

2175023

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE FORMATURA

SISTEMA DE VENTILAÇÃO EXAUSTORA PARA INDÚSTRIA DE BENEFICIA-
MENTO DE AMIANTO

Autor: ROGÉRIO MAXIMILIANO DOS SANTOS
Orientador: ALUISIO MARCONDES FILHO

1981

INTRODUÇÃO.....	II
-----------------	----

I)- ESTUDO DE CAPTORES E COLETORES DE AERODÍSPERSÓIDES.....	01
1)- Controle da poluição.....	01
2)- Classificação dos sistemas de ventilação.....	02
3)- Propriedades dos aerodispersóides.....	03
4)- Capttores.....	07
5)- Coletores.....	08
II)- DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	25
1)- Sistema básico de ventilação local exaustora.....	25
2)- Definição do sistema para captação do pó no beneficia - mento de amianto.....	25
3)- Especificação dos capttores.....	27
4)- Dimensionamento dos dutos.....	30
5)- Dimensionamento dos coletores.....	36
6)- Escolha do ventilador.....	43

INTRODUÇÃO:-

O processo de beneficiamento de amianto tem como ponto de partida a extração à céu aberto do minério, que se apresenta em formações fibrosas e em camadas nas rochas matrizes. Do campo de mineração (Denominado "lavra") as rochas desmontadas por efeito de explosivos são transportadas para a unidade industrial de processamento. Para obtermos o produto final, que consiste em fibras de amianto ensacadas, as rochas (que contêm o minério de amianto) são inicialmente britadas, posteriormente peneiradas e em seguida uma série complexa de processamento, envolvendo centrifugação, martelamento, separação a ar, etc. Todo esse processo, / tem basicamente a finalidade de ir sequencialmente diminuindo a / granulometria do material e simultaneamente separando fibra de amianto das partículas de rocha.

Pode-se depreender daí, que em virtude desse processamento, principalmente nas operações de britagem, peneiramento e transporte do material, há liberação de grande quantidade de poeira (partículas de rocha, argila, etc) e fibra de amianto no meio ambiente.

Portanto como medida de controle do nível de contaminantes no ar e também como finalidade de separação de fibra de amianto, há que prever um sistema de captação para as partículas liberadas em todo o processamento da indústria. Uma das formas de se atender à essas necessidades constitui-se na execução de um sistema de ventilação local exaustora, e será objetivo deste trabalho a apresentação dos parâmetros envolvidos no projeto do referido sistema.

I) ESTUDO DE CAPTORES E COLETORES DE AERODISPERSÓIDES.

1) CONTROLE DE POLUIÇÃO

Não existem regras pré-estabelecidas para a indicação das medidas ou dos métodos a serem estabelecidos no controle de riscos sanitários Industriais. De modo geral os métodos empregados visam à eliminação do agente nocivo ou redução de sua intencidade ou / quantidade, a prevenção da dispersão do agente nocivo e a proteção do trabalhador. Deve-se observar que neste trabalho, adotar-se-á como principal providência a prevenção da dispersão do agente/ nocivo (fibra de amianto e partículas de rocha). Vale lembrar que a fibra de amianto aloja-se cumulativamente nos pulmões e que como o organismo não tem capacidade de degradar as fibras, grandes são as possibilidades de desenvolver-se células cancerígenas.

Citam-se ainda como alternativas de prevenção:

- a- Adequado projeto, construção e manutenção da maquinaria e / equipamentos industriais.
- b- Substituição de materiais nocivos por outros menos nocivos, ou inócuos.
- c- Modificação de processos e métodos de trabalho.
- d- Umectação: umedece-se a poeira com água, impedindo sua dispersão no meio ambiente.
- e- Enclausuramento: as operações são encerradas ou enclausuradas, impedindo o escape dos poluentes. São operações suscetíveis / de enclausuramento a trituração, moagem, peneiramento, bem como o transporte de material.
- f- Isolamento: operações que produzem consideráveis poluições/ no ambiente, são segregadas ou isoladas, de forma que apenas os operários envolvidos nessas operações fiquem expostos, porém protegidos por medidas complementares (Uso de Equipamento de Proteção Individual).
- g- Ventilação: consiste na movimentação do ar por meios naturais ou mecânicos, quer introduzindo-o no ambiente (insuflação) , quer retirando-o desse ambiente (exaustão) .

2) CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Define-se VENTILAÇÃO como sendo o processo de retirar ou fornecer ar por meios naturais ou mecânicos de ou para um recinto / fechado. Esse ar pode ou não ter sido condicionado.

Quando a movimentação de ar (retirada ou fornecimento de ar para o recinto) é causada por condições naturais, diz-se que a ventilação é natural, e quando efetuada por ventiladores ou outros meios mecânicos, a ventilação é chamada Mecânica ou Artificial. Os sistemas de ventilação classificam-se basicamente em dois grupos, o primeiro denominado ventilação geral e o segundo ventilação local exaustora.

VENTILAÇÃO GERAL : através de movimentação de quantidades relativamente grandes de ar em espaços confinados, tem por objetivo a melhoria do ambiente, controlando a temperatura, umidade, velocidade, distribuição e pureza do ar. Quando o principal objetivo é a redução da concentração de poluentes nocivos, os métodos empregados se agrupam sob a denominação de VENTILAÇÃO GERAL/ DILUIDORA. A redução da concentração de poluentes, nesse caso é obtida através da insuflação de ar não poluído, retirada; retirada de ar poluído ou ainda uma combinação de ambos. Deve-se observar que nesse caso não se impede a emissão de poluentes para o ambiente de trabalho, apenas ocorre diluição dos mesmos. Como forma de promovermos a ventilação geral de um ambiente, os seguintes métodos podem ser usados:

- a- Insuflação e exaustão naturais
- b- Insuflação mecânica e exaustão natural
- c- Insuflação natural e exaustão mecânica
- d- Insuflação e exaustão mecânicas.

VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA : capta os poluentes junto a fonte de emissão antes que sejam emitidos ao ambiente ocupacional. Como consequência, a ventilação local exaustora, também influe no bem estar e na segurança do trabalhador, retirando do ambiente uma parcela do calor de convecção liberado por fontes quentes (eventualmente existentes) e também, o que é de extrema importância, im-

pede ou reduz o lançamento de poluentes na atmosfera. Para que o contaminante possa ser tratado, antes do seu lançamento na atmosfera, o sistema de ventilação local exaustora mais simples possível é composto por :

- a- Captor (coifa) - ponto de entrada dos gases a serem exauridos pelo sistema.
- b- Sistema de dutos - responsáveis pelo transporte dos gases captados.
- c- Ventilador - responsável pelo fornecimento da energia necessária à movimentação dos gases (fornece um diferencial de pressão entre o captor e a saída do sistema) .
- d- Equipamento de controle de poluição do ar (COLETOR) - destina-se a receber os poluentes, impedindo seu lançamento na atmosfera ou meio-ambiente.

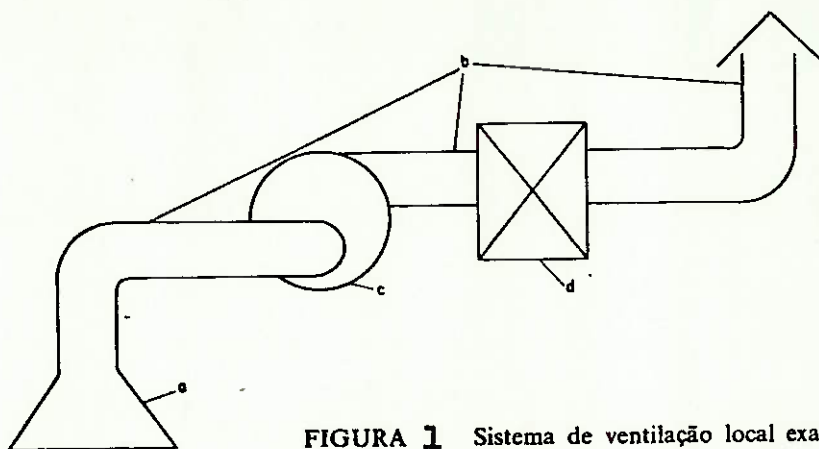


FIGURA 1 Sistema de ventilação local exaustora

3) PROPRIEDADE DOS AERODISPERSÓIDES

Para o dimensionamento dos componentes de um sistema de ventilação local exaustora é importante o conhecimento de diversos/parâmetros que caracterizam as substâncias poluidoras, como por exemplo sua concentração, granulometria (em se tratando de poeiras), grau de toxidez, temperatura, inflamabilidade, e também os mecanismos envolvidos na sua captação. Passaremos a definir a terminologia empregada no estudo de partículas dispersas no meio ambiente.

AEROSSÓIS - são sistemas dispersos cujo meio de dispersão é gasoso e cuja fase dispersa constitui-se de partículas sólidas/ou líquidas.

AEROSSÓIS FORMADOS POR DISPERSÃO - São resultados da desintegração mecânica da matéria (pulverização ou atomização de sólidos/ou líquidos, ou transferência de pó para o estado de suspensão através da ação do ar ou vibração), e na maioria dos casos, constituídos por partículas mais grosseiras do que as que constituem os aerossóis formados por meio de condensação; além disso, contêm partículas com maior variação de tamanho.

AEROSSÓIS DE CONDENSAÇÃO - Formados pela condensação de vapores supersaturados, ou pela reação entre gases, levando a um produto não volátil. Nesses aerossóis, as partículas sólidas frequentemente são agregadas provenientes da coagulação de um grande número de partículas primárias (forma esférica ou cristalina regular). Dependendo do tamanho das partículas constituintes dos aerossóis, estes são identificados com nomes diversos a saber:

- a) Poeiras - Aerossóis formados por dispersão e constituídos por partículas sólidas, geralmente com diâmetros maiores que $1\mu\text{m}$. Como exemplo citam-se a poeira de sílica, de asbesto, de algodão, etc-.
- b) Névoas - Aerossóis constituídos por partículas líquidas, independentemente da origem e do tamanho das mesmas. Por exemplo a névoa de ácido sulfúrico, névoa da pintura, etc..
- c) Fumos - Aerossóis formados pela condensação, sublimação ou reação química e constituídos por partículas sólidas, geralmente com diâmetros menores que $1\mu\text{m}$. Por exemplo fumos metálicos, fumos de cloreto de amônia, etc..
- d) Fumaças - Aerossóis resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos. Estão constituídos geralmente por partículas com diâmetro inferior a $1\mu\text{m}$.

PROPRIEDADES DAS PARTICULAS

O "tamanho da partícula" está relacionado com o seu perímetro ou com o seu diâmetro da área projetada da partícula, que é

o diâmetro de um círculo com área igual a área projetada. Outros métodos de medidas, baseados no comportamento aerodinâmico da partícula (função da densidade e forma), são utilizados e como exemplo citamos o raio de Stokes (r_{st}) e o tamanho aerodinâmico/ equivalente (d_e). O raio de Stokes é o raio de uma esfera que tem a mesma velocidade de queda da partícula, e uma densidade igual a do material com o qual a partícula é formada. O diâmetro aerodinâmico equivalente é o de uma esfera tendo a mesma velocidade de queda da partícula e uma massa esférica igual a $1g/cm^3$. O comportamento físico e químico das partículas individuais num sistema aerossol dependem do tamanho ou extensão espacial, distribuição de tamanho, forma, massa esférica, pressão de vapor, carga eletrostática, etc.. A densidade de uma partícula formada por dispersão de um sólido é a mesma do material que a originou. A oxidação e hidratação da partícula individual, ou ainda sua aglomeração, implicarão numa variação da densidade. Como propriedades importantes há que se mencionar a ABSORÇÃO e a ADESÃO. Por absorção entende-se o fenômeno de revestimento das partículas por um filme superficial de gás, mantido por forças elétricas ou de valência química. A quantidade de gás ou vapor que pode ser absorvido sobre a superfície da partícula é diretamente proporcional à superfície da partícula, e esse fato pode ser usado para medir o tamanho de partículas sob certas condições. Adesão é o fenômeno caracterizado pelo surgimento de forças de adesão quando da existência de líquido espalhado entre superfícies em contato. A umidade do ar favorece a adesão (formação de aglomerados) de partículas nele contidas.

MECANISMOS AERODINAMICOS DE CAPTURA DE PARTICULAS

O conhecimento destes mecanismos orienta o projeto e construção de coletores como: Ciclones, filtros, lavadores, câmaras gravitacionais, sendo que os mesmos mecanismos básicos de capturas são:

a- Impactação Inercial

- b- Intercepção
- c- Difusão

IMPACTAÇÃO INERCIAL

Conforme se observa na figura "2", um fluxo gasoso ao aproximar-se de um cilindro infinitamente longo, colocado perpendicularmente ao fluxo, ou de uma esfera tem suas linhas de corrente espalhadas ao redor do corpo. Dessa forma, as partículas contidas no fluxo gasoso seguirão suas linhas de corrente até o ponto em que elas divergem ao redor do coletor. Devido a sua massa, as partículas terão suficiente momento para continuar a mover-se contra o coletor.

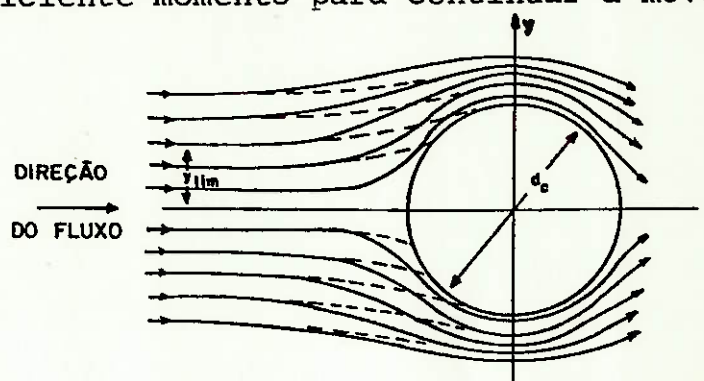


FIGURA 2 Modelo de fluxo ao redor de um cilindro; as linhas tracejadas indicam as trajetórias tomadas pelas partículas coletadas por impacto. —, linhas de fluxo de fluido; ----, trajetórias das partículas

INTERCEPÇÃO

No mecanismo de impactação inercial a massa da partícula é o parâmetro determinante para a captura, enquanto que no mecanismo de intercepção, apenas o tamanho de partícula é que caracteriza o fenômeno. A figura "3" mostra que somente serão interceptadas as partículas contidas em linhas de correntes / que aproximam do coletor a uma distância menor que $d/2$, sendo d o diâmetro da partícula.

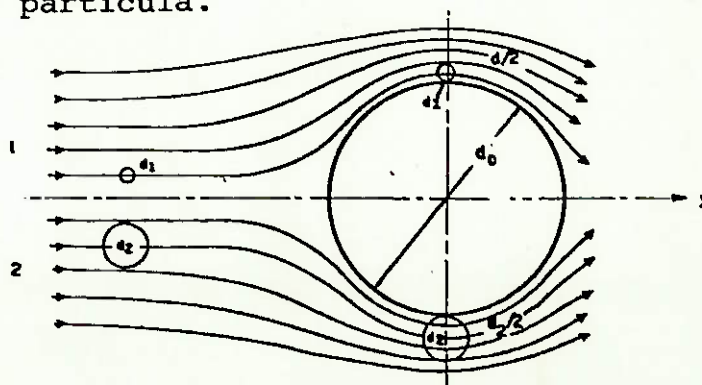


FIGURA 3 Modelo de fluxo ao redor de um cilindro mostrando o mecanismo de coleta por intercepção para esferas de diferentes tamanhos

DIFUSÃO

Partículas inferiores a $1\mu\text{m}$ de diâmetro, dificilmente são coletados por impactação inercial ou intercepção, pois, além de seguir as linhas de corrente ao redor do corpo coletor, movem-se em zig-zag desordenado, causado pelo continuo bombardeamento // das moléculas do gás. Esse movimento desordenado das partículas é denominado movimento BROWNIANO. Quando o gás está parado, as pequenas partículas se movem livremente e distribuem-se com uniformidade pelo gás. Se um objeto for colocado em seu interior, algumas partículas se sedimentarão sobre ele, sendo assim, removidas do gás. Num gás em movimento, somente um tempo limitado / esta disponível para a remoção por esse processo de difusão, ou seja, somente serão coletados as partículas localizadas nas linhas de corrente suficientemente próximas do corpo coletor.

4) CAPTORES (coifas)

Denomina-se captor ou coifa ao ponto de entrada dos gases no sistema de ventilação local exaustora. Para o dimensionamento de um captor devemos conhecer:

- a- Suas formas e dimensões
- b- Posição relativa à fonte de poluentes
- c- Vazão a ser exaurida para captura completa dos poluentes
- d- Energia necessária para estabelecer o fluxo de gases para / dentro do captor

Quanto à forma e posição relativa, os captores se classificam em: enclausurantes, cabines e captosres externos.

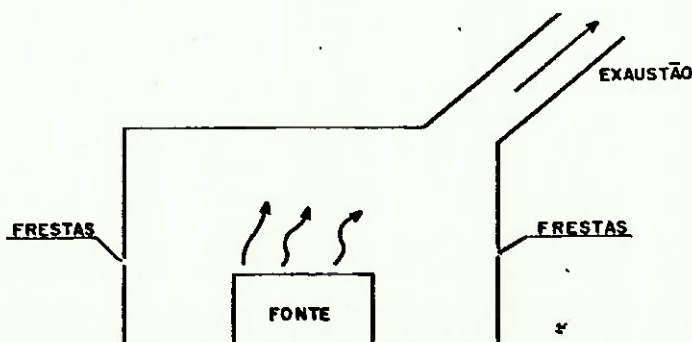


FIGURA 4 Enclausuramento com exaustão

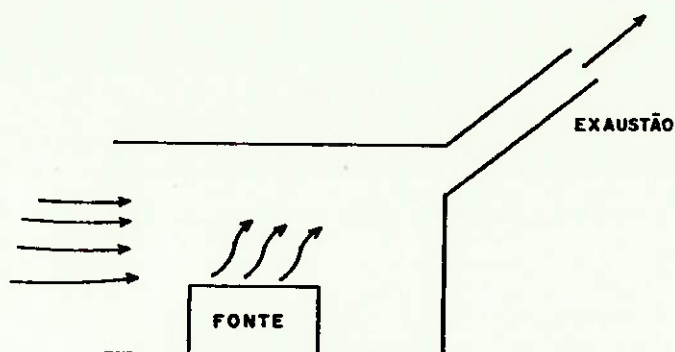


FIGURA 5 Cabines

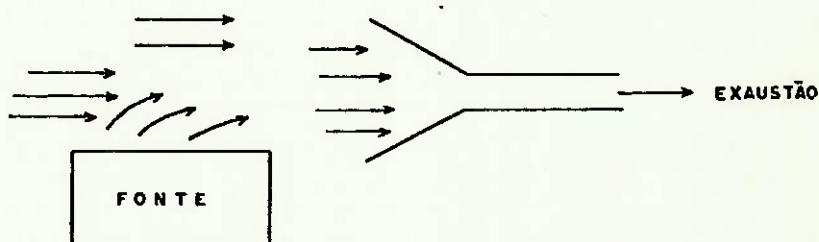


FIGURA 6 Captadores externos

A vazão de ar a ser exaurida para o interior de um captor deve ser tal que garanta que todos os poluentes gerados pela fonte / sejam captados. Essa vazão deve ser a mínima possível, e depende dos requisitos de velocidade dos gases ou do ar nos pontos de geração de poluentes e da área aberta determinada pela forma do captor e sua posição relativa à fonte. Todos esses / dados relativos à vazão mínima necessária, velocidade de captura, etc encontram-se na referencia 2, devendo-se observar que / este titulo é um dos mais recomendáveis à respeito do tema.

5) COLETORES

O problema que se coloca quando do projeto de um sistema para exaustão local de fontes poluidoras, no que se refere à separação das partículas poluentes do gás que a transporta (através / do sistema de dutos), é determinar qual o melhor tipo de coletor capaz de satisfatoriamente realizar a limpeza (captar as partículas poluentes) do gás carreador. Para tanto, listamos a seguir os diversos parâmetros envolvidos na escolha do coletor:

- a- ESTADO FISICO DO POLUENTE - para coleta de gases e vapores, / os equipamentos de controle mais utilizados são as torres de absorção, leitos de absorção, condensadores e insineradores. Para material particulado, sólido ou liquido, comumente se /

usa coletores inerciais, coletores centrifugos, lavadores, / filtros e precipitadores eletrostaticos.

- b- GRAU DE LIMPEZA DESEJADO - as concentrações de poluentes admissíveis no ar atmosférico são determinadas dependendo do tipo de poluente (ver referencia 2) e a eficiencia dos coletores varia bastante em função das propriedades dos poluentes; por exemplo, um ciclone (coletor centrifugo) tem baixa eficiencia para particulas menores que 50um.

c- PROPRIEDADES DO GÁS CARREADOR -

Composição química: por exemplo, em se tratando de poluentes corrosivos, cuidado especial deve ser tomado na escolha dos materiais utilizados na construção do coletor.

Temperatura: além do efeito sobre os materiais de construção a temperatura influe no volume do gás (através de alterações na densidade), que por sua vez traz consequencias quanto ao tamanho do coletor. Coletores umidos não podem ser usados / em temperaturas muito altas, devido a excessiva evaporação / de água, enquanto que os filtros têm limitações de temperaturas de modo a prevenir a danificação dos elementos filtrantes.

Umidade: a alta umidade contribui para o empastamento das particulas sobre o coletor, principalmente coletores inerciais / e centrifugos, provocando seu entupimento. Pode ainda, agravar problemas de corrosão, agravar a resistividade elétrica / das particulas e como consequencia valiar a eficiencia de coleta no caso de precipitadores eletrostáticos.

Combustividade: quando o gás carreador é inflamavel deve-se / assegurar que se esteja acima do limite superior de explosividade ou abaixo do limite inferior de explosividade da mistura. Nesses casos, lavadores são preferíveis e raramente seriam utilizados os precipitadores eletrostáticos.

Propriedades elétricas: quando se trata de coleta de particulas com precipitador eletrostático, a maior ou menor facilidade de ionização do gás influencia o mecanismo de coleta.

d- PROPRIEDADES DO CONTAMINANTE -

Carga ou concentração do poluente: a massa de particulas conti

das num determinado volume de gás afeta diferentemente os vários tipos de coletores. A eficiência de coleta de ciclones, por exemplo, aumenta com a carga, mas aumenta o / risco de entupimento.

Solubilidade: Importante em absorvedores e lavadores em / geral.

Combustividade: importante se, se pretende a eliminação / do poluente por incineração, sendo também um fator a considerar para evitar riscos de explosão.

Reatividade Química: é um fator que pode ser utilizado na coleta do contaminante, por exemplo, na absorção química, porém pode também criar problemas quando o contaminante / reage com o material de construção do corpo coletor, danificando-o.

Propriedades Elétricas: conforme já mencionado, tem grande importancia quando se trata do uso de precipitadores / eletrostáticos. Partículas com altíssima, ou baixíssima resistividade apresentam dificuldades de coleta em precipitadores.

Higroscopicidade: caracteriza a maior ou menor capacidade de a partícula absorver umidade. Partículas excessivamente umidas provocam empastamento e conseqüente risco de / entupimento em coletores inerciais, centrifugos e filtros.

TAMANHO, FORMA E DENSIDADE DAS PARTICULAS: são os fatores fundamentais na escolha do coletor, pelo fato de desempenharem papel decisivo na eficiencia de coleta, podendo-se dizer que o tamanho da partícula é um dos aspectos mais / importantes. Dada a dificuldade de se equacionar esse // conjunto de fatores, simplificações tem sido feitas no // sentido de tornar mais fácil e rápida a escolha de um e - quipamento para coleta de material particulado, levando-se em conta sua distribuição de tamanho. Uma dessas formas é a carta de SYLVAN (Fig. 7), que apresenta a teoria simplificada e dados experimentais condensados.

Como exemplo de aplicação da carta de SYLVAN, seja escolher o coletor para um forno de calcinação em que a concentração de poeira no efluente seja 7,5 grãos/pé³ e o tamanho médio da partícula é 9µm.

a) Com os valores dados, determina-se o ponto A na carta, / cuja projeção vertical indica:

ciclone comum: rendimento inferior a 50%

ciclone de alta eficiencia: eficiente de 60 a 70%

Filtros de tecido, precipitadores eletrostáticos e coletores umidos: eficiencia em torno de 97%

b) Escolhendo-se um ciclone de alta eficiencia (n = 70%) como prê-coletor, teremos a concentração na saída 7,5 (1 - 0,7) = 2,25 grãos/pé³.

c) Marcando essa concentração sobre a linha paralela à de poeiras industriais (canto superior da carta), obtemos o ponto B, cuja projeção vertical fornece:

- o tamanho médio da partícula

- o ciclone de alta eficiencia, inferior a 50%

- o coletor umido, eficiencia de 98%

d) Escolhendo um coletor umido, teremos para a concentração do efluente o valor 2,25 (1 - 0,98) = 0,045 grãos/pé³

e) A marcação desse valor sobre o prolongamento do segmento AB fornece o ponto C, cuja projeção vertical fornece o / valor do tamanho médio de partícula no efluente (1,6µm).

De maneira geral não há regras claramente estabelecidas para a escolha de coletores, devendo-se em cada caso considerar as condições locais. Fator decisivo como base para a tomada de decisões nesse sentido é o conhecimento dos diversos tipos de coletores existentes e a experiencia individual daqueles que estejam envolvidos no problema. Nesse sentido apresenta-se em seguida os principais tipos e características de coletores disponiveis.

a- COLETORES GRAVITACIONAIS

Principio de funcionamento: através da deposição gravitacional, as partículas são separadas do fluxo gasoso. A velocidade

de do gás na câmara deve ser reduzida para possibilitar a deposição das partículas.

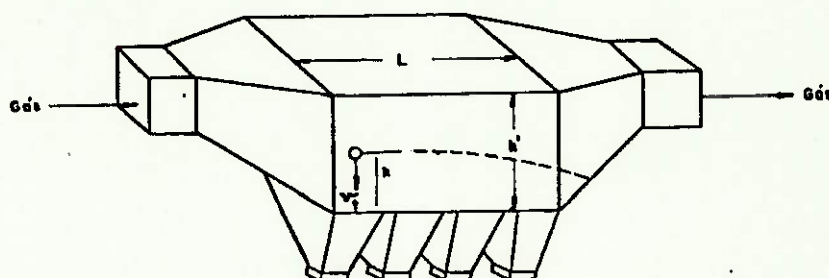


FIGURA 8 Esquema de uma câmara gravitacional

Perda de carga: ocasionada pelas perdas de expansão, contração e perda no tramo reto correspondente ao comprimento da câmara. Os valores são baixos e no geral não apresentam ponderável acréscimo à perda de carga total do sistema.

Utilização: a velocidade de passagem dos gases deve ser fixada de modo a permitir a sedimentação das partículas e evitar sua reentrada no fluxo gasoso. Como fatores limitantes, o mais importante é o tamanho das partículas, pois para partículas menores que $50\mu\text{m}$ a eficiência de coleta é bastante reduzida. Sua aplicação mais comum se dá como pré-coletor em operações de refino de metais (para as partículas grossas), em indústrias alimentícias (cascas e películas), em caldeiras alimentadas a carvão (coleta de cinzas).

b- COLETORES INERCIAIS

Princípio de funcionamento: através da colocação de anteparos na corrente gasosa, as partículas carregadas pelo gás, devido à sua inércia, chocam-se contra os anteparos, sendo assim coletadas.

Perda de carga: em câmaras inerciais, a perda de carga varia com o número de anteparos, número e ângulo das mudanças de direção sofridas pelo gás, velocidade do gás, material de construção, acabamento das superfícies, etc. De maneira geral a perda de carga se situa entre 1 e 3 polegadas de H_2O . A figura 9 mostra um exemplo de coletor inercial.

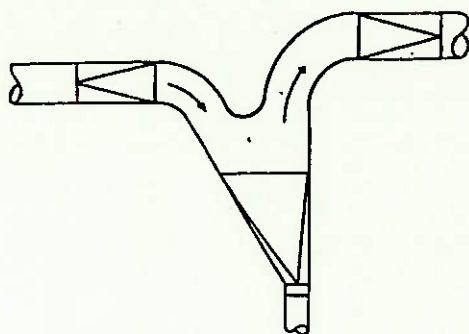


Fig. 9 *Inertial Trap*

Utilização: mais utilizados como pré-coletores para diminuir a carga de poeira de maior tamanho, para posterior coleta no / coletor principal. São de bai-xo custo, simples construção, / consomem pouca potencia, poden-do ser utilizados para limpeza de gases e autas temperaturas.

Apresentam baixo rendimento para particulas pequenas, e como no caso de camaras gravitacionais, ocupam grande espaço.

c- COLETORES SÔNICOS E PRECIPITADORES TÉRMICOS

Estes tipos tem sido pouco usados industrialmente e dessa forma poucos dados existem a respeito de seu funcionamento operacional.

d- COLETORES CENTRIFUGOS (CICLONES)

Princípio de funcionamento e classificação: as particulas são captadas por ação da força centrífuga, uma vez que o gás entrando tangencialmente no topo do ciclone criam fluxo espe-ral descendente entre a parede e o duto de saída. Este fluxo atinge a base do cone e retorna até o duto de saída num movi-mento espiral ascendente interno. As particulas sendo coleta-das na parede do ciclone, depositan-se na base do mesmoe pelo duto de saída (no topo do ciclone) são descarregados os gases limpos.

Os principais tipos de coletores centrifugos são:

- Ciclone simples de entrada tangencial
- Ciclone simples de entrada curva
- Ciclone simples de entrada axial
- Ciclone simples de corpo cilindrico
- Ciclone simples de corpo ciclindrico/conico
- Ciclone simples de corpo curvo
- Ciclones multiplos
- Tipo turbocompressor

A figura 10, mostra o tipo mais comum de ciclone, ou seja ciclone simples de entrada tangencial.

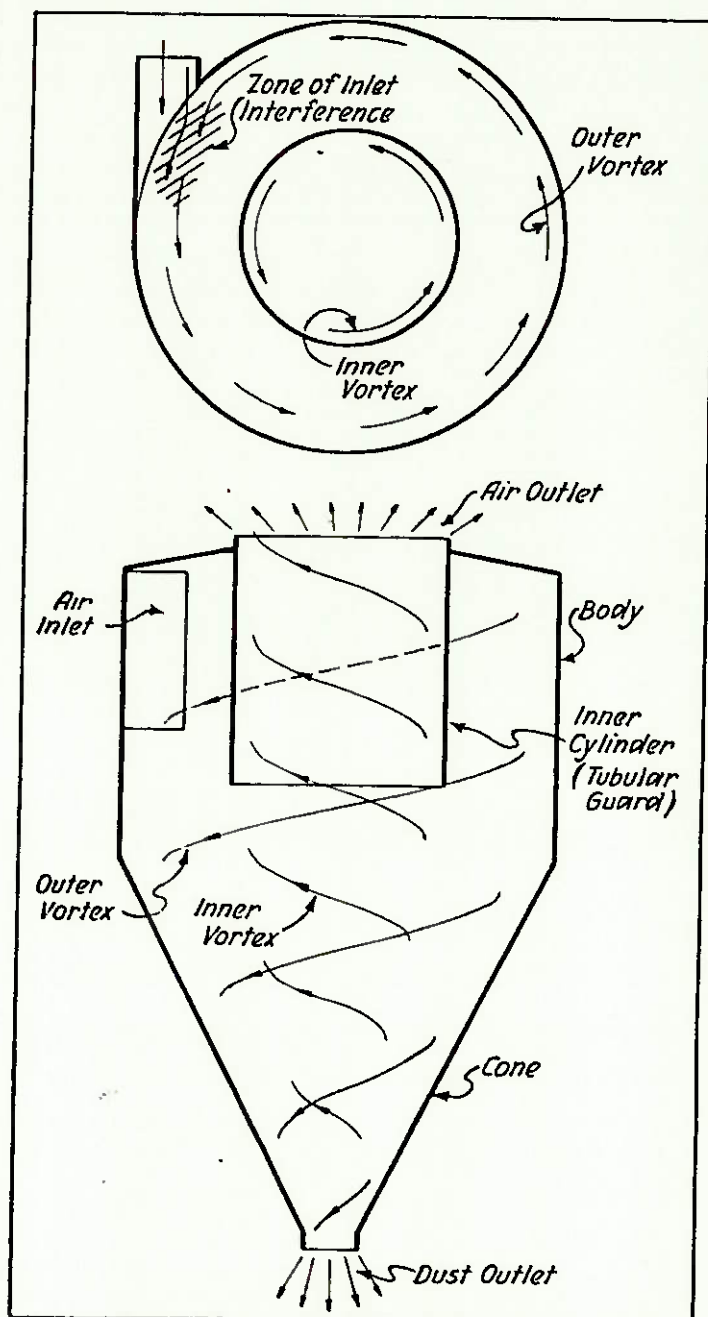


Fig. 10 Common cyclone.

Perda de carga: são fatores predominantes da perda de carga num ciclone; as perdas por atrito no duto de entrada, expansão ou contração na entrada, perdas na entrada do duto de saída, perda de pressão estática entre os dutos de entrada e saída. A referencia 2 apresenta como valores para perda de carga o intervalo entre 0,75 e 1,5 polegadas de H_2O , mas há que se salientar que o problema da determinação de perda de carga em ciclones pode apresentar dificuldades e variações / grandes entre valores calculados e valores médios (ver referencia 1).

Utilização: Os ciclones são amplamente empregados, tanto / como componente em sistemas ante-poluentes, bem como nos processos industriais (classificação por tamanho de material particulado). Caracterizam-se pelo baixo custo inicial, não apresentam limitações quanto à temperatura do gás carreador e são de operação simples. Partículas menores que $5\mu m$ são coletadas com baixa eficiência, e ainda como fator limitante temos a possibilidade de entupimento no caso de alta concentração de poeiras no gás carreador (principalmente as partículas de menor diâmetro)

e- COLETORES UMIDOS

Como princípio geral de funcionamento o fluxo de gás passa / através de uma esperção de gotas de água, que carregam ou dissolvem as partículas de poluentes mantidas no gás carreador.

Os tipos mais utilizados de lavadores são:

- Câmaras de borribo
- Lavadores ciclônicos
- Lavadores auto-induzidos
- Lavadores mecânicos
- Coletores úmidos de impactação
- Lavadores venturi
- Lavadores "Jet"
- Torres de enchimento úmidas
- Precipitadores dinâmicos úmidos, etc.

As figuras 11 e 12 apresentam os diversos tipos de lavadores.

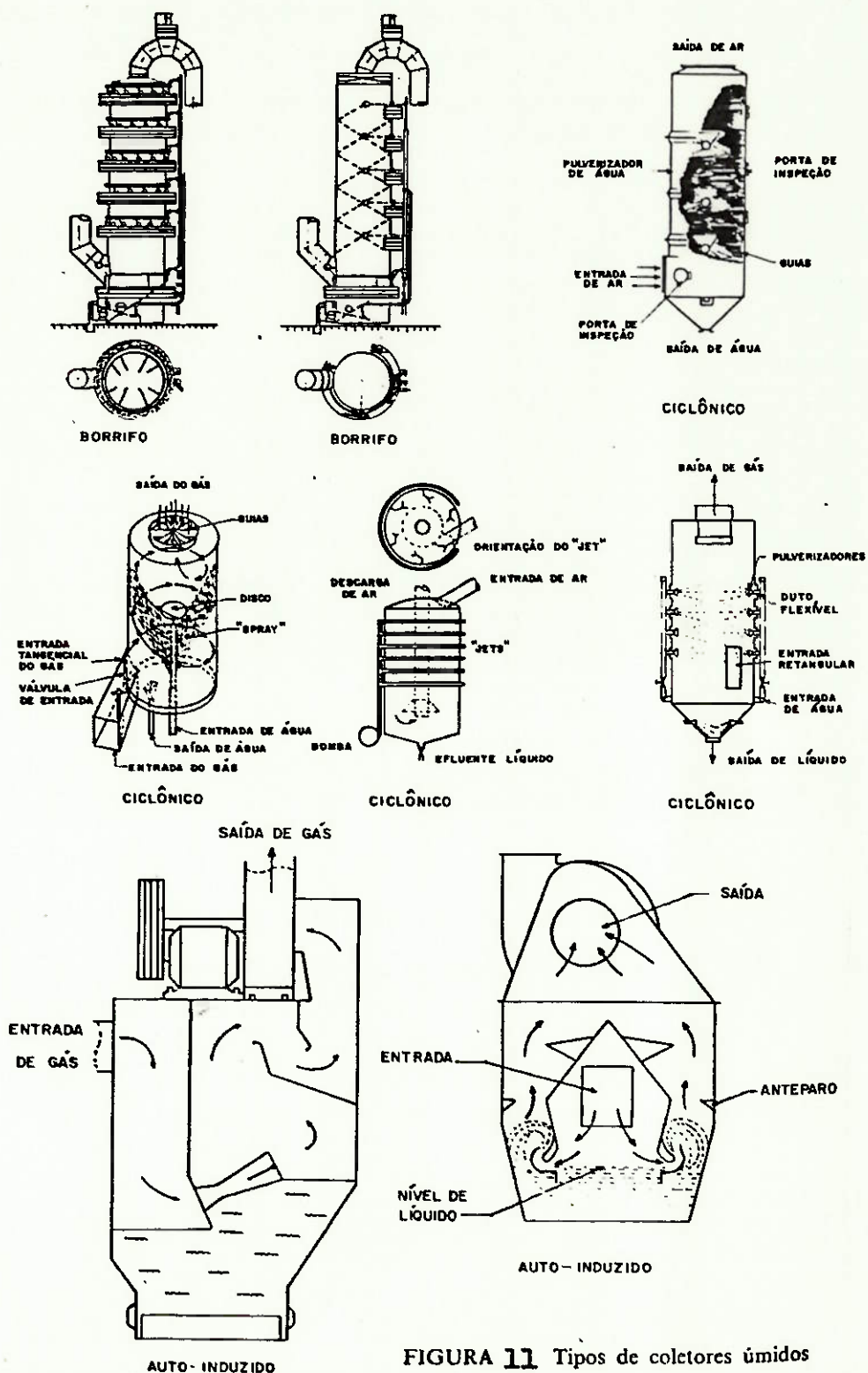


FIGURA 11 Tipos de coletores úmidos

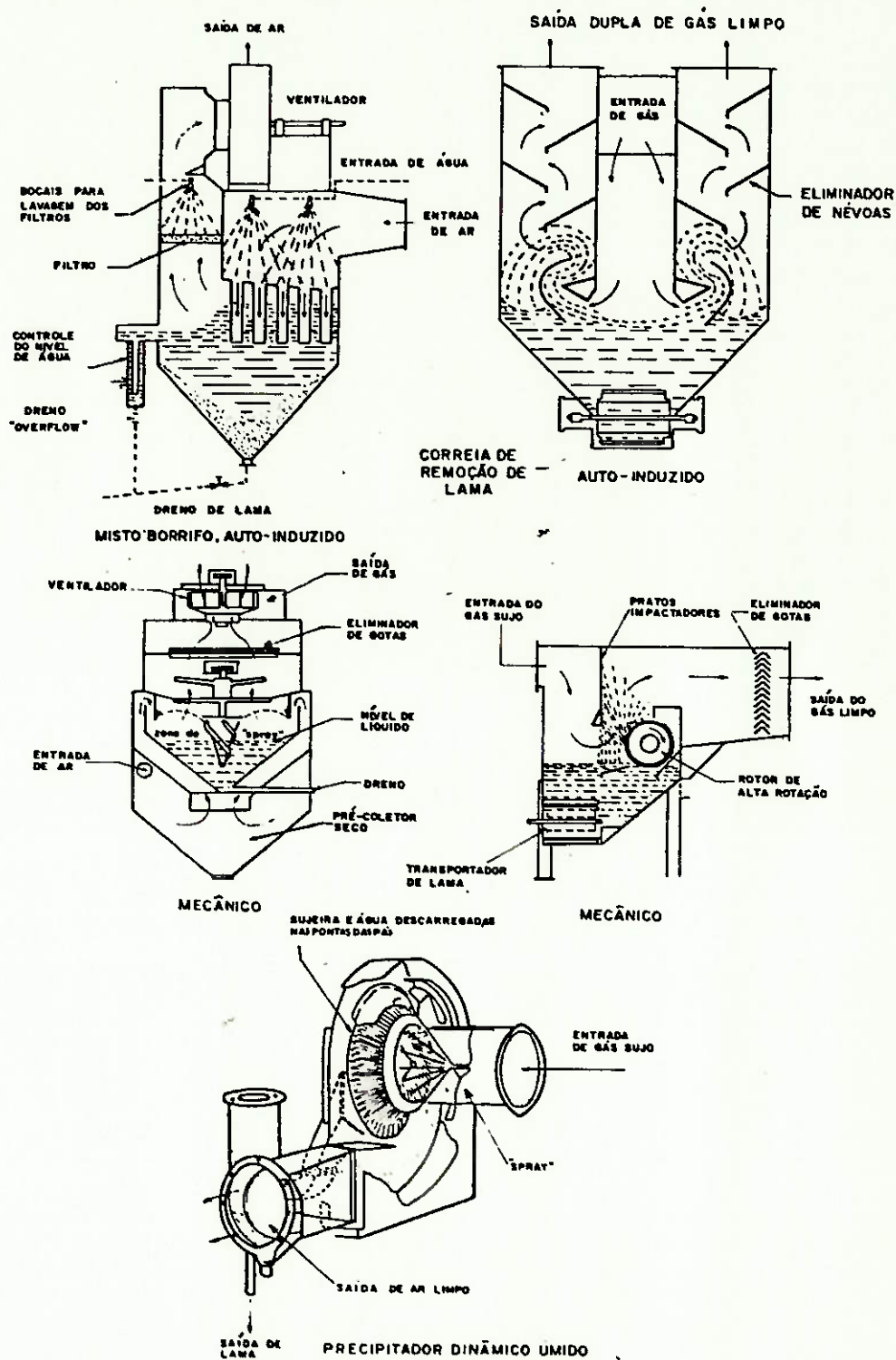


FIGURA 12 (Continuação)

Perda de carga: varia bastante, dependendo do tipo de lavador. Na maioria dos casos os valores para perda de carga situen-se entre 1 e 6 polegadas de H_2O . No caso do lavador ventúri estes valores são maiores, oscilando entre 10 e 30 polegadas de H_2O .

Utilização: diversas são as aplicações de lavadores, tanto na coleta de gases como poeiras. Entre as vantagens de sua utilização citam-se:

- podem coletar gases e material particulado simultaneamente
- dissolve partículas solúveis
- executa a função secundária de resfriamento
- gases e névoas corrosivas podem ser coletados e neutralizados
- evita riscos de explosão (ou combustão) pela presença de gases explosivos (ou combustíveis) e poeiras combustíveis
- em geral são de pequeno tamanho.

Como desvantagens temos:

- necessidade de leito de sedimentação para partículas insolúveis
- recristalização de materiais solúveis
- criação de resíduos líquidos
- dificuldade na coleta de partículas não molháveis
- problemas de corrosão
- excessiva evaporação de líquido para o caso de gases quentes

f- FILTROS

Princípios de funcionamento: o gás contendo as partículas / a serem coletadas, é forçado a passar através de um meio poroso e dessa forma as partículas são capturadas como consequência de forças de inércia, mecanismos de intercepção, difusão, deposição gravitacional e precipitação eletrostática entre outros. As figuras 13 e 14 mostram filtros de tecido (mangas, sacos e envelopes), que são os tipos mais comuns.

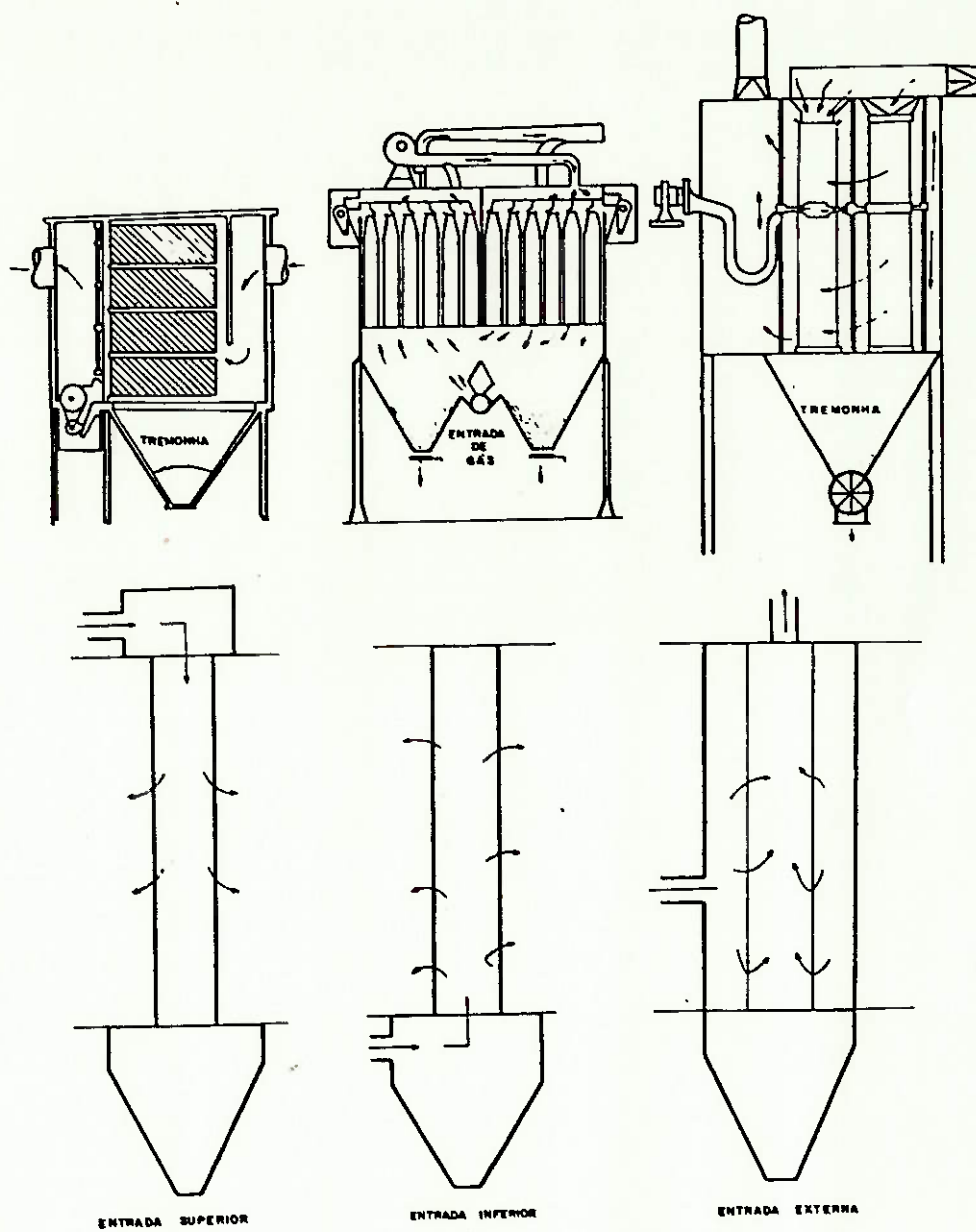
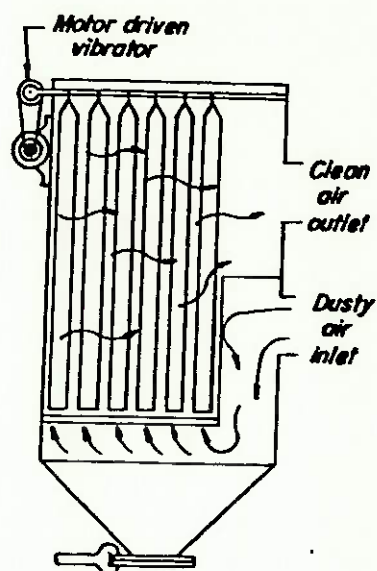
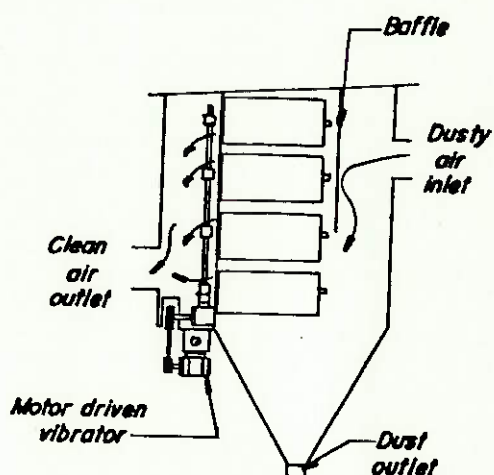


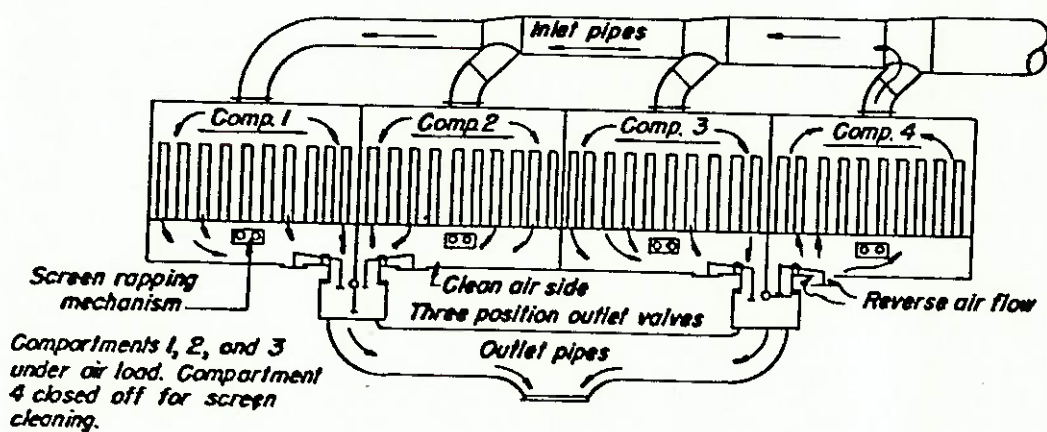
FIGURA 13 Tipos de filtros



CLOTH TUBE OR STOCKING TYPE



ENVELOPE OR BAG TYPE



MULTIPLE SECTION CONTINUOUS AUTOMATIC

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

FABRIC COLLECTORS

DATE 1-68

Fig. 14

Perda de carga: depende do material de que é feito o elemento filtrante, densidade e concentração das partículas, frequência de limpeza do filtro etc, e em geral variam entre 2' a 5 polegadas de H₂O.

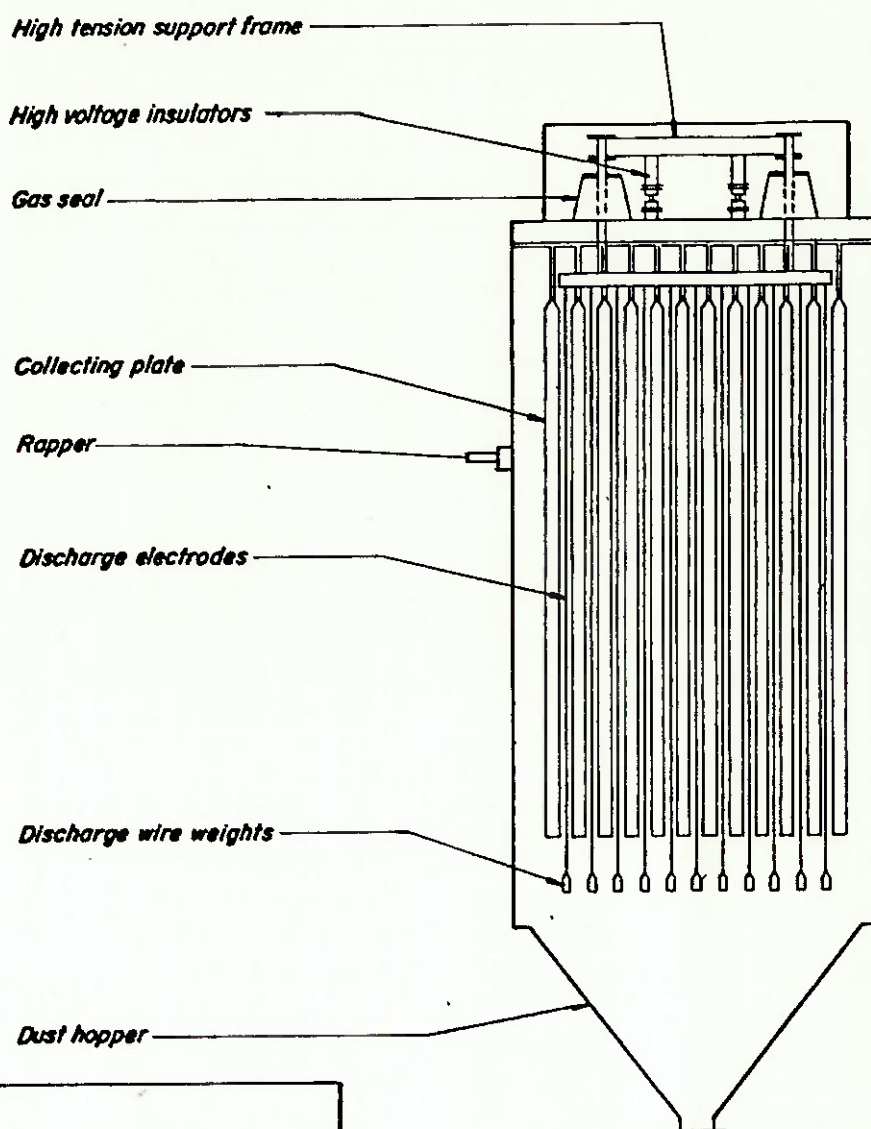
Utilização: trata-se de um dos métodos mais antigos de remoção de partículas de um fluxo gasoso, e podem coletar com eficiência partículas da ordem de 0,5µm. Bastante utilizados em indústria de minerais não-metálicos, fornos elétricos de aço, // fornos de recuperação de chumbo, cereais, madeira etc. Entre as desvantagens deve-se mencionar o auto custo, grandes dimensões, pouca resistência a altas temperaturas, e empastamento devido a poluentes condensáveis e pegajosos.

g- PRECIPITADORES ELETROSTÁTICOS

Princípio de funcionamento: um gás submetido a uma alta diferença de potencial se ioniza e dessa forma os íons carregarão / eletricamente as partículas contidas no gás. As partículas carregadas eletricamente migram para o polo de carga contrária e portanto são retiradas do gás que as transporta.

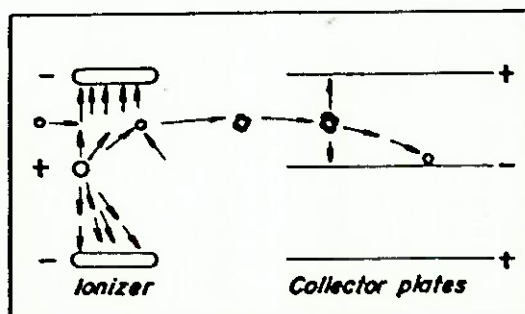
Características gerais: os precipitadores eletrostáticos apresentam elevada eficiência de coleta para uma ampla faixa de tamanhos de partículas (0,1 a 200µm) e a perda de carga que / provocam no sistema é desprezível (0,1 a 0,5 polegadas de H₂O). A eficiência de coleta é diretamente proporcional à velocidade de migração, diferença de potencial, tamanho, densidade e resistividade das partículas. No caso da resistividade da partícula, existe um valor acima do qual a eficiência começa a decair. Como a velocidade de passagem do fluxo através do precipitador deve ser baixa (5 a 10 pés/s), o tamanho do precipitador aumenta quando do tratamento de grandes vazões de gás.

Utilização: uso frequente em usinas termoeletricas, fábricas de cimento, aciarias, fundição de metais não ferrosos e em fábricas de celulose. Entre as desvantagens a considerar estão; o alto custo inicial, perigos causados pela alta-tensão e a impossibilidade de aplicação para material não particulado.



HIGH VOLTAGE DESIGN

Discharge electrode (normally negative)
30,000 to 75,000 volts. Collecting
plates are usually grounded.



LOW VOLTAGE DESIGN

12,000 to 13,000 volts on ionizer
6,000 to 7,000 volts on collector
plates

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

ELECTROSTATIC PRECIPITATOR

DATE 1-68

Fig. 15

CUSTO DO SISTEMA

Além dos fatores mencionados, o custo total do sistema (custo de capital mais custo de operações) deve ser levado em conta no sentido de se escolher o coletor mais adequado. Principalmente no caso de grandes instalações, o consumo de energia é preponderante na formação dos custos operacionais e daí a importância de coletores com alta eficiência de coleta e baixo consumo de energia.

No caso de pequenas vazões de gás, muitas vezes é preferível a escolha de coletores / que impliquem (devido a perda de gás que // provocam) em maior consumo de potência de / um lado, mas em contrapartida são mais compactos.

II) DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

1) SISTEMA BÁSICO DE VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA

De acordo com o exposto no capítulo I (pag. 3), são os seguintes os componentes mínimos para um sistema de ventilação local exaustora:

- a- Captor (coifa)
- b- Sistema de dutos
- c- Ventilador
- d- Coletor

Para projeto do sistema, resumimos em seguida a sequência adotada nesse trabalho.

- 1º) Conhecendo-se os equipamentos e o "Lay-Out" do sistema de dutos, determinou-se as velocidades de captura, vazão mínima necessária nos captosres (coifas) e a velocidade de transporte nos dutos. Para a obtenção dos valores recomendados tomou-se por base a referência 2.
- 2º) Dimensionamento dos dutos até a entrada dos ciclones. Para cálculo da perda de carga, optou-se pelo método do comprimento equivalente e balanceamento através de registros.
- 3º) Dimensionamento dos ciclones e respectivo sistema de dutos.
- 4º) Dimensionamento dos filtros.
- 5º) Escolha do ventilador.

2) DEFINIÇÃO DO SISTEMA PARA CAPITAÇÃO DE PÓ NO BENEFICIAMENTO DE AMIANTO

Descrição do sistema para britagem:

- a- 2 britadores conicos (primário (B1) e secundário (B2))
dimensões:
 - B1 - diâmetro = 2000mm
altura = 6000mm
 - B2 - diâmetro = 1500mm
altura = 5500mm

b- 4 p-eneiras vibratórias (P1, P2, P3 e P4), área de peneiramento = 40 pês² (950 x 3950mm)

c- 7 transportadores de correia

TC-1: largura = 40 polegadas

TC-3 e TC-4: largura = 36 polegadas

TC-2; TC-5; TC-6 e TC-7: largura = 30 polegadas

d- 1 silo de armazenagem

dimensões: diâmetro = 2500mm

altura = 13000mm

Sistema de ventilação:

a) 18 coifas

b) dutos

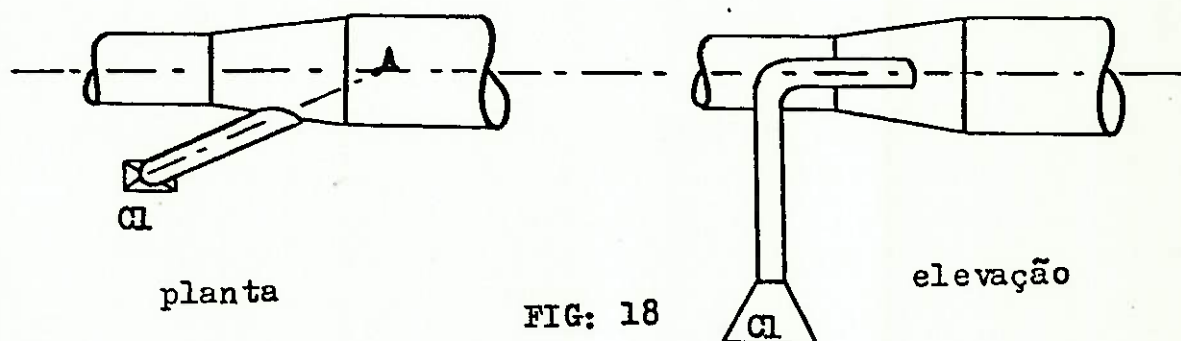
c) 7 ciclones em paralelo

d) 1 filtro

e) 1 ventilador

A figura 18 apresenta um diagrama em planta da disposição dos equipamentos, bem como as respectivas coifas. Na figura 19 o diagrama unifilar da tubulação é feito tendo como base as linhas de centro dos dutos. Os trechos de dutos contidos em planos verticais são rebatidos para o plano horizontal.

Exemplo:



Para representação da situação acima, resulta no diagrama unifilar:

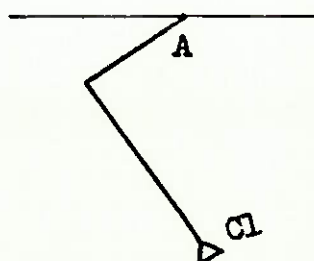
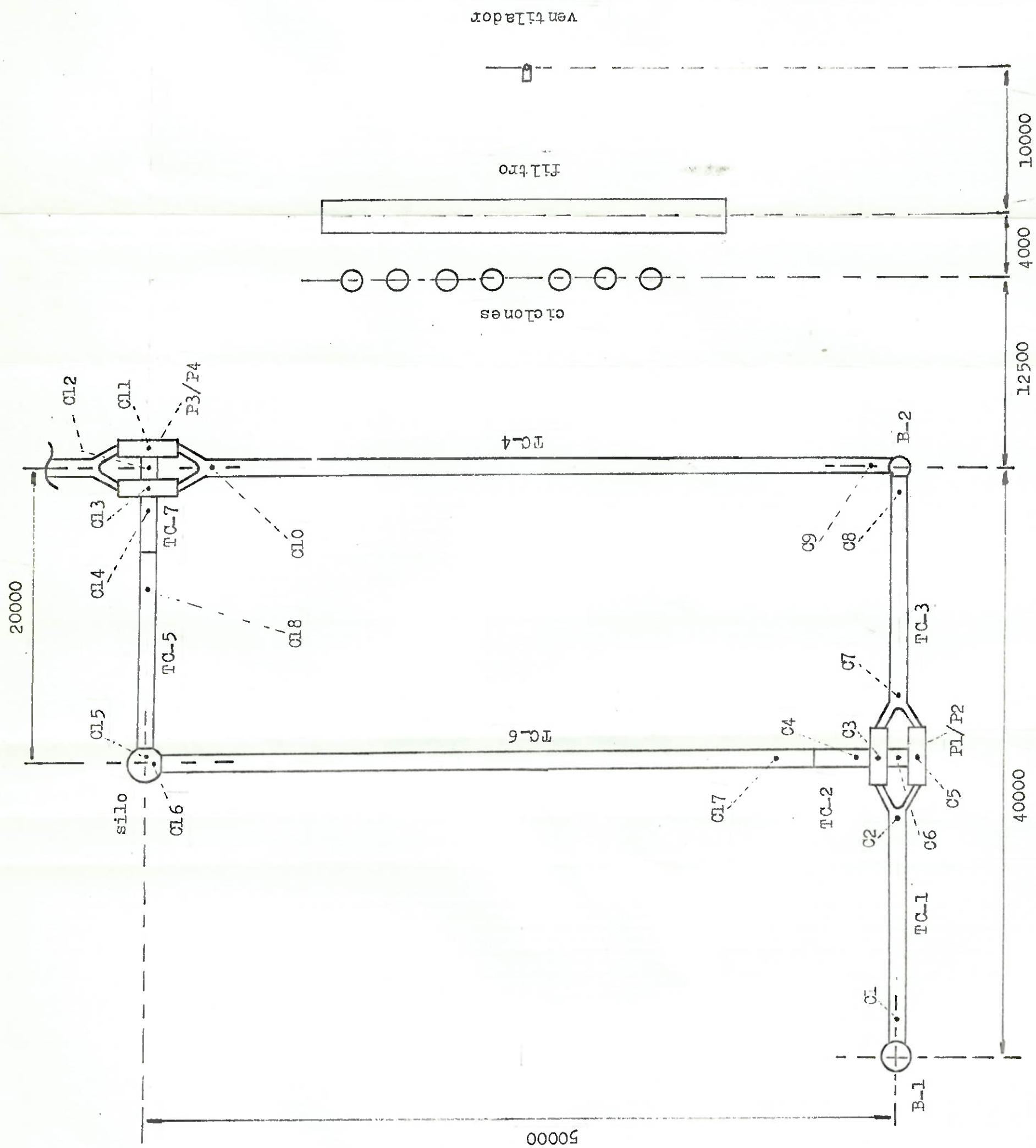


FIG: 19

FIGURA 18-A
Disposição dos Equipamentos



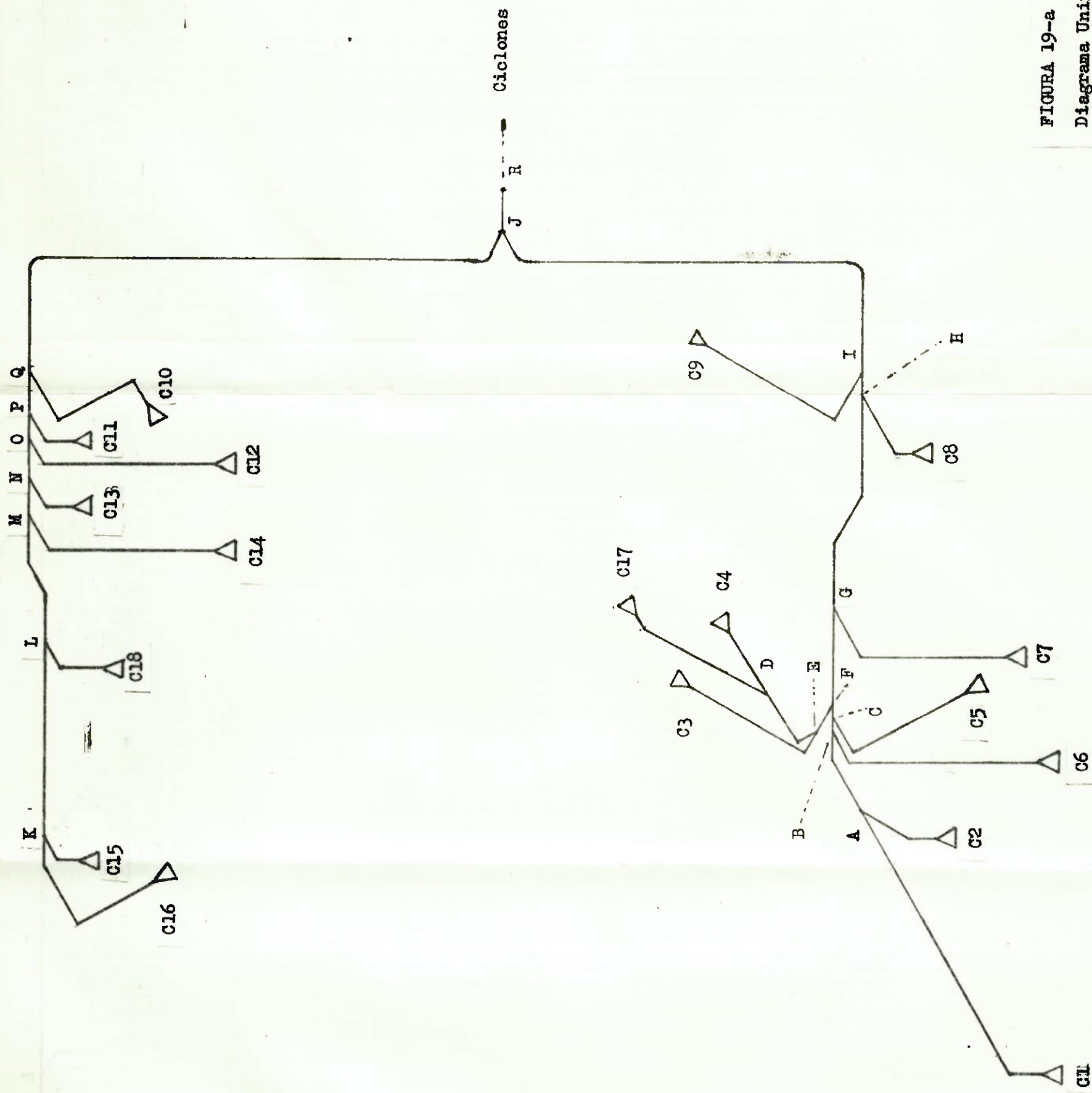


FIGURA 19--a
Diagrama Unifilar:Tubulagão/Coifas

3) ESPECIFICAÇÃO DOS CAPTORES

1) Para correias transportadoras:

C1, C2, C4, C6, C7, C8, C9, C10, C12, C14, C15, C16.

2) Para peneiras:

C3, C5, C11, C13 - situadas no topo das peneiras

Para Correias:

Vazão necessária: $Q = 500$ CFM por pé de largura da correia para velocidade da correia maior que 200 FPM.

Velocidade de captura: Para o caso do amianto (200 - 500) FPM, adotar 350 FPM.

Portanto vamos calcular as vazões necessárias em duas etapas:

1º) Vazão devido à largura da correia:

$Q_c = 500 \times L_c$

$L_c = \text{pés} \qquad Q_c = \text{CFM}$

PORTANTO:

EQUIP/TO	Largura (Pol.)	Largura (Pés)	Q_c (CFM)
TC-1	40	3,33	1665
TC-3 e TC-4	36	3	1500
TC-2 e TC-5	30	2,5	1250

2º) Vazão corrigida levando em conta o coeficiente de entrada da coifa:

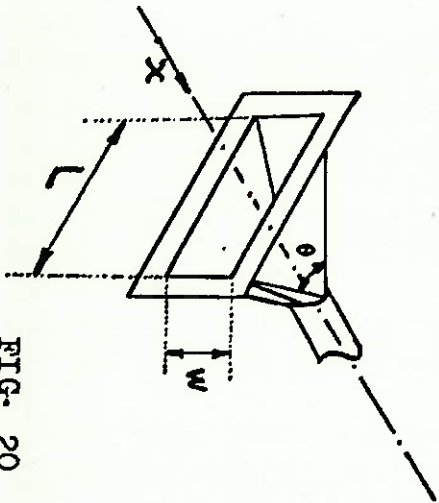


FIG. 20

para $\theta = 45^\circ$ o coeficiente de entrada da (Ce) é igual a 0,90
 $Q = 0,75V (10 \times^2 + A)$ valido para $\frac{W}{L}$ maior que 0,2

Unidades:

L (pés) ; V (FPM) ; X (pés) ; Q (CFM)

Adotamos:

$X = 200\text{mm} = 0,66 \text{ pés}$

Vazão corrigida:

$\frac{Q_c}{0,9} = Q_{corrigida}$

Equip/to	Q _{corrigida} (CFM)
TC-1	1950
TC-3 e TC-4	1667
TC-2 e TC-5	1389

Calculo das áreas (A) das coifas:

$Q = 0,75V (10 x^2 + A)$
com $V = 350$ FPM; $X = 0,66$ pés; $L =$ largura da correia

Coifas para correias transportadoras 1 (C1 e C2)

$TC-1 \Rightarrow 1950 = 0,75 x 350 (10 (0,66)^2 + A)$
 $A = 2,69$ pés² com $L = 3$ pés e $W = 0,90$ pés

Coifas para correias transportadoras 3 e 4 (C7, C8, C9 e C10)

$1667 = 0,75 x 350 (10 (0,66)^2 + A)$
 $A = 1,99$ pés² com $L = 2,5$ pés e $W = 0,8$ pés

Coifas para correias transportadoras 2 e 5 (C4, C6, C12, C14, -

C15 e C16)

$1389 = 0,75 x 350 (10 (0,66)^2 + A)$
 $A = 0,94$ pés² com $L = 2$ pés e $W = 0,47$ pés

PARA PENEIRAS: Área de cada peneira = 40 pés²

$Q_{min} = 50$ CFM por pés²

$Q = 50 x 40 = 2000$ CFM

Adotando para as coifas a geometria:

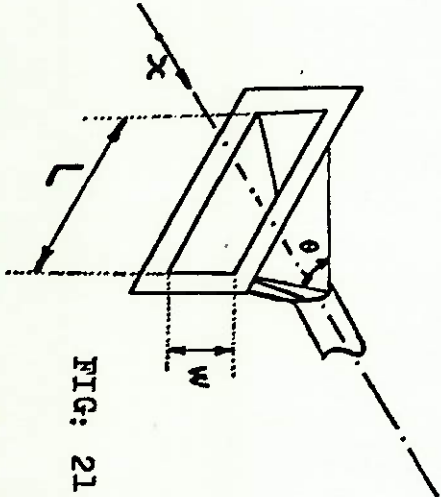


FIG: 21

$\theta = 45^\circ$
 $C_e = 0,9$
 $x = 200mm (0,66 \text{ pés})$
 $Q = 0,75V (10 x^2 + A)$
 $V = 350$ FPM

Coifas para peneira 1 (C3), peneira 2 (C5), peneira 3 (C13) e peneira 4 (C11).

$$\frac{2000}{0,9} = 0,75 \times 350 (10 (0,66)^2 + A)$$

$$A = 4,11 \text{ pés}^2 \text{ com } L = 3 \text{ pés e } W = 1,3 \text{ pés}$$

COIFA	EQUIP/TO	VAZÃO (CFM)	ÁREA (pé ²)	L (pé)	W (pé)	X (pé)	Vcaptura (FPM)
C1	TC-1	1850	2,69	3	0,90	0,66	350
C2	TC-1	1850	2,69	3	0,90	0,66	350
C3	P-1	2223	4,11	3	1,3	0,66	350
C4	TC-2	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C5	P-2	2223	4,11	3	1,3	0,66	350
C6	TC-2	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C7	TC-3	1607	1,99	2,5	0,8	0,66	350
C8	TC-3	1667	1,99	2,5	0,8	0,66	350
C9	TC-4	1667	1,99	2,5	0,8	0,66	350
C10	TC-4	1667	1,99	2,5	0,8	0,66	350
C11	P-4	2223	4,11	3	1,3	0,66	350
C12	TC-7	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C13	P-3	2223	4,11	3	1,3	0,66	350
C14	TC-7	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C15	TC-5	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C16	TC-6	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C17	TC-6	1389	0,94	2	0,47	0,66	350
C18	TC-5	1389	0,94	2	0,47	0,66	350

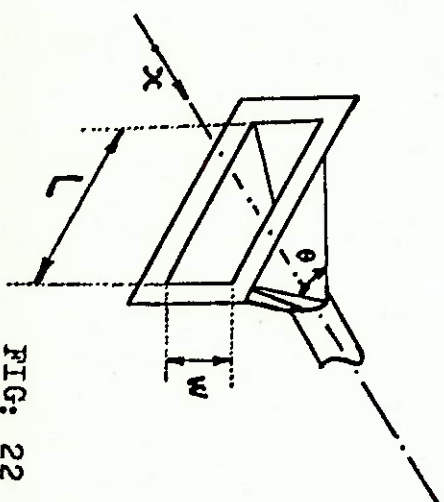


FIG: 22

$$\theta = 45^\circ$$

$$C_e = 0,90$$

4) DIMENSIONAMENTO DOS DUTOS

Para o transporte de poeira e fibra de amianto a velocidade mínima recomendada é 3.500 FPM. Para a denominação dos trechos de dutos ver figura 19.

CALCULO DO DIÂMETRO PARA TUBULAÇÃO DAS COIFAS

Tomando como exemplo a tubulação para a coifa número 1 (C1-A) e tendo como velocidade mínima 3.500 FPM, vem:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \times \pi}} \times 12$$

D = diâmetro (polegadas)
Q = vazão (CFM)
V = velocidade (FPM)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1850}{3500 \times \pi}} \times 12 = 9,84 \text{ polegadas}$$

Porém não adotamos esse valor para o diâmetro por não se tratar de um valor padronizado.

Adotando D = 10 polegadas:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \times 144 \quad V(\text{FPM}) ; Q(\text{CFM}) ; D(\text{polegadas})$$

$$V = \frac{4 \times 1850}{\pi \times 10^2} \times 144 = 3391,91 \text{ FPM, mas este valor é menor que } 3500 \text{ FPM}$$

Adotando D = 9,5 polegadas:

$$V = \frac{4 \times 1850}{\pi \times (9,5)^2} \times 144 = 3758,35 \text{ FPM}$$

Portanto para o trecho C1-A o diâmetro é 9,5 polegadas e a velocidade 3758 FPM.

CÁLCULO DO DIÂMETRO PARA JUNÇÕES

Conforme se caminha das coifas em direção ao ventilador, as velocidades devem aumentar.

Tomando como exemplo o trecho A-B que recebe as vazões das coifas número 1 e 2 temos :

$$\text{Vazão} = 1850 + 1850 = 3700 \text{ CFM}$$

Velocidade: Deve ser maior que 3758 FPM

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 3700}{3760 \times \pi}} \times 12 = 13,43 \text{ polegadas}$$

Adotando $D = 13$ polegadas

$$V = \frac{4 \times 3700}{\pi \times (13)^2} \times 144 = 4014,09 \text{ FPM}$$

Seguindo este critério construiu-se a tabela 1.

As tabelas 2 e 3 apresentam para os diversos trechos as perdas de cargas e as pressões estáticas.

Correção para perda de carga na junção:

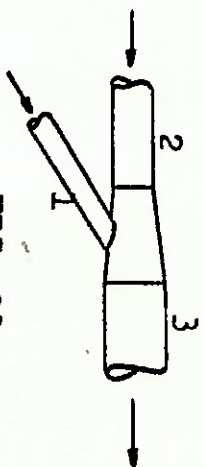


FIG. 23

$$C = \frac{Vp_3 - (Q_1 + Q_2)^2}{(4005 (A_1 + A_2))^2}$$

C - (polegadas de H₂O): valor a ser acrescentado em 3

Q - (CFM)

A - (pés²)

A correção deve ser feita quando o aumento de velocidade na junção é considerável, provocando turbulências. Serão corrigidas as junções em que o valor de "C" é maior que 0,10.

Nessas condições as seguintes junções foram corrigidas:

A-B; C-F; G-H; H-I; K-L; L-M; N-O; O-P; Q-J

Como exemplo tomemos a junção A-B

$$C = 1,01 - \frac{(1850 + 1850)^2}{(4005 (0,49 + 0,49))^2} = 0,12$$

Portanto este é o valor a ser acrescentado na coluna 1 da tabela 3.

Finalmente, a tabela 3 indica que no trecho J-R que é o duto de entrada dos ciclones, o ventilador deve garantir uma depressão de 7,17 polegadas de H₂O.

TRECHO	Ø (duto) Pol.	COMP. (pé)	VAZÃO (CFM)	VEL. (FPM)	CURVAS (nº/gr)	ENTRADAS (nº/gr)
C1-A	9,5	66	1950	3758	1-60º	---
C2-A	9,5	19	1950	3758	1-30º	1-30º
A-B	13	11	3700	4014	1-30º	---
C6-B	8	42	1389	3979	1-60º	1-30º
B-C	15	3	5089	4146	---	---
C5-C	10,5	38	2223	3696	1-90º	1-30º
C-F	17,5	20	7312	4377	---	---
C17-D	8	34	1389	3979	1-30º	1-30º
C4-D	8	29	1389	3979	---	---
D-E	11	18	2778	4209	1-90º	1-30º
C3-E	10,5	34	2223	3696	1-90º	---
E-F	14,5	7	5001	4361	---	1-30º
F-G	22,5	14	12313	4459	---	---
C7-G	9	46	1667	3773	1-60º	1-30º
G-H	23,5	49	13980	4641	2-30º	---
C8-H	9	19	1667	3773	1-60º	1-30º
H-I	24,5	7	15647	4779	---	---
C9-I	9	41	1667	3773	1-90º	1-30º
I-J	25,5	71*	17314	4881	1-90º/1-60º	1-30º
C16-K	8	16	1389	3979	1-90º/1-45º	---
C15-K	8	12	1389	3979	1-60º	1-30º
K-L	11	39	2778	4209	---	---
C18-L	8	16	1389	3979	1-60º	1-30º
L-M	13	19	4167	4520	2-30º	---
C14-M	8	23	1389	3979	1-60º	1-30º
M-N	15	5	5556	4527	---	---
C13-N	10,5	13	2223	3696	1-60º	1-30º
N-O	17,5	5	7779	4657	---	---
C12-O	8	25	1389	3979	1-60º	1-30º
O-P	18,5	5	9168	4911	---	---
C11-P	10,5	13	2223	3696	1-60º	1-30º
P-Q	20,5	5	11391	4969	---	---
C10-Q	9	29	1667	3773	2-90º	1-30º
Q-J	21,5	80*	13058	5179	1-90º/1-60º	1-30º
J-R	33,5	7	30372**	5227	---	---

* - Excluí curvas

** - Valor calculado, adotamos 32000 CFM

TABELA-- 1

34		1	2	3	4	5	6	7	8
	TRECHO	COMP. DE DUO RETO (pes)	CURVAS	ENTRADA	COMP. EQUIV. (A-1)	COMP. TOTAL (COL. 1+4)	RESIST. EM POL. H ₂ O P/100pe (A-2) (COL. 5x6/100)	VP de FPM e (A-3)	
	C1-A	66	1-60º	---	6,9	72,9	2,5	1,82	0,88
	C2-A	19	1-30º	1-30º	3,4+8,5=11,9	30,9	2,5	0,77	0,88
	A-B	11	1-30º	---	5,1	16,1	1,6	0,26	1,01
	C6-B	42	1-60º	1-30º	5,4+7=12,4	54,4	2,9	1,58	0,99
	B-C	3	---	---	---	3	1,4	0,04	1,08
	C5-C	38	1-90º	1-30º	11,8+9,5=21,3	59,3	1,8	1,07	0,86
	C-F	20	---	---	---	20	1,3	0,26	1,2
	C17-O	34	1-30º	1-30º	2,6+7=9,6	43,6	2,9	1,26	0,99
	C4-D	29	---	---	---	29	2,9	0,84	0,99
	D-E	18	1-90º	1-30º	12,5+10=22,5	40,5	2,3	0,93	1,11
	C3-E	34	1-90º	---	11,8	45,8	1,8	0,82	0,86
	E-F	7	---	1-30º	17,8	24,8	1,6	0,40	1,19
	F-G	14	---	---	---	14	1,2	0,17	1,24
	C7-G	46	1-60º	1-30º	6,4+8=14,4	60,4	2,4	1,45	0,89
	G-H	49	2-30º	---	20,6+23=43,6	92,6	1,1	1,02	1,35
	C8-H	19	1-60º	1-30º	6,4+8=14,4	33,4	2,4	0,80	0,89
	H-I	7	---	---	---	7	1,2	0,08	1,43
	C9-I	41	1-90º	1-30º	9,5+8=17,5	58,5	2,4	1,40	0,89
	I-J	71	1-90º/1-60º	1-30º	57,2+25=82,2	153,2	1,2	1,84	1,49
	C16-K	16	1-90º/1-45º	---	12	28	2,9	0,31	0,99
	C15-K	12	1-60º	1-30º	5,4+7=12,4	24,4	2,9	0,71	0,99
	K-L	39	---	---	---	39	2,3	0,90	1,11
	C18-L	16	1-60º	1-30º	5,4+7=12,4	28,4	2,9	0,82	0,99
	L-M	19	2-30º	---	10,2	29,2	2,0	0,58	1,28
	C14-M	23	1-60º	1-30º	5,4+7=12,4	35,4	2,9	1,03	0,99
	M-N	5	---	---	---	5	1,8	0,55	0,86
	C13-N	13	1-60º	1-30º	7,9+9,5=17,4	30,4	1,8	0,09	1,28
	N-O	5	---	---	---	5	1,5	0,08	1,36
	C12-O	25	1-60º	1-30º	5,4+7=12,4	37,4	2,9	1,08	0,99
	O-P	5	---	---	---	5	1,6	0,08	1,51
	C11-P	13	1-60º	1-30º	7,9+9,5=17,4	30,4	1,8	0,55	0,86
	P-Q	5	---	---	---	5	1,4	0,07	1,54
	C10-Q	29	2-90º	1-30º	19+8=27	56	2,4	1,34	0,89
	Q-J	80	1-90º/1-60º	1-30º	47,2+21=68,2	148,2	1,5	2,22	1,68
	J-R	7	---	---	---	7	0,9	0,06	1,71

OBS.: A-1 = anexo 1 - A-2 = anexo 2 - A-3 = anexo 3

DETERMINAÇÃO DE PRESSÕES ESTATÍSTICAS

OBS.: Coluna 3 - ver anexo 4

5) DIMENSIONAMENTO DOS COLETORES

Para efeito de escolha do tipo de coletores usaremos a carta de SYLVAN (Fig. 7, pag. 11). Segundo o roteiro apresentado no exemplo da pag. 12, obtemos os resultados:

a- Sabendo que a carga de poluentes (poeira e fibra de amianto) é 6grãos/pé³ e o tamanho médio das partículas é 50µm obtém-se o ponto A, que indica:

Ciclone simples - rendimento de 80 a 90%

b- Escolhendo um ciclone simples com rendimento igual a 80%

Concentração na saída = 6 (1 - 0,8) = 1,2 grãos/pé³

c- Com valor obtido no item b, o ponto B está determinado, // fornecendo:

Tamanho médio da partícula - 5µm

Filtro de tecido - rendimento de 92 a 98%

Precipitador eletrostático - rendimento de 95,7 a 98,3%

Lavador úmido - rendimento de 91 a 97,3%

d- Escolhendo filtro de tecido:

Concentração do efluente = 1,2 (1 - 0,98) = 0,024...
= 0,024 grãos / pé³

e- Marcando esse valor (0,024 grãos/pé³) em AB, determina-se o ponto C. Sua projeção vertical fornece o tamanho médio das partículas do efluente (1,6µm).

Portanto os coletores escolhidos são:

CICLONE SIMPLES: rendimento igual a 80%

funciona como pré-coletor e separador de fibra

FILTRO DE TECIDO (mangas): rendimento igual a 98%

DIMENSIONAMENTO DO CICLONE

Para esse efeito será considerado que as partículas em média tem as características:

Densidade = 2,5g/cm³

Tamanho médio = 50µm

Tipo do ciclone: Simplex de entrada tangencial

l- largura da entrada
h- altura da entrada

sendo d o diametro do duto
de entrada temos:

$$l = 0,67d$$

$$h = 1,17d$$

$$d_b = 0,4d$$

$$d_d = 1,9d$$

$$D = 4,47d$$

$$L = 5d$$

$$L' = 4d$$

$$\approx 40^\circ$$

(ver referencia
3)

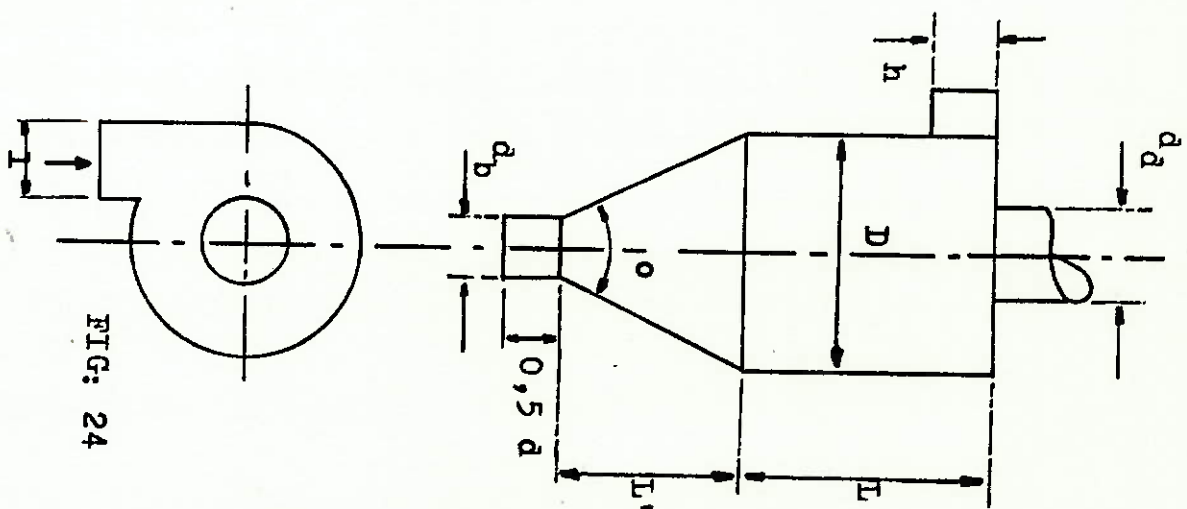


FIG: 24

De acordo com a referencia 3:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{900 \cdot W_n}}$$

D= diametro do ciclone (m)

Q= vazão (m^3/h)

W_n = velocidade nominal do gás

referida à seção transver-

sal da parte cilíndrica....

(m/s)

para o calculo de W_n temos:

$$\Delta p = \frac{E \cdot W_n^2 \cdot p}{2 \times 9,81}$$

$$\Delta p = \text{perda de carga (mm H}_2\text{O)}$$

$$E = \text{coeficiente de perda de carga}$$

$$W_n = \text{em m/s}$$

$$p = \text{densidade do gás nas condições de operação (Kg/m}^3\text{)}$$

O diâmetro do ciclone deve situar-se na faixa de 800 a 1000mm e no caso de ser maior, recomenda-se o uso de ciclones em paralelo. Deve-se observar que a eficiência de coleta de um ciclone é inversamente proporcional ao diâmetro. Porém como o objetivo é a separação da fibra de amianto (contendo a menor quantidade possível de poeira) e deixar a poeira passar e ser finalmente coletada nos filtros, vamos admitir diâmetros com valores próximos de 1500mm.

Dados para cálculo do diâmetro do ciclone:

a- Vazão de ar a ser desempoeirado: $Q = 32000 \text{ CFM} = 54369 \text{ m}^3/\text{h}$.

b- Considerando o gás a 80°C : $p = 1,01 \text{ Kg/m}^3$

c- Perda de carga: como nos ciclones temos os valores na faixa de 0,75 a 1,5 polegadas de H_2O , vamos assumir $p = 1,2..$ polegadas de H_2O (30,5 mmH₂O)

d- $E = 500$ (tab. 14, pag. 170 da referência 3)

nessas condições: Cálculo de W_n

$$\Delta p = \frac{E \cdot W_n^2 \cdot p}{2 \times 9,81} \quad \text{---} \quad W_n = \sqrt{\frac{2 \cdot p \times 9,81}{E \cdot p}}$$

$$W_n = \sqrt{\frac{2 \times 30,5 \times 9,81}{500 \times 1,01}} = 1,09 \text{ m/s}$$

Cálculo do diâmetro:

$$D = \sqrt{\frac{54369}{900 \times 1,09}} = 4,2 \text{ m}$$

Portanto torna-se necessário o uso de mais de um ciclone para 7 ciclones temos:

$$D = \sqrt{\frac{54369}{7 \times 900 \times 1,09}} = 1,59 \text{ m} \quad \text{---} \quad \text{aceitável}$$

Dessa forma teremos sete ciclones em paralelo, cada um com as seguintes especificações:

VAZÃO: $Q = 7767 \text{ m}^3/\text{h}$ (4571CFM)

DIÂMETRO: $D = 1590 \text{ mm}$

PERDA DE CARGA: $\Delta p = 30,5 \text{ mmH}_2\text{O}$ (1,2 pol. $\cdot\text{H}_2\text{O}$)

VELOCIDADE DE ENTRADA: $V = 4275 \text{ FPM}$

As especificações abaixo referen-se a figura 24

$d = 14$ polegadas

$$\frac{D}{d} = 4,47$$

$l = 0,67d = 9,38$ polegadas

$h = 1,17d = 16,38$ polegadas

$d_b = 0,4d = 5,6$ polegadas

$L = 5d = 70$ polegadas.

$L' = 4d = 56$ polegadas

DIMENSIONAMENTO DO FILTRO (de mangas)

Dados para o dimensionamento:

a- Volume do gás a ser filtrado:

$$Q = 32000 \text{ CFM} (54369 \text{ m}^3/\text{h})$$

b- Velocidade de filtração:

$$V = 4 \text{ FPM} (1,22 \text{ m}/\text{min})$$

c- Relação ar/pano:

Recomenda-se valores na faixa de 0,5 a 6CFM/pé² (de pano)

Adotaremos a relação de 3CFM/pé² (de pano)

Com esses valores calculamos a área filtrante:

$$F = \frac{32000}{3} 10666,67 \text{ pé}^2 \quad \text{ou} \quad F = 991 \text{ m}^2$$

Calculo do numero de mangas:

$$n = \frac{F}{f}$$

- F - área filtrante total
- f - área de cada manga
- f - $l \times \pi d$
- l - comprimento da manga
- d - diametro da manga

Como orientação em termos de dados práticos para mangas temos:
Comprimento das mangas de 2 a 3 metros

Diametro das mangas de 130 a 250 mm

Como os filtros são construídos em compartimentos, basicamente encontram-se dois tipos de compartimentos:

a - Compartimentos com pequeno numero de mangas (8 a 15)

b - Compartimentos com grande numero de mangas (algumas dezenas chegando a mais de 100)

Para os dois casos, em geral, não se ultrapassa dez compartimentos.

PERDA DE CARGA: de maneira geral depende da concentração de / partículas no gás, da densidade, diametro da partícula, da // velocidade de filtragem, do tipo de tecido filtrante, da forma do elemento filtrante (se em forma de manga, saco ou envelope) etc... Os valores encontrados para a perda de carga raramente são menores que duas polegadas de H₂O e com frequencia atingem 4 ou 5 polegadas de H₂O. Para efeito deste trabalho adotaremos um valor médio igual a 3,5 polegadas de H₂O.

Dessa forma temos como especificações para o filtro:

FILTRO DE MANGAS

VAZÃO FILTRADA = 32000CFM

ÁREA FILTRANTE = 10666,7 pé² (991m²)

RELAÇÃO AR/PANO = 3 : 1

VELOCIDADE DE FILTRAGEM = 4FPM (1,22m/min)

PERDA DE CARGA = 3,5 polegadas de H₂O

Com base na figura 25, para efeito de calculo de perda de / carga, vamos imaginar o circuito abaixo, computados os comprimentos equivalentes aos dutos retos da figura 25.

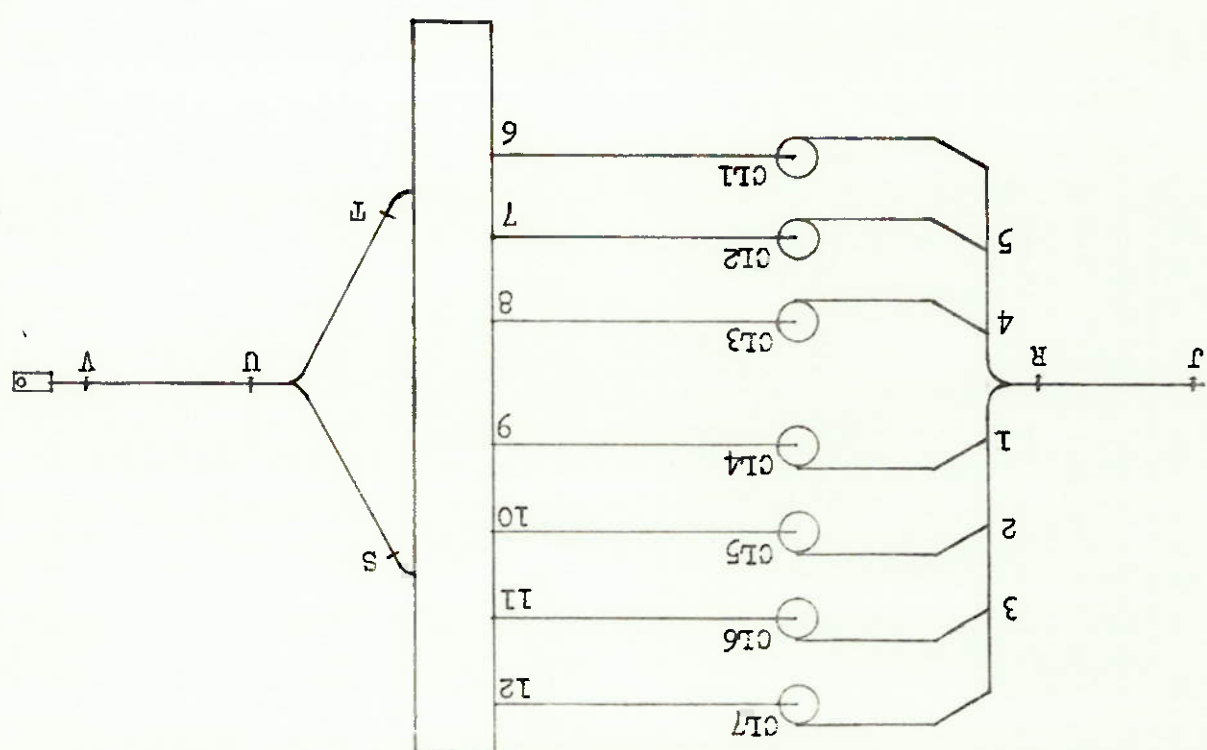
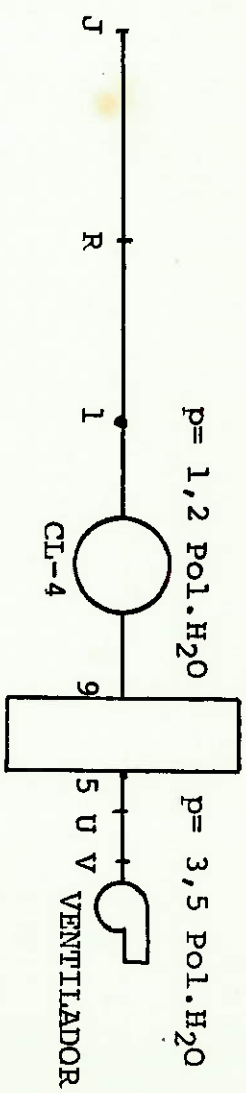


FIGURA 25

TUBUÇÃO: Ciclone, Filtro, Ventilador



J-R = 7,17 Pol.H₂O

FILTRO

TRECHO	1 COMP. DUTO RETO (pē)	2 CURVAS	3 ENT.	4 COMP. TOTAL (pē)	5 RESIST. (Pol.H ₂ O)
R-1	2	1-90º	---	38	0,46
1-S	17	2-60º	---	52,5	0,74
S-U	35	1-60º	1-30º	80	0,96
U-V	3,5	---	---	3,5	0,03

TABELA - 4

TRECHO	6 VP	7 Δp CICLONE (Pol.H ₂ O)	8 Δp FILTRO (Pol.H ₂ O)	9 RESIST. TOTAL (Pol.H ₂ O)
R-1	1,54	---	---	9,17
1-S	1,54	1,2	3,5	13,88
S-U	1,54	---	---	14,84
U-V	1,71	---	---	15,11

TABALE - 4A

Correção para a resistencia do trecho S-T

$$C = VP(s-t) - \frac{(Q_1-s + Q_g-s)^2}{(4005 (A_1-s + A_g-s))^2}$$

$$C = 1,71 - \frac{(18284 + 13716)^2}{(4005 (3,69 + 2,89))^2} = 0,24$$

Portanto a pressão estática na entrada do ventilador =
= 15,11 pol.H₂O

SELEÇÃO DO VENTILADOR

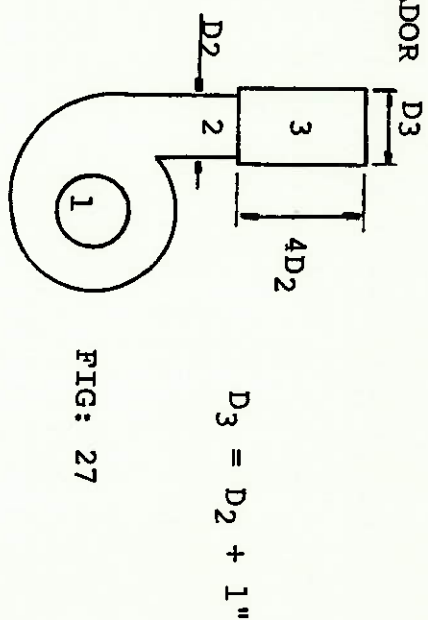


FIG: 27

TABELA - 5

DUTO	Ø (Poleg.)	VAZÃO (CFM)	VEL. (FPM)	VP	SP (POL:H ₂ O)
1- Entrada ventilador	33,5	32000	5227	1,71	15,11
2- Descarga ventilador	40	32000	3666	0,84	0,84
3- Descarga (atmosfera)	41	32000	3490	0,76	0

Calculo da pressão estática (SP) do ventilador:

$SP = SP_{saída} - SP_{entrada} - VP_{entrada}$

$SP \text{ (ventilador)} = SP_2 - SP_1 - VP_1$

Calculo de SP2:

$SP_3 = SP_2 - VP_2$

$0 = SP_2 - 0,84$

$SP_2 = 0,84$

$SP \text{ (ventilador)} = 0,84 - (-15,11) - 1,71$

$\text{Portanto } SP \text{ (ventilador)} = 14,24 \text{ Pol.H}_2\text{O}$

(Pressão estática do ventilador)

Potencia absorvida pelo ventilador:

$N = \frac{Q \cdot SP}{3600 \times 75 \times \eta}$

$3600 \times 75 \times \eta$

Q (m³/h)

SP (pressão estática) em
Kgf/m²

N (potencia) em CV

Assumindo $\eta = 70\%$

$N = \frac{54369 \times 358,08}{3600 \times 75 \times 0,7} = 103 \text{ CV}$

$3600 \times 75 \times 0,7$

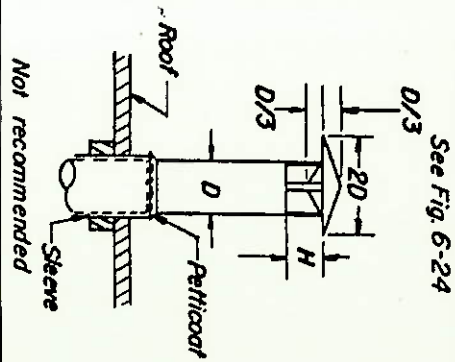
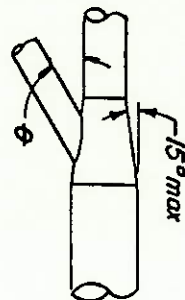
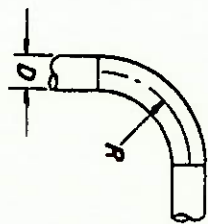
~~*~*~*~*~*~*~*~*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1)- Alden, J.L., Design of industrial exhaust systems, 3ª edição, New York, Industrial Press, 1959 (293 p.)
- 2)- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Industrial Ventilation, 15ª edição, Commitel on Industrial / Ventilation, 1978 (366 p.)
- 3)- Gordon, G. e Peisakhov, L., Dust Collection and Gas Cleaning, 1ª edição, Moscow, Mir, 1972 (463 p.)
- 4)- Guimarães, F.A., Mesquita, A.L.S. e Nefussi, N., Engenharia de Ventilação Industrial, 1ª edição, São Paulo, Edgard Blücher, 1977 (442 p.)
- 5)- Silva, R.B., Ventilação, 2ª edição, São Paulo, Grêmio Politéc - no, 1978 (170 p.)

DESIGN PROCEDURE

EQUIVALENT RESISTANCE IN FEET OF STRAIGHT PIPE



Pipe D	90° Elbow * Centerline Radius			Angle of Entry		H, No of Diameters		
	15D	20D	25D	30°	45°	1 D	.75 D	.5 D
3"	5	3	3	2	3	2	2	9
4"	6	4	4	3	5	2	3	12
5"	9	6	5	4	6	2	4	16
6"	12	7	6	5	7	3	5	20
7"	13	9	7	6	9	3	6	23
8"	15	10	8	7	11	4	7	26
10"	20	14	11	9	14	5	9	36
12"	25	17	14	11	17	6	11	44
14"	30	21	17	13	21	7	13	53
16"	36	24	20	16	25	9	15	62
18"	41	28	23	18	28	10	18	71
20"	46	32	26	20	32	11	20	80
24"	57	40	32			13	24	92
30"	74	51	41			17	31	126
36"	93	64	52			22	39	159
40"	105	72	59					
48"	130	89	73					

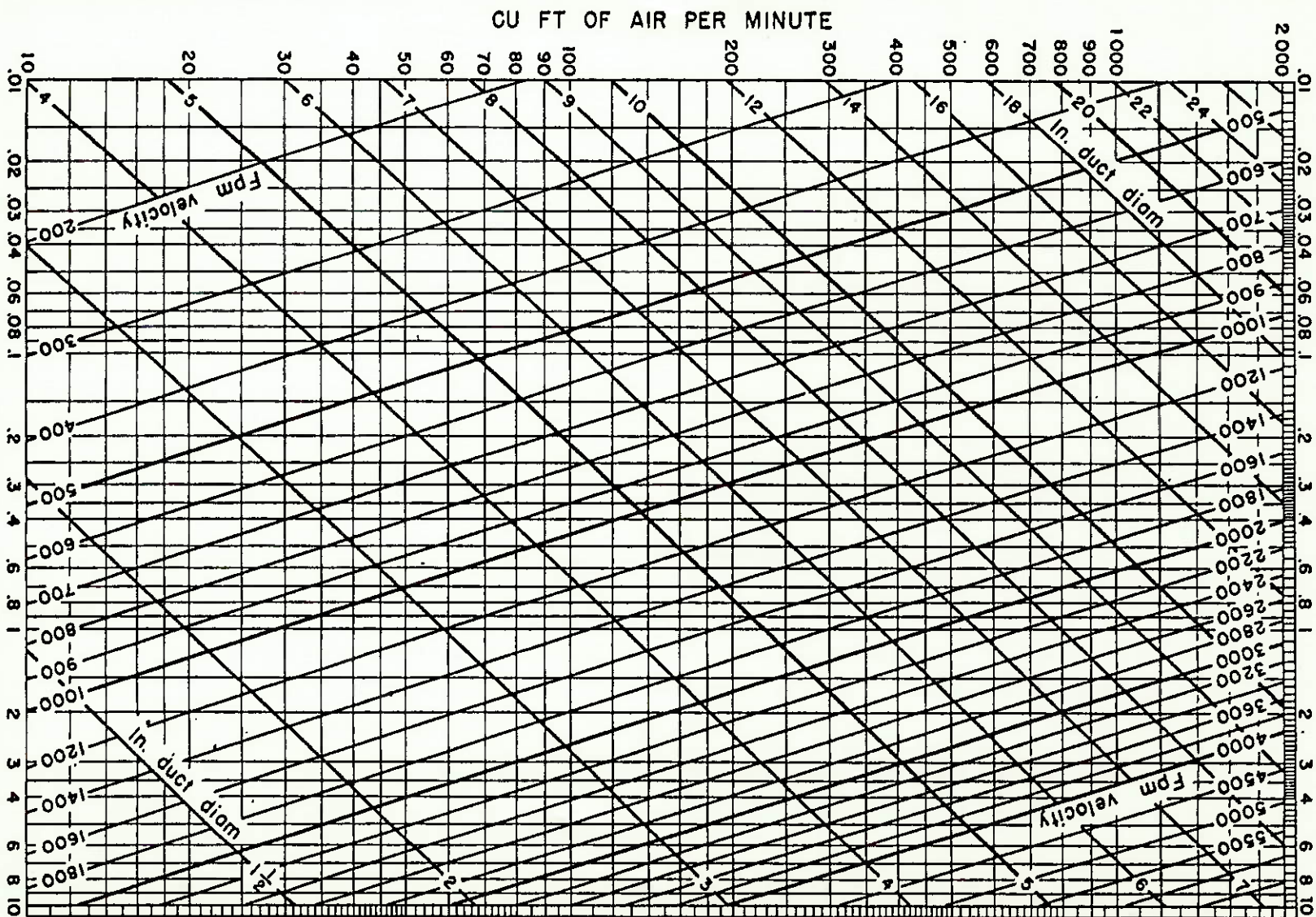
* For 60° elbows — 0.67 x loss for 90°
45° elbows — 0.5 x loss for 90°
30° elbows — 0.33 x loss for 90°

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCT DESIGN DATA

DATE 1-76 Fig. 6-11

DESIGN PROCEDURE

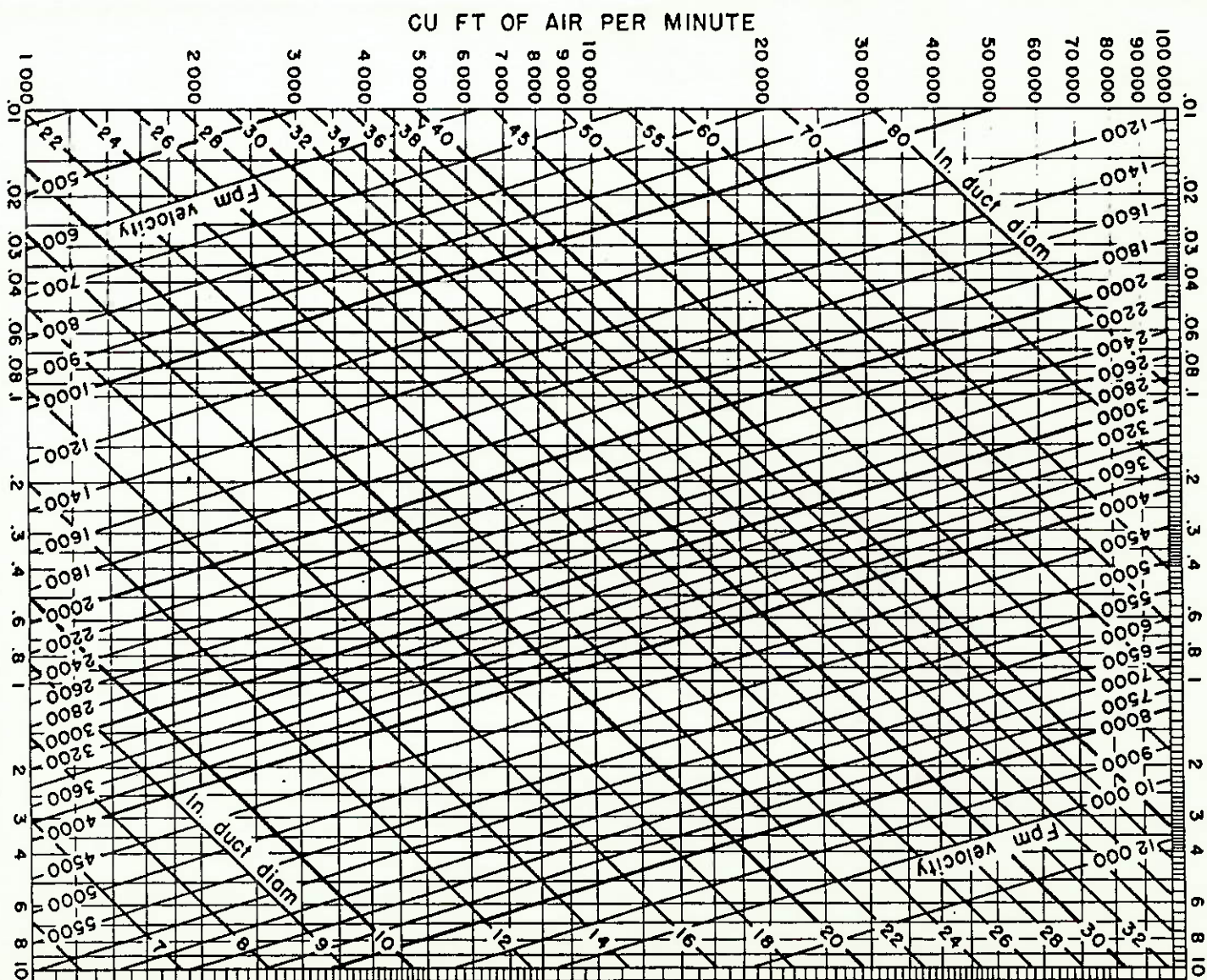


FRICTION LOSS IN INCHES OF WATER PER 100 FT

(Based on Standard Air of 0.075 lb per cu ft density flowing through overage, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.) Caution: Do not extrapolate below chart.

For proprietary duct, obtain data from manufacturer. Friction of Air in Straight Ducts for Volumes of 10 to 2000 Cfm

INDUSTRIAL VENTILATION



FRICITION LOSS IN INCHES OF WATER PER 100 FT

(Based on Standard Air of 0.075 lb per cu ft density flowing through average, clean, round, galvanized metal ducts having approximately 40 joints per 100 ft.)

For proprietary duct, obtain data from manufacturer. Friction of Air in Straight Ducts for Volumes of 1000 to 100,000 Cfm

Reprinted from 37th Edition, Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide, 1959, by permission of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

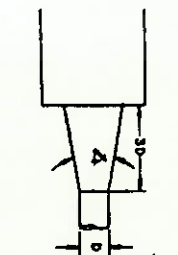
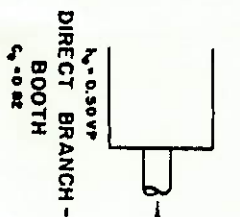
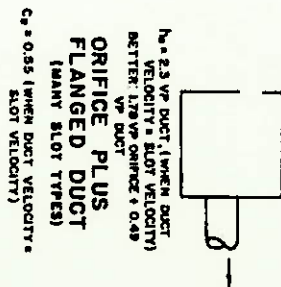
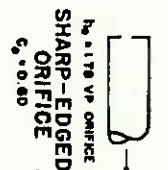
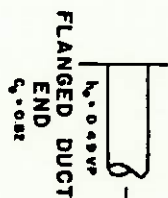
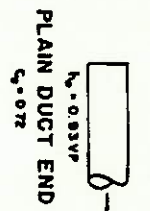
DESIGN PROCEDURE

VELOCITY PRESSURES FOR DIFFERENT VELOCITIES - STANDARD AIR

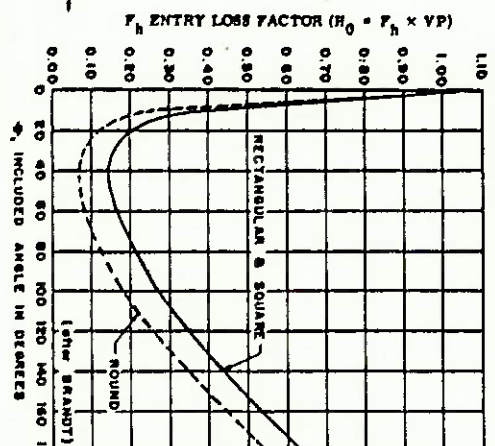
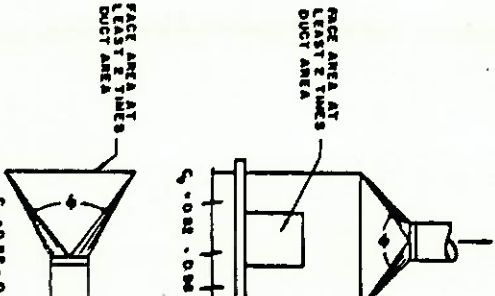
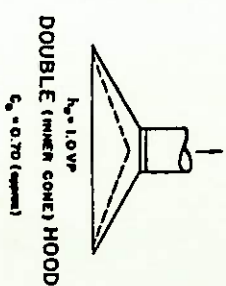
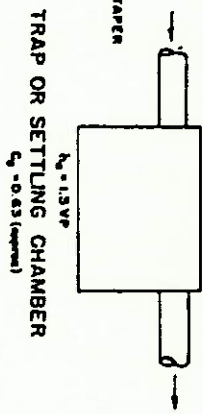
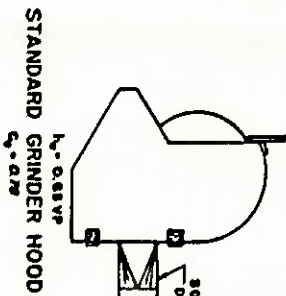
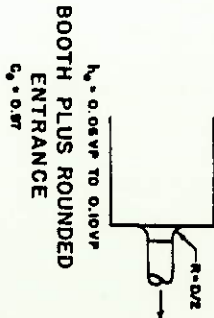
FROM: $V = 4005 \sqrt{VP}$ V = VELOCITY FPM VP = VELOCITY PRESSURE, INCHES OF WATER

VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V	VP	V
0.01	400	0.52	2888	1.03	4064	1.54	4970	2.05	5734	3.10	7051
0.02	566	0.53	2916	1.04	4084	1.55	4986	2.06	5748	3.20	7164
0.03	694	0.54	2943	1.05	4103	1.56	5002	2.07	5762	3.30	7275
0.04	801	0.55	2970	1.06	4123	1.57	5018	2.08	5776	3.40	7385
0.05	896	0.56	2997	1.07	4142	1.58	5034	2.09	5790	3.50	7492
0.06	981	0.57	3024	1.08	4162	1.59	5050	2.10	5804	3.60	7599
0.07	1060	0.58	3050	1.09	4181	1.60	5066	2.11	5817	3.70	7704
0.08	1133	0.59	3076	1.10	4200	1.61	5082	2.12	5831	3.80	7807
0.09	1201	0.60	3102	1.11	4219	1.62	5098	2.13	5845	3.90	7909
0.10	1266	0.61	3127	1.12	4238	1.63	5114	2.14	5859	4.00	8010
0.11	1328	0.62	3153	1.13	4257	1.64	5129	2.15	5872	4.10	8109
0.12	1387	0.63	3179	1.14	4276	1.65	5144	2.16	5886	4.20	8208
0.13	1444	0.64	3204	1.15	4295	1.66	5160	2.17	5899	4.30	8305
0.14	1498	0.65	3229	1.16	4314	1.67	5175	2.18	5913	4.40	8401
0.15	1551	0.66	3254	1.17	4332	1.68	5191	2.19	5927	4.50	8496
0.16	1602	0.67	3279	1.18	4350	1.69	5206	2.20	5940	4.60	8590
0.17	1651	0.68	3303	1.19	4368	1.70	5222	2.21	5954	4.70	8683
0.18	1699	0.69	3327	1.20	4386	1.71	5237	2.22	5967	4.80	8774
0.19	1746	0.70	3351	1.21	4405	1.72	5253	2.23	5981	4.90	8865
0.20	1791	0.71	3375	1.22	4423	1.73	5268	2.24	5994	5.00	8955
0.21	1835	0.72	3398	1.23	4442	1.74	5283	2.25	6008	5.10	9044
0.22	1879	0.73	3422	1.24	4460	1.75	5298	2.26	6021	5.20	9133
0.23	1921	0.74	3445	1.25	4478	1.76	5313	2.27	6034	5.30	9220
0.24	1962	0.75	3468	1.26	4495	1.77	5328	2.28	6047	5.40	9307
0.25	2003	0.76	3491	1.27	4513	1.78	5343	2.29	6061	5.50	9392
0.26	2042	0.77	3514	1.28	4531	1.79	5359	2.30	6074	5.60	9477
0.27	2081	0.78	3537	1.29	4549	1.80	5374	2.31	6087	5.70	9562
0.28	2119	0.79	3560	1.30	4566	1.81	5388	2.32	6100	5.80	9645
0.29	2157	0.80	3582	1.31	4583	1.82	5403	2.33	6113	5.90	9728
0.30	2193	0.81	3604	1.32	4601	1.83	5418	2.34	6128	6.00	9810
0.31	2230	0.82	3625	1.33	4619	1.84	5433	2.35	6140	6.10	9891
0.32	2260	0.83	3657	1.34	4636	1.85	5447	2.36	6153	6.20	9972
0.33	2301	0.84	3669	1.35	4653	1.86	5462	2.37	6166	6.30	10052
0.34	2335	0.85	3690	1.36	4671	1.87	5477	2.38	6179	6.40	10132
0.35	2369	0.86	3709	1.37	4688	1.88	5491	2.39	6192	6.50	10210
0.36	2403	0.87	3729	1.38	4705	1.89	5506	2.40	6205	6.60	10289
0.37	2436	0.88	3758	1.39	4722	1.90	5521	2.41	6217	6.70	10366
0.38	2469	0.89	3779	1.40	4739	1.91	5535	2.42	6230	6.80	10444
0.39	2501	0.90	3800	1.41	4756	1.92	5550	2.43	6243	6.90	10520
0.40	2533	0.91	3821	1.42	4773	1.93	5564	2.44	6256	7.00	10596
0.41	2563	0.92	3842	1.43	4790	1.94	5579	2.45	6269	7.50	10968
0.42	2595	0.93	3863	1.44	4806	1.95	5593	2.46	6282	8.00	11328
0.43	2626	0.94	3884	1.45	4823	1.96	5608	2.47	6294	8.50	11676
0.44	2656	0.95	3904	1.46	4840	1.97	5623	2.48	6307	9.00	12015
0.45	2687	0.96	3924	1.47	4856	1.98	5637	2.49	6320	9.50	12344
0.46	2716	0.97	3945	1.48	4873	1.99	5651	2.50	6332	10.00	12665
0.47	2746	0.98	3965	1.49	4889	2.00	5664	2.60	6458	11.00	13283
0.48	2775	0.99	3985	1.50	4905	2.01	5678	2.70	6581	12.00	13874
0.49	2804	1.00	4005	1.51	4921	2.02	5692	2.80	6702	13.00	14440
0.50	2832	1.01	4025	1.52	4938	2.03	5706	2.90	6820	13.61	14775
0.51	2860	1.02	4045	1.53	4954	2.04	5720	3.00	6937	14.00	14986

INDUSTRIAL VENTILATION



X	ENTRY LOSS		ENTRY COEFFICIENT	
	ROUND	RECTANGULAR	ROUND	RECTANGULAR
180°	0.15 VP	0.25 VP	0.53	0.80
300°	0.00 VP	0.10 VP	0.56	0.93
450°	0.00 VP	0.15 VP	0.57	0.93
600°	0.00 VP	0.17 VP	0.56	0.92
900°	0.15 VP	0.25 VP	0.53	0.80
1200°	0.25 VP	0.30 VP	0.50	0.65
1500°	0.30 VP	0.30 VP	0.51	0.62



REPRODUCED BY PERMISSION FROM INDUSTRIAL HEALTH ENGINEERING BY A. D. MAROT, PUBLISHED BY JOHN WILEY AND SONS, INC.

- F_e = ENTRY LOSS FACTOR
 VP = VELOCITY PRESSURE IN DUCT
 SP = STATIC PRESSURE AT THROAT, INCHES WATER GAGE
 h_e = ENTRY LOSS, INCHES WATER GAGE
 Q = AIR VOLUME, CFM
 A = CROSS SECTION AT THROAT, SQUARE FEET
 C_e = COEFFICIENT OF ENTRY
- ENTRY LOSS FOR COMPLICATED HOOD SHAPES:
1. BREAK HOOD INTO SIMPLE COMPONENTS
 2. CALCULATE h_e FOR EACH COMPONENT
 3. ADD VALUES OF h_e

HOOD ENTRY LOSS

HOOD	ENTRY LOSS, F_e
ABRASIVE BLAST CHAMBER	1.0
ABRASIVE BLAST ELEVATOR	2.3
ABRASIVE SEPARATOR	2.3
ELEVATORS (ENCLOSURES)	0.69
FLANGED PIPE PLUS CLOSED ELBOW	0.8
PLAIN PIPE PLUS CLOSE ELBOW	1.00
TUMBLING MILLS (VARIES WITH DESIGN OF MILL)	AV. 2.0