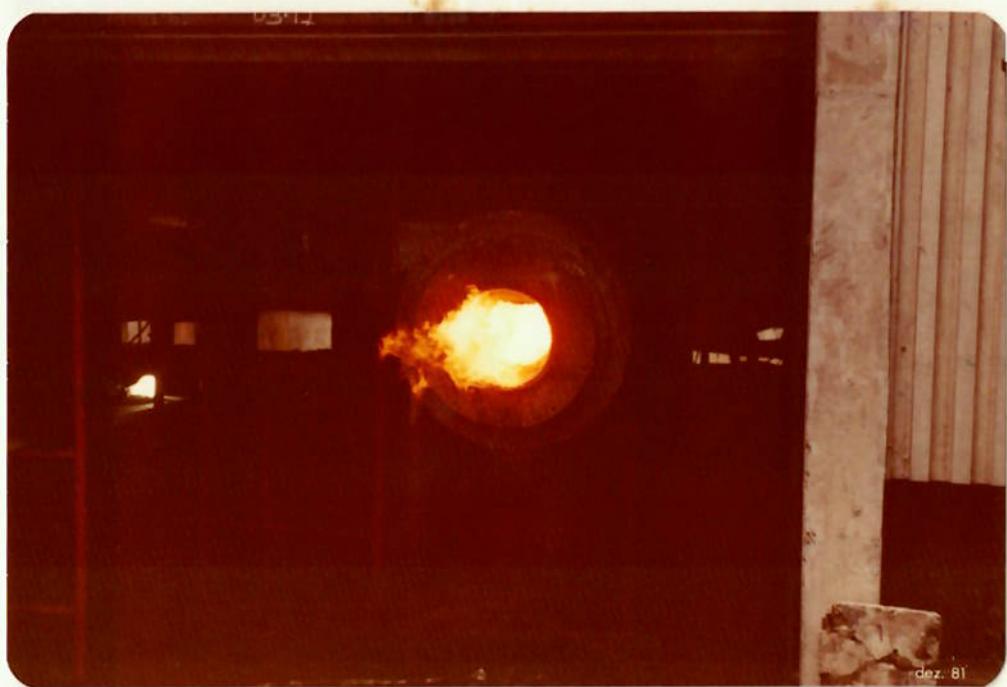


Figura 18

Nota-se uma certa deformação no bocal de saída
de gases

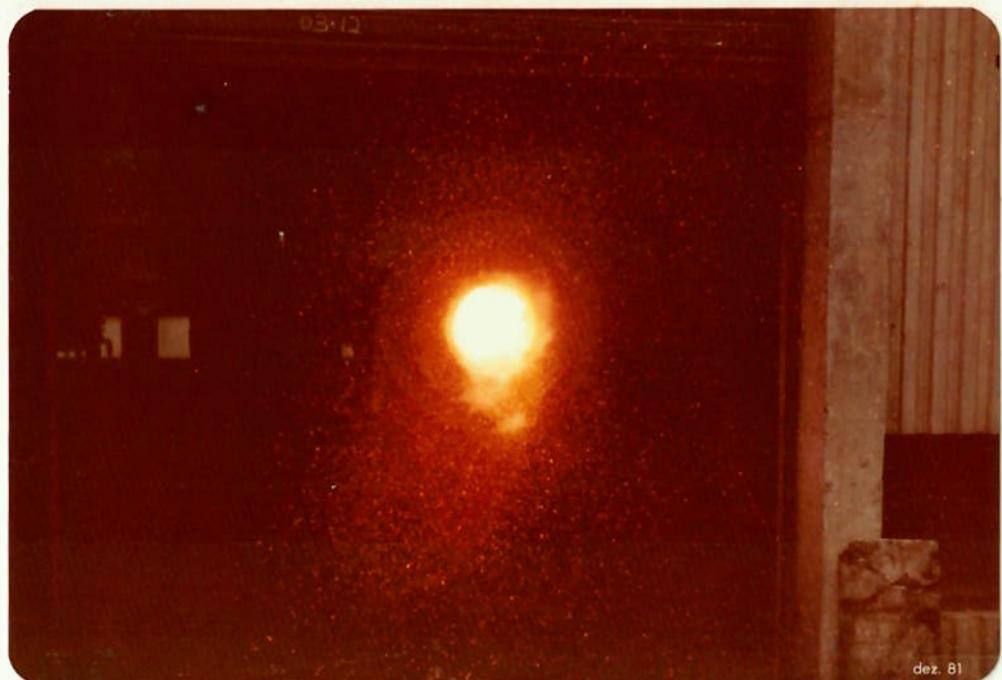


Figura 19

Combustão de carvão vegetal. O bocal de saída de gases já havia cedido e por consequencia, a emissão de partículas era grande.

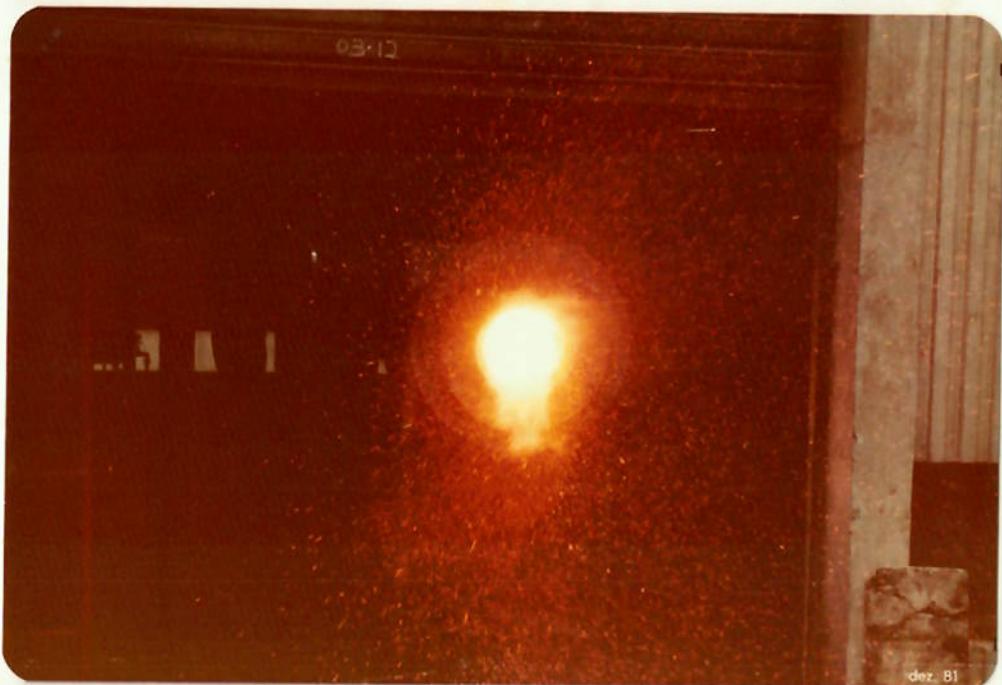


Figura 20

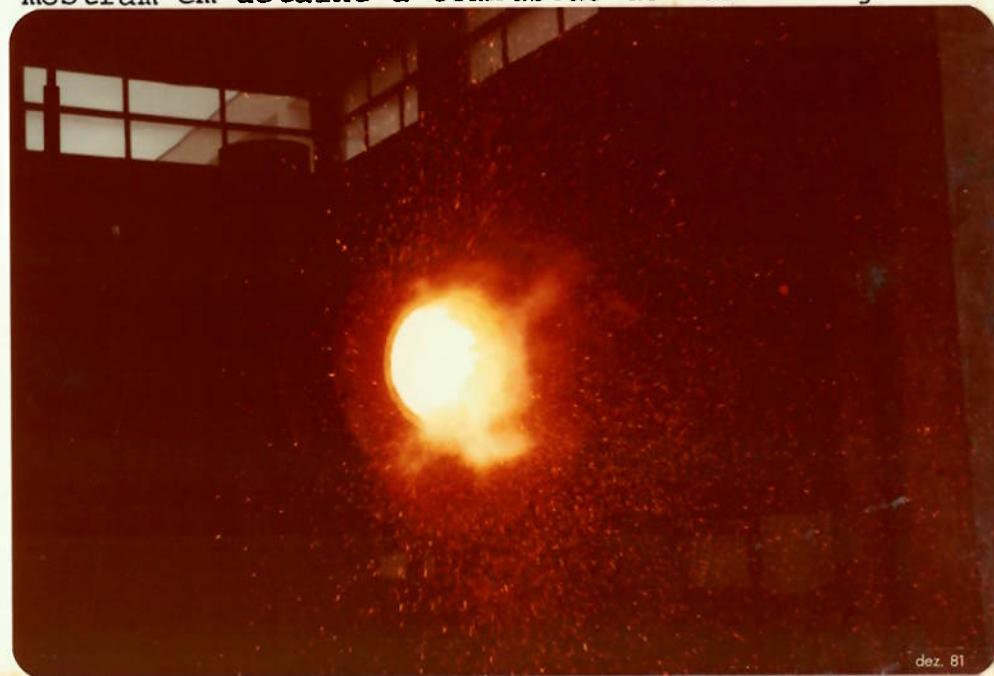
Percebe-se a alta temperatura desenvolvida
no interior da câmara.



Figura 21

Figura 22

As figuras 21 e 22 mostram em detalhe a combustão do carvão vegetal.



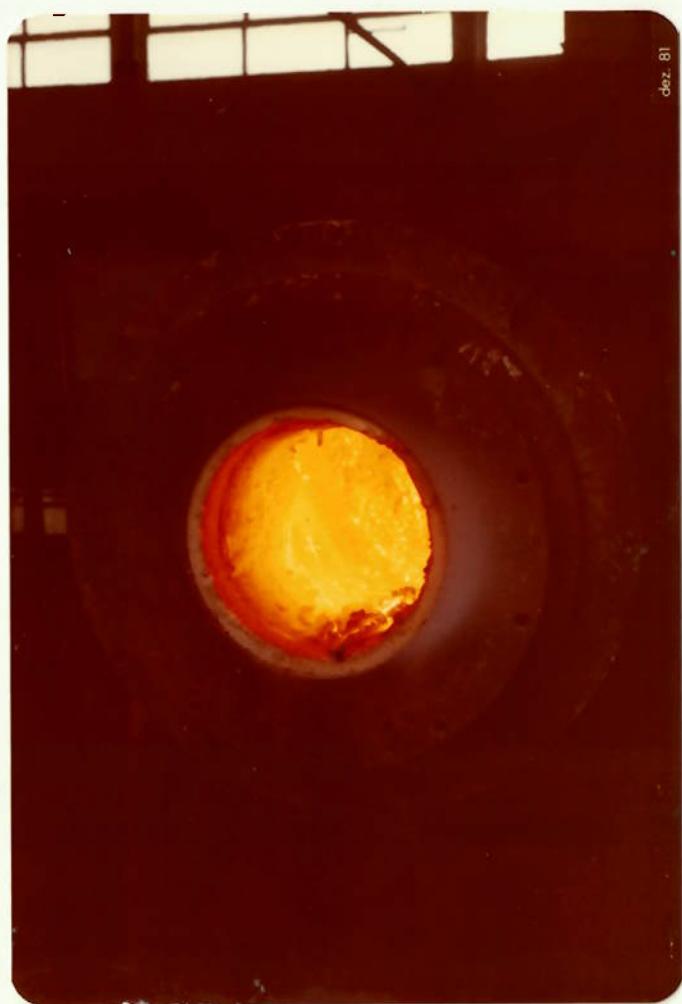


Figura 23

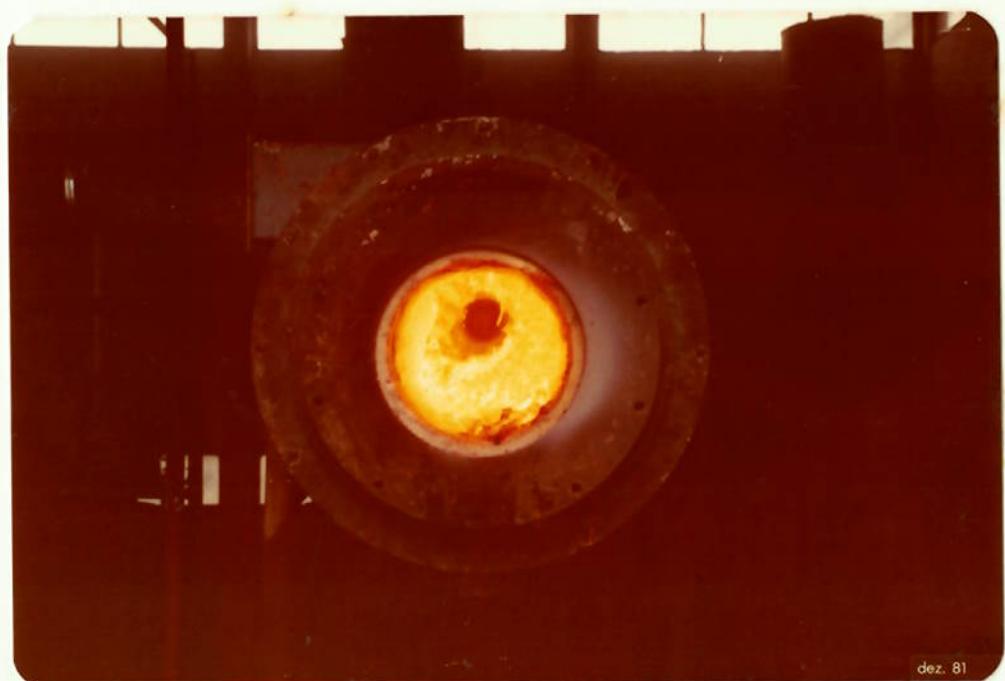


Figura 24

Logo após a parada de alimentação verificou-se a alta temperatura atingida pela câmara através da cinza fundida que escorre pelas paredes.



Figura 25

Detalhe do bocal de saída de gases, já
quebrado

6. CONCLUSÕES

As conclusões colhidas ao longo deste trabalho são por nós consideradas de extrema importância, pois visam um pleno entendimento dos fenômenos que ocorrem em uma câmara de combustão ciclonica.

6.1. A velocidade com a qual o ar é injetado na câmara, tanto em intensidade como em direção são parâmetros importantes, pois, são responsáveis pela trajetória das partículas de combustível.

6.2. As relações geométricas do bocal de saída de gases são extremamente importantes. Com uma geometria adequada, obtém-se uma melhor recirculação dos gases no interior da câmara e uma menor emissão de partículas sólidas.

6.3. Entendemos ser necessário para o prosseguimento do estudo dos queimadores ciclônicos, um maior aprofundamento teórico dos fenômenos inerentes ao escoamento de gases.

6.4. A posição dos bocais de insuflamento do ar de ciclonagem em relação à câmara, não é fator decisivo para o funcionamento deste tipo de equipamento, muito embora deva ser levado em consideração em futuras etapas de desenvolvimento.

6.5. O sistema de alimentação de combustíveis sólidos por venturi, mostrou-se mais eficiente do que o sistema utilizando-se uma válvula rotativa, não se sentindo a necessidade de um maior aprimoramento no conjunto de alimentação.



7. SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

- 7.1. Sugerimos aqueles que se interessarem em dar continuidade a este estudo, que tomem o cuidado de observarem o comportamento do combustor, alterando um parâmetro de cada vez.
- 7.2. Para um maior aprofundamento teórico, conforme ítem 6.3., sugerimos o estudo da análise dimensional dos parâmetros que envolvem o fenômeno.
- 7.3. De posse de ferramentas teóricas, torna-se mais fácil a definição de relações geométricas para o bocal de saída. A experimentação de várias geometrias e de diversos tipos de materiais levariam a um grande passo na evolução desse estudo.
- 7.4. A execução de uma experiência em um longo período de tempo traria também grandes contribuições. O levantamento de dados nessa experiência seria importante para a confecção de um completo balanço energético. Outra observação a ser feita seria quanto ao comportamento da saída de cinzas.
- 7.5. Um melhor arranjo no "lay-out" da instalação existente levaria a uma maior funcionalidade da instalação e consequentemente maior aproveitamento na observação do andamento da experiência.

7.6. A utilização de um queimador de óleo de nebulização mecânica possibilitaria o uso de um sistema de ignição elétrico.

BIBLIOGRAFIA

I - Shields, Carl D. Boilers: Types, Characteristics, and Functions - McGraw-Hill, New York, USA 1961.

II- Dolezal, Richard. Large boiler furnaces. Theory, construction and control. Amsterdam, Elservier Publishing CO. 1967.

III-Stambuleanu, Adrian. Flame Combustion Processes in Industry. Abacus Press, Tunbridge Wells, Kent, England. 1976.

IV- Bing, An Wan, outros. Estudo Preliminar visando o Desenvolvimento de um Combustor de alta intensidade para combustíveis sólidos. Orientador Prof. Clemente Greco, São Paulo, EPUSP, 1980.