

Apêndice I
Os equipamentos de controle para poluição do ar

Apêndice I - Os equipamentos de controle para poluição do ar

Sempre que possível, busca-se a minimização da geração de poluente, quando isto não é possível, ou economicamente muito desvantajoso, busca-se o tratamento destes poluentes. No caso deste trabalho, estuda-se a minimização da emissão de material particulado. São os principais equipamentos de controle de poluição do ar que minimizam a emissão de material particulado da corrente gasosa: precipitadores eletrostáticos, filtros de mangas, separadores inerciais (inclusive ciclones), lavadores úmidos (inclusive tipo Venturi) e lavadores secos. A seguir, descrição de equipamentos de controle para a poluição do ar, com vantagens e desvantagens de cada um.

I.1. Precipitadores eletrostáticos

Precipitadores eletrostáticos removem material particulado de uma corrente gasosa através da criação de alto diferencial de voltagem entre eletrodos. Quando o gás com partículas passa entre os eletrodos, as moléculas gasosas ficam ionizadas, resultando em cargas nas partículas. Estas, carregadas, são atraídas para o prato de carga oposta e removidas enquanto o gás prossegue. Durante a operação, os pratos são limpos periodicamente para tirar a camada de pó que fica sobreposta. O resíduo é coletado e disposto adequadamente de acordo com suas características perigosas. (Roberts et al, 1999).

Vantagens

1. Alta eficiência de coleta de material particulado (fino e grosso), e consumo de energia relativamente baixo.
2. Coleta e disposição dos resíduos a seco.
3. Baixa perda de carga (menos que 13 mmca).
4. Capacidade de operação contínua com mínima necessidade de manutenção.
5. Custo de operação relativamente baixo.
6. Habilidade para trabalhar tanto a altas pressões (10 atm) quanto em condições de vácuo.

7. Possibilidade de ser operado em ampla faixa de temperatura e a altas temperaturas (até 700°C).
8. Capacidade de tratar altas vazões de maneira eficaz.

Desvantagens

1. Custo de capital alto (projeto, engenharia e instalação).
2. Alta sensibilidade às oscilações das condições da corrente de gás (em particular, nas taxas de fluxo, temperaturas, composição do gás e material particulado).
3. Pouca flexibilidade das faixas de operação.
4. Dificuldade de remoção de algumas partículas devido a propriedades resistivas extremas (muito altas ou muito baixas).
5. Necessidade de espaço relativamente grande para instalação.
6. Risco de explosão quando trata gases ou partículas combustíveis.
7. Necessidade de precauções especiais para proteger pessoal dos riscos de alta voltagem.
8. Produção de ozônio pelo eletrodo negativo durante a ionização do gás.
9. Manutenção relativamente sofisticada e personalizada.
10. Incapacidade de controle das emissões de poluentes gasosos (Davis, 2000 e Cooper, 1994).

I.2. Filtros de mangas

Filtros de mangas (figura I.1) removem o pó da corrente de gás passando a corrente gasosa carregada de material particulado por tecido poroso. As partículas de pó formam uma torta de porosidade maior, menor ou igual à da manga (tecido poroso). Em geral, é esta torta a responsável pela filtração (Davis, 2000). Há dois métodos de limpeza: chacoalhando as mangas ou soprando ar limpo em corrente contrária. O pó então é recolhido para ser reciclado ou disposto adequadamente (Roberts et al, 1999).

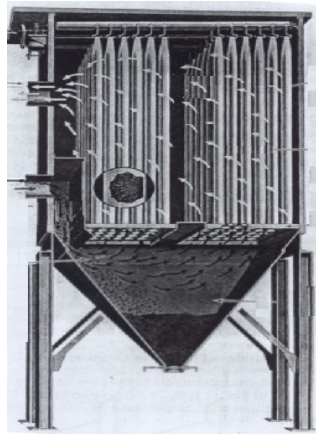


Figura I.1- Filtros de mangas (Cooper, 1994).

Vantagens

1. Alta remoção de material particulado grosso e fino (submicrons).
2. Capacidade de operar com grande diversidade de pós.
3. Relativamente insensível a flutuação da vazão de gás. Eficiência e perda de carga são pouco afetadas devido a grandes variações de carregamento de cinzas para filtros continuamente limpos.
4. Possibilidade de recirculação da saída de ar do filtro pela planta para conservação de energia.
5. O material coletado é seco, para subsequente processamento ou disposição.
6. Não há problemas de disposição de resíduos líquidos, poluição de águas ou congelamento de líquidos, fator existente nos lavadores úmidos.
7. Em geral, corrosão e ferrugem não são problemas.
8. Não há o risco de alta voltagem, simplificando a operação e manutenção, além de permitir coleta de pó inflamável.
9. Uso de fibras selecionadas e cuidados com pré-coberturas de filtros granulares permitem alta eficiência de coleta de fuligem com dimensões de micrômetros e também de gases contaminantes.
10. Filtros coletores possuem diversas configurações possíveis, resultando em dimensões e locais de flange de entrada e saída diversos, atendendo às necessidades de processo da instalação.

11. Operação relativamente simples.

Desvantagens

1. Temperaturas muito além que 300°C necessitam refratário mineral, especial ou mangas metálicas que estão ainda em estágio de desenvolvimento e são muito caras.
2. Alguns pós podem requerer tratamento especial das mangas para reduzir a infiltração de pó, ou, em outros casos, ajuda na remoção do pó coletado.
3. Concentrações de um pouco de pó no coletor podem representar risco de fogo ou explosão se uma faísca ou chama é introduzida por acidente, as mangas podem queimar se pó oxidável já tiver sido coletado.
4. Custos de manutenção relativamente altos (troca das mangas, etc.).
5. O tempo de vida da manga pode ser encurtado em altas temperaturas e na presença de ácidos e bases ou alguns constituintes de gases em particular.
6. Não pode trabalhar com gases úmidos.
7. Materiais hidrocópicos, condensação de mistura, componentes de alcatrão podem causar torta incrustante ou tampão na manga. Para evitar este problema, necessitam de aditivos especiais.
8. Troca de mangas pode necessitar de proteção respiratória adequada.
9. O diferencial de pressão necessário é em média de 100 a 250 mmca.
10. As mangas podem ser destruídas a altas temperaturas ou em presença de produtos químicos corrosivos.
11. O tempo de limpeza do filtro pede um sistema em paralelo para manter regime permanente de operação (Davis, 2000 e Copper, 1994).

I.3. Separadores inerciais

Separadores inerciais têm como princípio básico a separação inercial, na qual o gás carregado de material particulado é forçado a mudar de direção. A inércia das partículas faz com que as mesmas sigam em frente enquanto o gás muda de direção, separando as

partículas do gás. Ciclones (figura I.2) são os separadores inerciais mais comuns, nos quais o gás é forçado a girar em vórtex através de um tubo (Boubel, 1994).

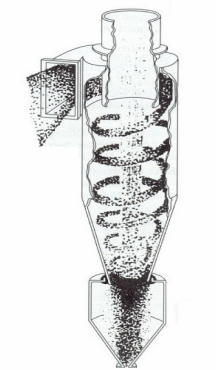


Figura I.2 - Ciclone (Davis, 2000).

Vantagens

1. Baixo custo de capital e de manutenção.
2. Possibilidade de ser simples ou múltiplo.
3. Capacidade de prolongar a vida útil dos filtros quando usado para fazer a limpeza prévia.
4. Habilidade de remoção de partículas grandes e médias com alta eficiência.
5. Construção relativamente simples.
6. Não possui peça móvel, exceto quando tem válvula-pêndulo ou rotativa na tiragem do pó.

Desvantagens

1. Não remove com boa eficiência partículas finas.
2. Perdas de carga variam em média de 50mmcH₂O (baixa eficiência) a 254mmcH₂O (alta eficiência) (Davis, 2000 e Cooper, 1994).

I.4. Lavadores úmidos

Lavadores úmidos é um nome genérico para equipamentos de controle de poluição que usam o processo de absorção em líquido para separar os poluentes da corrente gasosa. A absorção pode ser entendida como um íntimo contato dos gases com o líquido de absorção, o que permite que os gases poluentes fiquem dissolvidos no líquido. O principal fator responsável pela performance é a solubilidade dos gases no líquido absorvedor. As partículas aerossóis são transferidas da suspensão da corrente gasosa para o líquido de lavagem via mecanismos de impacto inercial, sedimentação gravitacional, difusão Browniana, eletrostática, difusividade térmica e transporte de massa. A taxa e a extensão da absorção é comumente acompanhada por reação química. São vários os tipos de lavadores, podendo ser citados os tipo Venturi, tipo torre, de pulverização axial em cone, ou ainda com spray e chicanas, dentre outros (Davis, 2000 e Boubel, 1994).

Para lavadores via úmida, podemos citar as seguintes vantagens e desvantagens, num caso geral:

Vantagens

1. Não gera fonte secundária de pó.
2. Necessita de espaço relativamente pequeno.
3. Coleta gases e material particulado.
4. Oferece possibilidade de trabalhar com correntes gasosas de altas temperaturas e umidade.
5. Tem custo de capital baixo (desconsiderando o tratamento de efluentes líquidos).
6. Em alguns processos, a corrente gasosa já está em alta pressão.
7. Habilidade de remover com alta eficiência material particulado fino.

Desvantagens

1. Possibilidade de geração de problemas de poluição de águas.
2. Necessidade de alto custo de perda de carga para remover material particulado fino com alta eficiência.

3. Geração de resíduos úmidos.
4. Os problemas de corrosão são mais severos, se comparados com via seca.
5. A opacidade da pluma de vapor pode ser inconveniente.
6. Consumo de energia elétrica para vencer diferencial de pressão pode ser caro.
7. Acúmulo de sólidos na interface úmida-seca pode ser um problema.
8. Custo de operação relativamente alto.
9. Consumo de água.

I.4.1. Sistemas de absorção (colunas de prato e de recheio)

No caso específico de lavadores úmidos, do tipo coluna, são vantagens e desvantagens:

Vantagens

1. Perda de carga relativamente baixa.
2. A padronização em construção com fibra reforçada de vidro permite operação em atmosferas altamente corrosivas.
3. Capacidade de oferecer coeficientes de troca de massa relativamente altos.
4. Variação de altura ou tipo de recheio ou do número de pratos pode otimizar o coeficiente de transporte de massa sem requisição de um novo equipamento.
5. Custo de capital relativamente baixo.
6. Espaço requerido relativamente pequeno.
7. Útil para coletar partículas assim como gases poluentes.

Desvantagens

1. Provável geração de efluentes líquidos.
2. Resíduos coletados úmidos.
3. O depósito de material particulado pode tampar o recheio ou os pratos.
4. Quando usada fibra reforçada com vidro, é sensível a temperatura.
5. Custos de manutenção e operação relativamente altos.

Comparação entre colunas de pratos e de recheios

Coluna de recheio

1. Baixa perda de carga.
2. Mais simples e barato de construir.
3. Preferível para líquidos com grande tendência de formar espuma.

Coluna de pratos (figura I.3)

1. Menos susceptível a tamar devido a material particulado.
2. Mais leve.
3. O problema das vias preferenciais é minimizado.
4. O salto de temperatura resulta em menos danos (Davis, 2000).

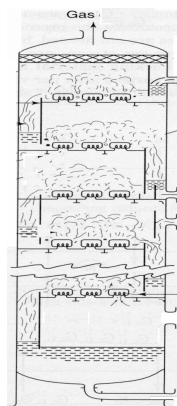


Figura I.3 - Coluna de pratos (Cooper, 1994).

I.4.2. Lavadores tipo Venturi

Os lavadores tipo Venturi são melhor descritos no capítulo 3, por serem utilizados como equipamentos experimentais. Remove materiais particulados da corrente gasosa por impactação. O poluentes são então transferidos para a água.

Vantagens

1. Alta eficiência de remoção de material particulado
2. Trabalha em processo via úmida

Desvantagens

1. Alto consumo de energia devido à alta perda de carga
2. Consumo de água relativamente elevado
3. Gera efluentes líquidos

I.5. Adsorvedores

Durante a adsorção, os poluentes gasosos são removidos da corrente de gás aderindo na superfície de um sólido. As moléculas gasosas são chamadas de adsorvante, o sólido recebe o nome de adsorvedor. O sólido é altamente poroso. A adsorção ocorre em uma série de etapas: primeiramente, os poluentes passam da corrente gasosa para a superfície externa da partícula adsorvedora. Na segunda etapa, as moléculas dos poluentes migram para a superfície interna porosa, bem maior que a externa, do adsorvedor. Finalmente, as moléculas aderem na superfície dos poros (figura I.4), (Davis, 2000). São exemplos de adsorventes: bicarbonato de sódio, carvão lignítico (sub-betuminoso) e carvão ativo adsorvedores. Possuem área superficial específica entre 200 e 1200m²/g (Carlsson, 2001).

Vantagens

1. Reaproveitamento do adsorvedor é possível.
2. Controle e resposta para mudanças de processo excelentes.
3. Não há problemas de disposição química quando o adsorvedor é recuperado e retorna ao processo.
4. Controle totalmente automático é possível.
5. Capacidade de remover contaminantes gasosos e na forma de vapor das correntes de processo até níveis extremamente baixos.

Desvantagens

1. A recuperação do adsorvedor pode requerer exótica e cara destilação e extração.
2. A capacidade de adsorção vai diminuindo progressivamente conforme vai aumentando o número de ciclos do processo.
3. A adsorção regenerativa necessita de fonte de vapor ou vácuo.
4. Custo de capital relativamente alto.
5. Pré-filtragem de material particulado é recomendada para evitar entupir o recheio adsorvedor.
6. Resfriar o gás pode ser necessário para deixá-lo dentro da faixa usual de operação (menos que 50°C).
7. Vapor consideravelmente alto é necessário para desadsorver hidrocarbonetos de alto peso molecular.

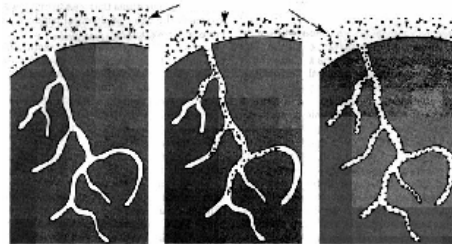


Figura I.4 - As etapas de adsorção (Davis, 2000).

I.6. Condensadores

Condensadores são trocadores de calor, que promovem mudança de fase dos poluentes gasosos, possibilitando a remoção desses.

Vantagens e desvantagens de condensadores (Davis, 2000):

Vantagens

1. Produto de condensação puro (em caso de condensadores de contato indireto).

2. A água usada como meio refrigerante , por não ter contato direto, pode ser reutilizada após ser novamente resfriada.

Desvantagens

1. Eficiência relativamente baixa na remoção dos poluentes gasosos (para as aplicações de controle de poluição do ar).
2. Os custos de condensação podem ser caros.

I.7. Removedores de Névoas

Removedores de névoas são recheios dos mais diversos tamanhos e formatos, que atuam baseados em princípio de inércia, separando as gotículas de líquido, inclusive água, arrastadas da corrente gasosa.

Vantagens:

1. Capturam gotas finas de líquidos finamente divididas (de pequeno diâmetro).
2. Custo de capital relativamente baixo.

Desvantagens:

1. Se a porosidade do recheio do removedor de névoas for pequena, pode ocorrer entupimento devido ao acúmulo de material particulado nos poros, ocasionando em grandes aumentos de perda de carga.
2. Incrustações podem diminuir o diâmetro da área da secção transversal ao fluxo, reduzindo a vazão volumétrica de gás ou reduzindo a eficiência de separação (Davis, 2000).

I.8. Pré-resfriadores de Gases

Pode-se demonstrar que a formação de dioxinas e furanos, pelo menos em alguns casos, está estreitamente relacionada com o par tempo-temperatura. Um resfriamento

rápido para menos que 150°C é um bom método para minimizar a formação destes compostos perigosos (Roberts et al, 1999).

I.9. Filsorção

A filsorção (figura I.5) é uma nova tecnologia que combina filtração + adsorção + reação química. É uma tecnologia desenvolvida pela ABB (Carlsson, 2001).

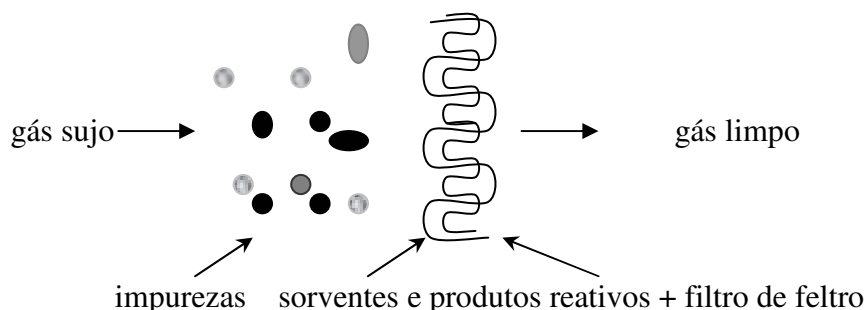


Figura I.5 - Filsorção (Carlsson, 2001).

I.10. Lavadores a seco

“Lavador a seco é uma inovação na qual cal virgem (CaO) ou hidróxido de cálcio (CaOH) é injetado no vapor dos gases de exaustão e é então capturada por filtro de mangas, formando uma camada de cal. Os gases ácidos, principalmente HCl, são neutralizados por esta camada de cal, formando água (que evapora) e cloreto de cálcio. Lavadores a seco podem ser muito eficientes e são usados em muitos incineradores de resíduos municipais e em alguns incineradores de resíduos perigosos. Literaturas recentes sugerem que o melhor controle de metais é feito através de sistema de lavagem a seco e filtros de mangas, o qual inclui injeção de cal virgem (CaO) e injeção de carbono ou carvão, ao invés de sistemas de lavagem via úmida. O tipo de filtro usado é muito importante porque deve ser hábil para capturar partículas extremamente finas de material

particulado na qual muito da massa do metal é adsorvida. A injeção de cal virgem (CaO) ou hidróxido de cálcio (CaOH) ajuda a neutralização de gases ácidos e promove remoção de material particulado mais eficiente devido à formação de camada filtrante mais densa. Mercúrio pode existir na forma de vapor abaixo de 27°C. Injeção de carbono ou carvão ativado ajuda a adsorver mercúrio muito eficientemente, como é demonstrado na Finlândia, Dinamarca, Suíça e Alemanha. A mistura de carvão ou carbono com cal virgem ou hidróxido de sódio também ajuda a controlar orgânicos clorados, especialmente dioxinas e furanos (desde que o filtro de mangas não seja operado aquecido). Em um filtro de mangas à quente, dioxinas e furanos que foram coletados na torta do filtro podem revolatizar e serem emitidos para a atmosfera.” (Roberts et al, 1999, tradução nossa).

Vantagens

1. Não gera efluente líquido.
2. Captura particulado fino.
3. Neutraliza gases ácidos.
4. É muito eficiente para remoção de metais, inclusive mercúrio.
5. Remove eficientemente dioxinas e furanos, quando a temperatura é baixa.

Desvantagens

1. Forma cloreto de cálcio junto com cinzas, aumentando o volume total de resíduos para disposição adequada.

I.11. Catalisadores

Gases como HCl podem ser lavados e removidos da exaustão de gases com soluções alcalinas aquosas ou pós alcalinos, e isto está sendo feito em incineradores de resíduos

perigosos em vários cantos do mundo. Entretanto, um gás como NO₂ ou NO, é relativamente difícil de remover, uma vez formado. Portanto, o principal controle para o NO_x nos EUA é minimizar sua formação com desenho e operação adequados dos queimadores e fornalhas. Entretanto, redução catalítica é também usada e é popular no Japão. (Roberts et al, 1999). A formação de NO_x pode ser reduzida na zona de combustão através da redução do nível de oxigênio, recirculação dos gases de queima, combustão homogênea e por seleção de redução não catalítica com amônia, uréia, etc, em temperatura próxima a 950°C. Porém, para obter níveis baixos de 70mg/Nm³ calculado como NO₂, o método mais comum é o uso de catalisador (figura I.6) localizado geralmente no final do sistema de limpeza de gases (Carlsson, 2001).

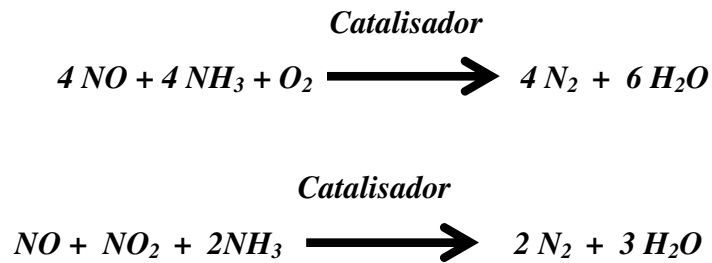


Figura I.6 - Reações no catalisador de redução de NO_x com amônia Sistema SCR Denox ABB (Carlsson, 2001).