

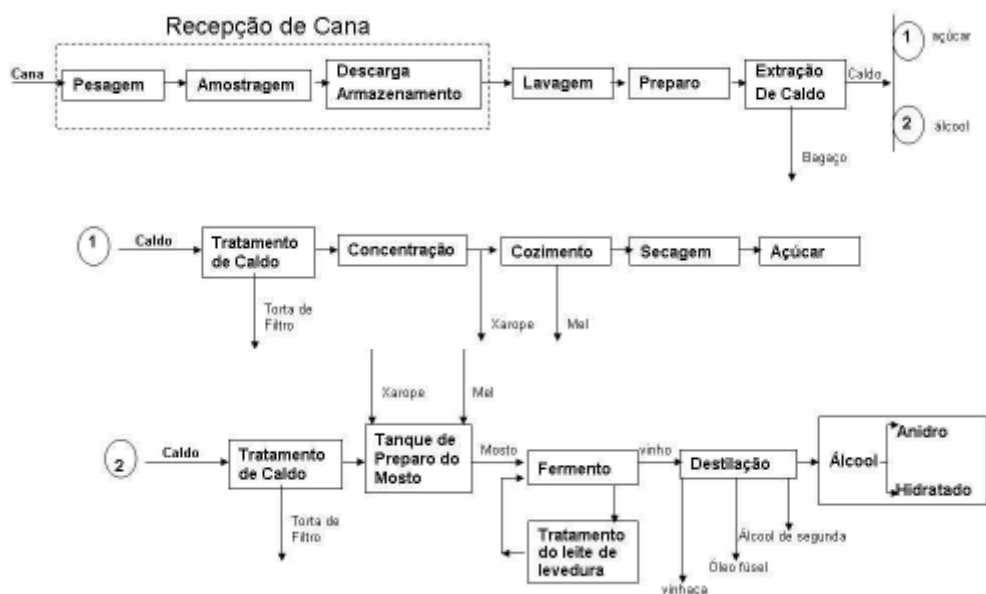
INTRODUÇÃO AS OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Toda indústria química envolve um conjunto de processos: Processo químico, Processo de estocagem de materiais, processo de compras, processo de pagamentos, etc. As operações unitárias serão importantes para execução dos processos químicos, físico-químicos, petroquímicos, etc.

Um processo químico é um conjunto de ações executadas em etapas, que envolvem modificações da composição química, que geralmente são acompanhadas de certas modificações físicas ou de outra natureza, no material ou materiais que é (são) ponto de partida (matérias primas) para se obter o produto ou os produtos finais (ou acabados).

Cada etapa dentro do processo que tem princípios fundamentais independentes da substância (ou substâncias), que esta sendo operada e de outras características do sistema, pode ser considerada uma operação unitária.

O engenheiro A. D. Little (1915) apresenta um conceito interessante para as operações unitárias: “Qualquer processo químico, em qualquer escala, pode ser decomposto numa serie estruturada do que se podem denominar, operações unitárias, como moagem, homogeneização, aquecimento, calcinação, absorção, condensação, lixiviação, cristalização, filtração, dissolução, eletrolise, etc.”



Desde 1915 foram acrescentadas outras operações unitárias a lista de Little como o transporte de fluidos, a transferência de calor, a destilação, a

umidificação, a absorção de gases, a sedimentação, a classificação, a centrifugação, a hidrólise, a digestão, a evaporação, etc.

As complexidades das aplicações de engenharia provem da diversidade das condições, como temperatura, pressão, concentração, pureza, etc., sob as quais as operações unitárias devem ser realizadas nos diversos processos e das limitações e exigências aos materiais de construção e de projeto, impostas pelos aspectos físicos e químicos das substâncias envolvidas.

Todas as operações unitárias estão baseadas em princípios da ciência que são traduzidos nas aplicações industriais em diversos campos de engenharia. O escoamento de fluido, por exemplo, é estudado em mecânica dos fluidos, mas também em engenharia civil e a engenharia sanitária.

Encontram-se, no setor da indústria exemplos de maior parte das operações unitárias em aplicações as mais variadas.

Classificação

As operações unitárias podem ser classificadas de acordo com critérios variados. Podemos, por exemplo, classificá-las em grupos de acordo com a sua finalidade dentro do processo produtivo.

- **Operações preliminares:** São normalmente utilizadas antes de qualquer outra operação. Suas funções estão associadas à preparação do produto para posterior processamento de melhoria das condições sanitárias da matéria prima. Ex. Limpeza, seleção, classificação, eliminação, branqueamento, etc.
- **Operações de conservação:** Entre estas podemos citar a esterilização, a pasteurização, o congelamento, refrigeração, evaporação, secagem, etc.
- **Operações de transformação:** Moagem, mistura, extrusão, emulsificação, etc.
- **Operações de separação:** Filtração, cristalização, sedimentação, centrifugação, prensagem, destilação, absorção, adsorção, desumidificação, precipitação eletrostática, etc. Uma classificação bem

comum e utilizada levando-se em conta o tipo de operação envolvida (operações mecânicas, operações envolvendo transferência de calor e operações envolvendo transferência de massa), a saber:

Operações Mecânicas

1.1 - Operações envolvendo sólidos granulares

- Fragmentação de sólidos;
- Transporte de sólidos;
- Mistura de sólidos;

1.2 - Operações com sistemas sólido-fluido

- Sólidos de solido;
- Peneiramento
- Separação hidráulica (arraste – elutriação)
- Solido de líquidos;
- Decantação
- Flotação (borbulhamento de ar)
- Floculação (sulfato de alumínio)
- Separação centrífuga
 - a. Filtração
 - b. Sólidos de gases
 - c. Centrifugação (para gases - ciclones)
 - d. Filtração (para gases - filtros manga)
 - e. Líquidos de líquidos
- Decantação
- Centrifugação

1.3 - Operações envolvendo sistemas fluidos

- Bombeamento de líquidos;
- Mistura e agitação de líquidos;

Operações com Transferência de Massa

- Destilação
- Extração líquido-líquido
- Absorção de Gases

Operações com Transferência de Calor

- Aquecimento e resfriamento de fluidos
- Evaporação e Cristalização
- Secagem

Revisão – Conceitos Químicos – Métodos de Separação de Misturas

Na química, a separação de misturas é muito importante, pois para obtermos resultados mais corretos em pesquisas e experiências, é necessário que as substâncias utilizadas sejam as mais puras possível. Para isso, utiliza-se vários métodos de separação, que vão desde a "catação" até complicada "destilação fracionada".

Exemplos práticos onde a separação de misturas é aplicada:

- Tratamento de esgotos / Tratamento de água:
O esgoto urbano contém muito lixo "grosso", é necessário separar este lixo do resto da água (ainda suja, por componentes líquidos, que serão extraídos Depois;
- Dessalinização da água do mar:
Em alguns lugares do planeta, a falta de água é tamanha, que é preciso pegar água do mar para utilizar domesticamente. Para isso, as usinas dessalinizadoras utilizam a osmose e membranas semi-permeáveis para purificar a água.
- Destilação da cachaça
- Separação de frutas podres das boas em cooperativas

- Exame de sangue: Separa-se o sangue puro do plasma (líquido que compõe parte do sangue, que ajuda no carregamento de substâncias pelo organismo), através de um processo de sedimentação "acelerada" (o sangue é posto em uma centrífuga, para que a parte pesada do composto se deposite no fundo do recipiente).

Entre várias outras aplicações.

Para facilitar o processo de separação de uma mistura, deve-se observar primeiro a própria mistura.

Ela pode ser de dois tipos: homogênea e heterogênea.

Homogênea significa que as misturas tem um aspecto comum, dando a impressão de que não é uma mistura. Heterogênea é o contrário: nota-se claramente que se trata de duas (ou mais) substâncias, exemplo: água misturada com areia.

Nas misturas homogêneas, deve-se aplicar primeiro métodos que envolvam fenômenos físicos (evaporação, solidificação, etc). Nas heterogêneas, deve-se separar as "fases" (os diferentes aspectos da mistura) utilizando métodos mecânicos (catação, levigação, etc), e depois, os mesmos métodos utilizados em substâncias homogêneas (pois cada fase poderá ter mais de uma substância, passando a ser então, uma substância homogênea).

Abaixo está a lista de métodos utilizados para separação de misturas:

- Magnetismo
- Catação
- Sedimentação
- Decantação
- Filtração
- Dissolução Fracionada
- Fusão Fracionada
- Liquefação Fracionada
- Levigação
- Ventilação
- Peneiração | Tamização

- Destilação Simples
- Destilação Fracionada

Materiais para Equipamentos de Processos

Equipamentos de processos são os equipamentos em indústrias de processamento, que são aquelas nas quais os materiais sólidos ou fluidos sofrem transformações físicas ou químicas ou as que se dedicam à armazenagem, manuseio ou distribuição de fluídos.

Classificam-se em Equipamentos de caldeiraria, Máquinas e Tubulações.

Os equipamentos de processo podem trabalhar em três condições específicas nas indústrias de processamento:

- ✓ Regime contínuo
- ✓ Cadeia contínua
- ✓ Situações de alto risco

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Origem do Sistema Internacional de Medidas

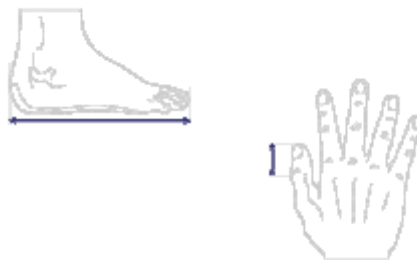
A diversidade de unidades de medição ao que parece não era problemática quando estabelecida para o comércio interno ou regional de um povo ou país.

Muitas dessas unidades antigas, baseadas no corpo humano, mesmo sofrendo modificações permaneceram até recentemente:

A **braça**, originalmente o comprimento entre as extremidades dos braços, equivalia a apenas 22 decímetros e o **palmo** a 22 centímetros, de acordo com tabela de conversão de 1872 (publicada no Rio de Janeiro pela Typographia Apostolo)



O **pé (foot)** no sistema inglês/americano, ainda utilizado em paralelo com o SI, equivale a aproximadamente 33cm e a **polegada (inch)** a 2,5cm.



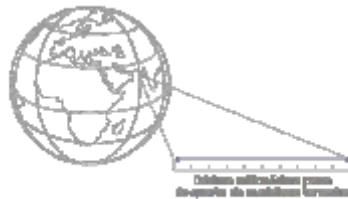
Entretanto quando o comércio envolvia diferentes países, pessoas de uma dada região não estavam familiarizadas com o sistema de medir das outras regiões, e os padrões adotados eram, muitas vezes, subjetivos. As quantidades eram expressas em unidades de medir pouco confiáveis, diferentes umas das outras e que não tinham correspondência entre si.

Em 1789, numa tentativa de resolver esse problema, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciência da França que criasse um sistema de medidas baseado numa "constante natural", ou seja, não arbitrária.

Assim foi criado o **Sistema Métrico Decimal**, constituído inicialmente de três unidades básicas: o **metro**, que deu nome ao sistema, o **litro** e o **quilograma**.

O **metro** foi definido como "**a décima milionésima parte da quarta parte do meridiano terrestre**" (**comprimento do meridiano dividido por 4.000.000**). Para materializar o metro, construiu-se uma barra de platina de secção retangular, com 25,3 mm de espessura e com 1 m de comprimento de lado a lado.

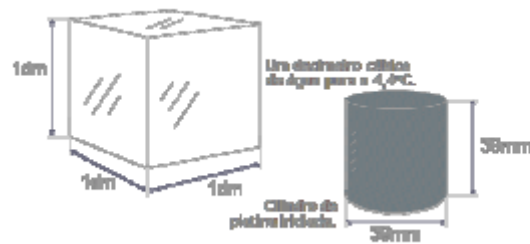
Essa medida materializada, datada de 1799, conhecida como o "**metro do arquivo**" não é mais utilizada como padrão internacional desde a nova definição aprovada pela 17ª Conferência Geral de Pesos e Medidas.



O **litro**, no Sistema Métrico Decimal foi definido como "**o volume de um decímetro cúbico**". Permanece como uma das unidades em uso com o SI, entretanto recomenda-se a utilização da nova unidade de volume definida como o metro cúbico.

Definido para medir a grandeza massa, o **quilograma** passou a ser a "**massa de um decímetro cúbico de água na temperatura de maior massa específica, ou seja, a 4,44°C**".

Para materializá-lo foi construído um cilindro de platina iridiada, com diâmetro e altura iguais a 39 milímetros.



O *Bureau International de Pesos e Medidas*, o BIPM, foi criado pelo artigo 1º da Convenção do Metro, no dia 20 de maio de 1875, com a responsabilidade de estabelecer os fundamentos de um sistema de medições, único e coerente, com abrangência mundial. O sistema métrico decimal, que teve origem na época da Revolução Francesa, tinha por base o metro e o quilograma. Pelos termos da Convenção do Metro, assinada em 1875, os novos protótipos internacionais do metro e do quilograma foram fabricados e formalmente adotados pela primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), em 1889. Este sistema evoluiu ao longo do tempo e inclui, atualmente, sete unidades de base. Em 1960, a 11ª CGPM decidiu que este sistema deveria ser chamado de Sistema Internacional de Unidades, SI (*Système international d'unités*, *SI*). O SI não é estático, mas evolui de modo a acompanhar as crescentes exigências mundiais demandadas pelas medições, em todos os níveis de precisão, em todos os campos da ciência, da tecnologia e das atividades humanas.

As sete **unidades de base** do SI fornecem as referências que permitem definir todas as unidades de medida do Sistema Internacional. Com o progresso da ciência e com o aprimoramento dos métodos de medição, torna-se necessário revisar e aprimorar periodicamente as suas definições. Quanto mais exatas forem as medições, maior deve ser o cuidado para a realização das unidades de medida.

Tabela 1 - As sete unidades de base do SI

| GRANDEZA | UNIDADE | SIMBOLO | DEFINIÇÃO |
|---------------------------|---------|---------|--|
| Comprimento | metro | m | O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 do segundo. Assim, a velocidade da luz no vácuo é exatamente igual a 299 792 458 m/s. |
| Massa | quilo | kg | O quilograma, igual à massa do protótipo internacional do quilograma. Assim, a massa do protótipo internacional do quilograma, m(K), é exatamente igual a 1kg. |
| Tempo | segundo | s | O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondentes à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. Assim, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133, $\nu(\text{hfs Cs})$, é exatamente igual a 9 192 631 770 Hz. |
| Corrente Elétrica | ampere | A | O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria, entre estes condutores, uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento. Assim, a constante magnética, μ_0 , também conhecida como permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a 4×10^{-7} H/m. |
| Temperatura Termodinâmica | kelvin | K | O kelvin é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto triplice da água. Assim, a temperatura do ponto triplice da água é exatamente igual a 273,16 K. |
| Quantidade de Matéria | mol | mol | O mol é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12. Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, ions, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados dessas partículas. Assim, a massa molar do carbono 12, $M(12\text{C})$, é exatamente igual a 12 g/mol. |
| Intensidade Luminosa | candela | cd | A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano. Assim, a eficácia luminosa espectral da radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz é exatamente igual a 683 lm/W. |

Cronologia

1799 – sancionado na França

1862 – adotado no Brasil pela Lei Imperial 1,157 de 26/06

1867 – chegada dos padrões ao Brasil

1875 – criação do BIPM – Deptº. Intal. De pesos e Medidas

1960 – criado o Sistema Internacional de Unidades – SI

1988 – ratificado uso do SI: Resolução CONMETRO 12/88

I.3 – Múltiplos e Submúltiplos

| FATOR | NOME | SIMBOLO | EXEMPLOS | | |
|-----------------|-------|---------|---------------|---------------|---------------|
| 10^9 | giga | G | Gm | Gg | GL |
| 10^6 | mega | M | Mm | Mg | ML |
| 10^3 | quilo | k | Km | Kg | KL |
| 10^2 | hecto | h | hm | hg | hl |
| 10 | deca | da | dam | dag | dal |
| UNIDADES | | | m | g | L |
| 10^{-1} | deci | d | dm | dg | dL |
| 10^{-2} | centi | c | cm | cg | cL |
| 10^{-3} | mili | m | mm | mg | mL |
| 10^{-6} | micro | μ | μm | μg | μL |
| 10^{-9} | nano | n | nm | ng | nL |

I.4 – Como se escrever as unidades do SI

| NOME | SIMBOLO |
|----------------|--------------------|
| quilograma | kg |
| metro | m |
| metro quadrado | m^2 |
| metro cúbico | m^3 |
| litro | L |
| segundo | s |
| volt | V |
| grau Celsius | $^{\circ}\text{C}$ |

NOTAS:

- Para se escrever as unidades do SI por extenso, utilize letras minúsculas em toda a redação exceto:
 - ✓ o grau Celsius

✓ o quando em títulos

- Para plural, acrescentar somente o s (não segue as regras ortográficas do Português) exceto:
 - ✓ o lux – não tem plural
- As unidades do SI **não têm abreviatura**. Elas possuem **símbolos**. Esses símbolos são invariáveis, não possuem plural, nem devem ser escritos como expoentes.
- A simbologia de unidades compostas devem ser escritas totalmente por extenso (ex.: quilômetros por hora) ou utilizando-se adequada e totalmente os símbolos (ex.: km/h).
- Não se esqueça: grama (unidade de massa) é uma **palavra masculina**, portanto, quando necessário, deve ser precedida por um artigo masculino.
- As medidas de tempo devem ser escritas utilizando-se a simbologia correta do SI (ex.: 13h 50min 15s), sem espaços entre os números e os símbolos.
- Para expressar resultados de uma medição, utiliza até um espaço entre o último número e o símbolo da unidade medida (ex.: 0,5 mol/L).
- A forma correta de se pronunciar o nome das unidade do SI é com a sílaba tônica recaindo sobre a **unidade** (ex.: microm**etro**, hectol**itro**, milig**rama**) a exceção de quilô**metro**, hectô**metro**, decâ**metro**, decí**metro**, centí**metro**, milí**metro** que, por serem palavras proparoxítonas, devem ser acentuadas.

I.5 – Unidades Geométricas e Mecânicas

Do "Quadro Geral de Unidades", aprovado pela Resolução do CONMETRO nº 12/88.

| GRANDEZA | NOME | PLURAL DO NOME | SÍMBOLO | DEFINIÇÃO |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|---|
| COMPRIMENTO | metro | metros | m | Metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo. (Unidade de Base ratificada pela 17ª CGPM - 1983.) |
| ÁREA | metro quadrado | metros quadrados | m ² | Área de um quadrado cujo lado tem 1 metro de comprimento. |
| VOLUME | metro cúbico | metros cúbicos | m ³ | Volume de um cubo cuja aresta tem 1 metro de comprimento. |
| MASSA | quilograma | quilogramas | kg | Massa do protótipo internacional do quilograma. (Unidade de Base ratificada pela 3ª CGPM - 1901.) |
| MASSA ESPECÍFICA | quilograma por metro cúbico | quilogramas por metro cúbico | kg/m ³ | Massa específica de um corpo homogêneo, em que um volume igual a 1 metro cúbico contém massa igual a 1 quilograma. |
| FORÇA | newton | newtons | N | Força que comunica à massa de 1 quilograma a aceleração de 1 metro por segundo, por segundo. |
| TEMPO | segundo | segundos | s | Duração de $9\,192\,631\,770$ períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. (Unidade de Base ratificada pela 13ª CGPM - 1967.) |
| VELOCIDADE | metro por segundo | metros por segundo | m/s | Velocidade de um móvel que, em movimento uniforme percorre a distância de 1 metro em 1 segundo. |
| ACELERAÇÃO | metro por segundo, por segundo | metros por segundo, por segundo | m/s ² | Aceleração de um móvel em movimento retilíneo uniformemente variado, cuja velocidade varia de 1 metro por segundo em 1 segundo. |

| | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--|
| ÂNGULO PLANO | radiano | radianos | rad | Ângulo central que subtende um arco de círculo de comprimento igual ao do respectivo raio. |
| ÂNGULO SÓLIDO | esterradiano | esterradianos | sr | Ângulo sólido que tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície uma área igual ao quadrado do raio da esfera. |
| VELOCIDADE ANGULAR | radiano por segundo | radianos por segundo | rad/s | Velocidade angular de um móvel que, em movimento de rotação uniforme, descreve um radiano em 1 segundo. |
| ACELERAÇÃO ANGULAR | radiano por segundo, por segundo | radianos por segundo, por segundo | rad/s ² | Aceleração angular de um móvel em movimento de rotação uniformemente variado, cuja velocidade angular varia de 1 radiano por segundo em 1 segundo. |
| PRESSÃO | pascal | pascals | Pa | Pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1m ² de área, perpendicular à direção da força. (Pascal é também unidade de tensão mecânica.). |
| QUANTIDADE DE MATÉRIA | mol | mols | mol | Quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12. (Unidade de Base ratificada pela 14 ^a CGPM -1971. Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons ou outras partículas, bem como agrupamentos especificados de tais partículas.) |
| FREQUÊNCIA | hertz | hertz | Hz | Frequência de um fenômeno periódico cujo período é de 1 segundo. |

| | | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---|------------|--|
| VAZÃO | metro cúbico por segundo | metros cúbicos por segundo | m^3/s | Vazão de um fluido que, em regime permanente através de uma superfície determinada, escoo o volume de 1 metro cúbico do fluido em 1 segundo. |
| FLUXO DE MASSA | quilograma por segundo | quilogramas por segundo | kg/s | Fluxo de massa de um material que, em regime permanente através de uma superfície determinada, escoo a massa de 1 quilograma do material em 1 segundo. (Esta grandeza é designada pelo nome do material cujo escoamento está sendo considerado - por exemplo, fluxo de vapor.) |
| MOMENTO DE UMA FORÇA, TORQUE | newton-metro | newtons-metros | N.m | Momento de uma força de 1 newton, em relação a um ponto distante 1 metro de sua linha de ação. |
| MOMENTO DE INÉRCIA | quilograma-metro quadrado | quilogramas -metros quadrados | $kg.m^2$ | Momento de inércia, em relação a um eixo de um ponto material de massa igual a 1 quilograma, distante 1 metro do eixo. |
| MOMENTO LINEAR | quilograma-metro por segundo | quilogramas -metros por segundo | $kg.m/s$ | Momento linear de um corpo de massa igual a 1 quilograma que se desloca com velocidade de 1 metro por segundo. (Esta grandeza é também chamada quantidade de movimento linear.) |
| MOMENTO ANGULAR | quilograma-metro quadrado por segundo | quilogramas -metros quadrados por segundo | $kg.m^2/s$ | Momento angular em relação a um eixo, de um corpo que gira em torno desse eixo com velocidade angular uniforme de 1 radiano por segundo, e cujo momento de inércia, em relação ao mesmo eixo, é de um quilograma-metro quadrado. (Esta grandeza é também chamada quantidade de movimento angular.) |

| | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|------------------|---|
| VISCOSIDADE DINÂMICA | pascal-segundo | pascals-segundos | Pa.s | Viscosidade dinâmica de um fluido que se escoar de forma tal que sua velocidade varia de 1 metro por segundo, por metro de afastamento na direção perpendicular ao plano do deslizamento, quando a tensão tangencial ao longo desse plano é constante e igual a 1 pascal. |
| TRABALHO, ENERGIA, QUANTIDADE DE CALOR | joule | joules | J | Trabalho realizado por uma força constante de 1 newton que desloca seu ponto de aplicação de 1 metro na sua direção. |
| POTÊNCIA, QUANTIDADE DE ENERGIA | watt | watts | W | Potência desenvolvida quando se realiza, de maneira contínua e uniforme, o trabalho de 1 joule em 1 segundo. |
| DENSIDADE DE FLUXO DE ENERGIA | watt por metro quadrado | watts por metro quadrado | W/m ² | Densidade de um fluxo de energia uniforme de 1 watt, através de uma superfície plana de um metro quadrado de área, perpendicular à direção de propagação da energia. |

ARMAZENAMENTO

ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS

A necessidade de armazenamento surge por vários motivos:

- Reservar a matéria-prima, sólida ou fluida, recebida do fornecedor, muitas vezes em grandes quantidades;
- Armazenar o produto antes da venda;
- Possivelmente como uma etapa intermediária objetivando dar “fôlego” às outras etapas do processo, tais como transporte, embalagem, entre outras.

Os recipientes que realizam este armazenamento chamam-se tanques, são especificados por normas apesar de serem equipamentos mais simples. O armazenamento de líquidos pode ser realizado, basicamente, em duas condições distintas:

- ✓ Armazenamento de líquidos a temperatura ambiente e pressão atmosférica;
- ✓ Armazenamento de líquidos a temperatura ambiente e pressão acima da atmosférica

ARMAZENAMENTO DE GASES

Os recipientes que realizam este armazenamento chamam-se vasos ou cilindros. Os vasos na maioria das vezes são cilíndricos horizontais ou verticais, dependendo da necessidade.

A forma com a qual o gás pode ser armazenado não depende somente do tipo do gás, mas das condições em que ele se encontra.

Uma das propriedades que mais podem interferir no tipo de armazenamento de gases é a **TEMPERATURA CRÍTICA DO GÁS**, ou seja, a temperatura acima da qual o gás não pode ser liquefeito, pois o gás liquefeito consegue ser armazenado em uma quantidade muito maior em

massa do que no estado gasoso. Desta forma os gases podem ser armazenados nas seguintes condições:

- Armazenamento de gases a temperatura ambiente e alta pressão, sob a forma de gás;
- Armazenamento de gases liquefeitos a temperatura ambiente e alta pressão;
- Armazenamento de gases liquefeitos a temperatura criogênica e alta pressão.

ARMAZENAMENTO DE SÓLIDOS

Armazenamento do material sólido revela algumas características específicas quando se analisa o material granular a granel, são elas:

- Deformação;
- Pressão;
- Cisalhamento;
- Densidade.

No armazenamento de sólidos existem três fatores de influencia a serem considerados.

- O coeficiente de atrito;
- O angulo de queda;
- O angulo de repouso.

O coeficiente de atrito é, por definição, a tangente do angulo de equilíbrio, não depende do peso do corpo, somente dos materiais e do estado das superfícies;

O angulo de queda é o angulo com o qual o corpo começa a cair, considerado o infinitésimo maior que o ângulo de equilíbrio;

O angulo de repouso é o angulo que um corpo particulado forma quando cai livremente sobre o chão ou uma superfície qualquer. O conteúdo da umidade influencia diretamente no valor do angulo de repouso, alterando-o conforme sua intensidade.

Tipos de armazenamento de sólidos

1 Armazenamento em PILHAS

Armazenam-se em pilhas quando a quantidade do material é muito grande, e inviabiliza economicamente a utilização de silos, ou quando o material armazenado não pode ser confinado, pois cujo pó, em presença de ar, forma uma mistura explosiva, exigindo o armazenamento em ambientes abertos;

Amplamente utilizada na indústria de mineração, fertilizantes, etc...

A pilha pode ser cônica, quando a quantidade de material estocado é relativamente pequena, ou prismática quando a quantidade de material é muito grande.



9

1.2 Armazenamento em SILOS

Amplamente utilizada na indústria de grãos, cimentos etc... Os silos são utilizados para volumes menores de material, ou também quando o material é armazenado por sofrerem deterioração – grãos - ou serem sensíveis à umidade-cimentos.

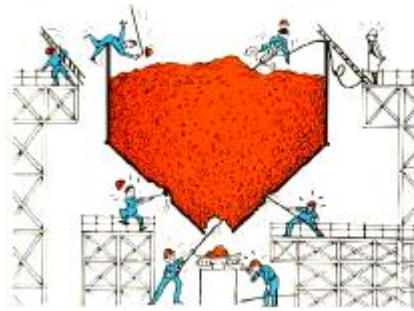
Podem ser feitos de concreto ou de aço, com formato redondo, quadrado ou retangular, depende do critério ou da necessidade do projetista, porém o fundo deve ser cônico ou piramidal.

O ângulo do fundo deve ser MAIOR que o ângulo de queda do material armazenado.



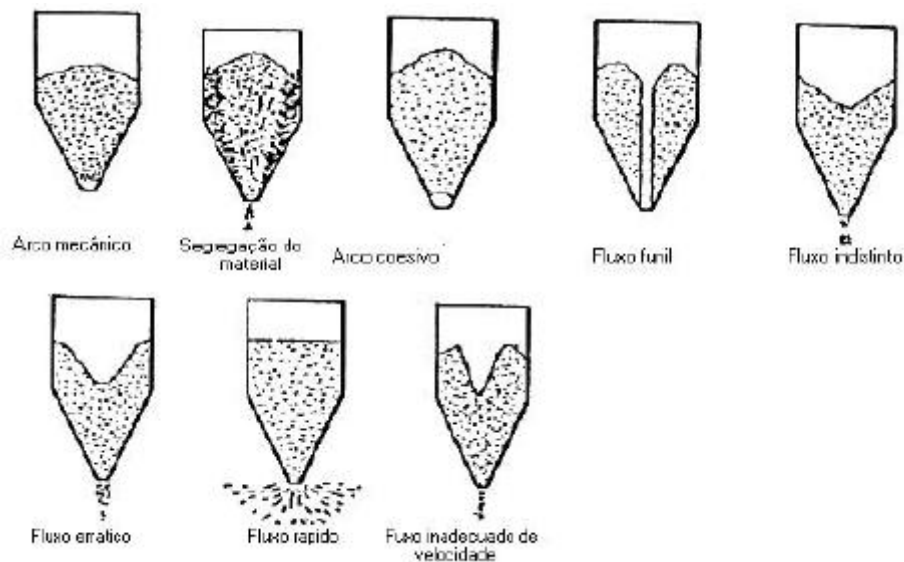
Alguns materiais granulares ou em pó não pode ser armazenados em silos pois formam , em contato com o ar, uma mistura explosiva, que na presença de algum tipo de ignição pode gerar grandes prejuízos, como podem ser constatados nas figuras a seguir:

Problemas de armazenamento em SILOS



Na armazenagem por silos, um dos fatores mais importantes no funcionamento é a escoabilidade do material.

Os principais problemas de escoamento pelos silos são expostos nas figuras a seguir:



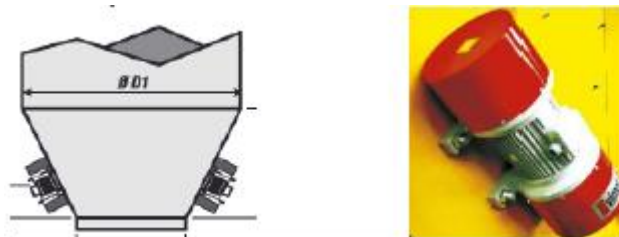
Soluções para problemas de armazenamento em SILOS

Das soluções mais primitivas surgiram métodos de eliminação ou, pelo menos, formas de minimizar os efeitos da falta de escoabilidade dos sólidos armazenados a granel.



Atualmente, a utilização de martelos de borracha, para golpes na parte cônica do silo, ou meios de desestabilizar o material que se aglomerou dentro do silo, ainda são utilizadas com frequência, porém, podem ser substituídos por mecanismos mais precisos, tais como:

- **VIBRADORES:** Utilizados na parte cônica do silo. Consiste em aparelhos que vibram, impedindo a acomodação do material na parede do silo;



- **ATIVADORES DE SILOS:** Utilizados na parte INTERNA cônica do silo com a função de impedir que o material aglomere e forme arcadas impedindo o escoamento. Consiste em um equipamento que obriga o material armazenado a descer pelas paredes do silo



- **FLUIDIFICADORES:** Consiste em injetar ar dentro do silo com a finalidade de fluidificar o sólido, eliminando o atrito com as paredes e entre si



TRANSPORTE DE MATERIAIS

Os transportes industriais abrangem 3 tipos distintos de operações unitárias:

- Transporte de sólidos
- Bombeamento de líquidos
- Movimentação de gases

TRANSPORTE DE SÓLIDOS

Na indústria, o transporte de materiais sólidos pode ocorrer pela movimentação desses sólidos fluidizados (transporte pneumático) ou, quando o material apresenta granulometria grosseira ou é abrasivo para os dutos de transporte, através de dispositivos mecânicos que transportam os sólidos em regime contínuo. O tipo de equipamento a ser utilizado para o transporte de materiais sólidos deve levar em consideração o tipo de material a ser transportado, as distâncias e os desníveis entre o ponto de carga e descarga e a capacidade do equipamento.

Os conhecimentos práticos sobre o transporte de sólidos é de extrema importância, pois representa grande parte dos custos de operação.

Dentre muitos, pode-se citar os seguintes aspectos sobre a importância do transporte de sólidos:

- Grande importância no custo da operação industrial;
- Automação dos processos, substituindo a mão-de-obra humana
- Necessidade de um transporte versátil para os vários tipos de sólidos

Características:

Para caracterizar, ou especificar, o equipamento, leva-se em consideração os seguintes aspectos:

- Capacidade de operação;
 - ✓ nominal;
 - ✓ de pico;

✓ de projeto.

- Distancia e desnível entre carga e descarga;
- Natureza do material transportado;
- Fatores econômicos.

Classificação do equipamento:

Pode-se dividir os transportadores em dois grupos:

- Móveis: são equipamentos que se movimentam juntamente com o material que transportam.
 - ✓ Pás carregadeiras;
 - ✓ Vagonetas ;
 - ✓ Empilhadeiras ;
 - ✓ Caminhões;
 - ✓ Guinchos;
 - ✓ Guindastes;
 - ✓ etc....
- Fixos: sua posição permanece fixa durante o tempo, embora possam possuir partes móveis.
 - ✓ Carregadores;
 - ✓ Arrastadores;
 - ✓ Elevadores;
 - ✓ Alimentadores;
 - ✓ Pneumáticos;

Especificação do equipamento:

Na indústria, a seleção e o dimensionamento do equipamento a ser utilizado dependem de muitos fatores, sendo que os mais importantes são:

- ✓ Capacidade: está diretamente relacionada ao desembarque do material na planta, seu armazenamento e o tipo de embalagem. Além disso, deve-se levar em consideração o fluxo do processo e a capacidade de produção da planta.

- ✓ Distância e desnível entre carga e descarga: são fatores que influenciam diretamente a construção do equipamento de transporte.
- ✓ Natureza do material a ser transportado: toda a construção do equipamento é afetada pelo tipo de material transportado, uma vez que o mesmo permanece, muitas vezes, em contato direto com o transportador. Além disso, o material também pode sofrer alterações pelas condições de armazenamento, variações de temperatura e umidade, métodos de descarga.
- ✓ Fatores econômicos: o custo de um equipamento é influenciado pela qualidade e tipo dos seus componentes. O tipo de equipamento transportador a ser utilizado deve ser condizente com a capacidade financeira da empresa.

Dispositivos Carregadores

São dispositivos que transportam o material sólido sobre superfícies, dentro de tubulações ou em recipientes de um ponto a outro dentro de uma planta industrial.

Para materiais sólidos na forma de peças grandes, pode-se utilizar cabos e correntes para suspendê-los.

Os equipamentos carregadores são destinados a carregar de forma contínua o sólido granular de um ponto a outro dentro da fábrica, os mais comuns são:

- Correia
 - ✓ Esteira
 - ✓ Corrente
 - ✓ Caçamba
- Vibratório
- Por gravidade

Tipos de transportadores de sólidos

1. TRANSPORTADOR DE CORREIA

Os transportadores de correia são muito utilizados para o transporte de materiais sólidos dentro da indústria devido ao seu baixo custo, construção compacta e excelente desempenho funcional.

São compostos de uma correia sem fim que trabalha sob o efeito da força de atrito. A correia é estendida entre dois tambores (motriz e retorno). Sua estrutura é constituída de perfis laminados de aço e roletes justapostos, sobre os quais a correia desliza, com baixo coeficiente de atrito, possibilitando o transporte de cargas pesadas, com baixo consumo de energia. O sistema é acionado por um motor elétrico e a transmissão é realizada através de polias e correias.

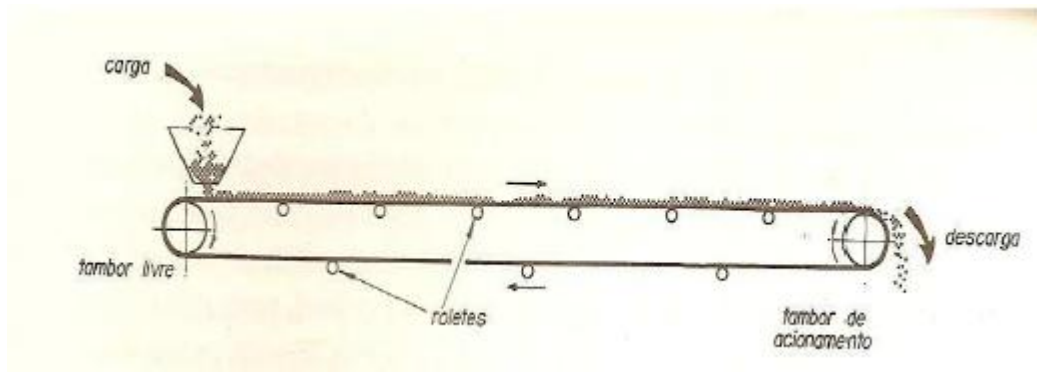


Esses transportadores podem ser horizontais ou inclinados e de comprimentos variados. Podem operar por longas distâncias, com velocidades de até 5 m/s e transportar, no máximo, 5 t/h. Podem também operar em distâncias curtas, com velocidades baixas, permitindo a manipulação individual dos material transportados.

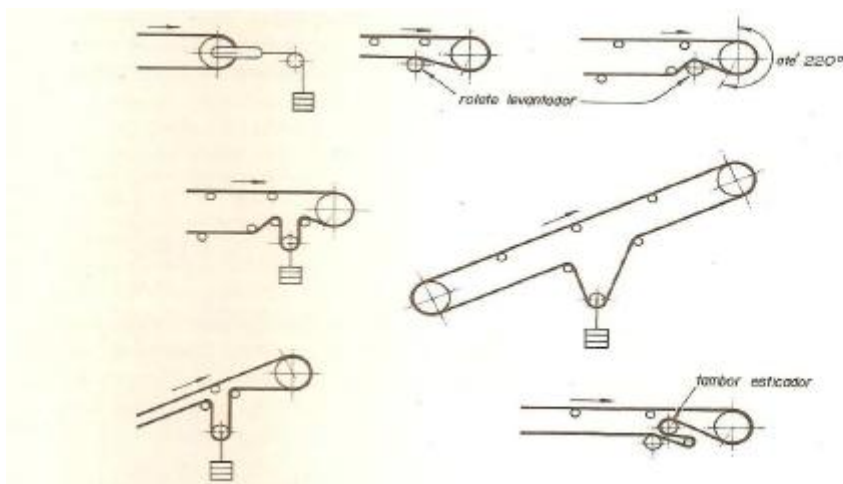
Operam, normalmente, a temperaturas entre 30 e 60°C, mas, com tratamentos especiais, como a adição de amianto ou anti-congelantes, essa faixa pode ser ampliada de -50 a 100°C.



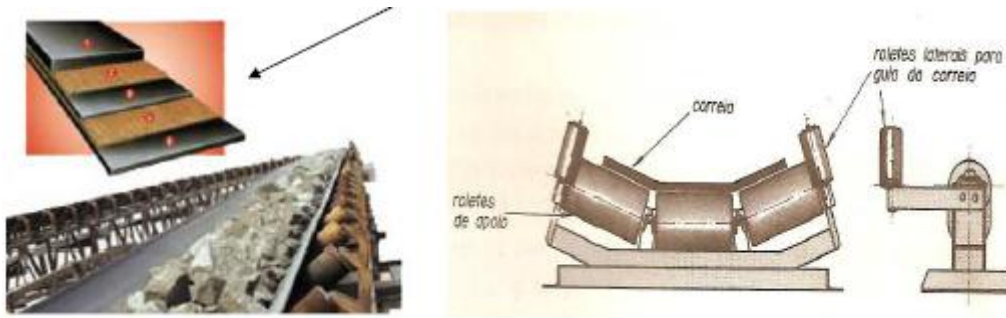
A figura a seguir representa esquematicamente um transportador de correia:



Roletes: são conjuntos de rolos, geralmente cilíndricos, e seus respectivos suportes. Estes rolos podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guiá-la na direção de trabalho. Os roletes de cada seção podem ser horizontais ou possuir os dois extremos inclinados mantendo a correia côncava formando uma calha transportadora.



Correias: fabricadas numa grande variedade de materiais, como couro, nylon, poliéster, polietileno, PVC, amianto, algodão, mas comumente são de borracha com reforço de lona ou fios metálicos. A espessura e o material a ser empregado dependem do material a ser transportado, da largura e da tensão aplicada. São consideradas material composto, isto é, são constituídas de três partes principais – carcaça (elemento de força e resistência, suporta tensões, flexões e toda a variedade de esforços), borracha de ligação (situada entre a lona da correia e a cobertura, proporcionando a amortecimento da carga) e cobertura (material que fica diretamente em contato com o sólido transportado; pode ser lisa ou apresentar ranhuras).



A largura da correia interfere diretamente na resistência, portanto quanto maior for a largura, maior deve ser a espessura da correia e o número de lonas.

Tabela 1-Número de lonas em função da largura.

| Largura (polegadas) | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 60 | 80 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| Número de lonas | 3-4 | 4-5 | 4-7 | 5-8 | 6-9 | 6-10 | 7-12 | 8-12 | 9-14 |

Fonte: GOMIDE, 1983.



Figura 1-Esteiras com diferentes números de lonas.

As correias transportadoras, sendo um material composto, são constituídas de três partes principais: carcaça, borracha de ligação e cobertura (BLUM, 2008).

Carcaça é o elemento de força da correia, pois é dela que depende a resistência para suportar as tensões, flexões e toda variedade de esforços, (Figura 2a). As fibras têxteis sintéticas como o nylon e poliéster são os elementos mais utilizados na fabricação dos tecidos (lonas) integrantes da carcaça. O tecido é composto por dois tipos de cabos urdume e trama conforme ilustrado na Figura 3. O urdume, responsável pelo corpo de força, é disposto longitudinalmente. A trama efetua a amarração do urdume, cruzando-o e provendo o tecido de resistência transversal (BLUM, 2008).

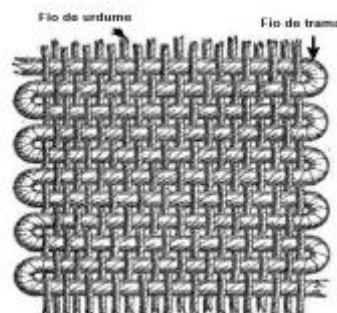


Figura 3-Urdume e trama.

A borracha de ligação: situada entre as lonas da correia, proporcionando o amortecimento da carga conforme ilustrado na Figura 2b e a cobertura protege a carcaça contra o material transportado (Figura 2c). As correias podem ter suas coberturas lisas ou não lisas conforme observado na Figura 4. As correias com coberturas lisas atendem ao transporte do material em plano horizontal e podem também operar em plano inclinado, contanto que não ultrapassem os ângulos especificados pelos fabricantes. As com correias com coberturas não lisas são utilizadas no transporte de produtos em inclinações que podem atingir até 45°, motivo pelo qual são fabricados em vários relevos (BLUM, 2008).



Figura 4-Diferentes tipos de coberturas.

Tambores: são importante para a transmissão de potência, realização de dobras, desvios e retorno da correia. Podem ser classificados de acordo com a função exercida no dispositivo transportador:

- Acionamento: transmite o torque e pode ser localizado na cabeceira, no centro ou no retorno.
- Retorno: efetua o retorno da correia a sua posição inicial e, em alguns dispositivos, são responsáveis também pelo tensionamento da correia. Localizam-se na extremidade oposta ao terminal de descarga.
- Esticador: utilizado para manter a tensão ideal para o funcionamento do transportador.
- Encosto: utilizado para aumentar o ângulo de contato com o tambor de acionamento.



Figura 5-Tambores (a) de acionamento, (b) de retorno.

Conjunto de alimentação: o dispositivo de alimentação pode ser de chute. Estes são também conhecidos como bica de descarga, na qual é um dispositivo afunilado destinado a receber o material transportado e dirigi-lo convenientemente à correia transportadora de modo a carregá-la equilibradamente e sem transbordamento da carga. Podem ser encontrados em várias configurações como o chute com caixa de pedra; chute telescópico; chute com comporta regulável; chute para transferência de material fino. Para instalações mais simplificadas podem ser utilizadas calhas para transferência de material entre os transportadores.

Conjunto de descarga: o meio mais comum de descarga do material da correia é através do tambor de cabeça, derrubando e empilhando-o no local pré-determinado. Porém se no terminal de descarga for instalado um chute adequado o material poderá ser estocado em silos laterais ao sistema ou então transferi-lo para outra correia a fim de ser estocado em outra área. Quando o projeto visa descarregar o material em diversos locais ao longo do sistema transportador é recomendável o uso de *trippers* ou desviadores. Os desviadores simples são fabricados com chapas ou barras em formatos variados (normais ou em “V”) e que agem sobre a correia provocando a saída lateral de todo o material transportado ou de apenas uma parte dele. Podem ser fixos na estrutura do transportador ou montados em dispositivos giratórios, dando uma característica retrátil ao desviador. *Tripper* é um dispositivo móvel instalado sobre trilhos que, provocando uma modificação no deslocamento da correia, consegue efetuar descargas do material transportado em qualquer ponto intermediário lateral do transportador. São utilizados em casos onde a descarga do material, deve ser feita em pontos diferentes ou ao longo de todo o percurso de transporte, podendo ser encontrados *trippers* manuais e motorizados.

Conjunto de acionamento: acoplado aos tambores motrizes, tem a função de promover a movimentação do transportador e o controle de sua velocidade de trabalho. São constituídos de um motor elétrico, acoplamentos hidráulicos (para potências superiores a 75HP), tambores, dispositivos de segurança e uma transmissão (reductor) e são projetados de acordo com o tipo de transporte e a potência transmitida. Podem ser instalados em três posições: na cabeceira do transportador, no centro e no retorno. Para o seu dimensionamento deve ser analisados o perfil do transportador, o espaço disponível para sua instalação e operação, a potência transmitida, o sentido da correia e as tensões que nela atuam.

Dimensionamento

O dimensionamento de uma correia transportadora pode começar com a investigação do material a que será transportado. A massa específica aparente é um fator importante e precisa ter um valor confiável. Às vezes, um valor tabelado não é confiável porque muitas operações podem afogar ou compactar as substâncias. É importante levar em consideração o tamanho e pedaços das partículas.

O projeto dos transportadores de correia envolve a verificação e o cálculo dos seguintes itens: inclinação máxima, velocidade de transporte do sólido, largura da correia, potência consumida.

2. TRANSPORTADORES DE ESTEIRAS

Este transportador é uma variação do transportador de correia aplicável ao transporte pesado de materiais quentes ou muito abrasivos, ou ainda quando se deseja percursos diferentes. A esteira é geralmente metálica e construída com bandejas ou caçambas fixadas numa correia ou corrente.

As esteiras mais simples são de madeira e prestam-se principalmente para o transporte de fardos. Muitas vezes a construção é reforçada para atender as necessidades dos transportes pesados a pequenas distâncias. Algumas vezes são utilizados como alimentadores de outros transportadores. Operam em baixas velocidades variando entre 5 a 10 m/mm.

Alguns tipos de esteira apresentam a parte horizontal da esteira rebaixada (côncava) para aumentar a capacidade. Se a profundidade do rebaixo for grande, resultará um transportador de canecas horizontais.

Há uma grande variedade de articulações padronizadas para a esteira, o que torna este tipo de transportador atraente pela rapidez de construção e economia em relação ao de correia. A manutenção é mais rápida e a energia consumida é menor que a dos dispositivos carregadores equivalentes que são os transportadores de calha.

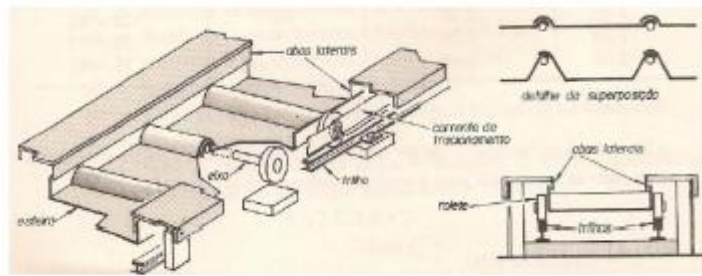


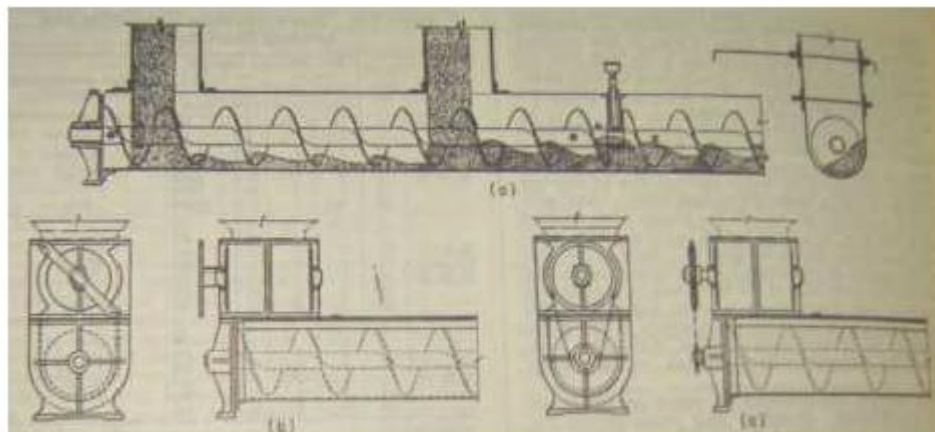
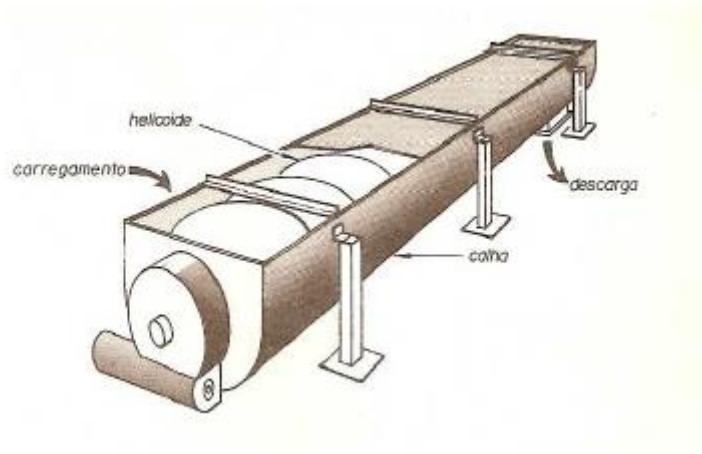
Figura 6: Tipos de esteiras

A esteira transportadora pode ter seções diferentes, em função da disposição dos rolos de sustentação, que podem ser escolhidas com base no material a ser transportado. A estrutura é constituída por um corpo com elementos modulares feitos em chapa modelada com nervuras de enrijecimento na qual são fixados os rolos de sustentação do anel. Geralmente, o anel é realizado com lonas sintéticas revestidas com borracha lisa sendo possível também a montagem de outros tipos de anéis. É uma opção de transporte em vários setores industriais, possibilitando o carregamento de muitos produtos bem como na área metalúrgica, farmacêutica, automobilística, frigorífica, eletrônica e alimentícia em geral. Para identificar qual o tipo de esteira adequado será preciso considerar o fluxo e tipo de material a ser transportado, bem como, quantidade, peso, tamanho, umidade, corrosão, temperaturas, banhos químicos e térmicos.

3. TRANSPORTADOR DE ROSCA (HELICOIDAL)

Consiste em uma calha semi-cilíndrica dentro da qual gira um eixo com uma helicóide. Além do transporte propriamente dito, este transportador pode ser utilizados para algumas outras operações, tais como mistura, resfriamento, extração, moagem entre outros;

São adaptáveis a uma ampla gama de processos operacionais, facilmente isolados do ambiente externo podendo trabalhar com atmosfera, pressão ou temperatura controladas;



4. TRANSPORTADOR DE ELEVADOR DE CACAMBAS

É empregado para grandes distâncias.

O material 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 (Figura 27). As caçambas podem ser confeccionadas em diversos materiais entre eles o Inox 316, Nylon reforçado, o poliuretano entre outros. Na Tabela 09 encontra-se um guia para selecionar o material da caçamba.

A descarga é feita pela inversão das caçambas. A movimentação também pode ser realizada à custa de correntes. Os tipos mais simples, com caçambas suspensas diretamente em roldanas que deslizam em cabos de aço, são comuns no transporte de minérios a longa distância ou de materiais que devem ser submetidos a operações sucessivas realizadas em diversos equipamentos. O material é submetido ao processamento sem sair da caçamba (GOMIDE, 1983).

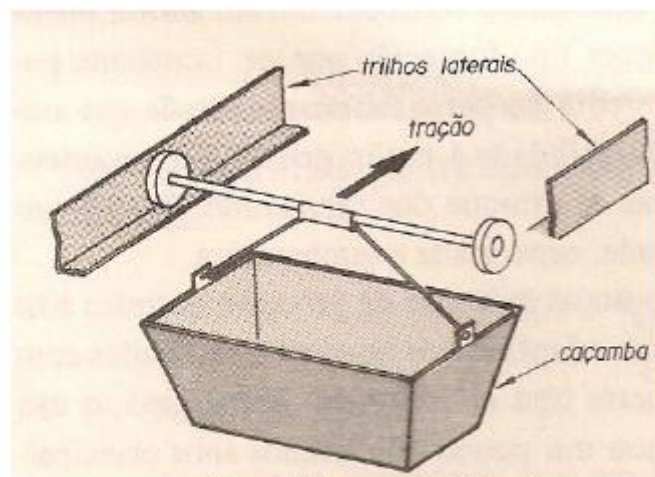


Figura 27 - Transportador de Caçamba

Fonte: GOMIDE, 1983.

Um tipo muito comum é simultaneamente transportador e elevador.

Transportador Elevador de Caçambas

É realizado predominantemente para transportes verticais, o transportador-elevador consiste em transportar o sólido suportado por caçambas, ou canecas, fixadas em correias verticais ou em correntes que se movimentam entre uma polia superior (normalmente motora) e outra inferior que gira livremente conforme ilustrado na Figura 28. As caçambas podem bascular num eixo cujas extremidades são presas em correntes laterais. Há superposição das caçambas durante a elevação, mas não há interferência durante o retorno graças a extensões apropriadas dos elos das correntes (Figura 28).

No ponto de descarga uma alavanca inclina as caçambas de 130°. São dispositivos de baixa velocidade (até 20 *m/min.*). Capacidades típicas encontram-se na Tabela 09 para material de densidade 0,8t m³

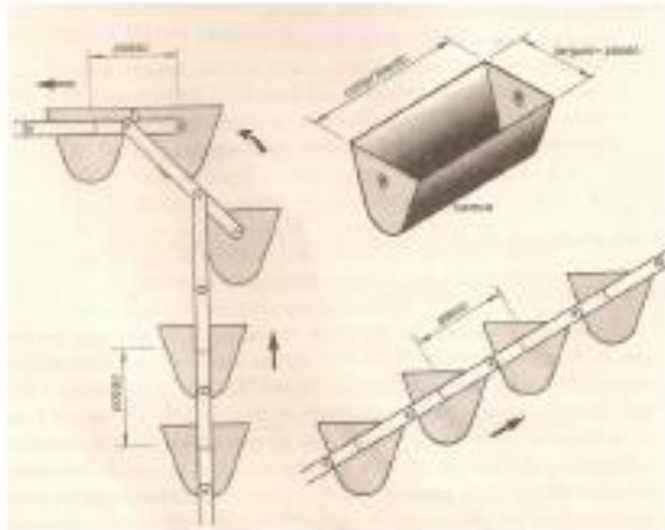
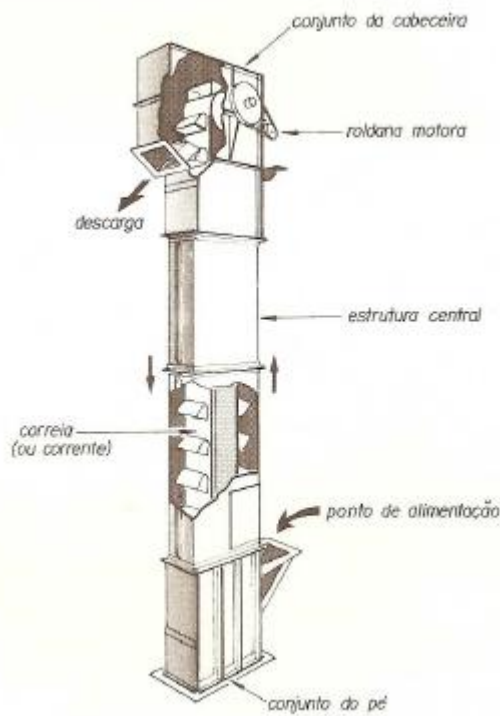
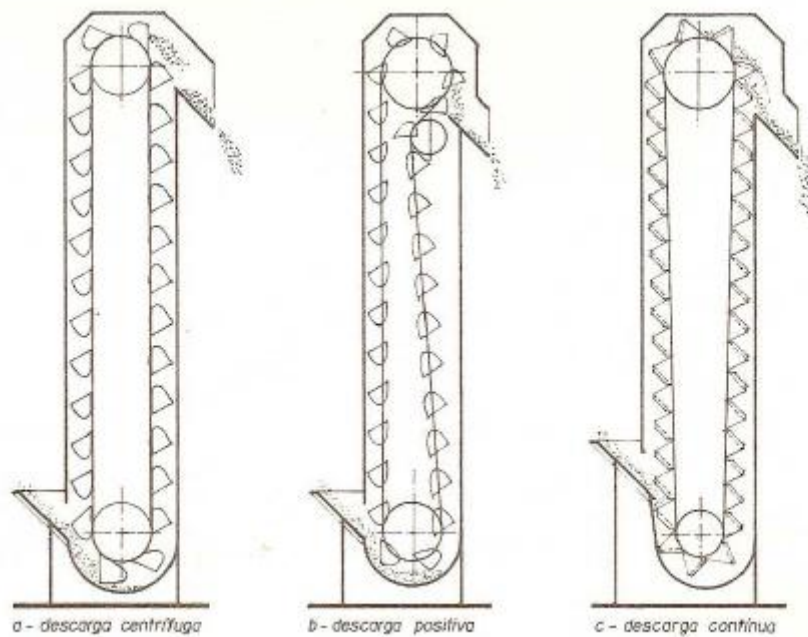


Figura 8: Transportador elevador de caçambas.



Normalmente são equipamentos estanques, confinados em carenagens de aço ou outro material adequado, que impede a perda de materiais para o ambiente.

O descarregamento pode ser realizado de vários modos, sendo as formas mais comuns :



ONDE:

a - Elevação com descarga centrífuga:

- Mais comum;
- Destinado ao transporte de grãos, areia, produtos químicos secos;

b - Elevação com descarga positiva:

- Destinado a materiais que tendem a se compactar;
- Velocidade de transporte e baixa;

c- Elevação contínua:

- A descarga é delicada para evitar degradação excessiva do produto;
- Normalmente usada para materiais difíceis de se trabalhar com descarga contínua;
- Trabalha com materiais finamente pulverizados;

5. TRANSPORTADORES POR GRAVIDADE

É o mais simples dos dispositivos para realizar o transporte de sólidos. É utilizado em processos onde a relação custo-benefício não justifica a colocação de um acionamento motorizado. São implantados visando à agilidade do processo e principalmente a condição ergonômica dos operadores.



Figura 10: Transportadores por gravidade de rolos livres (catálogo Tekroll)

O sólido escoá por gravidade sobre um plano inclinado em relação à horizontal com um ângulo superior ao do repouso do material. O transportador por gravidade pode ser de roletes ou roldanas ou utilizar calhas ou dutos inclinados por onde o sólido escoe livremente. O ângulo de inclinação determinará a velocidade de escoamento das partículas. Quanto maior o ângulo de inclinação, mais as partículas acelerarão durante o transporte podendo haver queda excessiva das partículas. O recurso é reduzir a inclinação, colocar barras transversais para retardar o movimento das partículas ou introduzir curvas no transportador, como por exemplo, um transportador que se desenvolve em espiral em torno de uma coluna central. Em geral, os transportadores por gravidade podem ser utilizados em outras atividades, tais como: seleção, estocagem temporária, pesagem, inspeção ou preparação de lotes para expedição. Comumente utilizados para cargas pequenas e médias, que apresentem superfície plana e rígida. Os do tipo portátil podem ser usados para carga e descarga de caminhões (podendo até mesmo ser levados por eles) ou para dar maior flexibilidade a uma linha.

Uma variante comum de transportador por gravidade que se aplica ao transporte de caixas, fardos e latas é o chamado transportador de rolos livres. Uma esteira contínua é formada por uma sucessão de rolos de madeira ou de metal que giram sobre mancais fixos em duas guias laterais. São projetadas para suportar uma carga estática de 1150 a 1500N/m. Os rolos são fabricados em aço, zincados, possuem rolamentos internos e estão equipados com veios facetados.

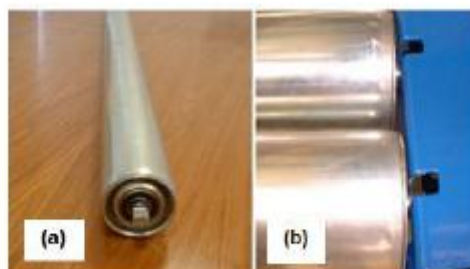


Figura 30-(a) rolos de 80 mm e (b) ranhuras.

O transportador por gravidade ativado a ar eficientemente combina a ação da gravidade com alta/baixa pressão para fluidizar e transportar muitos materiais secos, granulados e pós.

Seu funcionamento baseia-se em câmaras superiores e inferiores separadas por uma membrana fluidizadora conforme observada na Figura 34. O ar com baixa pressão é introduzido na câmara inferior permeando através dos poros extremamente finos e uniformes da membrana para a câmara superior. O ângulo de inclinação, mais o ar a baixa pressão atuando como lubrificante, reduzem o coeficiente de atrito, aproveitando a gravidade para mover o material no sentido da inclinação, até a distância necessária. Desta forma, um material pode fluir como água numa inclinação de 10° com excelente eficiência e confiabilidade.

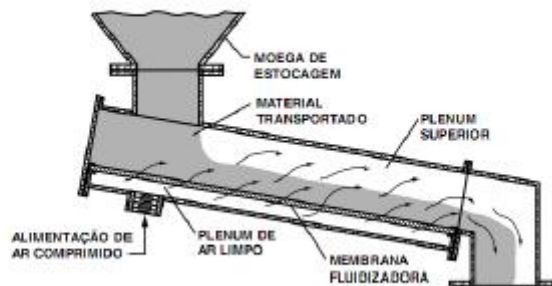


Figura 34-Esquema de um transportador por gravidade ativado a ar.

A membrana fluidizadora é construída em poliéster extremamente resistente e tolerante a umidade, oferecendo grande durabilidade. Dependendo da aplicação pode ser utilizado ar comprimido a alta pressão, sopradores ou ventiladores como fonte de energia. Esse transportador pode ser usado para transferir materiais desde silos, vagões e múltiplas descargas ou para alimentação de moegas mesmo a longas distâncias. A Figura 35 apresenta uma aplicação típica para este transportador.

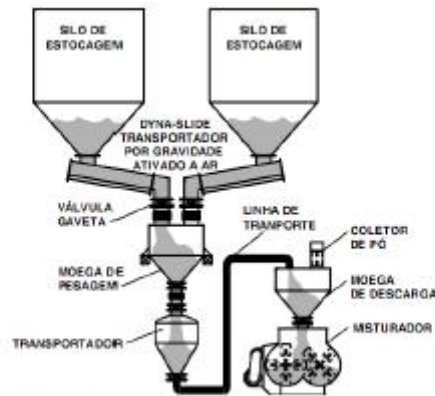


Figura 35-Aplicação típica do transportador por gravidade ativado a ar.

Transportadores de Corrente

Os transportadores de corrente são equipamentos construídos em estruturas metálicas rígidas, são muito versáteis no uso, pois são montados com elos padronizados de correntes que são encaixados uns nos outros e presos com pinos ou cavilhas. Normalmente são fabricadas em aço inox, aço carbono ou alumínio. Sua durabilidade é muito grande e a manutenção é simples e econômica porque os elos são peças de estoque dos fabricantes. O transportador de corrente apresenta sistema de construção que facilita a remoção do conjunto transportador, quando assim for desejado, em caso de reestruturação do equipamento. Sendo assim, são vantajosos comparativamente a outros transportadores, pois, são totalmente desmontáveis e facilmente substituíveis. São constituídos por módulos (peças que se ligam formando a fita que suporta o material transportado) que podem ter taliscas (serão abordadas adiante) ou outros tipos de indexadores anexados a ela conforme observado na Figura 36. Esse tipo de transportador pode ter diversos acessórios, tais como: sensores de parada, stoppers, elevadores pneumáticos, sistema de giro, desviadores e podem estar integrados a processos de etiquetagem, prensagem, parafusadeiras, inspeção (códigos de barras) e até pesagem e lavagem. A estrutura modular consente a personalização com custos mínimos de design.

O principal material utilizado em módulos é o acetal. O acetal é um material muito resistente. É um plástico de engenharia com excepcional estabilidade dimensional e excelente resistência ao escoamento, à fadiga por vibrações, à umidade, ao calor e aos solventes, baixo coeficiente de atrito, elevada resistência à abrasão e agentes químicos, que mantém suas propriedades quando imerso em água quente e que possui baixa tendência à ruptura por fadiga. As correntes dos transportadores são úteis para carga e descarga de granéis sólidos, transporte

horizontal e descarga de silos, armazéns graneleiros, indústrias de esmagamento, fábricas de alimentos balanceados, moegas, máquinas de limpeza, secadores, fábricas de bebidas. Na indústria de automobilística e automação as correntes são utilizadas com plataformas/taliscas para movimentação em diversas áreas: cabine de pintura, teste hídrico, inspeção final e montagem. Nas siderúrgicas as correntes dão movimentação nas áreas de sinterização, transportadores de bobinas e placas, resíduos de cavacos e sobras, transmissão pesada. Na indústria de papel, celulose e aglomerados transportam a mesa alimentadora de toras, transportam cavacos, raspadoras de resíduos, caldeiras e são forjadas para serviço de arraste nas linhas de cinza úmida e/ou branqueamento. Na indústria de cimento, fertilizante e mineração as correntes são usadas para elevadores de canecas, transportadores de clínquer, retomadores e equipamentos alimentadores. Nas indústrias sucroalcooleira e de suco as correntes (estampadas, forjadas e fundidas) são usadas para o arraste, transportadora, elevação e transmissão. Além disso, deve-se destacar que este equipamento acelera o ritmo de trabalho e racionaliza o processo operacional, possibilitando carga e descarga em qualquer ponto de seu traçado. As especificações do tipo de material do módulo dependerão das características das partículas transportadas sobre ela, isto é, abrasividade, tamanho, fluidez e outras condições especiais. Na Figura 37 é apresentado um modelo de corrente de transmissão utilizada como transportadora.

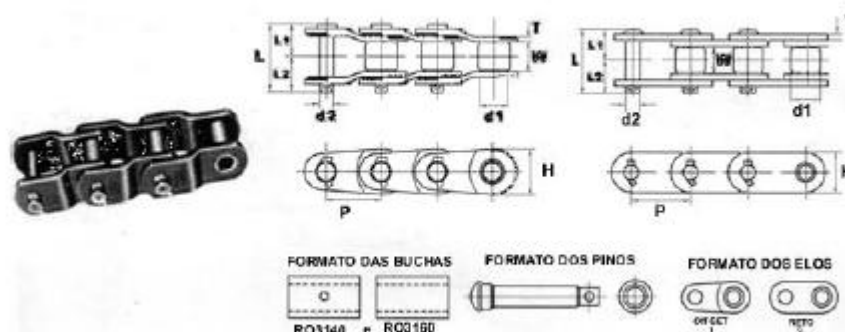


Figura 37-Modelo de corrente de transmissão.

Sistema modular de transporte reto com largura de $82,5 \text{ mm}$ e passo modular de $38,1 \text{ mm}$. A montagem se dá pela união dos módulos injetados em acetal, adaptada para ambientes com temperatura variando de -45°C à 90°C . Ideal para indústria de bebidas, máquinas empacotadoras e embaladoras conforme observado na Figura 38.

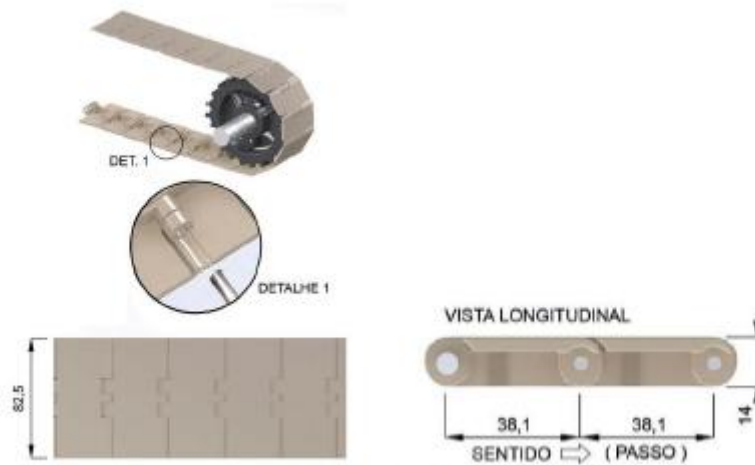


Figura 38 - Detalhe do módulo de acetal aplicado em percurso reto.

Outro tipo de sistema modular disponível serve para o transporte em percurso reto e curvo. Também feito em acetal suporta as temperaturas de -45°C e 90°C . Possui passo modular de $38,1\text{ mm}$ e largura de $190,5\text{ mm}$, suporta peso de $2,5\text{ kg/m}$ conforme observado na Figura 39. Esse sistema de correntes unifilares também é ideal para indústria de engarramento, máquinas empacadoras e embaladoras.

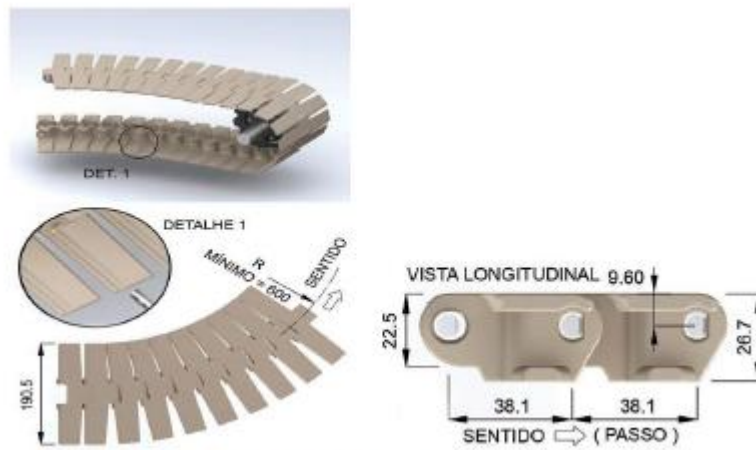


Figura 39 – Detalhe do módulo de acetal aplicado em percurso curvo.



Figura 40-Transportador de corrente (a) com percurso curvo e (b) com curva de 90° .

Transportador vibratório

A maioria dos transportadores oscilatórios é, em essência, uma unidade de impulso dirigido, constituída por um tabuleiro horizontal suportado por molas, posto a vibrar por um braço excêntrico que lhe é ligado diretamente conforme ilustrado na Figura 41. O movimento atribuído às partículas pode variar, mas o objetivo será sempre o mesmo: lançá-las para cima e para frente, avançando no transportador com a seqüência de pequenos saltos.

A classificação dos transportadores vibratórios, baseada nas características da unidade motriz, é mostrada na Figura 42. Em geral, os transportadores vibratórios não se adaptam bem a modificações de capacidade, pois operam numa freqüência particular.

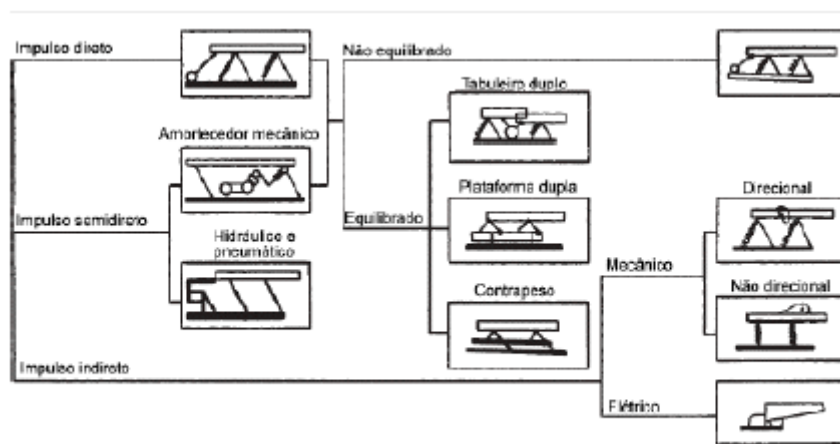
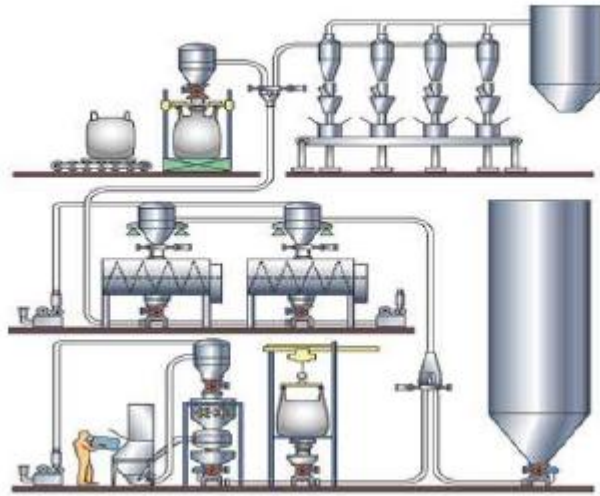


Figura 42-Classificação de transportadores vibratórios (Modern Materials Handling).

A capacidade cobre amplo domínio, de alguns quilogramas a milhares de toneladas. As variáveis que afetam seu desempenho são muitas de modo que não há método simples para estimar sua capacidade e potência necessária. Os dados existentes são oriundos da experiência e de equações empíricas. A Figura 43 mostra uma unidade típica com transmissão a feixe de mola, juntamente com a informação gráfica necessária para selecionar um modelo padrão. O comprimento da esteira vibratória pode chegar a 60 m quando existem várias unidades motrizes, ou até 30 m com uma só unidade. Projetos especiais permitem que o transportador vibratório possa ser usado para elevação, com inclinação relativamente forte.

TRANSPORTE PNEUMÁTICO

Consiste em movimentar um produto sólidos no interior de uma tubulação estanque através de uma corrente de sopro ou exaustão, usando ar ou outro gás como fluido transportador.



O transportador pneumático é um equipamento utilizado em larga escala na indústria para movimentação e elevação de sólidos granulados através das mais variadas distâncias e tipos de trajeto.

O sistema de transporte pneumático é constituído basicamente por:

- Tubulação por onde circulam os sólidos e o fluido transportado;
- Um soprador e/ou bomba de vácuo;
- Um alimentador de sólidos e;
- Um separador de fluido e sólidos na parte terminal tais como:
 - ✓ Ciclones;
 - ✓ Filtros de limpeza por ar comprimido ou contra-corrente;
 - ✓ Ou até mesmo descarga direta em silo ou depósito;

A utilização da movimentação do ar para a movimentação de materiais representa vantagens a este processo se comparado à movimentação mecânica (elevador, transportador helicoidal, etc.); pois oferece maior segurança ao produto uma vez que o mesmo é transportado por meio de tubulações, onde o ar como fluido possibilita o seu escoamento até o local desejado.

Ele se torna útil para transportar sólidos para locais de uma planta de processo, difíceis ou economicamente inviáveis de serem alcançadas por transportadores mecânicos.

Usam tanto pressão positiva como negativa, para empurrar ou puxar, respectivamente, os materiais através da linha de transporte, em velocidades relativamente altas;

O transporte pneumático pode ser usado para partículas que variam de pós a pellets e densidades de 16 a 3200 Kg/m³;

Alguns materiais que podem ser manipulados pelos sistemas de Transporte Pneumático:

- Açúcar;
- Amendoim;
- Argila em Esferas;
- Cal virgem e Hidratada;
- Caulim;
- Cimento;
- Farinha;
- Finos de Carvão;
- Granulados de Aço;
- Leite em Pó;
- Óxido de Ferro;
- Sal;
- Soda;
- Vidro; entre outros...

Vantagens e desvantagens do transporte pneumático considerando outros tipos de sistemas de transporte:

- Vantagens:
 - ✓ Sistema totalmente hermético: minimiza o problema de controle de emissão de particulados;
 - ✓ Eficiente em consumo de energia e mão-de-obra;
 - ✓ Confiável devido às poucas partes móveis e menor desgaste do sistema;
 - ✓ Flexível, permitindo instalações de sistemas completos em espaços bem reduzidos;

- Desvantagens:
 - ✓ Alto custo de instalação;
 - ✓ Não pode transportar a longas distâncias;
 - ✓ Limitação da distância no transporte de materiais frágeis.
 - ✓ No transporte de materiais potencialmente explosivos, deve-se usar um gás inerte no lugar do ar e evitar fontes de ignição no interior da linha de transporte, aumentando os custos;

Pode possuir várias sub-divisões e classificações conforme sua competência e aplicações:

- Fase fluida ou convencional
- Fase densa
- Sistema direto
- Sistema indireto

TRANSPORTE DE LÍQUIDOS

A diferença fundamental entre um material sólido e um fluido está relacionada com a estrutura molecular. Enquanto nos **materiais sólidos**, as moléculas sofrem forte força de atração (estão muito próximas umas das outras) o que garante que o sólido tem um formato próprio, os **materiais fluidos** apresentam as moléculas com um certo grau de liberdade de movimento (força de atração pequena) e não apresentam um formato próprio.

Os fluidos também são divididos em **líquidos** e **gases**. Líquidos formam uma superfície livre, isto é, quando em repouso apresentam uma superfície estacionária não determinada pelo recipiente que contém o líquido. Os gases apresentam a propriedade de se expandirem livremente quando não confinados (ou contidos) por um recipiente, não formando uma superfície livre.

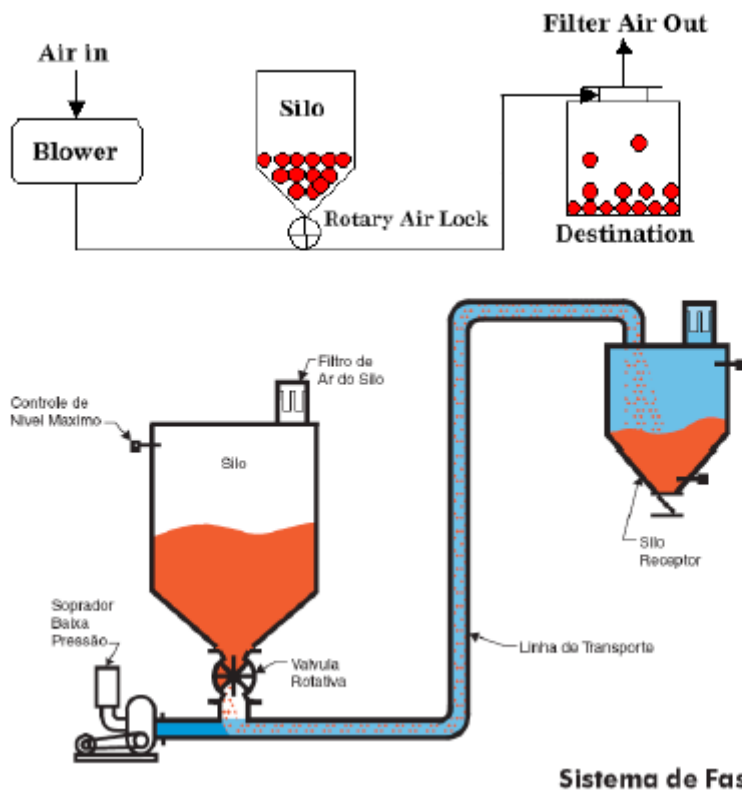
A superfície livre característica dos líquidos é uma propriedade da presença de tensão interna e atração/repulsão entre as moléculas do fluido, bem como da relação entre as tensões internas do líquido com o fluido ou sólido que o limita. A pressão capilar está associada com esta relação.

Um fluido que apresenta resistência à redução de volume próprio é denominado **fluido incompressível**, enquanto o fluido que responde com uma redução de seu

volume próprio ao ser submetido a ação de uma força é denominado **fluido compressível**.

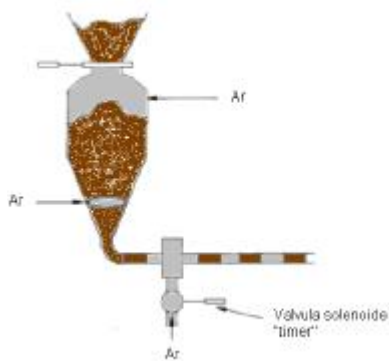
A distinção entre sólidos e fluidos não é tão óbvia quanto parece. A distinção é feita pela comparação da viscosidade da matéria: por exemplo, asfalto, mel, lama são substâncias que podem ser consideradas ou não como um fluido, dependendo do período das condições e do período de tempo no qual são observadas.

Fase Fluida ou Diluída: sistemas de baixa pressão (inferior a 01 bar) e alta velocidade (10 a 25m/s), utilizando uma elevada relação ar / material;

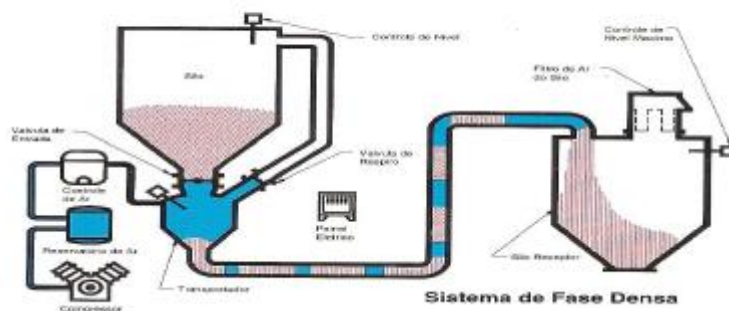


Operação em fase diluída sob pressão (empurrando os sólidos).

Fase Densa: utilizam pressão positiva para impulsionar os materiais. São sistemas de alta pressão (superior a 01 bar) e baixa velocidade (0,25 a 2,5m/s), utilizando uma relação ar/material baixa.



21



Exige baixa demanda de ar, o que significa menor exigência de energia.

A degradação do produto por atrito e a erosão na tubulação, não são problemas maiores do que no transporte pneumático em fase diluída, devido às baixas velocidades de sólidos.

Existem diferentes tipos de conceitos no mercado envolvendo a Fase Densa:

- Conceito de Força Bruta;
- Conceito Linha Cheia;
- Conceito Fluidizado;
- Conceito Linha Cheia Contínua;
- Conceito Convencional;

Os conceitos se diferenciam pelo arranjo do projeto. Eles existem devido à elevada versatilidade dos sistemas de alta pressão, ou seja, de fase densa.

Cada conceito é particularmente adequado para certas aplicações e materiais.

Cada um tem diferentes capacidades, eficiências, vantagens econômicas e limitações.

Propriedades dos Fluidos

Vazão de um Fluido: o esquema abaixo mostra uma secção reta A em uma tubulação:



Define-se **vazão em massa (Q_m)** como sendo a razão entre a massa do fluido que atravessa a secção reta de uma tubulação e o intervalo de tempo.

Vazão volumétrica (Q), ou simplesmente **vazão**, pode ser definida como o quociente entre o volume do líquido que atravessa a secção reta de uma tubulação e o intervalo de tempo.

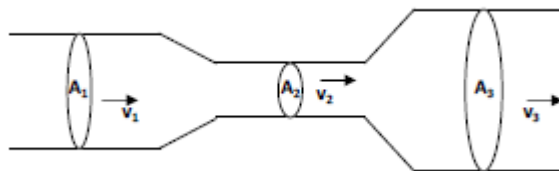
Massa Específica: é o quociente da massa do sistema pelo seu volume. Também chamada “densidade”.

Equação da Continuidade

A equação da continuidade estabelece que:

- o volume total de um fluido incompressível, isto é, fluido que mantém constante a densidade apesar das variações na pressão e na temperatura, entrando no tubo será igual aquele que está saindo do tubo;
- o fluxo medido num ponto ao longo do tubo será igual ao fluxo num outro ponto ao longo do tubo, apesar da área da seção transversal do tubo em cada ponto ser diferente.

O esquema a seguir mostra uma tubulação que apresenta diferentes secções retas. Nesta tubulação circula um fluido incompressível (água, óleo, etc.). nestas condições, a vazão do fluido se mantém constante ao longo da tubulação.



Regime de Escoamento de um Líquido

Quando um fluido circula em uma tubulação, destacam-se, basicamente, dois tipos de escoamento:

- **Escoamento Laminar:** as partículas se movimentam mantendo a sua posição em relação às demais partículas.
- **Escoamento Turbulento:** as partículas do fluido não conservam a sua posição em relação às demais partículas. A sua movimentação é totalmente imprevisível.

Quem estudou detalhadamente a movimentação dos fluidos e definiu um parâmetro numérico para classificar o tipo de escoamento foi **Reynolds**. Esse parâmetro é conhecido como **número de Reynolds (Re)** e é uma constante adimensional.

Transportando Fluidos

Para se movimentar um fluido é necessário dois fatores:

- ✓ um local ou caminho por onde o fluido passará
- ✓ um sistema que forneça energia suficiente ao líquido para este realize o trabalho e percorra o caminho pré-estabelecido.

O **caminho** a ser percorrido pelo líquido é definido pela tubulação, constituída dos tubos e dos acessórios a ela adicionados como válvulas, conexões, cotovelos, expansões, contrações, etc. O transporte por tubulações é tão importante que gastasse de 30 a 40% do custo de instalação de uma empresa apenas com tubulações. As tubulações podem ser feitas de diversos materiais, como metais e suas ligas, plásticos, borrachas e concreto.

O sistema que fornece energia, ou seja, que força a movimentação dos materiais líquidos pode ser constituído pela força da gravidade, por sistemas pneumáticos ou por sistemas hidráulicos (bombas).

Bombas

Consideram-se bombas todas as máquinas que recebem trabalho mecânico, fornecido por outra máquina (geralmente um motor elétrico) e o transferem para o fluido realizar trabalho (se movimentar).

Em outras palavras, bombas são máquinas hidráulicas que conferem energia aos fluidos incompressíveis (líquidos) com a finalidade de transportá-los de um ponto a outro do sistema, através do aumento de pressão.

A transferência de energia é resultante das interações dinâmicas entre o dispositivo e o fluido.

As bombas classificam-se de acordo com a forma como transferem a energia para o fluido em:

Bombas de Deslocamento Positivo:

Também chamadas bombas estáticas ou volumétricas, são aquelas em que a movimentação do líquido é diretamente causada pela movimentação de um órgão mecânico do dispositivo que obriga o líquido a executar o mesmo movimento que ele.

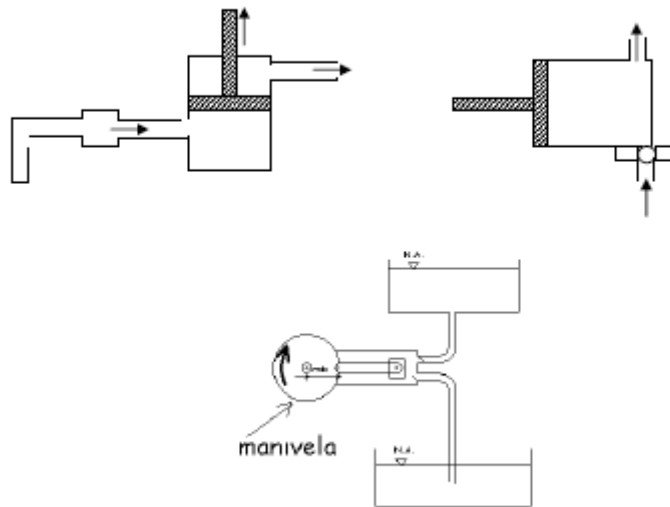
O aumento de energia do fluido é obtido por meio do deslocamento de um volume pré-determinado.

Possuem uma ou mais câmara que comunica a energia de pressão ao fluido, provocando o seu deslocamento.

Bombas Alternativas: são utilizadas em sistemas que exigem alta pressão e pequena capacidade. Operam líquidos viscosos e realizam dosagem de produtos químicos.

Impelem uma quantidade definida de fluido a cada golpe ou volta do dispositivo e o volume deslocado é proporcional à velocidade, operando a baixas velocidades ($\gg 20$ rpm).

O escoamento é intermitente (não constante) e a taxa de fornecimento do líquido é função do volume varrido pelo dispositivo e do número de golpes por unidade de tempo.



Aplicações:

- ✓ Bombeamento de água de alimentação de caldeiras, de óleos e Lamas

Características:

- ✓ Imprimem as pressões mais elevadas dentre todas as bombas
- ✓ Pequena capacidade
- ✓ Vazões moderadas

Vantagens:

- ✓ Podem operar com líquidos voláteis e muito viscosos
- ✓ Pressão muito alta

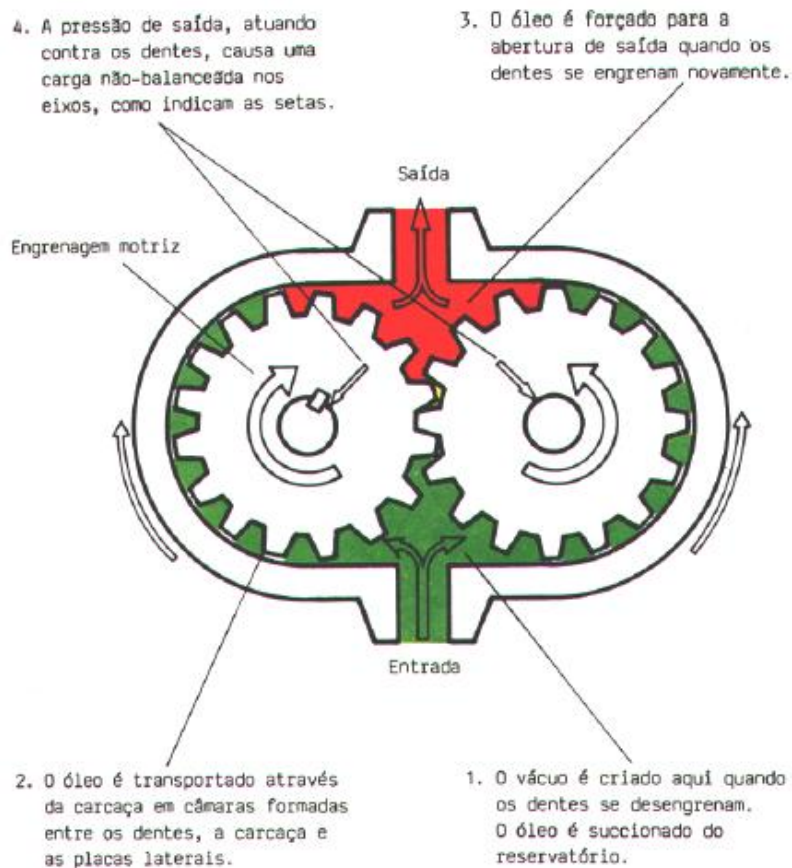
Desvantagens:

- ✓ Fluxo pulsante
- ✓ Capacidade reduzida
- ✓ Baixa velocidade necessidade de manutenções constantes

Bombas Rotativas

O rotor da bomba provoca uma pressão reduzida na entrada o que possibilita a admissão do líquido na bomba.

O líquido bombeado é empurrado pelos dispositivos (pás, discos, engrenagens). A vazão é proporcional ao volume entre os dispositivos e o fluxo é mantido constante.



Vazões quase constantes comparada com a vazão pulsada das bombas alternativas.

- São utilizadas com líquidos de quaisquer viscosidade, desde que não contenham sólidos abrasivos.
- Operam em faixas moderadas de pressão e tem capacidade que ficam entre as pequenas e as médias.
- Bombas rotatórias: Bombas de engrenagem. Bombas parafusos. Bombas com cavidades caminhantes.

Aplicações:

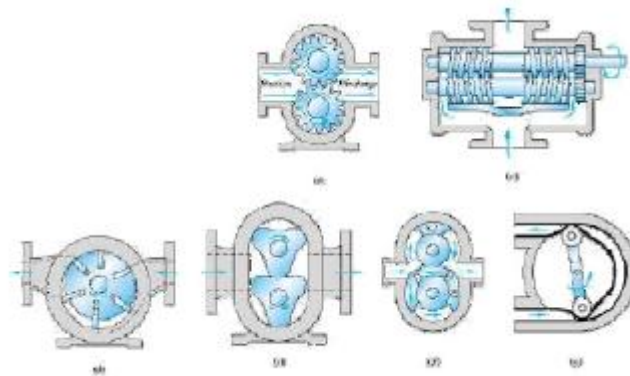
- ✓ Indústria farmacêutica, alimentícia e de petróleo

Características:

- ✓ Eficiente para líquidos viscosos, graxas e tintas
- ✓ Faixas moderadas de pressão
- ✓ Capacidade de pequena a média
- ✓ Pode ser utilizada para “medir” volumes

Tipos:

- ✓ Engrenagens
- ✓ Rotores Lobulares – utilizadas em alimentos
- ✓ Parafusos Helicoidais – maiores pressões
- ✓ Palhetas – fluidos poucos viscosos
- ✓ Peristálticas – pequenas vazões e transporte asséptico

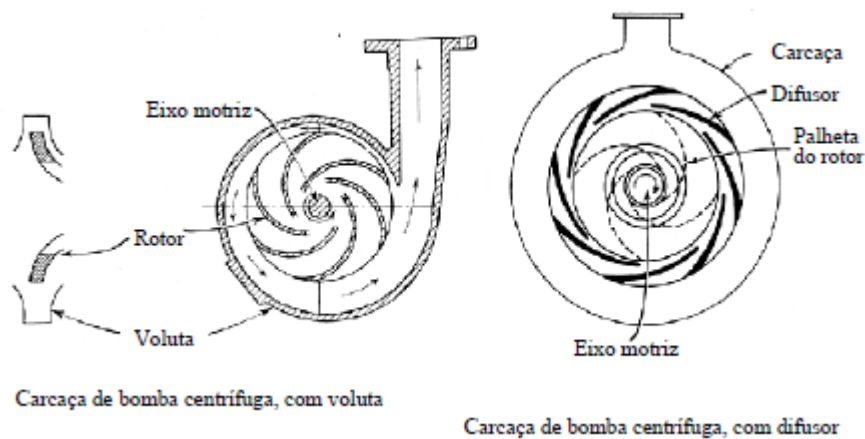


Bombas Dinâmicas

Também chamadas turbobombas, turbomáquinas ou centrífugas. Possuem uma série de dispositivos (pás, discos, canecas, canais, etc.) que aumentam a energia do fluido. Baseiam-se na transferência de quantidade de movimento por interação viscosa entre a superfície sólida do dispositivo e o fluido.

As turbobombas são caracterizadas por possuírem um elemento rotatório (conhecido como rotor) que exerce sobre o fluido uma força causando uma aceleração do mesmo. Essa aceleração não possui a mesma direção e sentido do movimento do líquido em contato com o elemento que gera o movimento, ao contrário das bombas de deslocamento positivo. As forças geradas irão transferir quantidade de movimento ao fluido a ser bombeado.

As principais partes componentes de uma bomba centrífuga são o rotor e o difusor. No rotor, que recebe energia mecânica do motor, o fluido recebe quantidade de movimento e aumenta sua energia cinética. Em essência o rotor é um disco ou uma peça em formato cônico, que pode ou não ser dotados de pás. No caso do rotor não possuir pás a transferência de quantidade de movimento para o fluido ocorre por interação viscosa da superfície do disco com o fluido. No rotor com pá, a interação é inercial.



São as mais usadas nas indústrias em geral. O funcionamento baseia-se na força centrífuga. Um rotor gira o líquido que é “arremessado”.

São úteis para grandes quantidades de líquidos, principalmente para grandes vazões, mas não geram pressões muito elevadas. Se o líquido for muito volátil, a bomba poderá vaporizá-lo, criando áreas de gases que são elásticos e fazem a bomba deixar de funcionar, devido à **cavitação** (o rotor fica com ar e deixa de sugar o líquido).

Principais vantagens:

- 1- É de construção simples. Pode ser construída numa vasta gama de materiais.
- 2- Há ausência total de válvulas.
- 3- Vazão de descarga constante.
- 4- Funciona a alta velocidade.
- 5- Baixo custo de manutenção.
- 6- Tamanho reduzido, comparado com outras bombas de igual capacidade.
- 7- Funciona com líquidos com sólidos em suspensão.
- 8- Não sofre qualquer deterioração se a tubagem de saída entupir durante um período muito longo.

Principais desvantagens:

- 1- A bomba de um estágio não consegue desenvolver uma pressão elevada.
- 2- Se não incorporar uma válvula de retenção na tubagem de sucção, o líquido voltará a correr para o tanque de sucção logo que a bomba pare.
- 3- Não consegue operar eficientemente com líquidos muito viscosos.

Problemas que podem se apresentar ao engenheiro químico:

- a) Projetar uma tubulação nova e selecionar uma bomba.
- b) Selecionar uma bomba para um sistema existente.

c) Projetar um novo sistema para uso com uma bomba existente.

Todos estes problemas podem ser resolvidos em termos de curvas características.

TRANSPORTE DE GASES

COMPRESSORES:

Os compressores visam conseguir que a pressão do gás venha a alcançar uma pressão consideravelmente maior do que a pressão atmosférica.

podemos ter:

- a) Bombas de vácuo: $p_{ef} < 0$
- b) Ventiladores: $p_{ef} > 0$ e da ordem de alguns cm de coluna d'água.
- c) Sopradores: $p_{ef} > 0$ até cerca de 0,2 kgf/cm²
- d) Compressores: pressões de 0,2 a 30 kgf/cm²
- e) Supercompressores: pressões acima de 30 kgf/cm²

Os compressores se classificam em:

a) Compressores de deslocamento positivo:

O gás é admitido em uma câmara de compressão, que é, por isso, isolada do exterior. Por meio da redução do volume útil da câmara sob a ação de uma peça móvel, alternativa ou rotativa, realiza-se a compressão do gás. Quando a pressão na câmara atinge valor compatível com a pressão no tubo de descarga, abre-se uma válvula ou uma passagem, e o gás da câmara é descarregado para o exterior. A válvula nos compressores alternativos é desnecessária.

b) Compressores dinâmicos (centrífugos):

O gás penetra em uma câmara onde um rotor em alta rotação comunica às partículas gasosas aceleração tangencial e, portanto, energia. Através da descarga por um difusor, grande parte da energia cinética se converte em energia de pressão, forma adequada para a transmissão por tubulações a distâncias consideráveis e à realização de propriedades específicas.

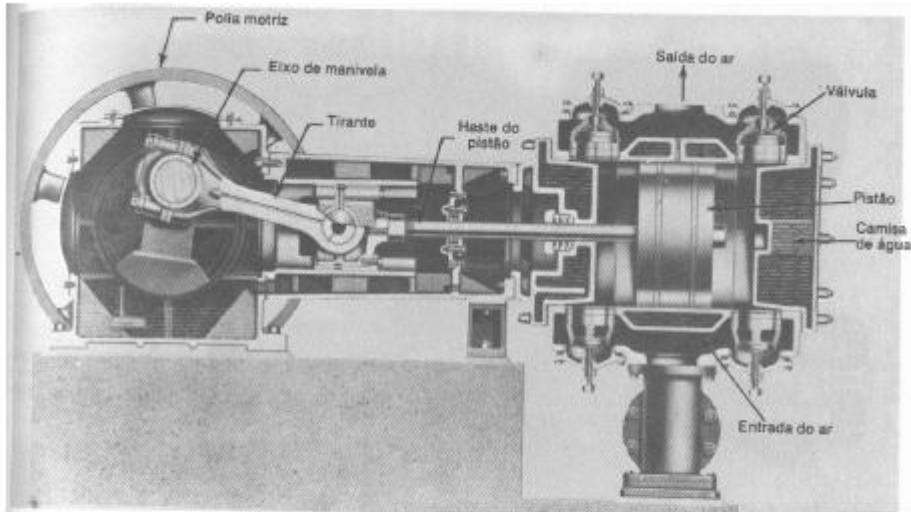


Figura 1. Compressor de ar de um estágio e pistão de duplo efeito. Este modelo se faz em diversos tamanhos, até o que tem o cilindro de 14 in e golpe de pistão de 11 in, capaz de fornecer 521 ft³/min a 100 psi, que é a pressão máxima atingível. O cilindro tem uma camisa de água, para remover o calor da compressão. A unidade é operada, na maioria das aplicações, por uma correia motriz ligada a um motor.

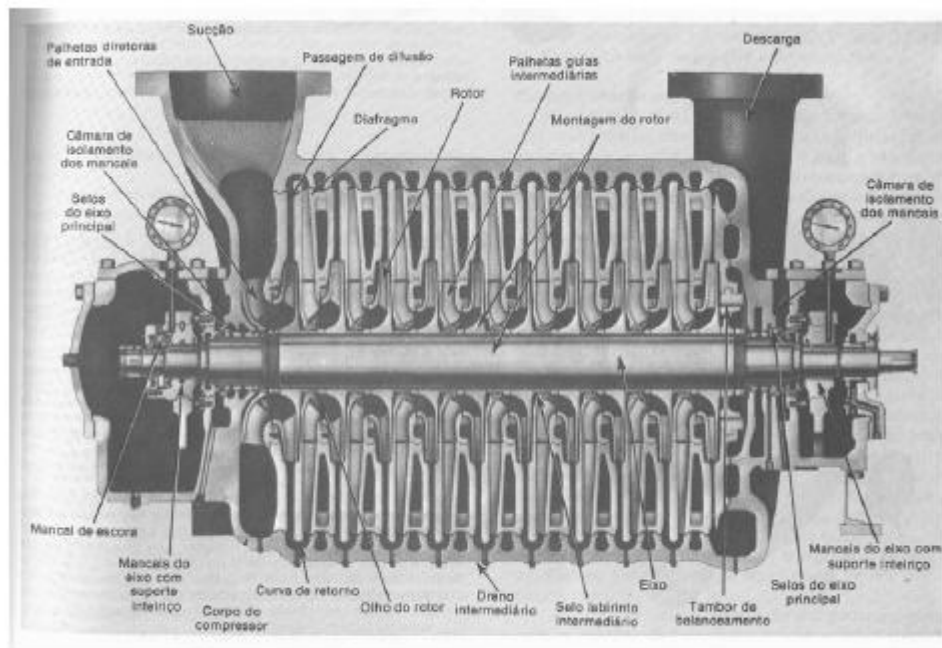


Figura 2. Compressor centrífugo multistágio.

Se a compressão é maior que 10, a temperatura isentrópica torna-se excessiva. Como o compressor ideal não possui trabalho de fricções, o calor gerado pelas fricções é também absorvido pelo gás. Desta maneira é necessário resfriar o gás através de camisas com água fria ou refrigerantes. Neste caso a temperatura de saída pode se aproximar da temperatura de entrada e a compressão será isotérmica.