

13– TRANSPORTE DE SÓLIDOS

O TRANSPORTE DE SÓLIDOS NA INDÚSTRIA PODE SER CARACTERIZADO PELO TIPO DE AÇÃO QUE DESENVOLVEM OS EQUIPAMENTOS TRANSPORTADORES SEPARANDO-SE CINCO TIPOS GERAIS DE DISPOSITIVOS:

CARREGADORES: CORREIAS TRANSPORTADORAS

TRANSPORTADOR DE CAÇAMBA

TRANSPORTADOR VIBRATÓRIO

TRANSPORTADOR POR GRAVIDADE

ARRASTADORES: TRANSPORTADOR DE CALHA

TRANSPORTADOR HELICOIDAL

ELEVADORES: HELICOIDAIS

DE CANECAS

PNEUMÁTICOS

ALIMENTADORES: VOLUMÉTRICOS

GRAVIMÉTRICOS

PNEUMÁTICOS: DIRETOS

INDIRETOS

13.1 TRANSPORTADOR DE CORREIA

É UMA CORREIA SEM FIM QUE SE MOVIMENTA ENTRE UM TAMBOR LIVRE, NO PONTO DE ALIMENTAÇÃO, E OUTRO DE ACIONAMENTO NA EXTREMIDADE DE DESCARGA. DURANTE TODO O PERCURSO A CORREIA APOIA-SE EM ROLETES.

ESTES TRANSPORTADORES PODEM SER HORIZONTAIS OU INCLINADOS, EM COMPRIMENTOS QUE VARIAM DE POUCOS METROS ATÉ MILHARES DE METROS, MOVIMENTANDO O MATERIAL A UMA VELOCIDADE ENTRE:

0,5 E 3 m/s

OPERAM EM TEMPERATURAS DESDE -30°C ATÉ 60°C.

QUANDO SÃO USADAS COMPOSIÇÕES COM MATERIAIS ESPECIAIS PODEM TRABALHAR ENTRE -50 E 100°C.

AS CORREIAS SÃO FABRICADAS EM COURO, NYLON, POLIESTER, PVC, POLIETILENO, ALGODÃO, PORÉM AS MAIS COMUNS SÃO DE BORRACHA COM REFORÇO DE LONA OU FIOS METÁLICOS.

A RESISTÊNCIA MECÂNICA PODE CHEGAR A 500 kg POR CENTÍMETRO DE LARGURA QUANDO HÁ REFORÇO METÁLICO.

AS LARGURAS SÃO PADRONIZADAS VARIANDO DE 2 EM 2 POLEGADAS DESDE 4 POLEGADAS ATÉ 80 POLEGADAS.

OS ROLETES SÃO MONTADOS EM MANCAIS COMUNS (BUCHAS) OU EM ROLAMENTOS. OS ROLETES PODEM SER HORIZONTAIS OU OS DOIS EXTREMOS INCLINADOS, DE MODO A MANTER A CORREIA CÔNCAVA FORMANDO UMA CALHA TRANSPORTADORA.

TODAS AS CORREIAS COM LARGURA SUPERIOR A 14 POLEGADAS TRABALHAM SOBRE ROLETES INCLINADOS.

13.1.1 DIMENSIONAMENTO DAS CORREIAS TRANSPORTADORAS

A DIMENSIONAMENTO BASEIA-SE EM DADOS PRÁTICOS.

O PROJETO ENVOLVE AS SEGUINTE ETAPAS:

- VERIFICAÇÃO DA INCLINAÇÃO MÁXIMA A SER RESPEITADA.
- ESCOLHA DA VELOCIDADE DE TRANSPORTE
- CÁLCULO DA LARGURA DA CORREIA
- CÁLCULO DA POTÊNCIA CONSUMIDA
- DETALHAMENTO

INCLINAÇÃO MÁXIMA:

O ÂNGULO QUE O TRANSPORTADOR FORMA COM A HORIZONTAL NÃO PODE EXCEDER O DE REPOUSO NATURAL DO MATERIAL (QUE NO MÁXIMO CHEGA A 45°), SENDO GERALMENTE BEM MENOR.

ALGUNS FABRICANTES PADRONIZAM ESTE ÂNGULO, SÓ FABRICANDO TRANSPORTADORES HORIZONTAIS OU INCLINADOS. O ÂNGULO MÁXIMO DEVE SER DE 30° EM RELAÇÃO À HORIZONTAL.

VELOCIDADE DE TRANSPORTE:

É ESCOLHIDA EM FUNÇÃO DO TIPO DE MATERIAL A TRANSPORTAR. GERALMENTE NÃO SE USA MENOS DO QUE 15 METROS POR MINUTO (0,25 m/s) E NEM MAIS DO QUE 200 METROS POR MINUTO (1,3 m/s).

CÁLCULO DA LARGURA DA CORREIA:

A CAPACIDADE DO TRANSPORTADOR DEPENDE DA LARGURA DA CORREIA, VELOCIDADE, INCLINAÇÃO E MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL A TRANSPORTAR.

HÁ VÁRIAS CORRELAÇÕES EMPÍRICAS QUE SERVEM PARA CÁLCULO DA LARGURA E CAPACIDADE DAS CORREIAS TRANSPORTADORAS HORIZONTAIS.

NO CASO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS INCLINADAS, USA-SE FATORES DE REDUÇÃO DE CAPACIDADE.

NA SALA DE AULA O AUTOR DEMONSTRA UMA CORRELAÇÃO PARA CÁLCULO DE TRANSPORTADORES DE CORREIA HORIZONTAIS.

O EXEMPLO APRESENTADO É PARA UMA CAPACIDADE DE 155 t/h DE UM SÓLIDO DE MASSA ESPECÍFICA 1,5 t/m³.

ADOTANDO UMA VELOCIDADE DE 60 m/min CHEGA-SE A UMA LARGURA DE 22 POLEGADAS.

NO CASO DOS TRANSPORTADORES INCLINADOS A LARGURA DEVE SER CALCULADA COM UMA CAPACIDADE MAIOR DO QUE A SERIA NECESSÁRIA SE A CORREIA FOSSE HORIZONTAL.

ENTÃO SE DIVIDE A CAPACIDADE DESEJADA POR UM FATOR QUE VARIA CONFORME O ÂNGULO DE INCLINAÇÃO. ESSE FATOR ESTÁ APRESENTADO ABAIXO:

ÂNGULO °	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
FATOR	1,0	1,0	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,85
ÂNGULO °	20	22								
FATOR	0,81	0,76								

POTÊNCIA CONSUMIDA:

OS TRANSPORTADORES DE CORREIA TEM CONSUMO DE ENERGIA RELATIVAMENTE BAIXO. HÁ CONSUMO DE POTÊNCIA PARA:

MOVER O MATERIAL SÓLIDO

MOVER A CORREIA

VENCER AS PERDAS POR ATRITO

ELEVAR O MATERIAL SÓLIDO (SE FOR O CASO)

DIVERSAS CORRELAÇÕES EMPÍRICAS PERMITEM AVALIAR A POTÊNCIA NECESSÁRIA PARA OPERAR A PLENA CARGA.

NA SALA DE AULA O AUTOR APRESENTA UMA CARTA QUE POSSIBILITA CALCULAR A POTÊNCIA CONSUMIDA PARA O TRANSPORTE NUMA ESTEIRA HORIZONTAL ONDE ESTÁ RELACIONADO:

LARGURA DA CORREIA

MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL SÓLIDO

VELOCIDADE DA CORREIA

COMPRIMENTO DA CORREIA.

NO CASO DE TRANSPORTADOR INCLINADO:

DEVE-SE SOMAR 0,0037 hp POR METRO DE DESNÍVEL E POR t/h DE CAPACIDADE, OU SEJA A POTÊNCIA ADICIONAL NECESSÁRIA PARA ELEVAR O MATERIAL SÓLIDO É

$P = 3,28 (C \cdot H) / 1000$, ONDE

C= CAPACIDADE EM t/h

H= ELEVAÇÃO EM METROS

P= POTÊNCIA EM hp.

NOS CASOS DE DIMENSIONAMENTO (PROJETO) DEVE-SE USAR UMA FOLGA DE 20%, PARA CALCULAR A POTÊNCIA A SER INSTALADA.

O EXEMPLO APRESENTADO É PARA UM MATERIAL DE MASSA ESPECÍFICA $1,5 \text{ t/m}^3$, LARGURA DA CORREIA DE 18 POLEGADAS, VELOCIDADE DE 80m/min E COMPRIMENTO DE 50m. ISTO RESULTA NUMA POTÊNCIA CONSUMIDA DE 2,2 hp PARA UM TRANSPORTADOR HORIZONTAL.

13.2 TRANSPORTADOR-ELEVADOR DE CAÇAMBAS

O MATERIAL SÓLIDO É TRANSPORTADO NO INTERIOR DE CAÇAMBAS SUSPENSAS EM CABOS DE AÇO OU EM EIXOS COM ROLETES NAS DUAS EXTREMIDADES E QUE SE MOVIMENTAM EM TRILHOS.

A DESCARGA É FEITA PELA INVERSÃO DAS CAÇAMBAS.

SÃO DISPOSITIVOS DE BAIXA VELOCIDADE, CHEGAM A 20 m/min.

13.3 TRANSPORTADOR POR GRAVIDADE:

É O MAIS SIMPLES DOS DISPOSITIVOS PARA REALIZAR O TRANSPORTE DE SÓLIDOS. O SÓLIDO ESCOA POR GRAVIDADE SOBRE UM PLANO INCLINADO EM RELAÇÃO À HORIZONTAL COM UM ÂNGULO SUPERIOR AO DE REPOUSO DO MATERIAL

13.4 TRANSPORTADOR HELICOIDAL (ROSCA SEM FIM):

É um tipo de transportador versátil para pequenas distâncias (limitado a 45 m, por causa do torque no eixo), servindo para realizar simultaneamente outros tipos de operação como:

MISTURA

LAVAGEM

CRISTALIZAÇÃO

RESFRIAMENTO

EXTRAÇÃO

SECAGEM

CONSTA DE UMA CANALETA DE SECÇÃO SEMICIRCULAR NO INTERIOR DA QUAL GIRA UM EIXO COM UMA HELICOIDE TIPO PADRÃO COM PASSO IGUAL AO DIÂMETRO, PARA INCLINAÇÃO ATÉ 20°.

UM VARIADOR DE VELOCIDADE PODE SER UTILIZADO PARA PERMITIR A VARIAÇÃO DA ROTAÇÃO DO TRANSPORTADOR E, CONSEQUENTEMENTE, A SUA CAPACIDADE.

PODEM TRABALHAR NA HORIZONTAL, INCLINADO OU NA VERTICAL, DESDE QUE A FOLGA ENTRE O HELICOIDE E O DUTO SEJA REDUZIDA.

SÃO MUITO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA PELOS SEGUINTE MOTIVOS:

- A) PODEM SER ABERTOS OU FECHADOS
- B) TRABALHAM EM QUALQUER POSIÇÃO OU INCLINAÇÃO
- C) PODEM SER CARREGADOS E DESCARREGADOS EM DIVERSOS PONTOS
- D) PODEM TRANSPORTAR EM DIREÇÕES OPOSTAS A PARTIR DE UM PONTO DE CARGA CENTRAL

- E) PERMITEM LAVAR, CRISTALIZAR, AQUECER, RESFRIAR OU SECAR AO MESMO TEMPO EM QUE O TRANSPORTE É FEITO.
- F) OCUPAM POUCO ESPAÇO E NÃO REQUEREM O ESPAÇO PARA RETORNO.

13.4.1 DIMENSIONAMENTO DOS TRANSPORTADORES HELICOIDAIS

OS PROBLEMAS MAIS IMPORTANTES DE PROJETO SÃO A DETERMINAÇÃO DO TAMANHO E NÚMERO DE ROTAÇÕES DA HELICOIDE E O CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA.

DEFINIR O DIÂMETRO DA HELICOIDE D EM (m), ONDE Q É A CAPACIDADE VOLUMÉTRICA DO TRANSPORTADOR EM (m³/h).

$$D = (Q)^{1/2}/15,2$$

DEFINIR A ROTAÇÃO N (rpm), COM O DIÂMETRO D (m), SERÁ:

$$N = 18,75/D$$

DEFINIR A CAPACIDADE C (t/h), USANDO O DIÂMETRO D (m), A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO SÓLIDO ρ_A (t/m³) E A ROTAÇÃO N (rpm), SERÁ:

$$C = 12,3 \times D^3 \times \rho_A \times N$$

DEFINIR A POTÊNCIA CONSUMIDA Pot (hp), CALCULADA EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE C (t/h), O COMPRIMENTO DO TRANSPORTADOR L (m), O FATOR F (ADIMENSIONAL) QUE É FUNÇÃO DO TIPO DE SÓLIDO E A ELEVAÇÃO H (m).

$$Pot = C.[(L.F)/(273) + (H)/(152)]$$

PARA ENCONTRAR O FATOR F OS MATERIAIS DEVEM SER CLASSIFICADOS NAS SEGUINTE CATEGORIAS OU CLASSES:

CLASSE A: MATERIAIS FINOS, LEVES, NÃO ABRASIVOS E DE ESCOAMENTO FÁCIL. MASSA ESPECÍFICA ENTRE 0,5 E 0,6 (t/m³).

FATOR F = 0,4

EXEMPLOS: CARVÃO MOIDO, CAROÇO DE ALGODÃO, MILHO, TRIGO, CEVADA, ARROZ, MALTE, CAL EM PÓ, FARINHA, LINHAÇA.

CLASSE B: MATERIAS NÃO ABRASIVOS DE MASSA ESPECÍFICA MÉDIA, ATÉ 0,8 t/m³.

FATOR = 0,6

EXEMPLOS: ALUMEM FINO, PÓ DE CARVÃO, GRAFITE EM FLOCOS, CAL HIDRATADA, CAFÉ, CACAU, SOJA, MILHO EM GRÃOS, FARELO E GELATINA EM GRÃOS.

CLASSE C: MATERIAIS SEMIABRASIVOS EM GRÃOS PEQUENOS MISTURADOS COM FINOS, MASSA ESPECÍFICA ENTRE 0,6 E 1,12 (t/m³).

FATOR = 1,0

EXEMPLOS: ALÚMEM EM PEDRAS, CINZAS, SAL GROSSO, BARRILHA, LAMA SANITÁRIA, SABÃO EM PÓ, CEVADA ÚMIDA, AMIDO, AÇÚCAR REFINADO, CORTIÇA MOIDA, LEITE EM PÓ, POUPA DE CELULOSE.

CLASSE D: MATERIAIS SEMIABRASIVOS OU ABRASIVOS, FINOS, GRANULARES OU EM PEDAÇOS MISTURADOS COM FINOS, MASSA ESPECÍFICA ENTRE 0,8 E 1,6 (t/m³).

FATOR = 1 A 2 CONFORME EXEMPLOS ABAIXO:

BAUXITA	1,8
NEGRO DE FUMO	1,6
CIMENTO	1,4
GIZ	1,4
GESSO	1,6

ARGILA	2,0
FLUORITA	2,0
ÓXIDO DE CHUMBO	1,0
CAL EM PEDRA	1,3
CALCÁREO	1,6
FOSFATO ÁCIDO 7% ÚMIDO	1,4
AREIA SECA	2,0
XISTO BRITADO	1,8
AÇÚCAR MASCAVO	1,8

CLASSE E: MATERIAIS ABRASIVOS DE ESCOAMENTO DIFÍCIL. LIMITA-SE A VELOCIDADE A 40 (rpm).

FATOR: ENTRE 2,0 E 4,0.

SOBRE A POTÊNCIA CONSUMIDA DEVE-SE CONSIDERAR MAIS 10% PARA PERDA NA TRANSMISSÃO E ACRESCENTAR 50% SOBRE O TOTAL, PARA ESPECIFICAR O MOTOR.

13.5 ELEVADOR DE CANECAS:

É UM CONJUNTO DE CANECAS FIXADAS SOBRE CORREIAS VERTICAIS OU DE GRANDE INCLINAÇÃO, OU EM CORRENTES QUE SE MOVIMENTAM ENTRE UMA POLIA OU RODA DENTADA MOTORA SUPERIOR E OUTRA INFERIOR QUE GIRA LIVREMENTE.

AS CANECAS MOVIMENTAM-SE GERALMENTE NO INTERIOR DE CAIXAS DE MADEIRA OU DE AÇO.

SÃO UTILIZADOS PARA A ELEVAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS, FERTILIZANTES, MINÉRIOS, CARVÃO E CEREAIS. A ALTURA DE ELEVAÇÃO PODE CHEGAR A 100 m.

QUANDO O MATERIAL É ADERENTE, USAM-SE CANECAS CHATAS.

PARA MATERIAIS PESADOS OU DE GRANULOMETRIA GROSSEIRA, EMPREGAM-SE CANECAS FECHADAS.

GERALMENTE A CAPACIDADE DOS ELEVADORES DE CANECAS É MODERADA, ATÉ 50 t/h, MUITO EMBORA HAJA INSTALAÇÕES PARA CAPACIDADE ATÉ 200 t.

13.5.1 DIMENSIONAMENTO DOS ELEVADORES DE CANECAS:

OS PROBLEMAS DO ENGENHEIRO PARA O PROJETO OU VERIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO SÃO:

A ESCOLHA DA VELOCIDADE DE TRANSPORTE

O CÁLCULO DAS MEDIDAS DAS CANECAS

DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA NECESSÁRIA

A VELOCIDADE PODE VARIAR DE 30 a 60 m/min, PODENDO-SE USAR FAIXAS DE 38 A 45 OU DE 65 A 90 m/min.

AS MEDIDAS DAS CANECAS PODEM SER CALCULADAS ASSIM:

Q = capacidade volumétrica em (m^3/h)

V = velocidade em (m/min)

Onde w = largura das canecas em (cm)

L = comprimento das canecas em (cm)

d = distância entre canecas (geralmente 30, 40 ou 45 cm)

$$w = 16,9 \times [(Q/V)^{1/2}]$$

E PARA SE OBTER A OUTRA DIMENSÃO PODE-SE USAR $L = 2w$

POTÊNCIA CONSUMIDA:

UMA VEZ QUE O ELEVADOR ESTÁ EM EQUILÍBRIO QUANDO SE ENCONTRA DESCARREGADO, A POTÊNCIA CONSUMIDA É A NECESSÁRIA PARA ELEVAR A CARGA E VENCER O ATRITO ENTRE AS PEÇAS. A FÓRMULA RECOMENDADA POR PERRY E ADAPTADA PARA AS UNIDADES DO SI, FORNECE DIRETAMENTE A POTÊNCIA DO MOTOR NECESSÁRIO:

$$\text{Pot} = (C).(H)/152$$

ONDE Pot = Potência em (hp)

C = Capacidade em (t/h)

H = Elevação medida na vertical em (m)

13.6 VÁLVULAS ROTATIVAS:

A ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDOS EM VAZÃO MÁSSICA CONSTANTE É MUITAS VEZES UM PROBLEMA INDUSTRIAL DIFÍCIL DE RESOLVER.

QUANDO O MATERIAL É ADERENTE OU APRESENTA GRANDES VARIAÇÕES DE DENSIDADE APARENTE, SE TORNA AINDA MAIS DIFÍCIL, DEVENDO-SE POR ISSO RECORRER A DISPOSITIVOS DE AÇÃO MAIS REGULAR COMO AS VÁLVULAS ROTATIVAS.

A VÁLVULA ROTATIVA CONSTA DE UM EIXO QUE GIRA A VELOCIDADE CONSTANTE MOVIMENTANDO PALHETAS EM NÚMERO VARIÁVEL ENTRE 4 E 8.

A VAZÃO PODE SER VARIADA PELA SIMPLES ALTERAÇÃO DO NÚMERO DE ROTAÇÕES. QUANDO SE PRETENDE ALIMENTAR COM VAZÃO BEM CONTROLADA, A VÁLVULA ROTATIVA DEVERÁ SER PREVIAMENTE CALIBRADA.

AS VÁLVULAS ROTATIVAS SÃO FABRICADAS EM AÇO, BRONZE, ALUMÍNIO, AÇO INOXIDÁVEL, BORRACHA, PVC, POLIPROPILENO, PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO.

EXISTE A VÁLVULA ROTATIVA COMUM E A DO TIPO VARIANTE ALONGADA.

13.7 TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO:

É LARGAMENTE USADO NA MOVIMENTAÇÃO E ELEVAÇÃO DE SÓLIDOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA.

O fluido motor no transportador pneumático é um gás, normalmente o ar, fluindo em velocidades entre 10 e 36 m/s. Mais usada 25,4 m/s. Os diâmetros dos tubos variam entre 50 e 400 mm.

São quatro os principais tipos de sistemas de transporte pneumático:

- a) Sistema a vácuo, útil na transferência de sólidos de múltiplos pontos (como vagões, caminhões, navios) para um só ponto de entrega.
- b) Sistema com pressão positiva, que melhor para os casos de um só ponto de coleta e um ponto ou mais de entrega.
- c) Sistema vácuo e pressão que combina as vantagens dos dois acima descritos.

- d) Sistema pré-fluidizado que requer menos ar e, portanto, menos potência do que qualquer dos outros métodos.

As partículas a serem manuseadas podem variar de tamanho desde um pó fino (acima de 100 microns) até “pellets” de 6,5 mm. As massas específicas aparentes podem variar 16 kg/m³ a mais de 3.200 kg/m³.

Os sistemas a vácuo são tipicamente limitados a fluxos de sólidos menores que 6.800 kg/h e comprimento do transportador menor que 120 m.

Os sistemas pressurizados operam com pressões de 1 a 5 atm manométrica e podem transportar partículas sólidas de tamanho menor que 6,5 mm. O uso é indicado nos casos onde o fluxo de sólidos é necessário ultrapassar 9.000 kg/h. Tipicamente a perda de pressão no sistema está em torno de 0,5 atm.

A maior parte dos transportadores pneumáticos é adquirida dos seus fabricantes. Para um projeto preliminar, diagramas muito úteis são apresentados no Perry (Chemical Engineers' Handbook).

O PRINCÍPIO BÁSICO É A FLUIDIZAÇÃO DO SÓLIDO COM UM FLUIDO QUE EM GERAL É O AR OU UM GÁS INERTE. A MISTURA SÓLIDO-FLUIDO ASSIM FORMADA ESCOA PELO INTERIOR DOS DUTOS DO SISTEMA.

HÁ DOIS SISTEMAS QUE PODEM SER USADOS:

DIRETO – O SÓLIDO PASSA ATRAVÉS DO VENTILADOR

INDIRETO – O SÓLIDO NÃO PASSA PELO VENTILADOR.

O VENTILADOR PROMOVE O ESCOAMENTO DO GÁS.

O SISTEMA DIRETO É UM POUCO MAIS SIMPLES, MAS NÃO SE APLICA QUANDO SÓLIDO PODE DANIFICAR O VENTILADOR OU SOFRER, ELE PRÓPRIO, QUEBRA OU DESGASTE EXCESSIVO.

OS SISTEMAS INDIRETOS PODEM SER:

- A) COM VENTILADOR PARA EXAUSTÃO COLOCADO NO FINAL DO SISTEMA.

A VANTAGEM DESTES SISTEMAS É A DE QUE, ALÉM DE TRANSPORTAR O SÓLIDO, AINDA É POSSÍVEL CLASSIFICÁ-LOS, MEDIANTE O EMPREGO DE DIVERSOS CICLONES EM SÉRIE. O DESGASTE DO VENTILADOR É PRATICAMENTE ELIMINADO.

B) COM UM VENTURI QUE PROVOCA A ASPIRAÇÃO DO SÓLIDO NA GARGANTA, ONDE A PRESSÃO É MENOR QUE A PRESSÃO EXTERNA. NESSE CASO O VENTILADOR FICA INSTALADO ANTES DA ALIMENTAÇÃO DO SÓLIDO.

COMO A VELOCIDADE NA GARGANTA DO VENTURI DEVE SER SUFICIENTEMENTE ALTA PARA PROVOCAR A DEPRESSÃO E AO MESMO TEMPO, APESAR DA PERDA DE CARGA, VENCER A RESISTÊNCIA DO RESTO DO SISTEMA, SÃO APLICÁVEIS NOS CASOS DE DISTÂNCIAS MODERADAS.

C) COM A ALIMENTAÇÃO DE SÓLIDO POR MEIO DE UM ALIMENTADOR HELICOIDAL, VÁLVULA ROTATIVA, ETC. TAMBÉM NESSE CASO O VENTILADOR ESTÁ ANTES DA ALIMENTAÇÃO DO SÓLIDO.

D) COM FLUIDIZAÇÃO DO SÓLIDO NO INTERIOR DE UM DUTO.

13.7.1 COMO OS MATERIAIS SÃO TRANSPORTADOS NAS TUBULAÇÕES:

Para o transporte em bateladas maiores ou para transporte contínuo, dois modos como os materiais são transportados nas tubulações são reconhecidos:

FASE DILUIDA

FASE DENSA

13.7.1.1 TRANSPORTE EM FASE DILUIDA:

O material é transportado em suspensão no ar ou gás de transporte.

Para a fase diluída a valor da velocidade de transporte que deve ser mantida é relativamente alta. São velocidades na faixa de 12,2 m/s (40 ft/s) para pó muito fino e 16,3 m/s (53,3 ft/s) para material granular fino.

IMPORTANTE:

Quase todos os materiais podem ser transportados em FASE DILUIDA independente da forma, tamanho ou massa específica da partícula. As propriedades do material é que determinam se deve ser transportado em fase em fase diluída ou fase densa.

Para FASE DILUIDA geralmente se usa VENTILADORES CENTRÍFUGOS ou SOPRADORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO.

A melhor aplicação para ventiladores é em um sistema onde a capacidade de transporte, distância e tipo de material são parâmetros relativamente constantes. Além disto, a pressão resultante do sistema de transporte também não se espera que mude muito.

Os ventiladores são usados em aplicações que requerem grandes volumes de ar e baixas pressões, valores menores que 2 psig.

As principais VANTAGENS dos ventiladores no transporte pneumático são:

- a) Baixo custo
- b) Baixo nível de ruído
- c) Não precisa de folgas mecânicas muito pequenas.

Por outro lado a principal DESVANTAGEM dos ventiladores no transporte pneumático é a sua curva característica muito inclinada (“steep”). Assim pequena mudança na pressão de descarga resulta em acentuada mudança de vazão de vazão volumétrica do ar motor.

Os sopradores são também usados em transporte em fase diluída, são quase sempre do tipo “lobe”, rotativos de deslocamento positivo. Entregam um volume de ar para qualquer pressão de descarga.

A razão de compressão para esses sopradores é de cerca de 2:1; ou seja, se o ar estiver à pressão atmosférica padrão (14,7 psia), o soprador pode ter uma pressão de descarga de duas vezes a pressão atmosférica (15 psig).

A capacidade é diretamente relacionada com a velocidade do soprador e tem um limite máximo de 4500 ft/min (23 m/s).

Para otimizar o desempenho dos sopradores nos sistemas de transporte pneumático, devemos considerar os seguintes pontos:

- a) Os sopradores devem ser não lubrificados.
- b) Devem ser operados no meio da faixa de capacidade.
- c) A velocidade deve estar em torno de 1.800 rpm.
- d) As eficiências volumétrica e mecânica devem ser altas.
- e) A perda de carga no filtro de sucção deve ser mínima.

13.7.1.2 TRANSPORTE EM FASE DENSA:

O sólido é transportado em velocidade mais baixa, não em suspensão. A velocidade deve ser abaixo de 3m/s (600 ft/min). Duas versões de fase densa são reconhecidas:

- a) FLUXO DE LEITO MÓVEL (“moving-bed flow”)
- b) SLUG ou PLUG FLOW

No FLUXO DE LEITO MÓVEL, o material é transportado em “dunas” no fundo da tubulação ou como um leito se movimentando com pulsação.

Só é possível se o material tem boa retenção de ar como característica.

No SLUG (bala, espuma) ou PLUG (tampa) FLOW, o material é transportado em “plugs” separados por “gaps” de ar.

Só é possível se o material tem muito boa permeabilidade.

Para a FASE DENSA são usados COMPRESSORES, são transportadores pneumáticos de alta pressão.

13.7.2 RAZÃO DE CARGA DE SÓLIDOS:

É um adimensional que ajuda a visualizar o fluxo.

A RAZÃO DE CARGA é a razão entre a VAZÃO MÁSSICA DE SÓLIDOS TRANSPORTADA e a VAZÃO DE AR PARA FAZER O TRANSPORTE.

Para a FASE DILUIDA os valores máximos que podem ser atingidos são: 15 kg de material transportado por 1 kg de ar.

Para a FASE DENSA FLUXO DE LEITO MÓVEL, a razão bem acima de 100, com gradiente de pressão de mais de 10 psi por 100 ft de tubo horizontal.

Para a FASE DENSA PLUG FLOW, os valores máximos da razão são da ordem de 30, para velocidades menores que 3 m/s.

13.7.3 FLUIDO MOTOR E PROPULSÃO

Se a diferença de pressão requerida é pequena pode ser usado um VENTILADOR. Os ventiladores são limitados a 65 polegadas de água (pouco mais de 2 psi) em operações a vácuo.

Em operações com pressão podem chegar a 77 polegadas de água (pouco abaixo de 3 psi).

No cálculo da potência desses ventiladores, comece com eficiência adiabática de 50%. Use os conhecimentos do capítulo 3.

Para mais altas pressões diferenciais ou onde o diferencial de pressão é baixo, é preferível não usar ventiladores. Devem ser usados SOPRADORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO, que são excelentes para propulsão de sistemas de transporte pneumático.

13.7.4 DIMENSIONAMENTO DE UM TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO:

O método mais rápido e com boa comprovação prática para o dimensionamento de um transportador pneumático é o método praticado por Carl Branan, no seu livro intitulado: “Rules of Thumb for Chemical Engineers” – terceira edição, página 204, cuja marcha de cálculo e dados aqui transcrevemos:

- a) Assuma a velocidade do ar (ou outro fluido motor) no valor de 5.000 ft/min (1.525 m/min ou 25,4 m/s). É a velocidade considerada boa para 90% das situações.
- b) Use os dados da tabela seguinte:

Diâmetro (polegadas)	4	5	6	8
Vazão (scfm) na velocidade 5.000 ft/min	440	680	980	1800
Perda de carga (polegadas de água/100 ft)	11	8	6,3	4,5

Capacidade usual (x 1000 lb/h) pres neg. 2-6 3-10 4-15 15-30

Capacidade usual (x 1000 lb/h) pres pos. 12-40 15-60 20-80 30-160

- c) Calcule a perda de carga em duas parcelas que serão somadas: perda de carga do material sólido e perda de carga do fluido (ar). A perda de carga do material sólido será calculada em (ft-lb)/min composta de:
- d) E1 = perda de carga por aceleração nos trechos horizontais
- e) E2 = energia consumida para elevar o sólido
- f) E3 = perda de carga nos trechos horizontais
- g) E4 = perda de carga em curvas e cotovelos

Sendo, $E1 = C.v^2/2g = 108 \times C$ para 5000 ft/min e

$$E2 = C.H$$

$$E3 = C.L.F$$

$$E4 = [C.v^2/(g.R)] \times L \times F \times N$$

C = Capacidade de transporte (lbm/min)

v = velocidade (ft/min)

$$2g = 232 \times 10^3 \text{ ft/min}^2$$

H = altura de elevação (ft)

L = comprimento horizontal do duto (ft)

R = comprimento equivalente de curva de 90° (ft)

F = coeficiente de atrito e tangente do ângulo de repouso. Use 0,8 para estimativas primeiras

N = número de cotovelos de 90°. Para 45°, 30°, etc. expresse como equivalente a 90°, pela razão direta (exemplo: um cotovelo de 30° é equivalente a 0,33 de um cotovelo de 90°)

h) Da tabela acima, com base na quantidade a transportar, escolher o diâmetro do duto de transporte e com base na velocidade, calcular o fluxo de ar nas condições de SCFM.

i) Expressar as perdas de carga do material sólido em polegadas de água, utilizando a seguinte conversão:

$$[(\text{ft-lb})/\text{min}]/[(\text{ft}^3/\text{min}) \times 5,2] = \text{polegadas de água}$$

j) Para cálculo da perda de carga do ar, calcular o comprimento equivalente de trecho reto para os cotovelos de 90° usando a correlação de que cada cotovelo é 1 ft de tubo por polegada de diâmetro. Exemplo: um cotovelo de 4" tem o comprimento equivalente a 4 ft de trecho reto.

k) Para outros itens assumir as seguintes perdas em polegadas de água:

Perda na entrada do duto	1,9
Ramificação em Y	0,3
Ciclone	3,0
Vaso Coletor	3,0
Filtro	6,0

l) Somar as perdas de carga do material sólido e do ar.

m) Calcular a potência do ventilador ou soprador, conforme o capítulo 3.

IMPORTANTE:

Observar a pressão atmosférica local de sucção. As vazões dessas máquinas são normalmente fornecidas ao nível do mar.

EM RESUMO: PARA O PROJETO DE UM TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO

DEVE-SE CONHECER:

C = CAPACIDADE DE TRANSPORTE (massa/tempo)

ρ_s = MASSA ESPECÍFICA DO SÓLIDO

D_p = DIÂMETRO DA PARTÍCULA DO SÓLIDO (GRANULOMETRIA)

“LAYOUT” = MOSTRANDO TODAS AS CURVAS, VÁLVULAS E EQUIPAMENTOS DE COLETA, COMO CICLONES, ETC.

DEVE SER DEFINIDO E CALCULADO:

DIÂMETRO INTERNO DO TRANSPORTADOR (DUTO) = D

VAZÃO DO GÁS DE TRANSPORTE = Q

PERDA DE CARGA TOTAL = ΔP

POTÊNCIA DO VENTILADOR OU SOPRADOR = P_{ot}

13.7.5 OUTRAS CONSIDERAÇÕES QUE PODEM SER USADAS EM DIMENSIONAMENTO:

VELOCIDADE DE TRANSPORTE

A VELOCIDADE DE FLUTUAÇÃO DO SÓLIDO NUM TRECHO VERTICAL É DADA PELA EXPRESSÃO:

$$V_f = 3,28 \times (\rho_s \cdot D_p)^{1/2}$$

A massa específica em (t/m³) e o diâmetro da partícula em (mm)

ESTA EXPRESSÃO VALE PARA PARTÍCULAS CÚBICAS. ESFERAS REQUEREM MAIOR VELOCIDADE PARA FLUTUAR.

POR ESTA RAZÃO, A VELOCIDADE DE TRANSPORTE DEVERÁ SER BEM MAIOR QUE A VELOCIDADE DE FLUTUAÇÃO.

É EVIDENTE QUE A VELOCIDADE DE TRANSPORTE (v) DEVERÁ SER A SOMA DA VELOCIDADE DE FLUTUAÇÃO COM A VELOCIDADE DO MATERIAL, QUE PODE SER CONSIDERADA PROPORCIONAL À RAIZ QUADRADA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (ρ_A) em (t/m³). ENTÃO A EXPRESSÃO RECOMENDADA É A SEGUINTE:

$$V_m = 23,4 \times (\rho_A)^{1/2} \text{ onde } V_m = \text{velocidade do material (m/s)}$$

COMO A MASSA ESPECÍFICA APARENTE É MAIS FÁCIL DE CONHECER DO QUE A MASSA ESPECÍFICA REAL DO SÓLIDO SERÁ INTERESSANTE SUBSTITUIR NA EXPRESSÃO DE V_f , UTILIZANDO-SE A SEGUINTE APROXIMAÇÃO:

$$(\rho_s) = 1,4 \times (\rho_A)^{2/3}$$

$$V_f = 4,11 \times (\rho_A)^{1/3} \times (D_p)^{1/2}$$

$$\text{E FINALMENTE } v = 4,11 \times (\rho_A)^{1/3} \times (D_p)^{1/2} + 23,4 \times (\rho_A)^{1/2} \text{ (m/s)}$$

IMPORTANTE:

SEMPRE QUE POSSÍVEL, É MAIS ECONÔMICO USAR VELOCIDADES MENORES E CONCENTRAÇÕES MAIS ELEVADAS DE SÓLIDOS DURANTE O TRANSPORTE.

DIÂMETRO INTERNO DO TRANSPORTADOR EM (mm)

SENDO c = CAPACIDADE POR UNIDADE DE ÁREA DE DUTO ($t/h.m^2$), EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE TRANSPORTE, A EXPRESSÃO ABAIXO REPRESENTA UMA CORRELAÇÃO QUE INTRODUZ ERROS MENORES QUE 4%

$$c = 0,14 \times v^{1,95} = (t/(h.m^2))$$

A PARTIR DE c E DA CAPACIDADE C (t/h) ESPECIFICADA, CALCULA-SE A SECÇÃO TRANSVERSAL (S) DO DUTO EM METROS QUADRADOS:

$$S = (C)/(c)$$

E CONSEQUENTEMENTE O DIÂMETRO INTERNO EM MILÍMETROS:

$$D = 3016.[(C)^{1/2}/(v^{0.98})] \quad (v) \text{ em m/s e } (C) \text{ em t/h}$$

PERDA DE CARGA:

A PERDA DE CARGA POR ATRITO, POR UNIDADE DE COMPRIMENTO EM (mm de c.a./m), PARTINDO DA CORRELAÇÃO DE WRIGHT, PODE SER CALCULADA COMO ABAIXO: Q em m^3/s .

$$(\Delta p)/(L) = 1,68 \times (X + 3,5) \times (v)^{1,8}/D^{1,22}$$

ONDE X PODE SER CALCULADO COM $X = C/(4,29).Q$

PARA OS TRECHOS VERTICAIS, DEVE-SE MULTIPLICAR POR DOIS OS COMPRIMENTOS, PARA O CÁLCULO DA PERDA DE CARGA.

A PERDA DE CARGA POR ATRITO DEVERÁ SER CALCULADA COM O COMPRIMENTO TOTAL (L_t), QUE É A SOMA DOS COMPRIMENTOS DOS TRECHOS HORIZONTAIS (L_h), MAIS O DOBRO DO COMPRIMENTO DOS TRECHOS VERTICAIS (L_v) E MAIS O COMPRIMENTO EQUIVALENTE ÀS CURVAS E CONEXÕES (L_e).

$$L_t = L_h + 2 L_v + L_e$$

HÁ AINDA A PERDA DE CARGA POR ACELERAÇÃO DO MATERIAL NOS TRECHOS HORIZONTAIS, QUE TERÁ DE SER COMPUTADA SEMPRE QUE A ALIMENTAÇÃO SEJA FEITA APÓS O VENTILADOR.

ASSIM A PERDA DE CARGA TOTAL (ΔP_t) É A SOMA DE TODAS AS PERDAS POR ATRITO, POR ACELERAÇÃO E NOS DEMAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA (SILOS, CÂMARAS DE POEIRA, CICLONES, FILTROS, VENTURI, ENTRADAS E SAIDAS DE AR).

A EXPRESSÃO FINAL FICA EM (kgf/cm^2).

$$\Delta P_t = [1,68.L_t (X + 3,5).(v)^{1,8}/D^{1,22} + 0,138 .\Phi.X.v^2 + \Delta P_e] \times 10^{-4}$$

O FATOR Φ SERÁ 1,0 SE O SÓLIDO FOR ALIMENTADO DEPOIS DO VENTILADOR E MENOR DO QUE 1,0 SE O MATERIAL PASSAR PELO VENTILADOR.

SE A ALIMENTAÇÃO FOR FEITA NAS PROXIMIDADES DA BOCA DE ASPIRAÇÃO PODE-SE CONSIDERAR O FATOR IGUAL A ZERO.

COMO REGRA PRÁTICA UTILIZAR $\Phi = 0,5$ SE O PONTO DE ALIMENTAÇÃO ESTIVER LOCALIZADO UM POUCO A MONTANTE DA BOCA DE ASPIRAÇÃO.

AS PERDAS DE CARGA EM EQUIPAMENTOS DE COLETA (EM mm DE COLUNA DE ÁGUA) VARIAM ENTRE:

CÂMARA GRAVITACIONAL	20 A 40
CICLONE COMUM	30 A 60
CICLONE DE ALTA EFICIÊNCIA	70 A 150
CÂMARAS DE IMPACTAÇÃO	40 A 100
FILTROS DE TECIDO	80 A 150

POTÊNCIA REQUERIDA PELO VENTILADOR OU SOPRADOR EM (hp)

A POTÊNCIA NECESSÁRIA PARA REALIZAR O TRANSPORTE QUANDO O EXAUSTOR ASPIRA NO FINAL DO TRANSPORTADOR OU SOPRA ATRAVÉS DE UM SISTEMA ALIMENTADO COM VENTURI OU TRANSPORTADOR HELICOIDAL É:

$$\text{Pot} = 131,51 \cdot Q \cdot \Delta P$$

Pot (bhp), Q (m³/s) e ΔP (kgf/cm²)

SE O SÓLIDO PASSAR PELO VENTILADOR, TERÁ QUE HAVER UM ACRÉSCIMO DEVIDO À ACELERAÇÃO DAS PARTÍCULAS PELAS PALHETAS DO VENTILADOR. ESTE AUMENTO PODERÁ CHEGAR A 25%. O VALOR OBTIDO DEVERÁ SER DIVIDIDO PELO RENDIMENTO DO VENTILADOR SELECIONADO.

ALIMENTAÇÃO COM VENTURI

PARA QUE HAJA ASPIRAÇÃO DO SÓLIDO, A PRESSÃO ESTÁTICA NA GARGANTA DEVERÁ SER IGUAL OU MENOR DO QUE ZERO MANOMÉTRICA. SE ADMITIRMOS UMA RECUPERAÇÃO DE 2/3 DA QUEDA DE PRESSÃO NO VENTURI, ENTÃO A PRESSÃO NA GARGANTA DEVERÁ SER 3/2 VEZES A PERDA DE CARGA NO RESTANTE DO SISTEMA.

ESTE VALOR, SOMADO À PERDA DE CARGA ENTRE O VENTILADOR E O VENTURI, DÁ A PRESSÃO TOTAL A SER VENCIDA PELO VENTILADOR.