

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE FORMATURA

" GERADOR DE GÁS QUENTE "

Autor: Henrique Isao sugiyama

Orientador : Euryale J. Zerbini

1983



Agradecimentos:

Especiais agradecimentos ao Prof. Zerbini que orientou a elaboração deste trabalho e também a Luiza que colaborou em muito para a apresentação final deste.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

Este trabalho tem como objetivo o de elaborar o projeto de um gerador de gás quente utilizando como combustível o carvão nacional. Este inclui principalmente os cálculos relacionados a área térmica do projeto, não dando muito ênfase ao cálculo estrutural.

Os dados para o trabalho foram coletados de uma necessidade real de uma empresa do ramo de produtos cerâmicos. O gás quente produzido será utilizado num secador de produtos de cerâmica.

Também foi incluído um estudo bibliográfico realizado quanto as várias formas e métodos para a queima do carvão. Devido as características do carvão nacional, não é qualquer tipo de queimador que proporciona um rendimento razoável.

ÍNDICE

Sumário.....	I
Índice	II
Nomenclatura.....	III
Introdução.....	1
Parte 1 - Método de queima de carvão.....	3
1.1 - Fornalhas de carga manual.....	3
1.1.1 - Grelhas fixas.....	3
1.1.2 - Grelhas móveis.....	4
1.1.3 - Grelhas para combustíveis de tamanho pequeno	4
1.2 - Grelhas mecânicas.....	6
1.2.1 - Grelha caminhante (ou sem fim).....	7
1.2.2 - Grelha em escada mecanizada.....	8
1.2.3 - Fornalhas de projeção.....	9
1.2.4 - Fornalhas com carregador de rosca sem fim...	10
1.2.5 - Fornalhas em leito fluidizado.....	11
1.3 - Fornalhas para carvão em pó.....	11
1.3.1 - Preparação do carvão.....	13
1.3.2 - Queimadores.....	15
1.3.3 - Vantagens da combustão de carvão pulverizado sobre a combustão em grelhas.....	15
1.4 - Conclusão.....	16
Parte 2 - Projeto do gerador de gás quente.....	17
2.1 - Especificação do projeto.....	17
2.2 - Dimensionamento e cálculos.....	18
2.2.1 - Combustão.....	18
2.2.2 - Determinação de excesso de ar.....	21
2.2.3 - Volume dos gases.....	24
2.2.4 - Cálculo da área da grelha.....	26
2.2.5 - Dimensionamento do ciclone.....	26
2.2.6 - Dimensionamento dos ventiladores e dutos....	31
2.2.7 - Determinação da espessura da parede.....	36
2.2.8 - Mecanismo das grelhas e removedor das cinzas	42
2.2.9 - Fornalha e silo.....	45
Apêndice.....	46
Bibliografia.....	47

NOMENCLATURA

B	: quantidade de carvão
Bc	: quantidade de combustível
CE	: carbono existente no combustível
CP	: carbono perdido
Cp	: calor específico
CT	: capacidade térmica
D	: diâmetro
Dh	: diâmetro hidráulico
Gr	: número de Grashof
g	: aceleração da gravidade
h	: entalpia específica
h	: coeficiente de película
h_o	: entalpia de formação
K	: condutibilidade térmica
L	: comprimento
m	: excesso de ar
mol	: peso molecular
N	: rendimento da combustão
n	: número de moles
Nu	: número de Nusselt médio
P	: pressão
Pr	: número de Prandtl
PCS	: poder calorífico superior
PCI	: poder calorífico inferior
Q	: quantidade de calor
Re	: número de Reynolds
Sg	: área da grelha
T	: temperatura
T	: temperatura ambiente
U	: coeficiente global de transmissão de calor
v	: velocidade
V	: vazão
V_{ar}^t	: volume de ar teórico
V_g	: volume de gás real

α_g	: absortância
β	: coeficiente de expansão volumétrica
ΔH	: perda de carga em metros .
ΔP	: perda de carga em unidades de pressão
ΔT	: variação de temperatura
γ	: peso específico
ϵ_g	: emissividade do gás
μ	: viscosidade absoluta
ρ	: densidade
σ	: constante de Stefan - Boltzman
\$: custo

INTRODUÇÃO

Atualmente muito se tem comentado e discutido a respeito de fontes alternativas de energia devido ao alto custo do petróleo e de seus derivados. Isto fez com que novos campos fossem melhor estudados, tais como, a eletrotermia e a energia gerada por usinas nucleares. Destas duas, a eletrotermia teve um incentivo maior, devido ao baixo custo da energia elétrica, devido as características da região em que vivemos e também por não necessitar da importação de tecnologia e também por não comprometer e ecologicamente, como acontece com as usinas nucleares.

Um outro caminho que foi adotado foi o de valorizar os combustíveis existentes no Brasil, tais como o xisto betuminoso, o álcool de cana e o carvão nacional.

O carvão nacional, que tem suas principais minas situadas na região sul do país, tem como uma de suas características marcantes o alto teor de cinzas . Por isto sua utilização não se tornava viável já que para sua queima com um rendimento razoável eram necessários equipamentos especiais e também uma grande área para seu armazenamento.

C Atualmente este aspecto já vem se transformando pois o seu custo já vem se tornado viável apesar dos inconvenientes já citados.

O gerador de gás quente a ser projetado se apresenta como uma opção para a substituição de um gerador que se utilizava de óleo combustível.

Com a substituição do combustível, segundo um estudo realizado pelo IPT, com dados de maio de 1983, teremos uma economia em relação ao óleo combustível de:

combustível	economia(%)
carvão mineral *	29,0
lenha	30,0
moinha **	47,0

* Preço do transporte incluído no custo

** Como a moinha é um resíduo de processo, é necessário um acordo com a empresa fornecedora.

Das três alternativas o carvão é o que oferece melhores garantias quanto ao fornecimento e a manutenção da qualidade do combustível.

Este trabalho foi dividido em duas partes, uma contendo o estudo bibliográfico sobre métodos de queima de carvão e a outra contendo o projeto do gerador de gás quente.

PARTE 1 - MÉTODOS DE QUEIMA DE CARVÃO

Vários tipos de grelhas podem ser utilizadas para a queima de carvão, além dos queimadores de carvão em pó.

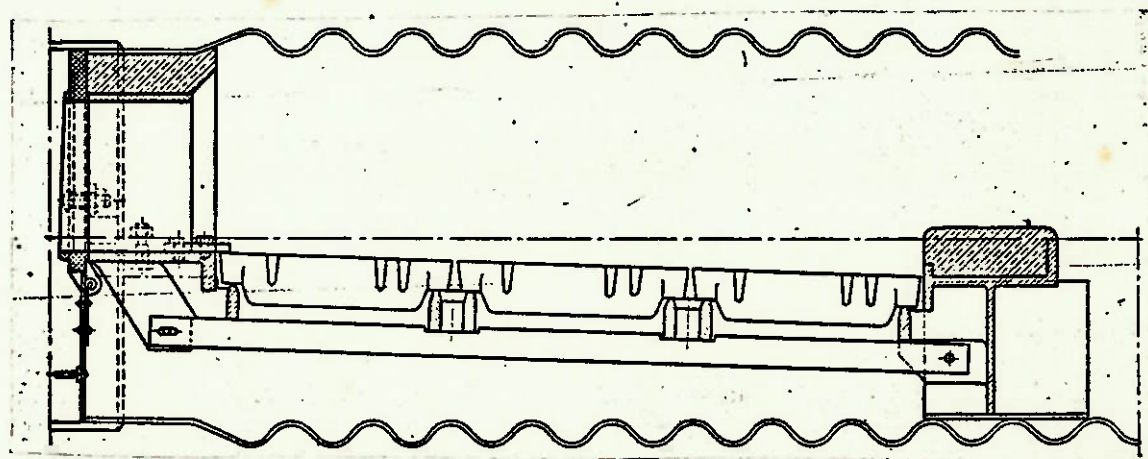
Uma classificação das fornalhas pode ser a seguinte:

- de carga manual
- de grelhas mecânicas
- de carvão pulverizado.

1.1 - FORNALHAS DE CARGA MANUAL

1.1.1 - GRELHAS FIXAS.

Como necessidade para a queima, o carvão deve estar imerso numa corrente de ar. Para tanto o suporte deste, deve ser reticulado e construído de material suficientemente forte, resistente a altas temperaturas e ao ataque químico (ferro fundido branco). As barras que formam o reticulado devem ter um formato que facilitem a queda das cinzas.



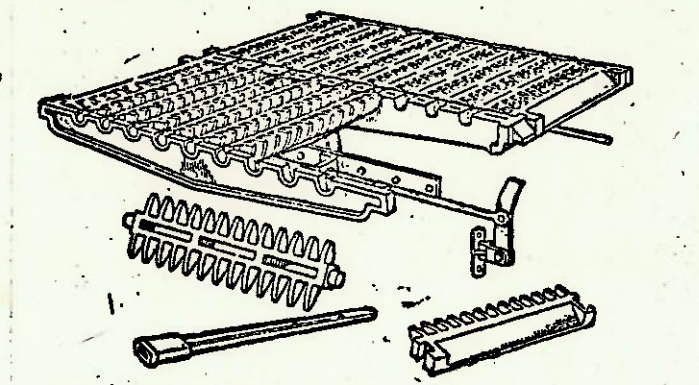
Fornalha com grelhas fixas

Sendo o método mais rudimentar, não é adequado para utilização em escala industrial, pois a necessidade de paradas para a retirada das cinzas diminui o período real de trabalho.

utilizando-se o carvão nacional, isto só se agrava devido a grandes quantidades de cinzas existentes

1.1.2 - GRELHAS MÓVEIS

Para impedir a aderência das escórias e facilitar sua queda no cinzeiro, utilizam-se grelhas com barras móveis. O movimento é comandado por uma alavanca o que ocasiona um movimento alternativo. Este movimento quebra as cinzas e faz com que elas caiam no cinzeiro e também melhoram a queima do combustível.



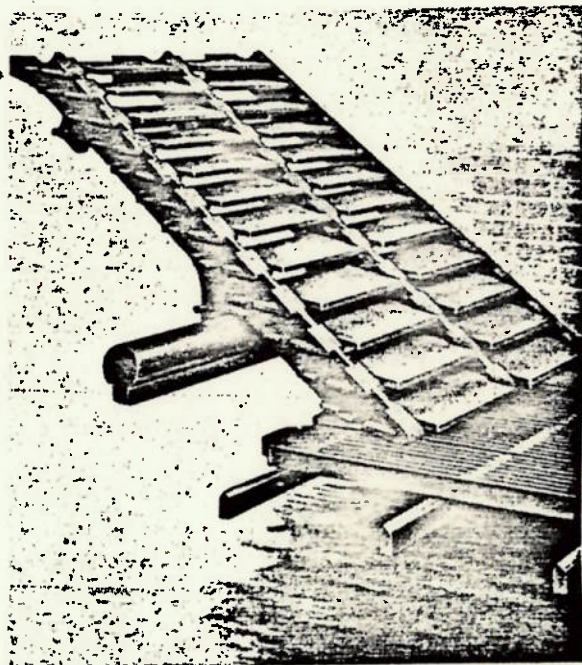
Detalhe das barras móveis

Este modelo também não é recomendado para escalas industriais, pois além da carga ser manual, o movimento das grelhas pode não ser automatizado.

1.1.3 - GRELHAS PARA COMBUSTÍVEL DE TAMANHO PEQUENO

Quando o combustível é constituído de pedaços pequenos ou se trata de alguma substância de tamanho semelhante, uti-

liza-se uma grelha que é formada por uma série de barras postas transversalmente em forma de escada

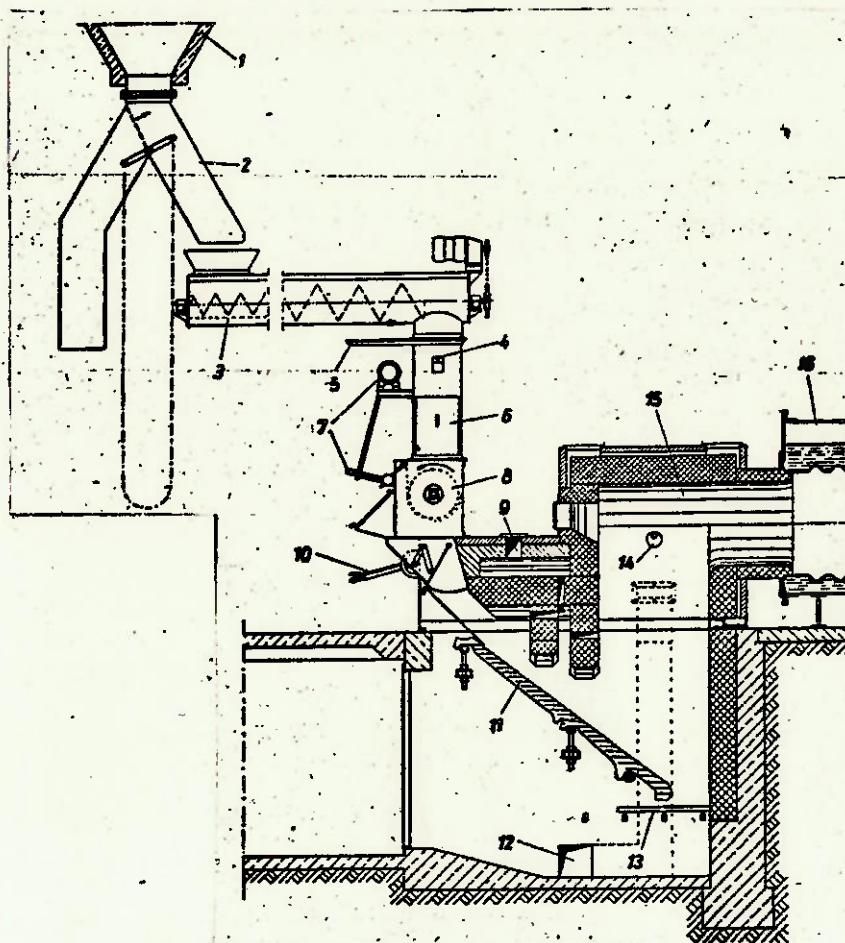


GRELHA EM ESCADA

Desta forma o ar passa com facilidade e a combustão se dá em condições muito favoráveis, conseqüentemente, diminuindo as perdas no cinzeiro.

Porém existe o inconveniente de a carga não ser igualmente distribuída por toda a grelha. Acumulando-se combustível próximo a boca de carga e acumulando-se escórias nos degraus próximos ao cinzeiro.

Neste tipo de grelha, em alguns casos, a carga pode ser automática.



GRELHA EM ESCADA MOSTRANDO O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

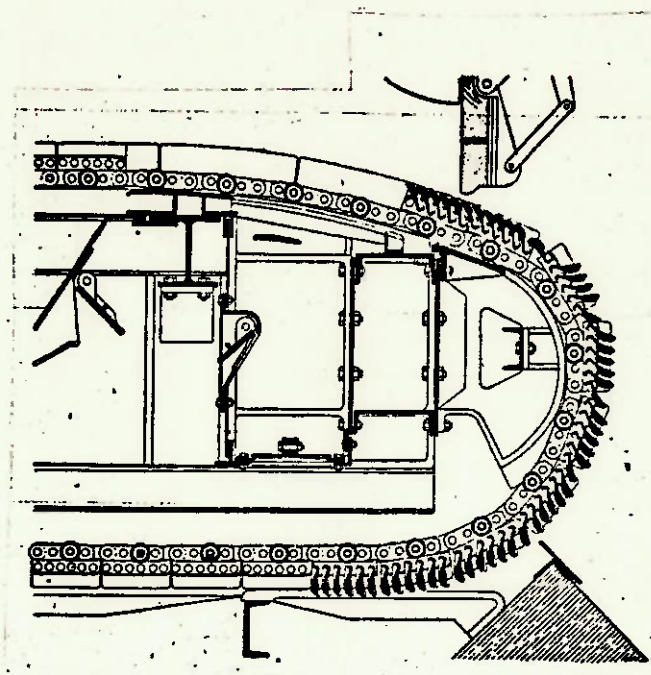
1.2 - GRELHAS MECÂNICAS

Quando a quantidade de carvão a ser carregado é muito grande, torna-se necessário que se utilize fornalhas mecanizadas, devido a dificuldade de se alimentar a fornalha adequadamente. O movimento das grelhas resulta numa distribuição mais uniforme do combustível e também na retirada automática das escórias.

Como não se faz necessária a abertura de portas para o carregamento, não existe mais a entrada de ar que ocorria o que resulta num melhor rendimento da fornalha.

1.2.1 - GRELHA CAMINHANTE (OU SEM FIM)

A grelha é constituída por elos, suficientemente flexíveis para que possam enrolar-se sobre os tambores colocados em cada uma das extremidades. Estes elos formam uma espécie de esteira que enquanto caminha em direção ao cinzeiro, o carvão sobre ela é consumido

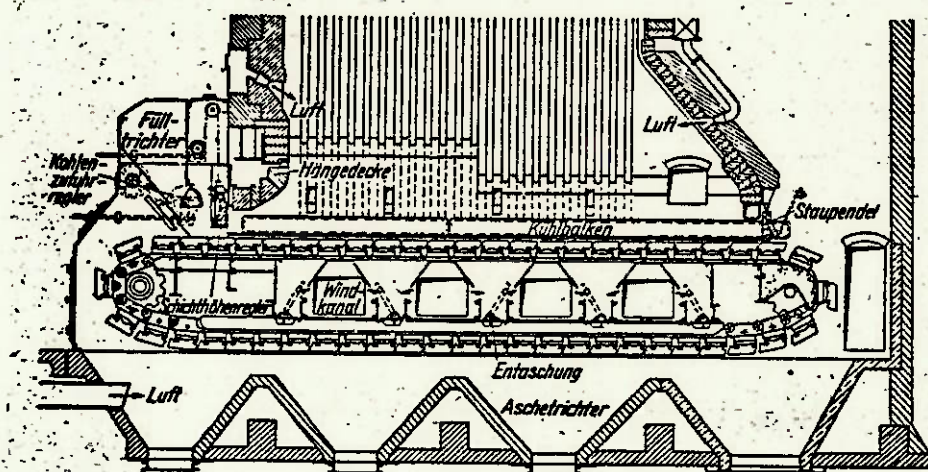


DETALHE DOS ELOS QUE FORMAM A GRELHA

O carvão cai sobre a grelha por uma tolva colocada na frente da fornalha, regulando-se a espessura da capa de combustível mediante um registro que se baixa mais ou menos segundo a necessidade de combustível.

Ao entrar, o combustível começa a aquecer-se, destilando-se os produtos voláteis e então se processa a combustão do carvão devido ao calor refletido do material refratário. A velocidade da grelha é ajustada de tal modo que o carvão ao chegar na parte posterior se tenha consumido totalmente, as cinzas então caem automaticamente.

As abóbodas da fornalha cumprem um papel importante pois refletem o calor necessário para produzir a destilação e a ignição do carvão e também por misturar os gases ricos que vem da frente e os gases pobres que vem do fundo, obtendo-se assim uma boa combustão.



GRELHA CAMINHANTE

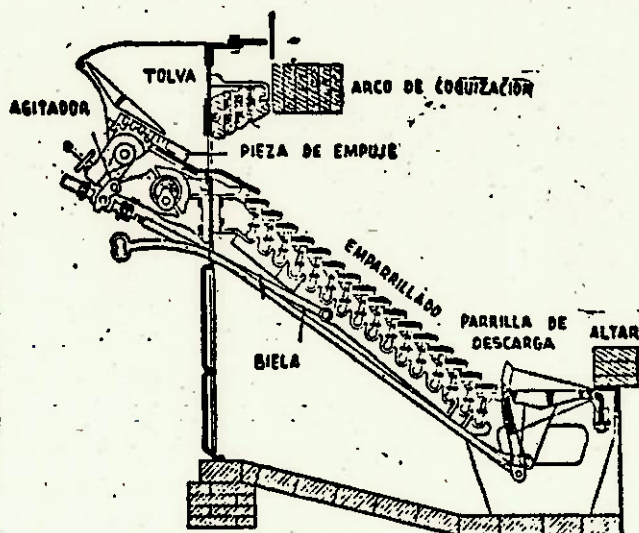
Este tipo de grelha proporciona uma rendimento de combustão muito boa. Mas devido a sua complexidade mecânica e o alto custo de aquisição e manutenção, ela só se faz viável para grandes fornalhas. Isto faz com que outras alternativas sejam analisadas.

1.2.2 - GRELHAS EM ESCADAS MECANIZADA

Esta grelha é formada por barras de ferro fundido que são dispostas em forma de escada. Estas barras possuem um movimento alternativo que faz com que o carvão se movimente para baixo.

O carvão passa da tolva para a fornalha, empurrado por um mecanismo de gaveta com o que se pode regular a quantidade

de combustível que se introduz. Sobre a grelha o carvão aquece-se devido ao calor refletido das paredes e então entra em combustão.



GRELHA EM ESCADA MECANIZADA

O movimento das grelhas e do mecanismo em gaveta pode ser obtida através de um pistão hidráulico ou por um rotor excêntrico movido por um motor elétrico.

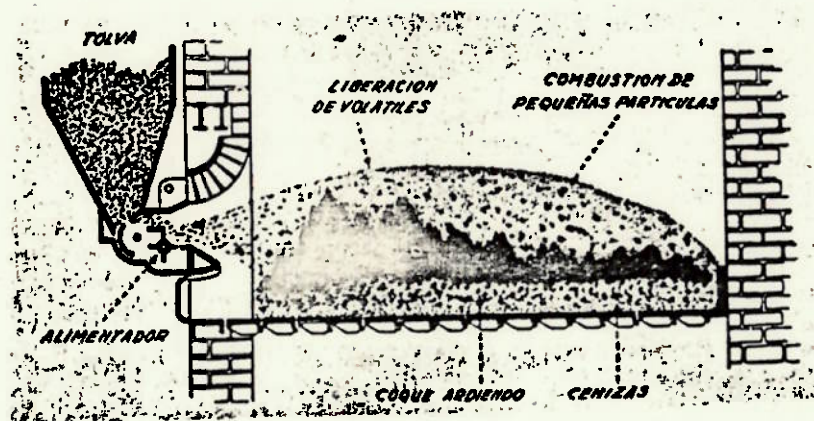
Este tipo de grelha se apresenta como uma boa alternativa, pois além de proporcionar uma boa queima do combustível, também possui um equipamento relativamente simples.

122.3 - FORNALHAS DE PROJEÇÃO

Estas fornalhas são constituídas essencialmente por uma tolva onde se armazena o combustível, o alimentador que regula a quantidade de combustível e o distribuidor a projeção que lança o combustível para a grelha que pode ser manual ou auto

mática.

O distribuidor consta de quatro pás colocadas sobre um eixo e defazadas uma em relação a outra e estão desenhadas para que um par oposto lance o combustível, ora para a esquerda, ora para a direita.



FORNALHA DE PROJEÇÃO

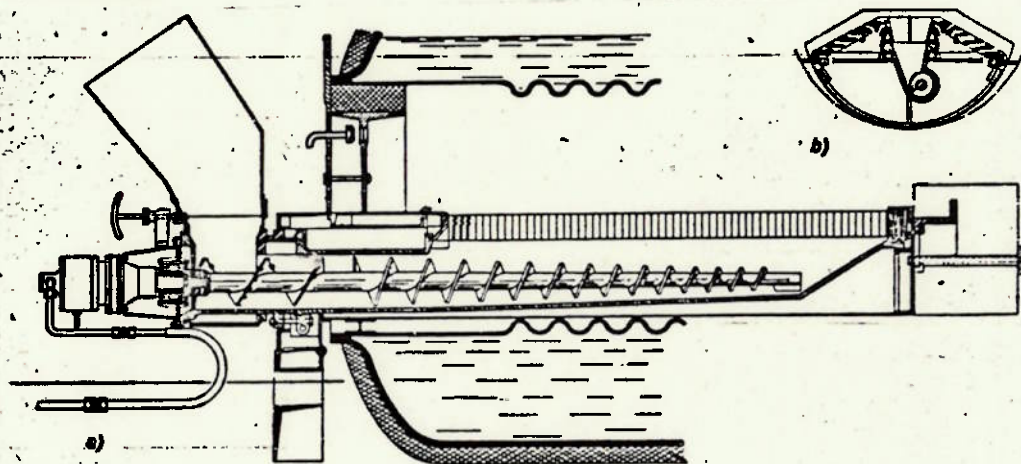
Este tipo de fornalha são empregadas geralmente para a queima do carvão em pedaços pequenos em grelhas, não muito grandes. Requerem carvão em pedaços de tamanho uniforme para uma boa distribuição. Apesar de se conseguir uma boa combustão, o fato da grelha ser fixa faz com que as cinzas não sejam facilmente eliminadas.

1.2.4 - FORNALHAS COM CARREGADOR DE ROSCA SEM FIM

Neste tipo de fornalha, o carvão penetra na fornalha em pequenas quantidades empurradas por uma rosca sem fim.

O carvão a medida que é empurrado em direção a câmara de combustão, vai se aquecendo e quando está na câmara já es-

tá em combustão. A medida que vai se consumindo, o carvão, vai sendo jogado para as laterais da fornalha e depois é jogado ao cinzeiro.



CORTE DE UMA FORNALHA COM CARREGADOR DE ROSCA SEM FIM

Este tipo de fornalha não é interessante para o gerador de gás quente, pois seu modelo construtivo não se mostram interessantes para o desejado.

1.2.5 - FORNALHAS EM LEITO FLUIDIZADO

Este processo ainda está em fase de protótipos no Brasil. Consta de uma fornalha onde o carvão em pedaços pequenos é misturado a areia e é mantido em suspensão pelo ar de combustão que é insuflado pela parte inferior da fornalha. O carvão é alimentado por cima e as escórias, devido a sua baixa densidade, é empurrada para cima, saindo por aberturas laterais.

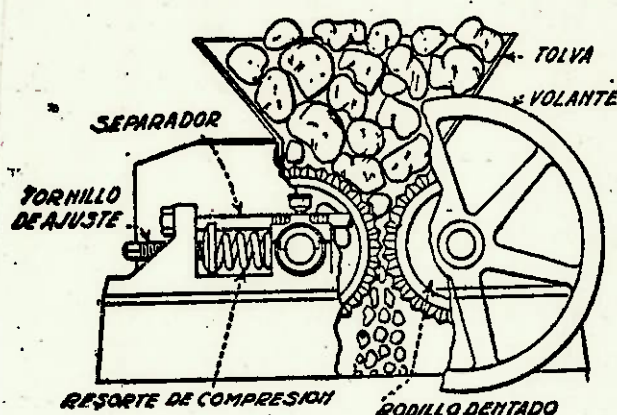
1.3 - FORNALHAS PARA CARVÃO EM PÓ

Neste tipo de fornalha, o carvão é introduzido mediante a uma corrente de ar e se inflama, devido a alta temperatura lá existente. Este procedimento é parecido com a queima de combustíveis líquidos ou gasosos.

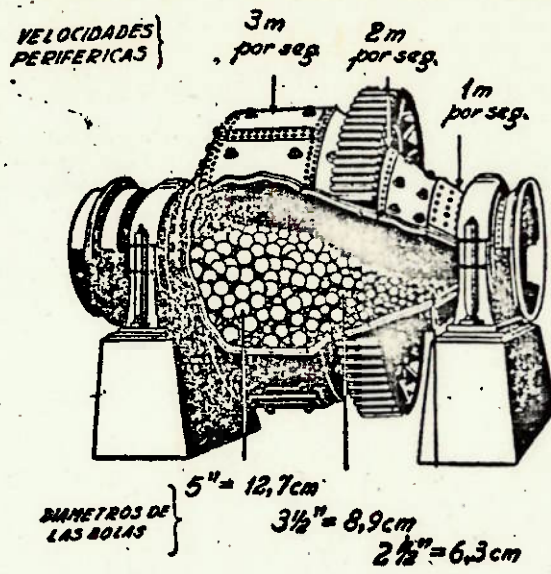
1.3.1 - PREPARAÇÃO DO CARVÃO

Para a preparação do carvão para que possa ser utilizado no queimador da fornalha, terá de passar pelas seguintes etapas:

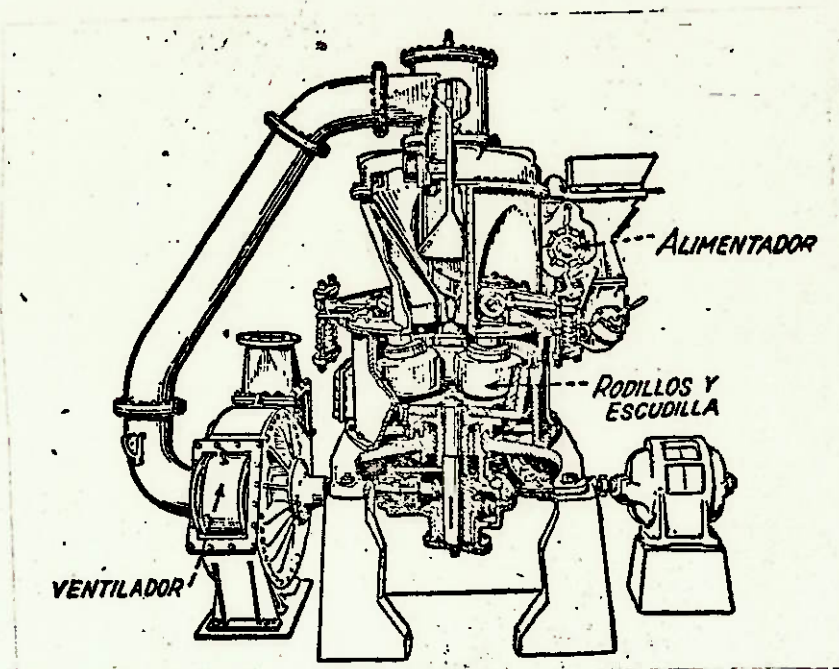
- MOAÇÃO: O carvão é quebrado em pedaços de 10-40 mm de diâmetro em máquinas moedeiras.



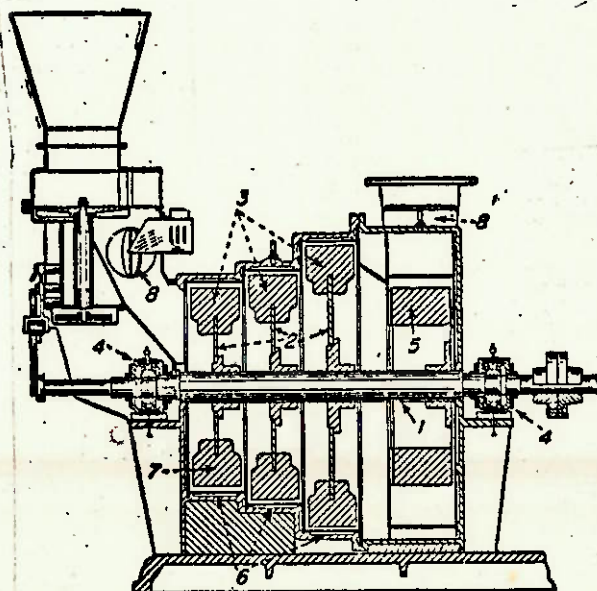
- SECAGEM: Como é difícil pulverizar o carvão se úmido, pois se aglomera, torna-se necessário que se aqueça o carvão antes de introduzi-lo no "molino".
- PULVERIZAÇÃO: Nesta operação, o carvão seco é transformado em partículas extremamente finas. Em alguns casos, o carvão é pulverizado até que as partículas possam passar por uma "peneira" de 1.600 aberturas por centímetro quadrado. A pulverização se dá em "molinos" do tipo de bolas, de roletes ou de impácto.



MOLINOS DE BOLAS



MOLINO DE ROLETES

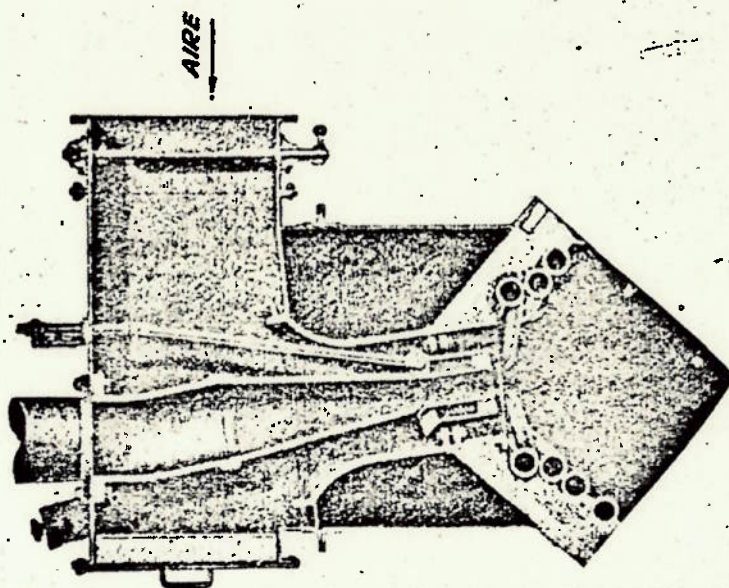


MOLINO DE IMPACTOS

1:3:2 - QUEIMADORES

O carvão pulverizado é arrastado pelo ar quente desde o molino até o queimador. Este ar quente é chamado de ar primário.

O ar secundário é adicionado por aberturas laterais ao queimador ou diretamente na fornalha.

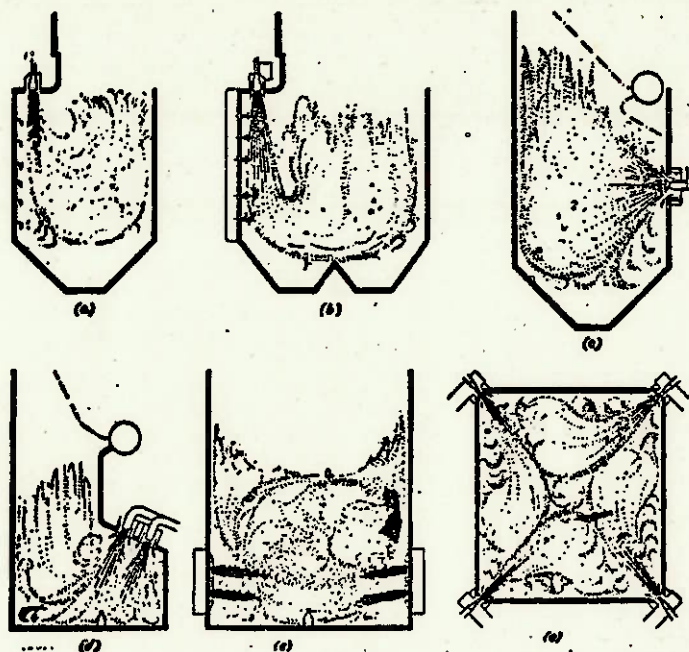


QUEIMADOR DE CARVÃO EM PÓ

Os queimadores se dispõem de modo que a corrente de carvão e o ar primário adquiri um movimento turbilhonar, desse modo, o ar que está ao redor da partícula é sempre renovado, e também se eliminam as cinzas e os gases de combustão.

1:3:3 - VANTAGENS DA COMBUSTÃO DE CARVÃO PULVERIZADO SOBRE A COMBUSTÃO EM GRELHAS

Com o carvão pulverizado é mais fácil se obter uma mistura apropriada do combustível com o ar e reduzir apreciavelmente o excesso de ar, conseguindo-se assim um aumento no rendimento da



DISPOSIÇÕES POSSÍVEIS PARA OBTENÇÃO DA TURBULÊNCIA

fornalha. Ainda com fornalhas bem desenhadas se tem uma maior liberdade para escolha do carvão.

Como desvantagem pode se citar que alguns carvões formam escórias que se incrustam nos tubos das caldeiras e às paredes da fornalha, e que ainda causam um aumento nas cinzas na chaminé, o que não é interessante ao nosso caso.

1:4 - CONCLUSÃO

Das várias alternativas que foram apresentadas, duas se sobressaem:

- grelha caminhante
- grelha em escada mecanizada

Como a primeira opção necessita de um equipamento mais sofisticado, a segunda opção, pela sua simplicidade e pelo seu bom rendimento será utilizada.

PARTE 2 - PROJETO DO GERADOR DE GÁS QUENTE

Este projeto visa atender a uma necessidade real de uma indústria de produtos cerâmicos e será utilizado para a geração de gás quente para o secador de material cerâmico.

2:1 - Especificação do projeto

- Capacidade térmica: 8.000.000 Kcal/h

- Granulometria do carvão : 0 - 1"

- Composição do carvão :

O carvão analisado é uma amostra de carvão nacional que servirá como combustível usual do sistema.

O resultado da análise foi o seguinte:

Carbono : 55,1%

Hidrogênio : 3,5%

Nitrogênio : 2,4%

Oxigênio : 1,7%

Enxofre : 1,5%

Cinzas : 32,7%

Umidade : 3,1%

- Temperatura do gás na saída antes do ciclone ...

950°C

2:2 - Dimensionamento e cálculos

2:2:1 - combustão

Inicialmente deve ser determinada a quantidade de carvão a ser utilizado. Para tanto devemos calcular o poder calorífico superior (PCS) e dele o poder calorífico inferior (PCI).

Podemos utilizar as seguintes equações:

$$\text{PCS} = \frac{8.100}{100} \times \% C + \frac{33.960}{100} (\% H - 0,8 \times \% O) + \frac{2.214}{100} \times \% S \quad (1)$$

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 6 \times (9 \times \% H + \% \text{UMIDADE}) \quad (2)$$

Portanto:

$$\text{PCS} = \frac{8.100}{100} \times 55,1 + \frac{33.960}{100} (3,5 - 0,8 \times 1,7) + \frac{2.214}{100} \times 1,5$$

$\text{PCS} = 5.522 \quad \text{Kcal} / \text{Kg}$
--

$$\text{PCI} = 5.522 - 6 \times (9 \times 3,5 + 3,1)$$

$\text{PCI} = 5.314 \quad \text{Kcal} / \text{Kg}$
--

Para o cálculo da quantidade de carvão a ser utilizada para obtermos a quantidade de calor necessário podemos seguir a seguinte relação

$$B = \frac{C \cdot T}{\text{PCI} \times N} \quad (3)$$

O rendimento pode ser determinado utilizando-se das figuras 1 e 2 temos:

OBS.:

Para a utilização desses gráficos temos de determinar a carga da grelha.

Como a grelha a ser utilizada é uma grelha em escada mecanizada e para este tipo de grelha o valor da carga recomendado é de 0,7 a 1×10^6 Kcal/m²h temos, utilizando uma carga de $0,8 \times 10^6$ Kcal/m²h.

- perda por carvão não queimado: 3%
- perda por condução, convecção e radiação: 2%
- total : 5%

Portanto:

$$N = 95\%$$

Voltando a equação (3) temos:

$$B = \frac{8.000.000}{5.314 \times 0,95}$$

$$B = 1.585 \text{ Kg/h de carvão}$$

Porém não será todo este carvão que será queimado; uma parte do carbono existente não será oxidado por várias razões, tais como, a perda por ser carregado com o ar ou sua queda nas cinzas, e outras mais.

Podemos estimar a quantidade de carbono perdido utilizando a análise das cinzas.

Do material analisado:

umidade total ABNT MB 15-60 22,4%

Do material seco:

carbono	27,9%
hidrogenio	0,5%

Então temos,

de 1 kg de carvão \longrightarrow 0,327 kg de cinzas

de 1 kg de cinzas \longrightarrow 0,279 kg de carbono

de 1 kg de carvão \longrightarrow 0,551 kg de carbono

Para determinarmos o percentual de carbono perdido

(% Cp) temos:

$$0,279 = \frac{CP}{32 + CP} \longrightarrow (1 - 0,279)Cp = 32 \times 0,279$$

$$CP = 12,3g/kg \text{ de carvão}$$

$$\% CP = \frac{12,3}{55,1} \approx 20\% \text{ de carbono perdido}$$

A quantidade de carbono existente no combustível é:

$$CE = B \times \frac{\% C}{100} = 1.585 \times \frac{55,1}{100}$$

$$CE = 873 \text{ kg/h de carbono}$$

A massa de carbono perdida é:

$$CP = CE \times \frac{\% CP}{100} = 873 \times \frac{20}{100}$$

$$CP = 175 \text{ kg/h de carbono}$$

Definimos então o valor da quantidade de combustível utilizado na combustão que será utilizado como valor base para o cálculo da combustão.

$$BC = B - CP = 1.585 - 175$$

$$BC = 1.410 \text{ kg/h de combustível}$$

Devemos então calcular os valores teóricos do ar de combustão e dos gases após a combustão. Para tanto utilizamos as seguintes relações

$$V_{ar}^t = 8,876 \times \frac{\% C}{100} + \frac{26,443}{100} \times (\% H - \frac{\% O}{8}) + 3,322 \times \frac{\% S}{100} \quad (4)$$

$$V_g^r = 1,8535 \times \frac{\% C}{100} + 0,693 \times \frac{\% S}{100} + 0,8 \times \frac{\% N}{100} + \frac{1,24}{100} (9 \times \% H + \% W) + (m-1) \times V_{ar}^t + 0,79 V_{ar}^t \quad (5)$$

Como para a determinação de V_g^r necessitamos saber o valor do excesso de ar, será determinado posteriormente.

Porém podemos determinar o volume de ar teórico para o combustão. Ele representa o volume de ar necessário para que haja a combustão completa estequiométrica.

Da equação (4) temos:

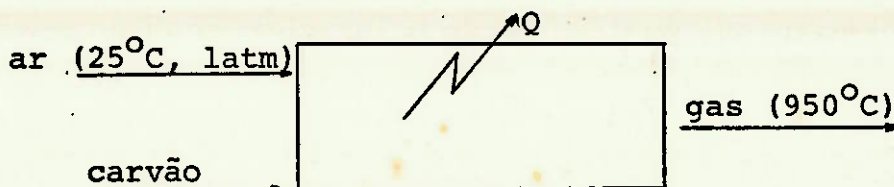
$$V_{ar}^t = 8,876 \times \frac{55,1}{100} + \frac{26,443}{100} \times (3,5 - \frac{1,7}{8}) + 3,322 \times \frac{1,5}{100}$$

$$V_{ar}^t = 4,973 \text{ Nm}^3 / \text{kg de combustível}$$

2:2:2 - Determinação do excesso de ar.

Como é uma especificação do projeto que o ar esteja a 950°C no gerador de gás quente devemos determinar o excesso de ar para que este valor não seja excedido nem que a temperatura esteja muito baixa.

Para o cálculo tomamos o volume de controle:



Da 1ª lei da termodinâmica temos:

$$Q + \sum n_e h_e = \sum n_s h_s \quad (6)$$

Como as perdas já foram estimadas em 5% temos:

$$Q = 0,05 \times PCI = 0,05 \times 5314$$

$$Q = 266 \text{ kcal / kg de carvão}$$

Como no interior do volume de controle ocorre uma reação de combustão devemos tomar a entalpia de formação e adicionarmos a variação de entalpia.

$$h = \bar{h}_o + \Delta h$$
$$h = \text{mol} \times C_p \times \Delta T$$

A base de cálculo para h_o é 25°C a 1 atm.

Na entrada temos (25°C , 1 atm):

Carvão _____ $h = 0$

O₂ _____ $h = 0$

N₂ _____ $h = 0$

Então:

$$\sum n_e h_e = 0$$

Para a saída temos de determinar a entalpia de formação dos vários componentes dos gases, o volume de cada para que possamos determinar o número de moles de cada um.

As condições são:

- Temperatura: 950°C
- pressão : 1 atm

Então temos:

$$\text{CO}_2 : h = - 94.054 + 44,01 \times 0,203 \times 1198 = - 83.351 \text{ kcal/kgmol}$$

$$\text{SO}_2 : h = - 70.940 + 64,00 \times 0,139 \times 1198 = - 60.282 \text{ kcal/kgmol}$$

$$\text{H}_2\text{O} : h = - 57.798 + 18,02 \times 0,445 \times 1198 = - 48.193 \text{ kcal/kgmol}$$

$$\text{O}_2 : h = 0 + 32,00 \times 0,219 \times 1198 = 8.395 \text{ kcal/kgmol}$$

$$\text{N}_2 : h = 0 + 28,02 \times 0,248 \times 1198 = 8.324 \text{ kcal/kgmol}$$

Para determinarmos os volumes de cada elemento nos gases recorreremos a equação (5) de onde temos para 1 kg de combustível:

$$V_{\text{CO}_2} = 1.8535 \times \frac{55,1}{100} = 1,02 \text{ Nm}^3$$

$$V_{\text{SO}_2} = 0,693 \times \frac{1,5}{100} = 0,01 \text{ Nm}^3$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1,24}{100} (9 \times 3,5 + 3,1) = 0,43 \text{ Nm}^3$$

Como para o oxigênio e nitrogênio devemos considerar o excesso de ar temos:

$$V_{\text{N}_2} = 0,8 \times \frac{2,4}{100} + 0,79 (m \times 4,973) = 0,021 + 3,93m \text{ Nm}^3$$

$$V_{\text{O}_2} = (m - 1) \times 0,21 \times 4,973 = 1,04m - 1,04 \text{ Nm}^3$$

Para determinarmos o número de moles podemos considerar os gases como gás perfeito.

Pela teoria dos gases perfeitos temos que 1 mol de gás

na CNTP ocupa um volume de 22,4 l. Com esta relação temos:

$$N = \frac{V_g}{22,4 \times 10^{-3}}$$

$$n_{CO_2} = \frac{1,02}{22,4 \times 10^{-3}} = 45,54 \text{ moles}$$

$$n_{SO_2} = \frac{0,01}{22,4 \times 10^{-3}} = 0,45 \text{ moles}$$

$$n_{H_2O} = \frac{0,43}{22,4 \times 10^{-3}} = 19,20 \text{ moles}$$

$$n_{N_2} = \frac{0,02 + 3,93m}{22,4 \times 10^{-3}} = 0,9 + 175,45m \text{ moles}$$

$$n_{O_2} = \frac{1,04m - 1,04}{22,4 \times 10^{-3}} = 46,4m - 46,4 \text{ moles}$$

Com estes dados podemos voltar a equação (6):

$$\begin{aligned} - 266 &= 45,54 \times (-83.351) + 0,45 \times (-60.282) + 19,2 \times (-48193) + \\ &+ (0,90 + 175,45m) \times 8,324 + (46,4m - 46,4) \times 8.395 \\ 5,14 \times 10^6 &= 1,85 \times 10^6 m \end{aligned}$$

$m = 2,78$

2:2:3 - Volume dos gases:

Para determinarmos os volumes reais do ar para a combustão e dos gases, utilizaremos as seguintes relações:

$$V_{ar}^r = m \times V_{ar}^t \times Bc$$

O que nos dá

$$V_{ar}^r = 2,78 \times 4,976 \times 1410$$

$$V_{ar}^r = 19.505 \text{ Nm}^2/\text{n}$$

Para o cálculo dos gases utilizamos a equação (5)

$$V_g^r = \left[1,8535 \times \frac{55,1}{100} + 0,693 \times \frac{1,5}{100} + 0,8 \times \frac{2,4}{100} + \frac{1,24}{100} (9 \times 3,5 + 3,1) + (2,78-1) \times 4,973 + 0,79 \times 4,973 \right] \times 1410$$

$$V_g^r = 20.107 \text{ Nm}^2/\text{h}$$

Para termos os volumes reais nas condições encontradas, utilizamos as relações dos gases perfeitos.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \text{ como } p_1 = p_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

Para os gases na saída temos

$$V_g = 20,107 \times \frac{(950 + 273)}{273}$$

$$V_g = 90.076 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para o ar da entrada temos

$$V_{ar} = 19.505 \times \frac{(273 + 25)}{273}$$

$$V_{ar} = 21.291 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para dividirmos para o ventilador primário e secundário podemos adotar os valores

Ar primário : 14.500 m³/h

Ar secundário : 6.791 m³/h

2:2:4 - Cálculo da área da grelha:

Para o cálculo da área da grelha utilizaremos valores adotados na prática. Os valores recomendados, para a grelha em escada mecanizada, para a carga vão de 0,7 a 1,0 x 10⁶ kcal/m²h.

Utilizando uma carga de 0,75 x 10⁶ kcal/hm² temos:

$$S_g = \frac{CT}{0,75 \times 10^6} = \frac{8 \times 10^6}{0,75 \times 10^6}$$

$$S_g = 10,7 \text{ m}^2,$$

Para uma maior segurança, utilizaremos

$$S_g = 11 \text{ m}^2$$

2:2:5 - Dimensionamento do ciclone:

Para o dimensionamento do ciclone a ser utilizado logo após o gerador de gás quente, existem vários métodos. Todos os métodos aplicam valores obtidos pela prática.

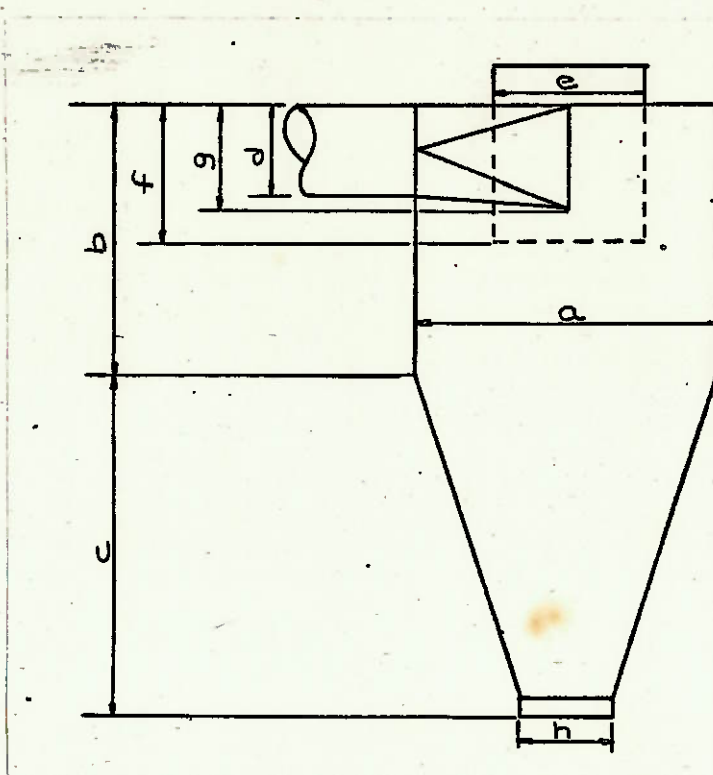
Estes métodos relacionam a vazão de ar com o diametro

principal do ciclone. As outras dimensões são adotados como relações com o diametro principal.

Para uma melhor coleta do pó arrastado pelo gás utilizaremos uma bateria de 6 ciclones.

Com isto, temos que a vazão de gás quente para cada ciclone é:

$$\dot{V} = \frac{90.076}{3.600 \times 6} = 4,17 \text{ m}^3/\text{s}$$



19 MÉTODO: Método de Stairmand e Kelsey.

Por experimentação, Stairmand e Kelsey chegaram que para uma velocidade de entrada de 15,2 m/s a seguinte relação seria válida.

$$a = 155 \sqrt{\dot{V}} \quad (\text{cm})$$

Segundo este relação teríamos:

$$a = 155 \sqrt{4,17}$$

$$a = 316,5 \text{ cm}$$

2º MÉTODO : Método de Limoya

Também por experimentação, Limoya propôs que para uma velocidade de entrada entre 15,2 e 17,8 m/s a seguinte relação é válida:

$$a = 286 \sqrt{BH} \quad (\text{cm}),$$

onde BH representa a área do duto de entrada caso a seção do duto fosse retangular.

Para obtermos uma velocidade 16 m/s na entrada deveríamos ter um duto de entrada da seguinte maneira:

$$S_d = \frac{4,17}{16,0} = 0,26 \text{ m}^2$$

Com isso

$$a = 286 \sqrt{0,26}$$

$$a = 145,8 \text{ cm}$$

3º MÉTODO: Método de Silverman.

Silverman apresentou uma tabela onde é possível obter as medidas do ciclone diretamente em função da vazão em m^3/s . Os dados da tabela conduzem a seguinte expressão:

$$a = 70,9 \times \dot{V}^{0,477} \quad (a \text{ em cm e } \dot{V} \text{ em } \text{m}^3/\text{s})$$

A velocidade de entrada deve variar entre 15,2 e 17,8

m/s-

Para o nosso caso temos:

$$a = 70,9 \times (4,17)^{0,477}$$

$$a = 140,1 \text{ cm}$$

Pela maior coerência dos resultados entre o 2º e o 3º métodos utilizaremos o resultado do 2º método.

$$a = 1,5 \text{ m}$$

As outras dimensões seguem outras relações:

$$b = 0,80 \times a = 0,80 \times 1,5 = 1,20\text{m}$$

$$c = 0,90 \times a = 0,90 \times 1,5 = 1,35\text{m}$$

$$d = 0,40 \times a = 0,40 \times 1,5 = 0,60\text{m}$$

$$e = 0,50 \times a = 0,50 \times 1,5 = 0,75\text{m}$$

$$f = 0,43 \times a = 0,43 \times 1,5 = 0,65\text{m}$$

$$g = 0,40 \times a = 0,40 \times 1,5 = 0,60\text{m}$$

$$h = 0,40 \times a = 0,40 \times 1,5 = 0,60\text{m}$$

Para o cálculo da perda de carga podemos utilizar a seguinte expressão:

$$\Delta H = \frac{12 \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{K \times e^2 \cdot 3 \sqrt{\frac{b \times c}{a^2}}}$$

onde , K é uma constante que leva em consideração o tipo do duto de entrada.

Neste caso K = 1

Substituindo os valores temos:

$$\Delta H = \frac{12 \times \pi \times 1,158}{\sqrt[3]{0,72}}$$

$$\Delta H = 6,64$$

Para obtermos a conversão em perdas de pressão temos.

$$\Delta p = \Delta H \times \gamma$$

Como γ do ar a 900°C é 0,319 Kgf/m³,

Temos:

$$p = 6,64 \times 0,319$$

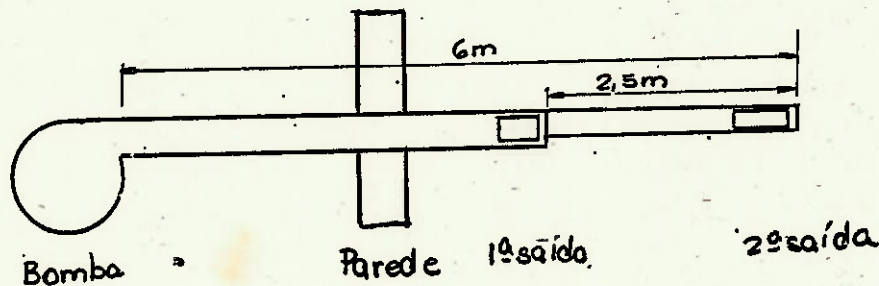
$$p = 2,12 \text{ mm H}_2\text{O}$$

2:2:6 - DIMENSIONAMENTO DOS VENTILADORES E DUTOS.

DIMENSIONAMENTO DOS DUTOS

Utilizaremos o método da mesma perda de carga

Para o ar primário



1º TRECHO

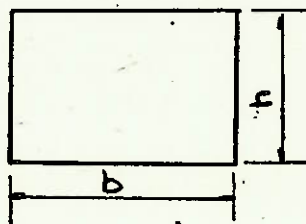
$$\dot{V} = 14.500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L = 3,5\text{m}$$

$$v = 5\text{m/s}$$

$$S = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{14.500}{5 \times 3.600} = 0,81\text{m}^2$$

Então podemos utilizar um duto de:



$$b = 1,0\text{m}$$

$$h = 0,81\text{m}$$

Então temos que o diametro hidráulico é:

$$D_h = \frac{1,3 (b \times h)^{0,625}}{(b + h)^{0,25}}$$

$$\text{Portanto: } D_h = \frac{1,3 (1,0 \times 0,81)^{0,625}}{(1,0 + 0,81)^{0,25}}$$

$$D_h = 0,98\text{m}$$

Da figura três temos

$$\Delta p = 0,029 \text{ mm/m}$$

Então para o outro trecho temos:

$$\dot{V} = 7250 \text{ m}^3/\text{h}$$

Voltando a figura 3 temos:

$$D_h = 0,76 \text{ m}$$

Se tivermos $b = 1 \text{ m}$, h será:

$$0,76 = \frac{1,3 \times (1,0 \times h)^{0,625}}{(1,0 + h)^{0,25}}$$

Temos que,

$$h = 0,50 \text{ m}$$

A perda de carga distribuída total será:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta p \times L = 0,029 \times 6$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,17 \text{ mmca}$$

As perdas localizadas são:

1 saída intermediária e 1 cotovelo 90°

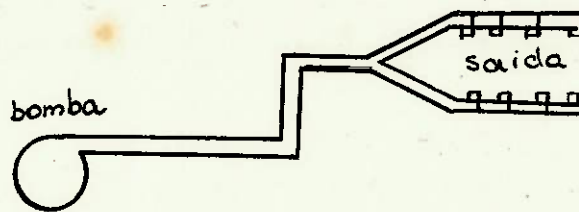
$$\Delta P = 2 \times 1,75 \times \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta P = 2 \times 1,75 \times \frac{5^2}{2 \times 9,8} \times 1,166 = 5,21 \text{ mmca}$$

$$\Delta P_1 = 0,17 + 5,21$$

$$\Delta P_1 = 5,38 \text{ mmca}$$

Para o ventilador secundário temos:



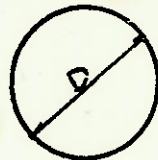
Segundo o esquema para o primeiro trecho temos:

$$\dot{V} = 6.791 \text{ m}^3/\text{h} \quad L = 7,5 \text{ m}$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{\dot{V}}{3.600 \times v} = \frac{6.791}{3.600 \times 5} = 0,38 \text{ m}^2$$

Utilizando um duto circular temos:



$$D = 0,70 \text{ m}$$

Como $D_h = D$, da figura 3 temos:

$$\Delta P = 0,035 \text{ mm/m}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,035 \times 7,5$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,26 \text{ mmca}$$

Considerando as duas ramificações como iguais temos:

$$\dot{V} = 3395,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad L = 3,5 \text{ m}$$

Para o primeiro trecho temos:

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{3395,5}{3.600 \times 4} \quad S = 0,24 \text{ m}^2$$

Portanto,

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0,55 \text{ m}$$

Da figura 3 temos:

$$\Delta P = 0,033 \text{ mm/m}$$

Para os outros trechos temos.

trecho	\dot{V} (m ³ /h)	ΔP (mm/m)	Dh = D (m)
1-2	2546,6	0,033	0,46
2-3	1597,7	0,033	0,41
3-4	848,9	0,033	0,34

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,033 \times 3,5$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 0,12 \text{ mmca}$$

Perdas singulares:

$$2 \text{ cotovelos } 90^\circ : \Delta P = 2 \times \frac{1,75 \times 4^2}{2 \times 9,8} \times 1,166 = 3,33 \text{ mmca}$$

$$1 \text{ bifurcação} : \Delta P = 0,44 \times \frac{4^2}{2 \times 9,8} \times 1,166 = 0,42 \text{ mmca}$$

$$2 \text{ mud.direção} : \Delta P = 2 \times 0,70 \times \frac{2^2}{2 \times 9,8} \times 1,166 = 0,33 \text{ mmca}$$

$$8 \text{ saidas} : \Delta P = 8 \times 0,75 \times \frac{2^2}{2 \times 9,8} \times 1,166 = 3,33 \text{ mmca}$$

$$\Delta P_2 = 0,26 + 2 \times 0,12 + 7,41$$

$$\Delta P_2 = 7,91 \text{ mmca}$$

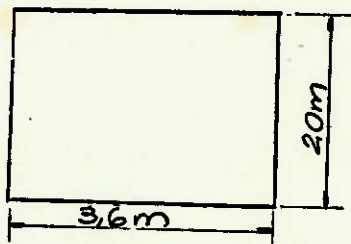
Para os dutos de gás quentes temos:

$$\dot{V}_g = 90.076 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v = 3,5 \text{ m/s}$$

$$S = 7,15 \text{ m}^2$$

Então podemos ter um duto de:



Dimensionamento dos ventiladores

Utilizando o método indicado no catálogo dos ventiladores Búfalo temos:

Ventilador primário:

$$\dot{V} = 222,6 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\rho = 0,073 \text{ lb/pé}^3$$

$$\dot{M} = 572,2 \text{ lb/min}$$

Determinado CFM

$$\text{CFM} = \frac{\text{lb/min}}{\text{lb/pé}^3}$$

$$\text{CFM} = \frac{572,2}{0,073} = 7.838$$

$$\text{CFM} = 8.000 \text{ pé}^3/\text{min}$$

Para vencer uma pressão estática de 30 mm H₂O a 25°C temos:

$$\text{ESP} = \frac{2 \times 0,073}{0,0693} = 2,107 \text{ pol.ca}$$

Se utilizarmos um rotor de 32 1/2" tipo BC temos:

$$\text{ECFM} = 8.000 \frac{(36 \frac{1}{2})^2}{(32 \frac{1}{2})^2} = 10.090 \text{ cfm}$$

$$\text{PR} = 10.900 \text{ cfm a } 1,57"$$

A curva a ser utilizada é para rotação de 600 rpm e a eficiência para este ponto é de 77%.

$$\text{RPM} = 600 \times \left(\frac{10.090}{10.900} \right) \times \left(\frac{36 \frac{1}{2}}{32 \frac{1}{2}} \right) = 623 \text{ rpm}$$

A potência necessária é:

$$\text{HP} = \frac{8.000 \times 2}{6.356 \times 0,7} = 3,3 \text{ HP}$$

Para o ventilador secundário utilizaremos um catálogo da Pedro Nevenhaus & Cia Ltda.

$$\dot{V} = 6791 \text{ m}^3/\text{h} = 1,89 \text{ m}^3/\text{s}$$

Do catálogo temos:

Modelo : 350
pressão : 25 mmca
vazão : 2,17 m³/s
potência : 2,0HP
rotação : 1.700 rpm

2:2:7 - DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE

Para dimensionarmos a espessura das paredes do gerador temos que levar em conta muitos aspectos:

- perda de calor através das paredes
- custo do refratário
- resistência das paredes
- custo de manutenção

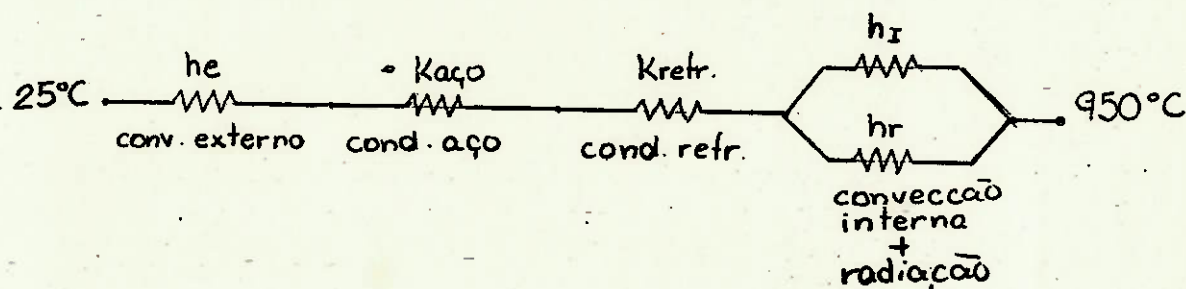
Para o revestimento deste gerador foi escolhido uma manta cerâmica produzido pela Carborundun com as seguintes especificações:

- denominação: Durablanket CH
- $C_p = 0,27 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C}$
- $K = 0,24 \text{ kcal/hm}^\circ \text{C}$

- espessura 1", 2", 4", 6"

Externamente o gerador é construído em chapas de aço de 1/8", cuja condutibilidade é $K = 26,8 \text{ kcal/hm}^\circ\text{C}$

Fazendo-se o estudo de transferência de calor temos o seguinte circuito elétrico equivalente:



Devemos então determinar os coeficientes de transmissão por convecção externo e interno e também coeficiente equivalente de transmissão por radiação.

- Coeficiente de transmissão por convecção externo.

Na face externa do gerador a convecção é natural. Portanto podemos utilizar a seguinte relação entre adimensionais.

$$Nu = h \times \frac{L}{K} = 0,555 (Gr \times Pr)^{1/4} \quad (6)$$

$$\text{onde } Gr = \rho^2 g \beta (T - T_\infty) L^3 / \mu^2 \quad (7)$$

Os dados para o cálculo são:

$$L = 5m$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$T = 60^\circ\text{C} \quad (\text{estimado})$$

$$T = 25^\circ\text{C} = 298K$$

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{298} = 0,0033 \frac{1}{K}$$

Ar entre 25° e 60°C

$$\rho = 1,091 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 0,71$$

$$\mu = 1,95 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$K = 0,0234 \text{ kcal/m h}^{\circ}\text{C}$$

Substituindo na equação (7) temos:

$$Gr = (1,091)^2 \times 9,8 \times 0,003 (35) \times (5)^3 / (1,95 \times 10^{-5})^2$$

$$Gr = 4,43 \times 10^{11}$$

e entrando na equação (6) temos:

$$h \times \frac{5}{0,0234} = 0,555 (4,43 \times 10^{11} \times 0,71)^{1/4}$$

$$h = 1,94 \text{ kcal/hm}^2 \text{ K}$$

- Coeficiente de transmissão por convecção interno

Na face interna, a convecção é forçada pois existe o arraste do ar devido aos ventiladores.

Mesmo para este cálculo devemos estimar alguns dados para que possamos determinar o valor de h.

Das relações entre adimensionais temos.

$$Nu = \frac{h \times L}{K} = 0,664 \times Re^{0,5} \times Pr^{0,33} \quad (8)$$

$$\text{para } Re < 5 \times 10^5 \text{ e } Pr > 0,1$$

$$\text{Onde } Re = \rho VL/\mu \quad (9)$$

Dados para o cálculo

$$L = 5\text{m}$$

$$\text{Ar a } \sim 900^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 0,309 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 4,38 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

$$K = 0,0610 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$$

$$Pr = 0,71$$

Necessitamos determinar v

A vazão dos gases é

$$\dot{V} = 90.076 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estimando que dentro do gerador uma seção média tenha

7,5m² temos:

$$v = \frac{90.076}{7,5 \times 3.600}$$

$$v = 3,33 \text{ m/s}$$

Calculando Re através de (9) temos

$$Re = \frac{0,319 \times 333 \times 5}{4,38 \times 10^{-5}} = 1,21 \times 10^5$$

Estamos então nas condições da equação (8):

$$\frac{h \times 5}{0,0610} = 0,664 \times (1,21 \times 10^5)^{0,5} \times 0,71^{0,33}$$

$$h = 2,52 \text{ kcal/hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Cálculo do coeficiente de transmissão por radiação

Como a transmissão de calor é combinada devemos determinar um coeficiente de transmissão de calor por radiação equivalente que atenda a uma equação de tipo:

$$Q = Ahr (T_g - T_p) \quad (10)$$

Porém sabemos que

$$Q = \sigma A (\epsilon_g T_g^4 - \alpha_g T_p^4) \quad (11)$$

Dados para a solução das equações

$$\sigma = 4,88 \times 10^{-8} \text{ kcal/hm}^2 \text{ K}^4$$

$$A = 1\text{m}^2 \text{ (para estudo)}$$

$$T_g = 950^{\circ}\text{C} = 1223 \text{ K}$$

$$T_p = 850^{\circ}\text{C} \text{ (estimado)} = 1123 \text{ K}$$

Para determinarmos ϵ_g e α_g temos que determinarmos o valor de $P \times L$ para podermos através da figura 4 determinarmos ϵ e α .

$$L = 1,9 \times 3 = 5,4 \text{ m}$$

$$P \times L = 0,07 \times 5,4 = 0,378 \text{ m atm} = 1,24 \text{ pé atm}$$

Donde obtemos

$$\epsilon_g = 0,197$$

$$\alpha_g = 0,202$$

Voltando a equação (11) temos:

$$Q = 4,88 \times 10^{-8} \times 1 \times [0,197 \times (1223)^4 - 0,202 \times (1123)^4]$$

$$Q = 5,83 \times 10^3 \text{ kcal/h}$$

Utilizando a equação (10) temos:

$$5,83 \times 10^3 = \text{hr} \times 1 \times (1223 - 1123)$$

$$\text{hr} = \frac{5,83 \times 10^3}{100}$$

$$\text{hr} = 58,3 \text{ kcal/hm}^2^{\circ}\text{C}$$

Com estes valores podemos voltar ao circuito elétrico equivalente onde

$$U = \frac{1}{\text{Resistências}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{X_{\text{aço}}}{K_{\text{aço}}} + \frac{X_{\text{refrat}}}{K_{\text{refrat}}} + \frac{h_i \times \text{hr}}{h_i + \text{hr}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0,88} + \frac{0,03}{26,8} + \frac{X_{\text{refrat}}}{0,24} + \frac{2,49 \times 58,3}{2,49 + 58,3}}$$

Como a única incógnita é a espessura do refratário devemos fazer um estudo levando-se em conta o custo do refratário e o custo do calor perdido para determinarmos um ponto de equilíbrio.

Para este estudo temos:

Preço do carvão Cr\$ 19.589,49/ton (novembro/83)

Preço do refratário: Cr\$ 12.000,00/m² para placas com 1" de espessura (novembro/83)

Para calcularmos o calor perdido através das paredes temos:

$$Q = UA \Delta T,$$

$$\text{Onde } U = \frac{1}{1,14 + 0,001 + 4,16 \times X_{\text{ref}} + 2,39}$$

$$U = \frac{1}{3,531 + 4,16 \times X_{\text{ref}}} \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 950 - 25 = 925^\circ\text{C}$$

Também temos

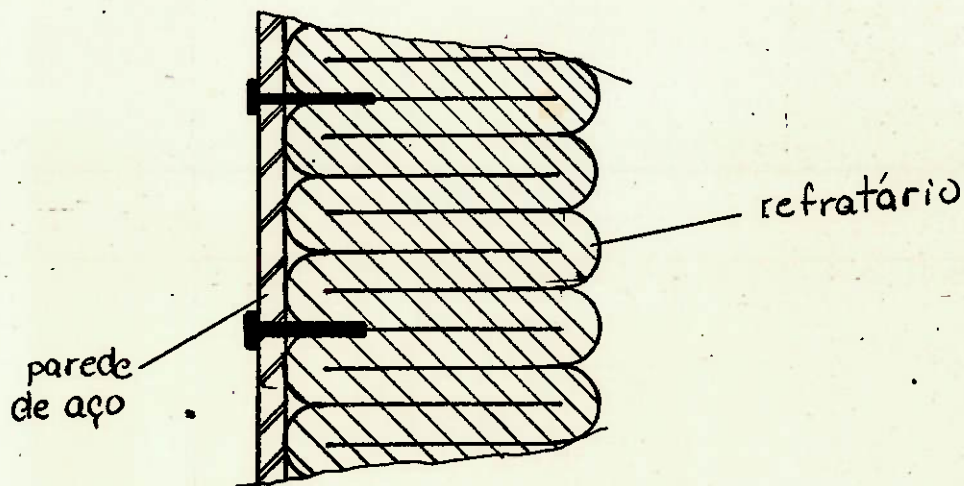
$$Q = Bc \times \frac{PCI}{N}$$

$$Bc = \frac{Q \times N}{PCI}$$

$$\$_{Bc} = Bc \times 19589,49 \quad (12)$$

Para o refratário, devemos primeiro, determinarmos a melhor maneira de dispô-lo, pois o material é oferecido em placas-

A maneira que será adotada é a seguinte:



Desta maneira evitamos que existam pontos onde possa haver falha no revestimento e também podemos escolher qualquer espessura de isolação.

Para uma parede de 1 m temos de colocar

$$\frac{1,0}{0,0254} = 39,4 \text{ placas de 1"}$$

O custo do refratário é:

$$\$ \text{ ref} = 39,4 \times X_{\text{ref}} \times 1 \times 12.000,00 \quad (13)$$

Com estas duas equações (12) e (13) obtemos os seguintes resultados:

	espessura (m)	Q kcal/h	\$ Bc Cr\$	\$ref	\$ref/\$Bc
a)	0,2	212,0	0,74	94.560	127689
b)	0,15	222,7	0,78	70.920	91201
c)	0,10	234,4	0,82	47.280	57757
d)	0,05	247,5	0,86	23.640	27356

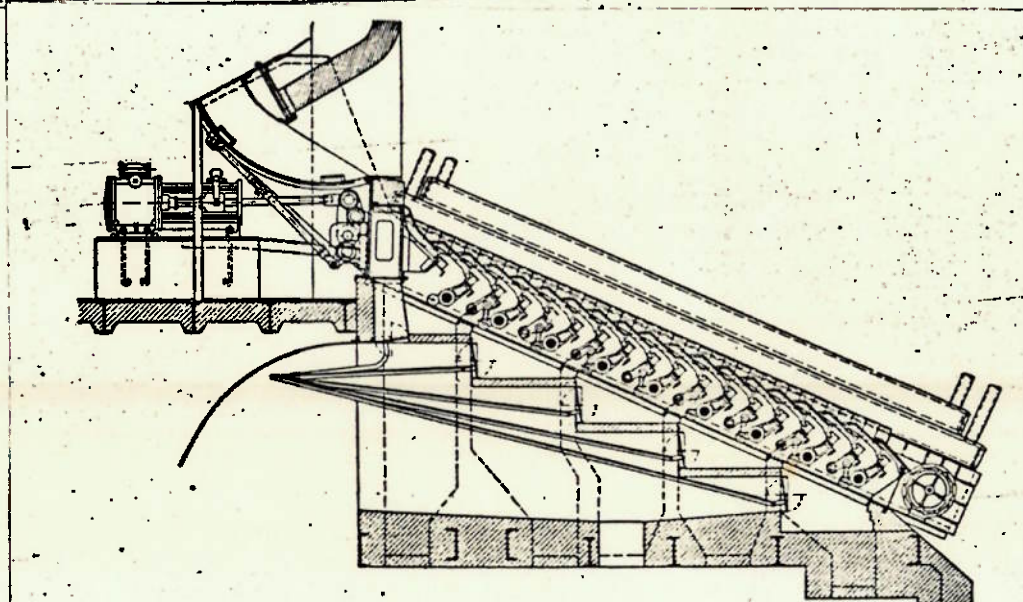
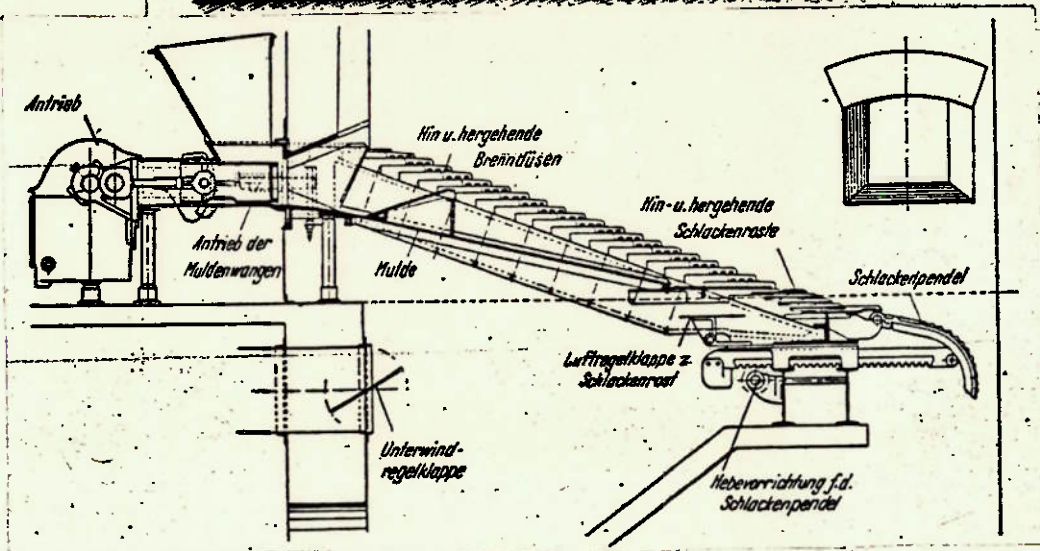
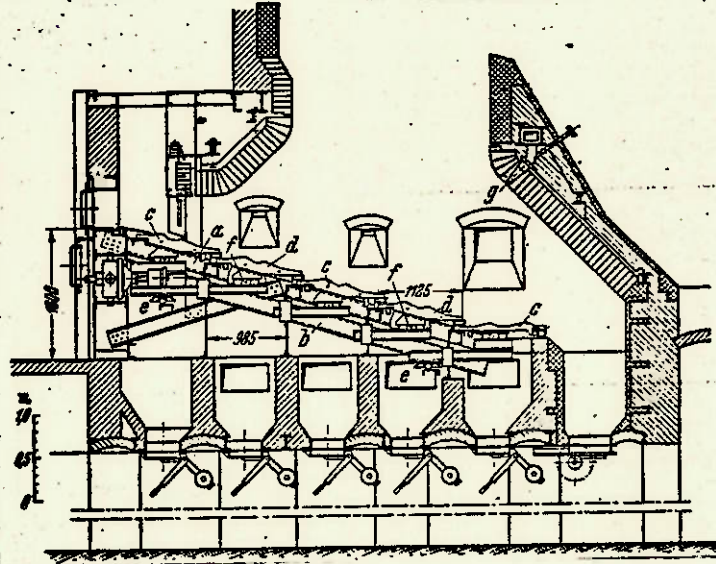
Devido aos valores obtidos foi escolhida a solução b)

2:2:8 -MECANISMO DAS GRELHAS E DE RETIRADA DAS CINZAS

A grelha a ser utilizada é a do tipo em escada mecanizada. A grelha possui um movimento alternativo que é gerado por um

pistão hidráulico ligado a um mecanismo de barras. As peças que compõe a grelha são alternadamente fixas e móveis.

Existem algumas soluções que já são utilizadas e servem como exemplo:



sua vez movimentam as duas traves em sentidos opostos. Com isso, as peças que formam a grelha, alternadamente se movimentam para frente ou para trás. Com isto o carvão é impelido a descer os degraus até chegar ao cinzeiro.

A grelha é construída em ferro fundido e montado sobre uma estrutura de perfis. O pistão é de acionamento hidráulico. As traves que acionam as grelhas possuem uma regulação para permitir a variação do avanço.

Para a movimentação das cinzas, utilizamos uma rosca transportadora com selo d'água.

Também utilizaremos um descarregador automático de cinzas e um quebrador de cinzas.

2:2:9: - FORNALHA E SILO

A fornalha segue os moldes normais das fornalhas deste porte.

Sua base será construída em alvenaria. Sobre esta base será montada a fornalha propriamente dita e o silo de armazenamento de carvão.

A estrutura da fornalha será constituída de cantoneiras de 3" x 1/4" e de 1 1/2" x 1/4". O revestimento externo será de chapas de aço de 3,4mm de espessura e pintada com tinta tipo martelado metálico. O revestimento interno, como já foi visto no item 2:2:7, será de uma manta cerâmica denominado de "Dura-blanket CH.

O silo será construído em chapas de aço carbono e cantoneiras, montado sobre a estrutura metálica de perfis U, com capacidade de 5m³.

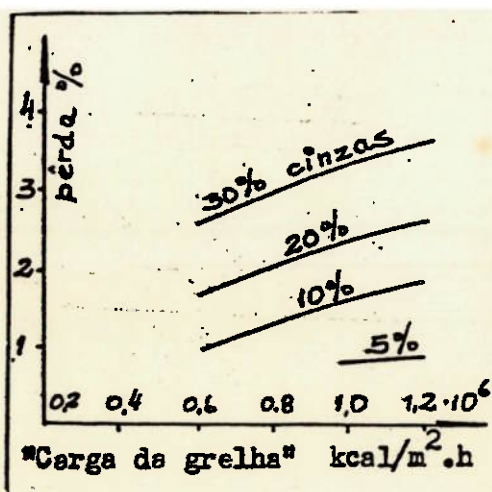


fig. 1

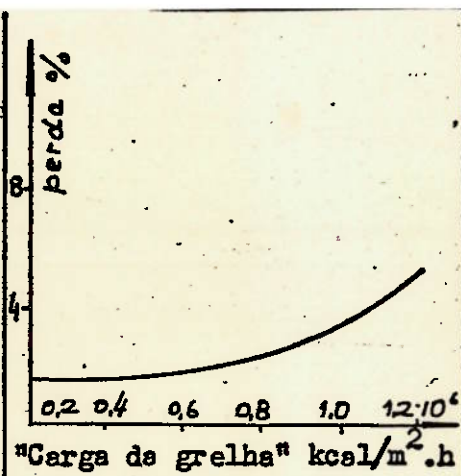


fig. 2

Diagramm 7 - Rohrreibungsdiagramm für runde Kanäle

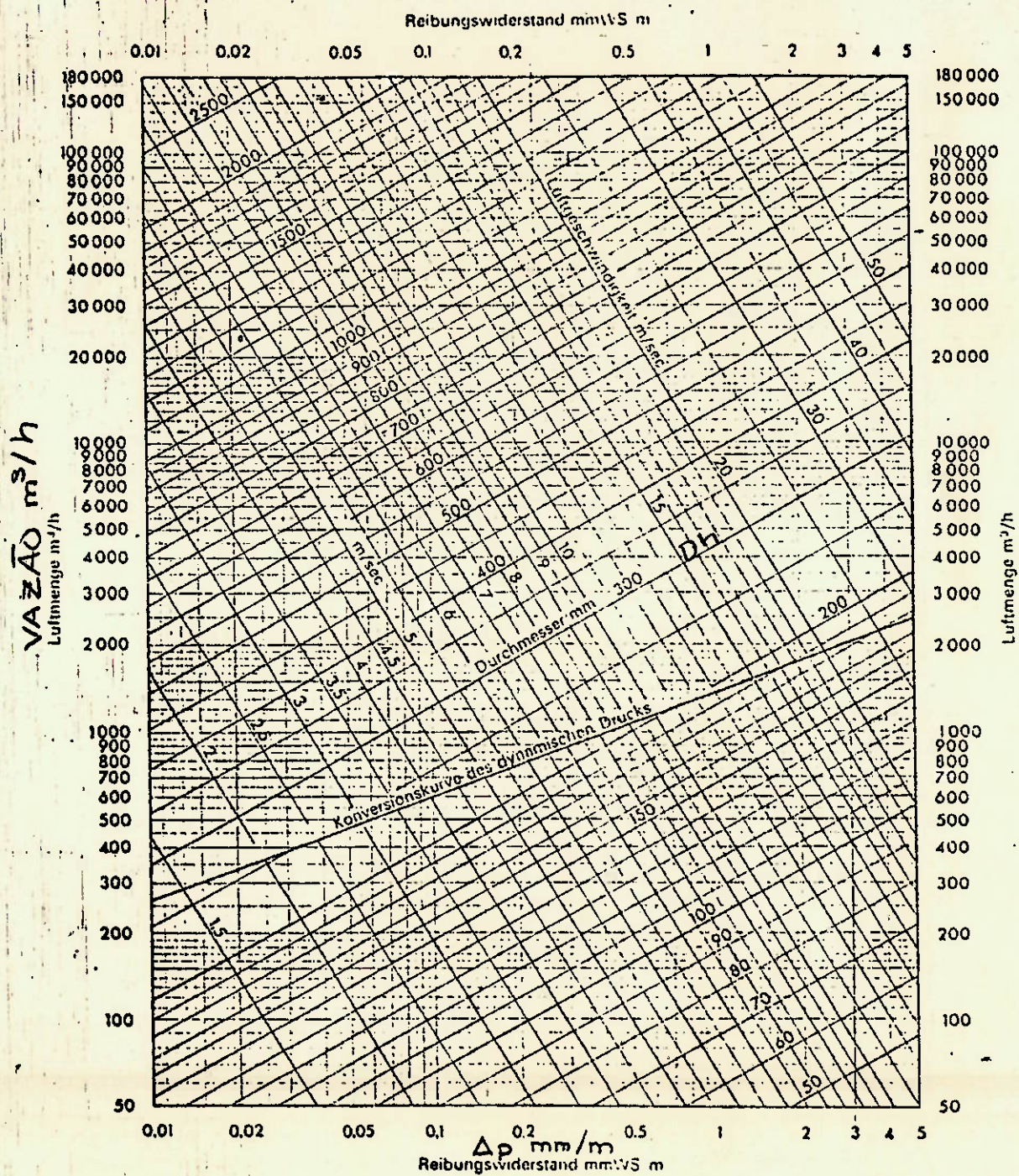


fig. 3

BIBLIOGRAFIA

- Caldeiras de vapor
Mesny, Marcelo - 1961
- Large Boiler Furnaces
Dolezal, Richard - 1967
- Projeto de um Gerador de Vapor d'água
Ravaglia, Ennio - 1965
- Dampfkessel
Netz, Heinrich - 1965
- Dampfkessel und Feuerungen
Zinzen, Arthur - 1957
- Ventilação
Silva, Remi Benedito - 1978
- Fundamentos de termodinâmica clássica
Van Wylen, Gordon John e Richard Sonntag - 1976
- Princípios da transmissão de calor
Kreith, Frank - 1977
- Geradores de vapor d'água (caldeiras)
Pera, Hildo - 1980