

**Controle da poluição de ar em instalações de recalcação de lama de cal em fábricas de celulose**

MFN -1047

N CHAMADA:

TITULO: Controle da poluição de ar em instalações de recalcação de lama de cal em fábricas de celulose

AUTOR(ES): FRIIS-HANSEN, J.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO:

TIPO: Congresso

EVENTO: Convenção Anual da ABCP, 7

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 18-22.11.1974

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1974, ABTCP

PAG/VOLUME: p.57-62,

FONTE: Convenção Anual da ABCP, 7, 1974, São Paulo, p.57-62

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR:

RESUMO:



# controle da poluição de ar em instalações de recalcinação de lama de cal em fábricas de celulose

JAN FRIIS-HANSEN  
F. L. Smidth & Co. A/S

## RESUMO

Durante os últimos anos o processo de sulfato para a produção de celulose desenvolveu-se numa série de processos de circuito interligados, cada vez mais fechados, com o fim de melhorar a economia e reduzir a influência no ambiente.

O resultado disto está em que se verifica agora que cheiros desagradáveis de intensidade considerável podem provir dos gases de fumo do forno de recalcinação de lama de cal e, além disso, impõem-se exigências mais severas à separação de partículas.

Estuda-se a tecnologia utilizada até agora e a do futuro para reduzir a emissão de componentes tanto gasosos como em forma de partículas, em relação às exigências e diretrizes existentes em diferentes países.

Também se menciona o uso de diferentes tipos de lavadores e filtros eletrostáticos.

## 1. PREFÁCIO

Para a produção de 1 kg. de lama de cal recalcinada precisam-se, aproximadamente:

1,7 kg de lama de cal seca  
1,0 kg de água  
0,17 — 0,25 kg de óleo combustível  
0,03 kWh (~7,5 g de óleo combustível)  
3,2 — 4,7 kg de ar seco (~2,5 — 3,7 Nm<sup>3</sup>)

Assim, tanto no tocante ao peso como ao volume, o ar é o componente mais importante para o processo de recalcinação, embora não entre no produto acabado, e em toda a produção de celulose usa-se uma

maior quantidade de ar que de madeira.

No processo, o ar absorve água proveniente da secagem, produtos de combustão aquosos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da calcinação, assim como partículas sólidas de lama de cal, além de compostos gasosos, tais como compostos sulfúreos do óleo e compostos alcalinos da lama de cal.

Antes que o ar devolvido ao ambiente junto com os gases de fumo do forno é preciso remover o pó, assim como se devem eliminar — na medida do possível — os compostos sulfúreos de mau cheiro, tais como ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) e similares, e em certos casos também se precisa remover o anidrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>).

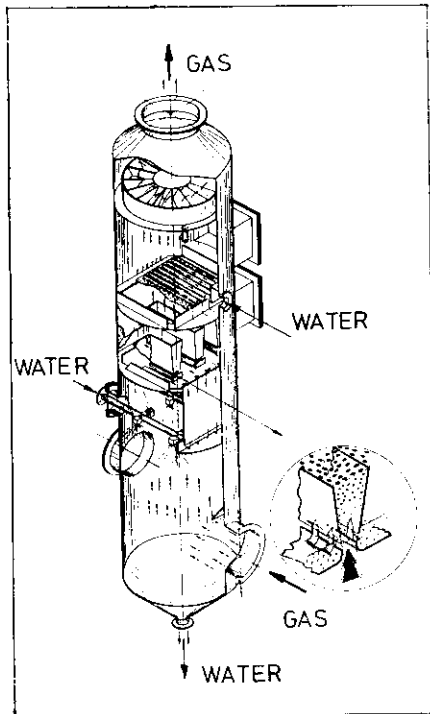
Esforça-se naturalmente por dispor a fábrica e as condições de marcha de tal modo que o ar

sofra a mínima poluição possível durante a cozedura, mas não é possível evitar que os gases de fumo do forno de recalcinação de lama de cal venham a conter, além do pó, compostos sulfúreos gasosos, etc., sobretudo nos casos em que o forno de recalcinação de lama de cal também se usa para a combustão de gases incondensáveis a fim de eliminar o cheiro de outras seções da fábrica.

## 2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A idéia de limpar os gases do forno de recalcinação de cal não é de data recente, porque quando se instalou, em princípios deste século, um dos primeiros fornos do mundo para recalcinação de lama de cal — em todo o caso o primeiro da Europa — na fábrica de Stora Kopparberg em Skutskär, Suécia, tinha-se previsto que o pó seria precipitado numa grande câmara, provida de uma série de paredes

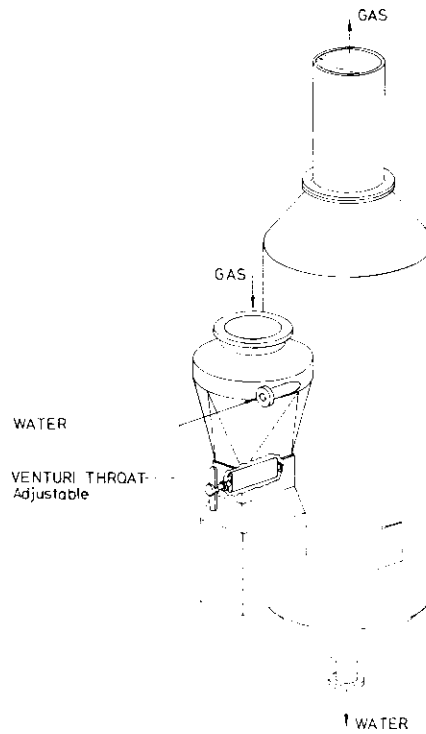
FIGURA 1



divisórias, para assegurar uma boa separação de pó.

Quando, depois da primeira guerra mundial, a instalação de fornos de recalcinação de lama de cal tomou grande incremento nos E.U.A., só se previa a separação de pó na câmara de fumo

FIGURA 2



e no funda da chaminé. Porém, com este método só se removiam as partículas mais grossas do pó e, por isso, introduziu-se pouco a pouco uma lavagem

FIGURA 3

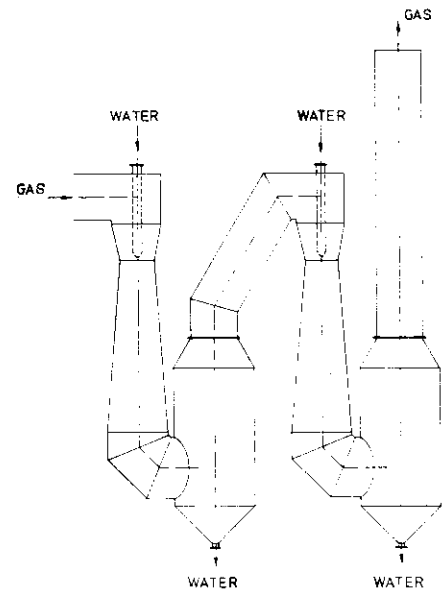
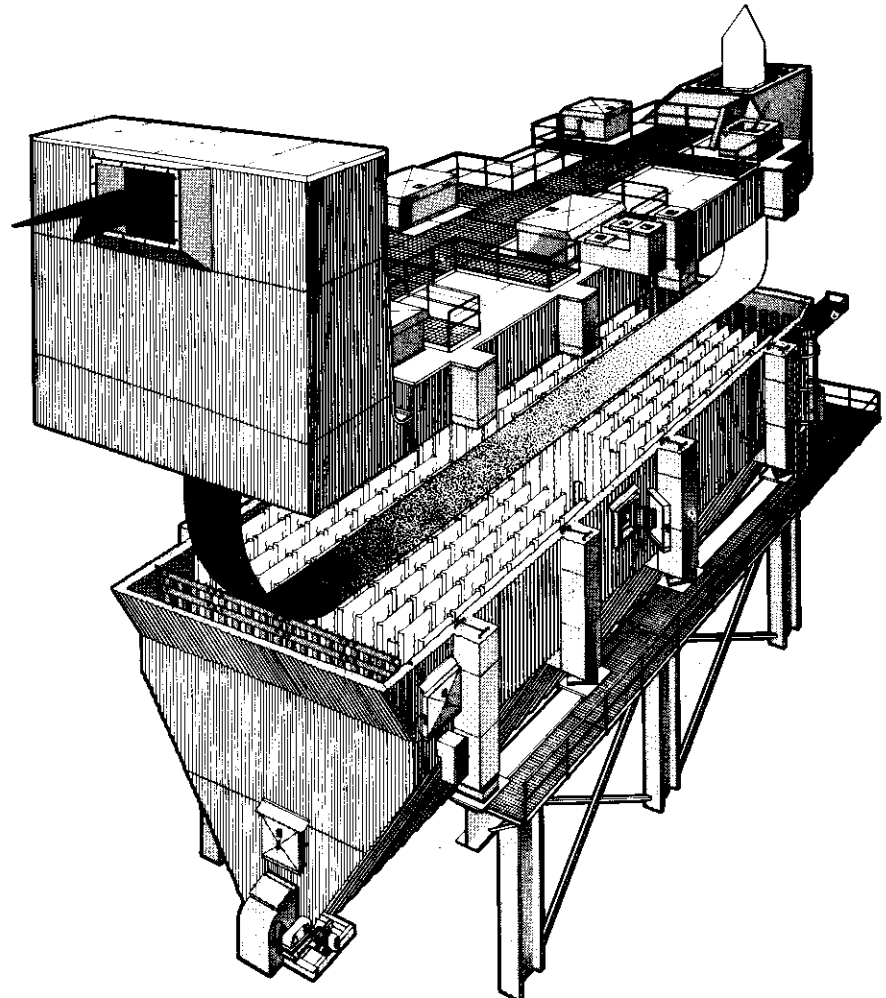


FIGURA 4



dos gases de fumo nos chamados "scrubbers", para obter uma separação de pó mais eficiente.

A construção do lavador foi objeto de um contínuo desenvolvimento para torná-lo mais eficiente, concentrando-se no uso dos três seguintes tipos:

**Lavador de andares**, em que os gases de fumo são arrefecidos no fundo da torre por meio de água injectada por tubeiras, antes de serem lavados em andares com placas perfuradas ou dispositivos similares.

**Lavador Venturi, acionado por gás**, em que os gases de fumo aceleram a água de lavagem que entra por estrangulamento com área transversal regulável.

**Lavador Venturi, acionado por líquido**, em que a água de lavagem é admitida sob alta pressão através de tubeiras no estrangulamento, como num injector.

Porém, nos últimos anos, também se introduziu o uso de **filtros eletrostáticos** nalgumas fábricas dos E.U.A. e da Suécia, em vez de lavadores.

### 3. IMPUREZAS DOS GASES DE FUMO

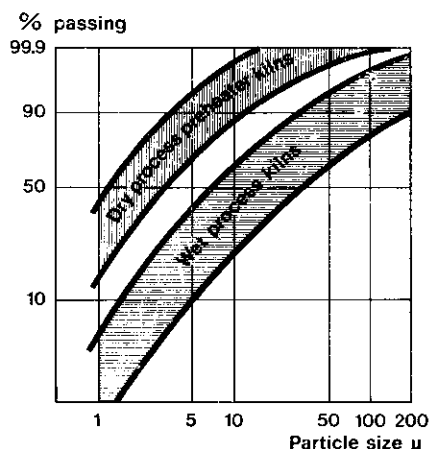
As impurezas, que se encontram nos gases de fumo, consistem, como mencionado, de:

- Pó, proveniente da lama de cal;
- Partículas de soda, que se libertam durante a calcinação no forno;
- SO<sub>2</sub>, proveniente do óleo de combustão;
- H<sub>2</sub>S e outros compostos de odor desagradável, provenientes da lama de cal e libertos durante a sua secagem e calcinação.

#### a. Pó e partículas de alcali ou de soda

O pó nos gases de fumo do forno de recalcinação de lama de cal é proveniente de diferentes zonas do forno, dependendo a sua composição, por isso, das condições em que este é formado, de maneira que a composi-

FIGURA 5



ção e finura do pó dependem do tipo de forno, que se utiliza.

Assim, a figura 5 mostra a diferença que existe na distribuição de partículas de pó provenientes de dois tipos diferentes de fornos de cimento, situando-se o pó do forno de recalcinação de lama de cal, em geral, entre as duas áreas acima mencionadas.

Ao examinar-se o pó, tanto com o microscópio ótico como com o microscópio electrónico "Scanning" (SEM), efetuaram-se uma série de investigações do pó proveniente de fornos de cimento, incluindo determinações da sua composição mineralógica e estrutura.

Deste modo, verificou-se, que os grãos de pó frequentemente consistem de partículas de mineral aglomeradas o que torna difícil poder indicar-se com precisão uma distribuição dos grãos de pó. No entanto, conseguiu-se determinar, que os grãos mais finos tanto em forno de cimento como em fornos de recalcinação de lama de cal consistem de minerais alcalinos, que são muito mais pequenos do que as partículas na pasta de cal, cuja dimensão dos grãos se situa entre 5 e 20 microns.

#### b. SO<sub>2</sub>

A quantidade de SO<sub>2</sub> depende principalmente do conteúdo de enxôfre no óleo de combustão, mas também do conteúdo de enxôfre na massa de filtro, que se adiciona ao forno. No aquecimento com gás natural, onde em geral não se encontram quanti-

dades de enxôfre dignas de mencionar, observa-se apenas um baixo conteúdo de SO<sub>2</sub> nos gases de fumo.

#### c. H<sub>2</sub>S, etc.

É de conhecimento comum, que é da maior importância, que a lama de cal seja bem lavada, no caso de se desejar um baixo conteúdo de H<sub>2</sub>S nos gases de fumo. Tal fato deve-se a que com a lavagem para eliminação de compostos alcalinos na massa de filtro, elimina-se ao mesmo tempo os compostos de enxôfre solúveis, que podem formar H<sub>2</sub>S durante a calcinação.

Quanto aos outros componentes de mau cheiro, como por exemplo o mercaptana ou semelhantes, é interessante observar, que se verificou que é difícil saber-se, em circunstâncias práticas, quais os componentes químicos com especial odor desagradável.

### 4. IMPORTÂNCIA DAS CIRCUNSTÂNCIAS DE FUNCIONAMENTO

Estão se efetuando atualmente extensas investigações para se encontrarem as circunstâncias de funcionamento ótimas para os fornos de recalcinação de lama de cal, tanto sobre o ponto de vista de produção como com respeito à emissão de poluentes. No momento atual, apenas podemos determinar que, tal como nas caldeiras de soda, dever-se-á assegurar uma completa combustão com excesso adequado de ar, para evitar um aumento da emissão de H<sub>2</sub>S do forno, bem como que a lavagem da massa de filtro para o forno deverá ser efetiva.

### 5. EXIGÊNCIAS DE EMISSÃO

As exigências requeridas para a emissão de partículas da chaminé do forno de recalcinação de lama de cal, correspondem frequentemente às linhas diretrizes válidas para a emissão de partículas de chaminé da caldeira de recuperação de soda, sendo as exigências dos vários países, quanto ao fumo de

fornos de cimento, de uma forma geral semelhantes.

Indicamos os seguintes exemplos da Suécia e de USA:

### Suécia

A organização estatal de proteção ao meio ambiente publicou as seguintes linhas diretrizes em setembro de 1973:

Todos os limites de emissão deverão ser compreendidos como valores médios mensais, devendo ser cumpridos durante a existência da instalação e em todas as condições de funcionamento.

A prova de aceite deverá ter lugar antes de 3-6 meses depois do início de funcionamento, devendo a instalação ser todos os anos inspecionada e controlada.

### USA

A Environmental Protection Agency (EPA) emitiu determinações detalhadas federais para os limites de emissão de algumas indústrias e, para as restantes, indicaram os vários Estados Federais frequentemente linhas diretrizes provisórias.

A EPA fixou, que os limites de emissão sejam determinados como a média aritmética calculada por três medições, cada uma com a duração máxima de duas horas durante condições de funcionamento normais.

Quando se quiser comparar standards de emissão de diferentes países, dever-se-á considerar, qual o método de medição a utilizar, como deverá a medição ser efetuada, como se deverá calcular o resultado, bem como em que circunstâncias de funcionamento e em que extensão é permitido o excesso.

Tomando em consideração todas estas condições, deve-se dimensionar a instalação para um grau de separação, que apresente uma certa segurança quanto ao cumprimento das exigências para a emissão.

## 6. LAVADORES

Para que um lavador possa ser utilizado na presente tarefa, não deverá este ser sensível a alterações na quantidades de gás,

### Forno de recalcinação de lama de cal

Pó:

#### Limite de emissão

250 mg/Nm<sup>3</sup> seco.

Odor:

Gases odoríferos deverão ser captados e queimados de preferência, de forma a evitar a emissão de SO<sub>2</sub> e a eliminar o odor à volta da área da fábrica.

H<sub>2</sub>S:

Deverá ser medido continuamente, com vista à determinação de linhas diretrizes em 1976/77.

SO<sub>2</sub>:

A altura da chaminé deverá ser suficiente para uma rarefação do ar junto à superfície da terra de 0,2-0,3 mg/m<sup>3</sup> (exigência geral, que também é válida para a caldeira de soda e fornos de cimento).

### Caldeira de soda

Pó:

#### Limite de emissão

250 mg/Nm<sup>3</sup> seco.  
(O filtro eletrostático deverá ter pelo menos duas seções independentes).

H<sub>2</sub>S:

10 mg/Nm<sup>3</sup> sêco, como média, medido durante seis minutos.

(É permitido, que a emissão de H<sub>2</sub>S ultrapasse o limite em 5% do tempo, tratando-se de uma instalação nova, podendo para as instalações existentes ultrapassar 10% do tempo).

### Fornos de cimento

Pó:

250 mg/Nm<sup>3</sup> seco.

### Fornos de recalcinação de lama de cal

Nenhum regulamento da EPA mas para alguns Estados pode-se citar:

Alabama e Oregon

1 lb/sht AD unbleached pulp.  
Supondo 40-20 SDCFM pr 1 sh  
TPD obtêm-se:  
~0,12-0,24 grain/SDCF (70°F)  
~300-600 mg/Nm<sup>3</sup> dry (0°C)

Carolina

0,5 lb/sht AD unbleached pulp.  
~0,06-0,12 grain/SDCF  
~150-300 mg/Nm<sup>3</sup> dry

Texas (Houston)

0,03 grain/SDCF.  
~0,25 lb/sht AD pulp.  
~75 mg/Nm<sup>3</sup> dry.

### Caldeira de soda

Nenhum regulamento da EPA, mas para alguns Estados pode-se citar:

Oregon

4 lbs/sht AD pulp.  
~150 mg/Nm<sup>3</sup> dry

devendo também ser de uma construção simples, de forma a evitar entupimentos.

Os lavadores utilizados podem, em geral, dividir-se em três grupos:

- Lavador de andares
- Lavador Venturi acionado por gás
- Lavador Venturi acionado por líquido

**No lavador de andares**, são os gases de fumo primeiramente arrefecidos, com a ajuda de uma série de tubeiras no fundo da torre do lavador, passando em seguida através de, por exemplo, dois tabiques com chapas perfuradas, onde a separação de pó se efetua, antes de se eliminarem as gotas restantes por passagem através de um separador de gotas.

Sobre as placas pode-se, por exemplo, colocar estrangulamentos longitudinais, tipo Venturi, por onde os gases de fumo passarão, de forma a se obter uma separação efetiva do pó da lama de cal, por meio de uma baixa moderada da pressão e de uma quantidade moderada de água. A água de lavagem corre horizontalmente sobre as placas dos andares e como apenas se adiciona uma pequena quantidade de água de lavagem através das tubeiras com pressão moderada, é o consumo de energia total no lavador de andares de uma forma geral mais baixo do que nos lavadores Venturi.

**O lavador Venturi acionado por gás**, é de uma construção simples e tem um bom grau de separação, mesmo tratando-se de partículas muito pequenas. Porém, este lavador exige uma grande baixa de pressão e, por conseguinte, maior consumo de energia.

Para assegurar um rendimento adequado com quantidades de gás variáveis, deverá o corte transversal no estrangulamento Venturi poder ajustar-se, por exemplo, apenas com a ajuda de uma chapa de registro.

A água de lavagem adiciona-se ao estrangulador Venturi com uma pressão tão baixa, que qua-

## Fornos de cimento

Emissão standard da EPA:

Pó:	0,15 kg/ton. seco de alimentação ao forno, correspondente a 150 mg/Nm <sup>3</sup> (medido no filtro de fibra de vidro).
Opacidade:	10% com exceção da água.

se toda a energia se consome para vencer a baixa de pressão considerável sobre o estrangulamento.

Como não se utiliza nenhuma tubeira e a construção é muito simples, poderá o lavador trabalhar com uma concentração elevada de pó na água de lavagem, pelo que o consumo de água adicional é muito baixo com este tipo de lavador.

O lavador Venturi trabalha com alta carga, devendo todos os lavadores Venturi, por isso, ser providos com um separador de gotas especialmente efetivo, a fim de evitar que as gotas pequenas passem através da chaminé.

**O lavador Venturi acionado por líquido**, assegura uma boa separação de pó com quantidades de gás muito variáveis, preferindo-se, normalmente, uma solução com dois estrangulamentos injetores, um a seguir ao outro, com os quais se assegura uma separação efetiva também das partículas pequenas.

As tubeiras trabalham com alta pressão e como, além disso, é necessário uma grande circulação de líquido, não se poderá obter um bom grau de separação sem se consumir uma quantidade importante de energia para as bombas, que bombeiam a água de lavagem para os estranguladores Venturi.

O lavador utiliza-se não só para a eliminação das partículas de pó mas também para eliminação por lavagem dos componentes gasosos nos gases de fumo. No caso de se desejar melhorar a lavagem num lavador de andares poderá este ser provido com tabiques extras e, se necessário, poder-se-á modelar o lavador de forma a que as partículas de pó, de preferência, sejam eliminadas na parte infe-

rior do lavador, enquanto que se efetua a lavagem na parte superior da torre, que tem um circuito de lavagem separado, por exemplo, com água de lavagem alcalina.

Na lavagem de gases de fumo que contém H<sub>2</sub>S, pode-se, em certas circunstâncias, deparar com problemas como consequência do inevitável conteúdo de CO<sub>2</sub> poder libertar H<sub>2</sub>S.

Assim, são muitos fatores que se deverão considerar na escolha do lavador melhor adequado para uma tarefa presente, não se podendo, por isso, indicar qual o tipo que geralmente é de preferir.

## 7. FILTROS ELETROSTÁTICOS

Introduziu-se no uso de filtros eletrostáticos depois de fornos para recalcinação de lama de cal, e pode-se mencionar que as exigências impostas a uma instalação de filtração, em relação com fornos rotativos, são agora tão severas que na maioria dos países quando se trata de grandes instalações só raramente se pode recorrer a outra solução que não seja um filtro eletrostático — único aparelho que é capaz de reter em proporção suficiente as frações mais finas do pó, com baixo consumo de energia e, consequentemente, com uma economia de funcionamento aceitável.

As dimensões de um filtro eletrostático dependem não somente da quantidade de gases e da concentração de pó, mas sim também em alto grau do estado dos gases, da granulometria do pó e das suas propriedades elétricas que, por sua vez, são determinadas pelo processo a que se submetem as matérias primas no forno.

As propriedades elétricas do pó são influenciadas pela temperatura dos gases de fumo e pelo seu teor de humidade, e estão intimamente relacionadas com a composição química do pó e com o seu grau de calcinação, em relações de dependência que não se conhecem em todos os pormenores, mas por ensaios de laboratório podem-se determinar estas relações, e o pó de fornos altamente económicos para recalcinação de lama de cal presta-se muito bem para precipitação num filtro eletrostático.

A fig. 6 mostra a complexidade da construção de um filtro eletrostático moderno. Para se obter uma distribuição uniforme dos gases sobre toda a seção transversal, o filtro eletrostático deve ser provido de placas de guia e grelhas e, por isso, tanto o dimensionamento como a construção de filtros eletrostáticos exigiram e continuam a exigir uma grande atividade de investigação e ensaios neste campo especial.

## 8. COMPARAÇÃO

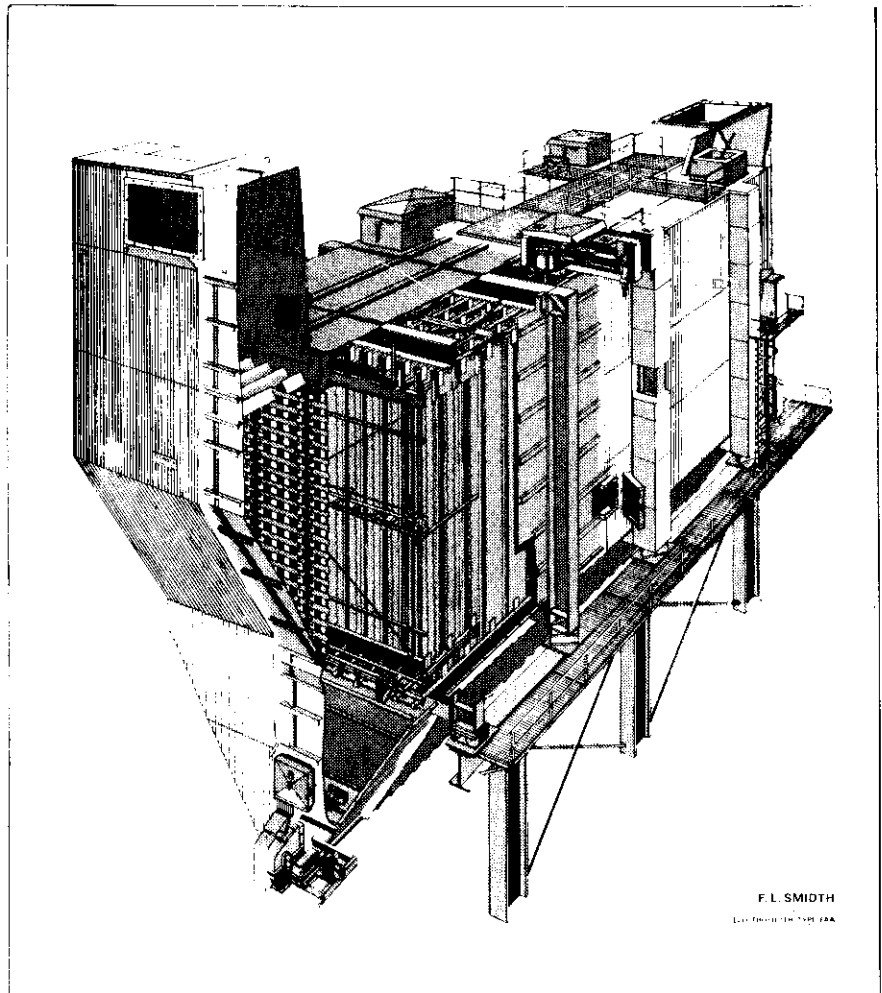
A limpeza dos gases de fumo provenientes de fornos de recalcinação de lama de cal consiste, assim, tanto na eliminação de partículas de pó como na eliminação por lavagem dos componentes gasosos, podendo o lavador resolver ambas as tarefas, consumindo uma importante quantidade de energia, e com uma quantidade e composição adequadas da água de lavagem.

A relação entre água e gás é menor no lavador por etapas e maior no lavador Venturi acionado por líquido.

O lavador Venturi acionado a gás pode trabalhar com a menor adição de água fresca.

Para uma composição de pó normal tem o lavador de andares um consumo de energia

FIGURA 6



mais baixo do que os lavadores Venturi.

O consumo de energia do filtro eletrostático monta apenas a 10-20% do consumo dos supracitados lavadores e, por exemplo, na Suécia tornou-se o filtro eletrostático cada vez mais popular para desempoeiramento dos gases de fumo provenientes do forno de recalcinação de lama de cal, visto que, no que respeita às partículas mais finas, se obtém um grau de separação mais alto do que nos lavadores.

É provável que este desenvolvimento aumente no futuro, no sentido de eventualmente ser necessário dividir as tarefas, de

maneira que primeiramente se separem as partículas no filtro eletrostático e depois se levam os gases de fumo numa ou mais etapas num lavador para eliminar as impurezas gasosas.

As autoridades prescrevem frequentemente que se deverá empregar a "melhor solução técnica", mas o desenvolvimento técnico para limite da emissão está tão acelerado, que as consequências económicas em seguir esta linha diretriz podem tomar grandes proporções, de forma que no futuro serão mais os fatores económicos do que os técnicos a limitar o desenvolvimento também neste campo.