

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO MECÂNICO

8,0 (oit)
João Plaza

ROSCA ALIMENTADORA PARA MATERIAL
DE BAIXA GRANULOMETRIA

Autor: IBERÊ DE OLIVEIRA SANTOS
Orientador: Prof. João Plaza

Aos meus pais que me deram todo
carinho, apoio e perseverança
para que eu pudesse chegar até
aqui.

A todas as pessoas que trouxe -
ram alegrias, confiança e estí-
mulo para prosseguir.

INDICE

	Pág.
1. Estudo de viabilidade	1
1.1. Apresentação do problema	1
1.2. Dados e condições de projeto.....	2
1.3. Análise das possíveis soluções.....	2
2. Características dos materiais a granel.....	6
3. Determinação das dimensões e rotação da rosca	11
4. Estudo do sistema de motorização	15
4.1. Análise e seleção do sistema de acionamento	15
4.2. Determinação da potencia de acio namento	19
5. Análise dos componentes mecânicos da rosca alimentadora.....	24
5.1. Efeito de cisalhamento nos para fusos de fixação do tubo com eixo de acoplamento	24
5.2. Efeito de cisalhamento no tubo devido à torção.....	27
5.3. Efeito de compressão entre para- fuso/tubo/bucha devido à torção.....	28
5.4. Efeito de cisalhamento no eixo de. acoplamento devido à torção.....	30

	Pág
5.5. Deflexão na rosca alimentadora.....	32
5.6. Empuxo terminal na rosca alimen tadora	39
5.7. Escolha dos rolamentos.....	41
Bibliografia	48a
Apêndice	49

PREFÁCIO

Este trabalho foi inspirado nas atividades de um ano no trato com equipamentos na área de manuseio de materiais, na PROMON engenharia, durante um período de estágio. Em substituição à vivência e experiência prática do pessoal envolvido com a seleção e projeto de equipamentos de mineração daquela empresa, procurou-se fazer uma análise completa do problema apresentado, desde a análise de viabilidade e estudo do sistema de acionamento ótimo até cálculos de resistência de componentes. O problema em questão sobre manuseio de cal foi concebido a partir das informações a respeito de um projeto mal sucedido de determinado fabricante no transporte deste mesmo material, despertando assim o interesse do autor.

No decorrer do trabalho, salienta-se a importância do conhecimento do comportamento do material a ser transportado, sendo reservado um capítulo em que se analisa as principais características relacionadas com o manuseio de ma

teriais.

Diversas informações resultantes da experiência prática de profissionais envolvidos com o projeto de roscas transportadoras foram também adicionados a este trabalho, salientando pontos importantes e comentando sobre resultados esperados. Nos Estados Unidos existe um órgão com o objetivo de reunir essas informações e realizar estudos específicos sobre o manuseio de materiais, o Conveyor Equipment Manufactures Association (CEMA) cujas publicações serviram de apoio para a realização deste.

O autor agradece especialmente àqueles que colaborraram com a execução deste modesto, porém esforçado trabalho, entre os quais o Prof. João Plaza, orientador sempre interesssado em dar apoio na realização deste; ao engenheiro Marcos Palinkas da PROMON engenharia pelas valiosas informações fornecidas e, finalmente a todos os professores e amigos que atravessaram juntos mais um período de vida, na certeza de que muito se foi feito, mas principalmente ainda há a se fazer.

Iberê de Oliveira Santos

São Paulo, novembro de 1983.

CAPÍTULO 1

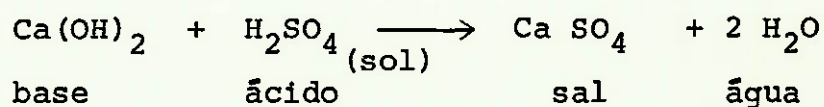
ESTUDO DE VIABILIDADE

1.1 - Apresentação do Problema

Uma empresa atuando na área química possui um programa de melhoramento de uma de suas unidades aonde após certa etapa no processo, apresenta numa de suas linhas de fluido, uma solução fortemente ácida causando um sério problema de corrosão por todo o sistema. A empresa deseja então modificar o sistema de modo a aproveitar o fluido num outro processo após neutralizar a solução, evitando também o problema de corrosão excessiva na linha.

O problema apresentado é justamente o de alimentar um tanque misturador com hidróxido de cálcio ou cal hidratada (Ca(OH)_2), substância adequada ao objetivo pretendido para formar soluções de caráter fortemente básico.

A reação química que rege o processo é



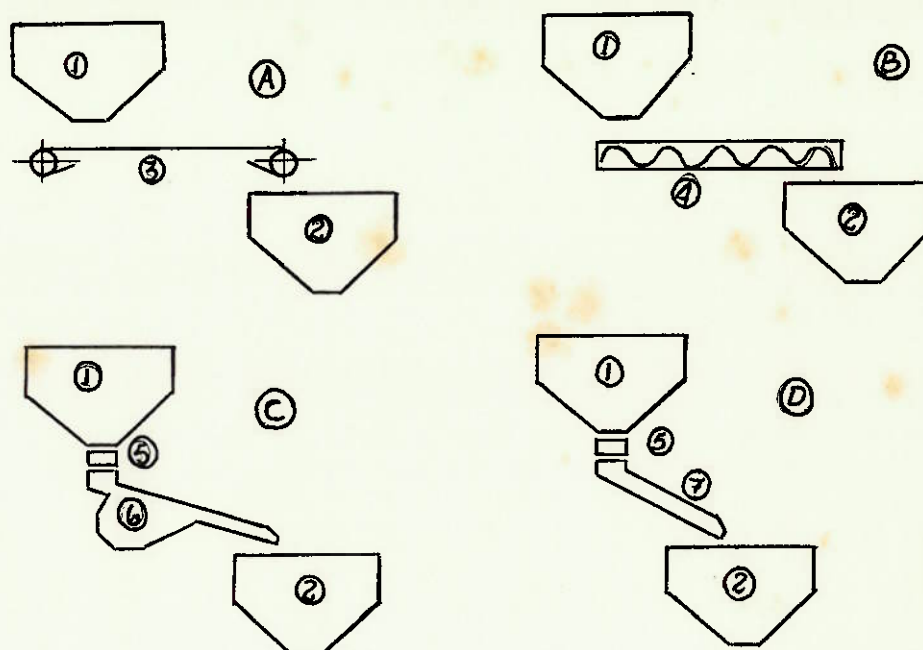
A solução ácida varia bastante de concentração dentro de limites conhecidos, impondo a necessidade de se variar a quantidade de cal adicionada à solução de modo a manter a relação molar no processo e assegurar a obtenção de um PH neutro.

1.2 - Dados e Condições de Projeto

- . Capacidade de alimentação: de 10 a 15 ton/h (variável)
- . Comprimento transportado: 3 m aproximadamente
- . Quantidade de material a ser transportado muito bem dosada.
- . Controle da capacidade de transporte por sistema de "feed-back", onde o PH da solução final seja o sinal para aumentar ou diminuir a quantidade de cal transportada.
- . Material será transportado em estado sólido com baixa granulação de um silo de armazenagem até um tanque misturador quando se iniciará a reação de neutralização.

1.3 - Análise das Possíveis Soluções

Devido à restrição quanto à obrigatoriedade do transporte do material em estado sólido pulverizado a partir de um silo de armazenagem, as soluções possíveis ficam limitadas à utilização de transportadores de correia e de rosca, por um sistema de canaleta/comporta reguladora funcionando por gravidade ou com alimentador vibratório.



① - silo armazenador ; ② tanque misturador ; ③ correia transportadora
 ④ - rosca alimentadora ; ⑤ comporta reguladora ; ⑥ alimentador vibratório ; ⑦ calha de ligação

Fig. 1. Croquis das soluções alternativas

Na solução (A), o controle de carga seria feita pe la velocidade da correia, ao passo que na solução (B) variarse-ia a velocidade de rotação da rosca e nas soluções (C) e (D), através da comporta reguladora.

O controle de carga com a correia transportadora criaria problemas quanto à quantidade de material depositado sobre a mesma, criando mesmo a possibilidade de um transbordamento do material da correia na sua velocidade mínima. Haveria assim a necessidade de algum controle da quantidade de ma terial saindo do silo.

As alternativas (C) e (D) não apresentam uma capacidade dosadora muito precisa e apesar do material em questão

apresentar boa escoabilidade, apresenta também a propriedade de se compactar com facilidade, dificultando ou até impossibilitando o escoamento do material devido à ação compressora da comporta. De qualquer forma, seria importante o estudo do comportamento do material dentro do silo nestes dois casos, e uma vez certificada a homogeneidade do material, deveríamos estabelecer a relação entre a abertura da comporta e a quantidade de material que deixaria o silo por ação da gravidade. Deveríamos também tomar cuidados quanto à perfeita vedação do sistema devido ao empoeiramento causado pela sua granulação muito fina. A solução (C) seria melhor que a solução (D), assegurando que o material não pare devido ao atrito com a canaleta.

Levando em consideração que a principal característica a ser levada em consideração é a precisão no controle da vazão de material, temos que a alternativa (B) é a que melhor se aplica.

Roscas transportadoras são muito apropriadas ao controle volumétrico de materiais da saída de silos, reservatórios, pilhas de armazenamento, etc. Neste caso eles são chamados de roscas alimentadoras, muito utilizados na indústria. A resposta à variação de carga é rápida, variando com a rotação da rosca. Diminui sensivelmente o problema de poeira por permitir a colocação de cobertura sobre a calha.

Escolhida a alternativa (B), a figura 2 indica a posição da rosca alimentadora no processo.

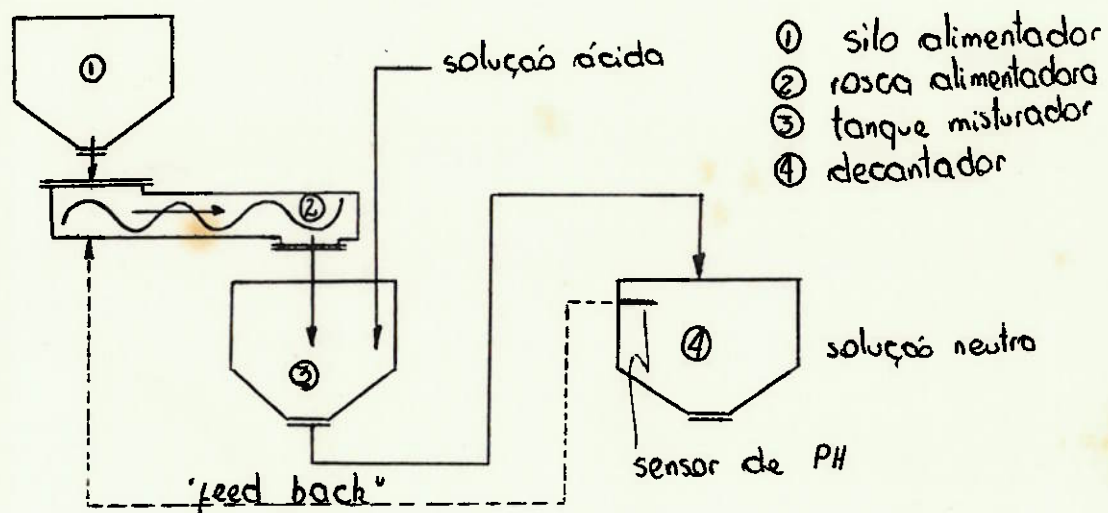


Fig. 2 - Fluxograma do processo de neutralização do PH.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS A GRANEL

2.1 - Generalidades

A experiência tem mostrado que a chave para o sucesso do projeto de uma rosca transportadora depende do completo conhecimento das características do material a ser transportado.

É importante entender que a ação de uma rosca transportadora é tal que tende a revolver e cisalhar o material conforme vai sendo transportado. Assim sendo, é de se prever que materiais que se revolvem ou cisalham facilmente são mais fáceis de ser transportados que outros que não apresentam tais características.

De fundamental importancia no projeto de qualquer transportador é o conhecimento e compreensão da maneira pela qual o material escoará e os efeitos das variações desse escoamento. A capacidade máxima é geralmente maior que a exigência diária média. Além disso, a densidade aparente do material pode variar. A velocidade e dimensão do transportador é baseado no volume máximo transportado.

Estudos vêm sendo realizados para definir as características dos materiais a granel em termos que sejam prontamente identificados. Essas características e termos estão indicados na tabela de codificação da classificação de materiais (tabela 1) publicado pelo CEMA* (ref. 1). Pode ser obser

*CEMA: Conveyor Equipment Manufactures Association. Orgão norte-americano que congrega os fabricantes de equipamentos para manuseio de materiais, realizando estudos, padronizações e intercâmbio de informações nesta área.

vado que materiais diferentes que apresentam o mesmo código de classificação podem ser manuseados com roscas transportadoras com a mesma especificação. Mesmo que o material que se deseja transportar não esteja relacionado na tabela de materiais, é possível se fazer no mínimo uma seleção preliminar de código do material por comparação entre as propriedades do material utilizado e um similar relacionado na tabela.

É importante ter-se em mente que devido ao comportamento particular da rosca transportadora na movimentação do material, as condições do mesmo durante o transporte podem ser muito diferentes da condição em repouso.

Antes de mais nada, os materiais são classificados de acordo com o tamanho de grão. É importante ter-se uma diferenciação pela dimensão da malha da peneira adequada ao material. Por exemplo, se um material consiste de uma granulometria abaixo de 1/2 polegada, nestes termos ele é similar ao plástico granulado. Materiais granulados que não apresentam partículas finas como o citado acima não necessita de coberturas como tampa da calha nem qualquer vedação na extremidade da calha. Imaginemos agora que o material apresente apenas 10% de partículas de 1/2 polegada e abaixo, com 90% de partículas de granulometria da ordem de microns. Torna-se evidente que materiais de mesma granulometria máxima mas que contém partículas finas podem exigir cobertura da calha e proteção dos rolamentos nas extremidades da calha ou do mancal intermediário.

Materiais que apresentam tendência ao empelotamento devem ser verificados considerando esta propriedade. Frequentemente roscas transportadoras maiores são utilizadas unicamente para acomodar as pelotas que, caso contrário, seriam analisadas sob o ponto de vista da capacidade normal.

Materiais irregulares, fibrosos e se entrelaçam requerem considerações especiais. Materiais fibrosos, particularmente se longos suficiente, podem enrolar em torno do eixo tubular da rosca alimentadora ou em torno dos mancais intermediários, travando efetivamente o transportador.

Materiais também são classificados de acordo com sua escoabilidade. Este é um termo relativo e de difícil medição. Considera-se que a escoabilidade relaciona-se com o ângulo de repouso de tal forma que o coeficiente de atrito do material movendo-se sobre as superfícies do transportador é tangente a este ângulo. Contudo, no que diz respeito à operação das roscas transportadoras, a escoabilidade está relacionada a dois fatores, um deles o ângulo de escorregamento e o outro o ângulo de atrito interno do material. O ângulo de escorregamento pode ser determinado inclinando-se uma placa contendo certa quantidade de material. Mudanças no teor de umidade, temperatura, distribuição do tamanho de partícula e ação corrosiva do material afetam a escoabilidade. Experiência com roscas transportadoras mostram que quando mais livre o escoamento do material, menor a potência necessária para transportá-lo. O oposto também é verdadeiro. Devido ao fato da escoabilidade não ser facilmente traduzida numericamente,

a experiência real é um guia para sua codificação para cada material (tabela 2).

Julgar um material apenas pelo seu ângulo de re pouso pode ser enganoso. Alguns materiais que possuem um ân gulo de repouso muito alto quando armazenados num silo, po dem apresentar um valor muito baixo na condição "como trans portada" numa rosca transportadora.

Sabe-se que alguns materiais que apresentam uniformidade quanto ao formato e tamanho dos grãos são de fácil escoamento quando secos, como por exemplo areia peneira da seca. A adição de umidade, contudo, altera a característica de escoamento. Assim, por exemplo, açúcar granulado se co é de fácil escoamento, entretanto é higroscópico e absorve umidade do ar. Se isto ocorrer, sua escoabilidade alterar-se-á consideravelmente.

A abrasividade do material também é uma quantidade de relativa, não sendo facilmente definida com precisão. Ma teriais não abrasivos ou levemente abrasivos podem ser manu seados com roscas transportadoras com roscas padrão e ca lhas especificadas para serviço normal.

Materiais muito abrasivos requerem componentes mais robustos que os componentes padrão. A seleção de compo ntes para o manuseio de materiais abrasivos deve considerar também o grau de serviço ao qual o transportador estará sujeito.

Além das características dos materiais citados ,

existem outras características gerais que podem ser caracterizadas como obstáculos a transportabilidade do material. Os efeitos de alguns desses obstáculos como eles afetam o projeto da rosca transportadora estão relacionados no apêndice.

2.2 - Características do Material a ser Transportado

A partir dos dados das tabelas 1 e 2 (apêndice) temos as características esperadas para o nosso caso específico.

Material: hidróxido de cálcio pulverizado

Granulação: muito fina - abaixo de 0,016"

(peneira nº 40)

Densidade do material: 32-40 lbs/pé cúbico

Fluidez: média

Abrasividade: pouca abrasividade

Cuidados especiais: muito empoeirado

sujeito a se tornar fluido

CAPÍTULO 3

DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES E ROTAÇÃO DA ROSCA

A capacidade do alimentador de acordo com os dados de projeto é de 10 a 15 ton/h, variável em função da quantidade de Ca(OH)_2 exigida no processo.

densidade do cal aerado: 32 lbs/cuft

densidade do cal compactado: 40 lbs/cuft

capacidade em volume/tempo = $\frac{\text{capacidade em peso/tempo}}{\text{densidade}}$

Para $C_p = 10 \text{ t/h} = 22050 \text{ lbs/h}$

$$C_v = \frac{22050}{32} = 689 \text{ Cuft/h (aerado)}$$

$$C_v = \frac{22050}{40} = 551 \text{ Cuft/h (compactado)}$$

Para $C_p = 15 \text{ t/h} = 33075 \text{ lbs/h}$

$$C_v = \frac{33075}{32} = 1034 \text{ Cuft/h (aerado)}$$

$$C_v = \frac{33075}{40} = 827 \text{ Cuft/h (compactado)}$$

Na seleção do diâmetro da rosca vamos utilizar o maior valor da capacidade volumétrica determinando as rotações para a condição de material "como transportada". A densidade "como transportada" não é indicada especificamente mas é geralmente assumida como sendo o mínimo valor apresentado, isto é, na condição aerada, ou próxima dele.

Rotação da rosca em rpmCaso 1: Passo da rosca igual ao seu diâmetro
(passo standart)

Da tabela 3 anexa (ref. 1), para passo standart , selecionamos o diâmetro do alimentador e a capacidade por rpm (Cf) diretamente a partir da capacidade Cv obtida anteriormente.

Assim, para a capacidade máxima de 1034 Cuft/h , necessitaremos um diâmetro de rosca de 9" com uma capacidade por rpm (Cf) de 18,5 Cuft/h. Máxima rotação indicada: 65 rpm

Mas
$$N = \frac{C}{Cf}$$
 , onde: N: velocidade do alimentador (rpm)

C: capacidade requerida Cuft/h

Cf: capacidade por rpm

Logo
$$N = \frac{1034}{18,5} = 56 \text{ rpm}$$
 (capacidade máxima, densidade de material "como transportadora"

$$N = \frac{689}{18,5} = 37 \text{ rpm}$$
 (capacidade mínima densidade de material "como transportadora"

Caso 2: Rosca alimentadora com passo curto

Uma das condições primordiais para a nossa aplicação específica é o controle da quantidade de material trans-

portado o mais exatamente possível. Uma das características do cal já citado é sua tendência de se tornar fluído. Para solucionar estas duas questões, aplicaremos a rosca alimentadora com passo curto que assegura uma regulação mais precisa da alimentação e escoamento em alimentadores de rosca e efetivamente detêm a ação fluidizante de materiais que apresentam esta tendência.

Relativamente à rosca com passo normal, a rosca com passo curto apresenta uma ineficiência de transporte, devendo ser determinada uma capacidade equivalente a partir de fatores de capacidade apropriados.

O fator de capacidade apropriados para passo = $1/2$ diâmetro da rosca $f_e = 2,0$.

Assim temos $C_{equiv} = C_v \times f_e$

$$C_{equiv} = 1034 \times 2,0 = 2068 \text{ Cuft/h (rotação máxima)}$$

$$C_{equiv} = 689 \times 2,0 = 1378 \text{ Cuft/h (rotação mínima)}$$

Para uma capacidade de 2068 Cuft/h, encontramos pela tabela 3 anexa a capacidade por rpm (C_f) de 44,40 Cuft/h, com diâmetro de rosca de 12". Máxima rotação indicada: 60 rpm

$$N = \frac{2068}{44,4} = 47 \text{ rpm (capacidade máxima, densidade de material "como transportada")}$$

$$N = \frac{1378}{44,4} = 31 \text{ rpm (capacidade mínima, densidade do material "como transportada").}$$

Adotaremos, assim, uma rosca alimentadora de passo duplo que, como já foi exposto, melhor se adapta a nossa aplicação, visto que a quantidade de cal a ser adicionada no tanque misturador (fig. 2) deve ser criteriosamente controlada.

Para a capacidade de alimentação apresentada utilizaremos um diâmetro de rosca de 12" com passo de 6", capacidade por rpm de 44,4 Cuft/h com rotação máxima recomendada de 60 rpm.

Para a condição de: alimentação máxima $N = 47 \text{ rpm}$
 alimentação mínima $N = 31 \text{ rpm}$

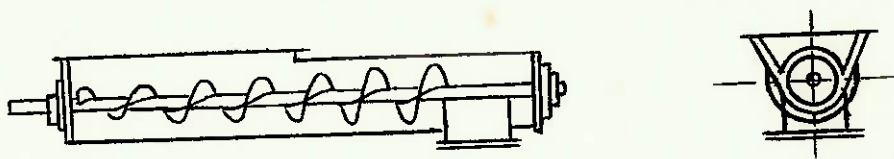


fig. 3 - Esquema básico da rosca alimentadora simples

CAPÍTULO 4

ESTUDO DO SISTEMA DE MOTORIZAÇÃO

4.1 - Análise e Seleção do Sistema de Acionamento

Como já foi exposto anteriormente, existe a necessidade de se controlar a quantidade de material transportado e, para tanto a rotação da rosca deve ser variável, abrangendo uma faixa de rotações entre 31 e 47 rpm. O sistema de acionamento deve ser selecionado de tal forma que permita esse controle e variação da rotação, variação essa que deve ser gradual permitindo a fixação de valores intermediários.

Existe uma grande variedade de mecanismos que permitem a variação contínua de velocidades. Os mais comuns são os sistemas de correias com polia motora de inclinação variável, redutor contínuo de correia com raio das polias ajustável, transmissões por correia especiais, além dos controles elétricos, como é o caso dos motores de corrente alternada ou contínua com tensão regulável e os variadores eletro-magnéticos de velocidade. Motores hidráulicos podem ser empregados não só para controle de velocidade, mas também de torque. A unidade geradora de pressão pode neste caso, ser tocada remotamente, economizando espaço.

A informação responsável pela mudança de rotação do alimentador é o PH da solução no tanque misturador (fig. 2) que é percebida por um sensor que emite um sinal elétrico para o sistema de acionamento. Assim sendo, o sistema de variação de velocidades deve funcionar elétrica -

mente, automatizando o processo de ajuste de velocidade (sistema de "feed-back").

O sistema mais simples, que será utilizado, é o que utiliza um motor de corrente alternada, acoplado a um variador eletromagnético de velocidades, e este a um redutor de velocidades que será ligado ao eixo da rosca alimentadora.

Faremos, então, algumas considerações quanto às características e limitações dos variadores eletromagnéticos que irão influir na determinação de potência do motor de acionamento. Essas limitações estão relacionadas com a rotação de saída do variador, existindo um valor mínimo abaixo do qual perde-se a sensibilidade de equipamento, tornando-o ineficiente. Superiormente a rotação é limitada pela rotação real do motor.

O motor a ser utilizado é um motor de corrente alternada 4 polos com rotação nominal de 1800 rpm, facilmente encontrado no mercado, cuja rotação em regime de 1750 rpm, que indicará o limite superior do variador pelos motivos já citados é de 200 rpm.

A potência transmitida pelo variador eletromagnético é função da sua rotação, podendo ser determinada a partir do gráfico da figura 4.

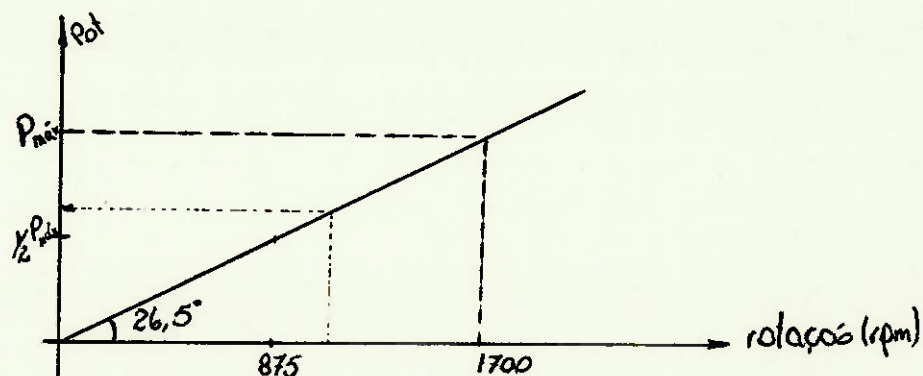
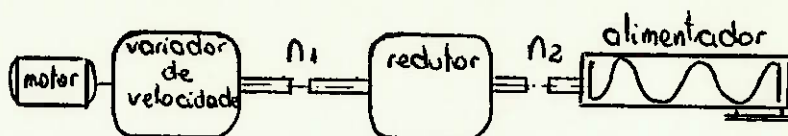


fig.4 Variação da potência transmitida pelo variador eletromagnético em função da rotação de saída.



$$\text{limitações} \begin{cases} 200 < n_1 < 1700 \\ 31 < n_2 < 47 \end{cases}$$

fig.5. Esquema do sistema de acionamento do alimentador.

Quanto maior a rotação n_1 , dentro dos limites estabelecidos, tanto maior a eficiência do variador de velocidades. Assim, vamos analisar as condições para uma rotação $n_1 = 1700$ rpm.

para $n_2 = 47$ rpm \longrightarrow $i_{\text{red}} = 36,2 : 1$

para $n_2 = 31$ rpm \longrightarrow $i_{\text{red}} = 54,8 : 1$

Adotando a redução de 36:1, teríamos:

para $n_2 = 47 \text{ rpm} \longrightarrow n_1 = 1692 \text{ rpm}$

para $n_2 = 31 \text{ rpm} \longrightarrow n_1 = 1116 \text{ rpm}$

Adotando a redução de 55:1, teríamos

para $n_2 = 47 \text{ rpm} \longrightarrow n_1 = 2585 \text{ rpm}$

para $n_2 = 31 \text{ rpm} \longrightarrow n_1 = 1705 \text{ rpm}$

Vemos que a segunda condição de $i_{\text{red}} = 55:1$, impõe uma rotação n_1 maior que o permissível.

Assim, vamos adotar uma redução de 36:1 no redutor de velocidades e uma faixa de rotações na saída do variador de 1116 a 1692 rpm.

Na escolha do redutor de velocidades, vamos optar pelo que alie uma alta redução a uma alta eficiência. As características do redutor escolhido são as seguintes:

- . redutor tipo planetário
- . redução simples
- . taxa de redução 35:1
- . capacidade em potência de entrada..... 1/16HP a 120HP
- . velocidade de entrada padrão 1500/1800 rpm
1000/1200 rpm
- . eficiência média 92,52

A taxa de redução de 35:1 impõe a verificação de alguns parâmetros anteriormente determinados:

. rotação de saída do variador de velocidades:

para $n_2 = 31 \text{ rpm}$ \longrightarrow $n_1 = 1085 \text{ rpm}$

para $n_2 = 47 \text{ rpm}$ \longrightarrow $n_1 = 1645 \text{ rpm}$

Portanto, escolheremos um variador de velocidades que abranja a faixa de 1000 a 1700 rpm, tipo eletro-magnético.

4.2 - Determinação da Potência de Acionamento

O cálculo da potência requerida para o acionamento da rosca alimentadora é similar ao cálculo para rosca transportadora padrão e é baseado na instalação adequada, alimentação uniforme e regular do transportador e outros critérios de projeto indicados neste trabalho. Em sua essência, o cálculo envolve a adição de duas potências, uma devido a atritos do alimentador vazio e outra devido a atritos do material.

A nomenclatura utilizada é a seguinte:

C : capacidade em pés cúbicos por hora

W : densidade do material "como transportado" em libras por pé. cúbico

L_i : comprimento do alimentador, pés

L_f : comprimento equivalente do alimentador pés

N : velocidade de rotação da rosca, rpm

F_b : fator do mancal de rolamento

F_d : fator do diâmetro do alimentador

F_m : fator do material

F_o : fator de sobre carga

e : eficiência da propulsão escolhida

Os fatores F_m , F_d e F_o são muito importantes e pequenas flutuações nesses valores resultam mudanças significativas na potência requerida.

O fator F_b relaciona-se com o atrito nos mancais intermediários, considerando inclusive a possibilidade da presença de materiais estranhos nos mancais de escorregamento . Esse fator é obtido empiricamente.

O fator F_d é proporcional ao peso médio por unidade de comprimento do componente rotativo mais pesado e ao diâmetro do eixo de acoplamento.

O fator F_m depende das características do material. É um fator absolutamente empírico, obtido por longa experiência no projeto e operação de roscas transportadoras. Não existe relação mensurável com qualquer propriedade física do material transportado.

O fator de sobre carga é uma correção para potências calculadas de menos de 5 HP. Esse fator é necessário porque roscas transportadoras geralmente requerem um nível de torque maior que motores pequenos podem fornecer. Em outras palavras, pequenas sobre cargas poderiam facilmente bloquear o acionamento e provocar um ruído insuportável num processo

contínuo. Aumentando a potência destes pequenos motores apresenta resultados satisfatórios na correção destas condições indesejáveis, e é o que faz o fator F_o .

Condições de partida as sobre cargas temporárias, não devem causar interrupções no serviço e, para tanto, todos os componentes de acionamento, assim como o motor, devem ser escolhidas criteriosamente.

As expressões utilizadas no cálculo da potência de motorização são as seguintes (ref. 1)

- Potência da rosca alimentadora

$$HP = \frac{(HP_a + HP_b) F_o}{e}$$

onde

- Potência de atrito do alimentador vazio (HP_a)

$$HP_a = \frac{L_1 \cdot N \cdot F_d \cdot F_b}{1.000.000}$$

- Potência de atrito do material de alimentação (HP_b)

$$HP_b = \frac{C \cdot W \cdot L_f \cdot F_m}{1.000.000}$$

A partir dos dados das tabelas 3 e 6, determinamos o comprimento do alimentador (L_f). Assim $L_f = L_1 + \frac{B}{b} + \frac{C}{12} = 9,8 + \frac{48}{6} + \frac{12}{12} = 18,8$ pés.

Os valores dos fatores de potência são os seguintes:

diâmetro de rosca 12" $F_d = 55,0$ (Tab.4)

material: cal hidratado

pulverizado $F_m = 0,6$ (Tab.2)

Devido à pequena extensão do alimentador, não será necessária a utilização de mancal intermediário. Deste modo, temos que $F_b = 1,0$.

Assim:

$$HP_a = \frac{L_1 \cdot N \cdot F_d \cdot F_b}{1.000.000} = \frac{9,8 \cdot 37,55}{1.000.000} = 0,02 \text{ HP}$$

$$HP_b = \frac{C \cdot W \cdot L_f \cdot F_m}{1.000.000} = \frac{2068 \cdot 40 \cdot 18,8 \cdot 0,6}{1.000.000} = 0,93 \text{ HP}$$

Da figura 6 (apêndice), vemos que o fator F_o depende da soma da potência por atrito do alimentador vazio e a potência por atrito do material.

Neste caso, $HP_a + HP_b = 0,02 + 0,93 = 0,95 \text{ HP}$ e $F_o = 2,4$.

Para a determinação do rendimento de motorização, vamos considerar a rotação mínima da rosca que fornecerá a mínima potência transmitida pelo variador eletromagnético, como mostrado na fig. 3.

Assim, considerando $n_1 = 1085 \text{ rpm}$ que fornecerá $n_2 = 31 \text{ rpm}$, teremos o menor rendimento do sistema de acionamento, definido como:

$$\eta_{\text{motorização}} = \eta_{\text{variador}} \times \eta_{\text{reductor}}$$

$(\eta_{\text{saída}}=31\text{rpm}) \quad (\eta_1=1085\text{rpm})$

onde

$$\eta_{\text{variador}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{transmitida}}}$$

$(\eta_1=1085\text{rpm})$

Da fig. 3, temos que $\eta_{\text{variador}} = 62\%$

$(\eta_1=1085\text{rpm})$

Logo

$$l = \eta_{\text{motorização}} = 0,62 \times 0,925 = 0,574$$

$(\eta_2=31\text{rpm})$

Portanto, temos

$$HP = \frac{(HP_a + HP_b) F_o}{e} = \frac{(0,02 + 0,93) \cdot 24}{0,574} = 3,97 \text{ HP}$$

Vamos utilizar um motor elétrico, corrente alterada, 60 Hz, tipo indução trifásico, 4 polos de 5 HP, acoplado a um variador de velocidade com rotação máxima de saída de 1700 rpm e um reductor planetário com redução 35:1.

Capítulo 5

ANÁLISE DOS COMPONENTES MECÂNICOS DA ROSCA ALIMENTADORA

5.1 - Efeito de Cisalhamento nos Parafusos à Torção

Os parafusos utilizados são de cabeça sextavada fabricados segundo padrão ANSI B-18.6.2. O comprimento rosqueado é pequeno para manter a rosca fora da área cisalhada. Os parafusos são de aço baixo carbono ASTM A-307-64.

As propriedades físicas aproximadas são as seguintes:

limite de resistência	,	55000psi = 3866,5kgf/cm ²
limite de escoamento	,	35000psi = 2460,5kgf/cm ²
alongamento em 2", min %		18
tensão máxima de cisalhamento,	psi	44000psi = 3093,2kgf/cm ²

Para se obter maior resistência a cisalhamento nos parafusos acoplantes, é possível a utilização de parafusos de alta resistência fabricados sob a especificação ASTM A 325-64. Contudo, quando da utilização de parafusos de alta resistência, cisalhamento deixa de ser um fator limitante, já que o tubo e o acoplamento dificilmente cisalhariam o parafuso de material mais duro. Deformação do acoplamento a dobramento do parafuso é mais provável de acontecer.

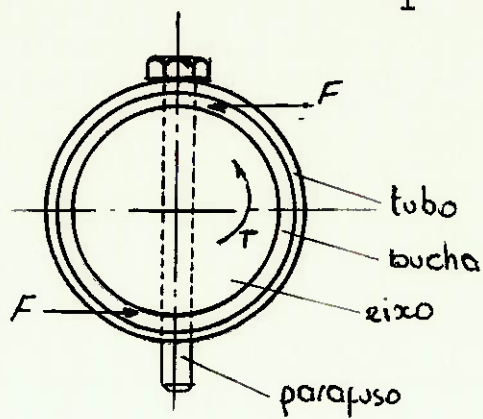
Carga no parafuso

Quando o alimentador está sob carga, o eixo acoplante tende a rodar dentro do embuchamento na extremidade do tubo. Esta força de rotação é resistida pelos parafusos,

que estão sob cisalhamento. Considera-se que a força de cisalhamento é resistida igualmente por todas as áreas solicitadas.

O nível de torção admissível é determinado pela seguinte fórmula:

$$T_1 = n \cdot 2 \cdot A_b \cdot \bar{\tau} \cdot \frac{Dd}{2}$$



$$\left. \begin{array}{l} T/n = F \cdot Dp \\ F \leq \bar{\tau} \cdot Ab \end{array} \right\} T < \bar{\tau} \cdot Ab \cdot Dp \cdot n$$

onde T = torque em kgf cm

n = número de parafusos

A_b = área seccional do parafuso cm^2

Dp = diâmetro do eixo de acoplamento cm

(*) $\bar{\tau}$ = tensão admissível de cisalhamento no parafuso =
= 6200psi = 435,9kgf/cm²

Determinação do torque máximo aplicado nos parafusos

A potência teórica necessária, estimada em outra parte deste trabalho (vide item 4.2) poderia ser ultrapassada na medida em que todos os 5 CV do motor fossem usados. Porisso,

todos componentes do sistema de potência, o eixo de entrada do alimentador, o eixo tubular com rosca e a própria rosca de vem ser capazes de suportar, com suas respectivas rotações, o torque fornecido por 5 CV. Assim posto, teremos:

$$T = \frac{71620 \text{ N}}{n} \quad , \quad \begin{array}{l} N \text{ (CV)} \dots\dots\dots 5\text{CV} \\ n = N_{\text{min}} \text{ (rpm)} \dots\dots 31\text{rpm} \\ T \text{ (kgf cm)} \end{array}$$

$$T_{\text{max}} = \frac{71620 \cdot 5}{31} = 11551,6 \text{ Kgfc}m$$

Admitindo que o torque será igualmente resistido pe los parafusos e adotando o diâmetro do eixo de acoplamento in dicado para trabalho moderado com materiais classe 1A e 1B para diâmetro de rosca 12", (tab. 5-apêndice) de 2 ⁷/₁₆", te remos: (parafuso recomendado ⁵/₈"

$$T \leq 435,9 \cdot 1,94 \cdot 6,19125 \cdot 4 = 20.939 \text{ kgfc}m$$

Donde se conclui que os parafusos de ⁵/₈" resistem ao esforço de cisalhamento.

(*) Os valores de σ e τ foram extraídos do manual CEMA Nº 350-1971 para os materiais e condições de aplicação específi cas em cada caso.

5.2 - Efeito de Cisalhamento nos Tubos Devido à Torção

O tubo é Schedule 40, pretos fabricado em aço baixo carbono, especificação ASTM A53-64 Graw A. As propriedades físicas aproximadas são as seguintes.

Limite de resistência, nin	48000psi = 3374,4 kgf/cm ²
Limite de escoamento, nin	2109 kgf/cm ²
Elongamento em 2", nin %	35

O critério de resistência ao cisalhamento na torção estabelece que:

$$T < \bar{\sigma} \cdot \frac{\pi}{16} \frac{(d_e^4 - d_i^4)}{d_e}$$

onde T é o torque solicitante em kgfcm

$$(*) \bar{\tau} \text{ é o tensão admissível de cisalhamento em kgf/cm}^2 = \\ = 471 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\frac{\pi}{32} (d_e^4 - d_i^4) \text{ é o momento de inércia polar do tubo}$$

De acordo com o standart CEMA Nº 300, o diâmetro nominal de tubo indicado para o diâmetro de rosca de 12" e considerando serviço normal para material classe 1A e 1B, é de 3". Para o tubo SCH 40, temos as seguintes dimensões:

$$t = 5,486 \text{ mm}$$

$$d_i = 77,93 \text{ mm}$$

$$d_e = 88,90 \text{ mm}$$

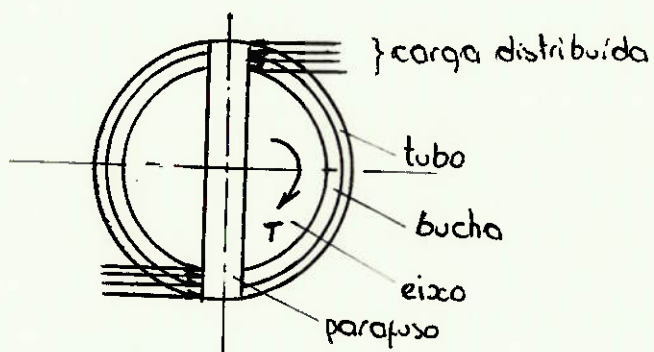
Donde:

$$T \leq 471 \cdot \frac{\pi}{16} \frac{(8,89^4 - 7,793^4)}{8,89} = 26\ 608,6 \text{ kgfcm}$$

Como o torque máximo solicitante do tubo, já calculado, é de 11551,6 kgfcm, concluímos que o mesmo resiste aos esforços de cisalhamento na torção.

5.3 - Efeito de Compressão Parafusos, Tubo, Bucha Devido à Torção

Os parafusos durante a aplicação do torque, são comprimidos contra o tubo e bucha. A projeção da área comprimida, para todos os efeitos práticos, é de forma retangular de largura igual ao diâmetro do parafuso e comprimento equivalente à soma das espessuras da bucha e do tubo.



O torque máximo admissível no eixo de acoplamento é determinado pela seguinte inequação:

$$T \leq n \cdot A_p \cdot \bar{\sigma}_c \cdot r$$

onde:

T = torque em kgfcm

n = número de parafusos

A_p = projeção da área comprimida por parafusos

(*) $\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível de compressão = 6000psi =
= 421,8kgf/cm²

r = raio de carregamento, que equivale a:

$$r = \frac{D_d}{2} + \frac{(D_p - D_d)}{4}$$

D_d = diâmetro do eixo de acoplamento em cm

D_p = diâmetro externo do tubo cm

Considerando as dimensões adotadas para o eixo de acoplamento e tubo, teremos:

$$D_d = 6,19 \text{ cm}$$

$$D_p = 8,89 \text{ cm}$$

$$r = \frac{6,19}{2} + \frac{(8,89-6,19)}{4} = 3,77$$

Temos também:

$$A_p = 2 \cdot \phi_{\text{parafuso}} \cdot (t_{\text{tubo}} + t_{\text{buch}}) =$$

$$= 1,59 \cdot (0,549 + 0,795) = 4,2 \text{ cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_c = 421,8 \text{ kgf/cm}^2$$

$$n = 4 \text{ parafusos}$$

$$\text{Donde } T \leq 4 \cdot 4,2 \cdot 421,8 \cdot 3,77 = 26715 \text{ kgfcm}$$

Como o torque máximo aplicado ao conjunto em questão é de 11551,6 kgfcm, concluímos que o esforço de compressão entre parafuso/tubo/bucha devido ao momento torção aplicado é perfeitamente resistido pelo conjunto.

5.4 - Efeito de Cisalhamento no Eixo de Acoplamento devido à Torção

O eixo de acoplamento será fabricado de aço lamina do a frio. O material é o AISI-C1018 fabricado de acordo com a especificação ASTM A 108-61T. As propriedades físicas aproximadas, na condição laminada a frio, são as seguintes:

Limite de resistência, min	69000psi = 4850,7 kgf/cm ²
Limite de escoamento, min	58000psi = 4077,4 kgf/cm ²
Elongamento em 2", min (%)	15

No dimensionamento do eixo de acoplamento, deveremos levar em consideração um fator de concentração de tensões devido à presença dos furos no eixo para a colocação dos parafusos. Na referência bibliográfica 2, encontramos os fatores de concentração de tensões correspondentes.

O torque máximo admissível pode, então, ser determinado a partir da relação:

$$\tau_{\max} = k_{ts} \cdot \frac{16 T}{\pi D_d^3} \quad , \quad \tau_{\max} < \bar{\tau}$$

onde k_{ts} = fator de concentração de tensões (fig. 7)

T = torque aplicado (11551,6 kgfcm)

D_d = diâmetro do eixo

(*) $\bar{\tau}$: tensão admissível de cisalhamento = 8500psi =
= 595 kgf/cm²

Os fatores de concentração de tensão aqui utilizados são baseados em testes fotoelásticos e com strain-gage.

Sendo "a" o diâmetro do furo, teremos:

$$\frac{a}{D_d} = \frac{16,7}{61,9} = 0,27$$

Da fig. 6 (apêndice), temos : $k_{ts} = 1,45$

$$\text{Donde } \tau_{\max} = 1,45 \frac{16 \cdot 11551,6}{\pi \cdot 6,19^3} = 359,7 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $\tau_{\max} < \bar{\tau}$, concluímos que o eixo resiste à tensão de cisalhamento na torção, considerada a concentração de tensão devido aos furos.

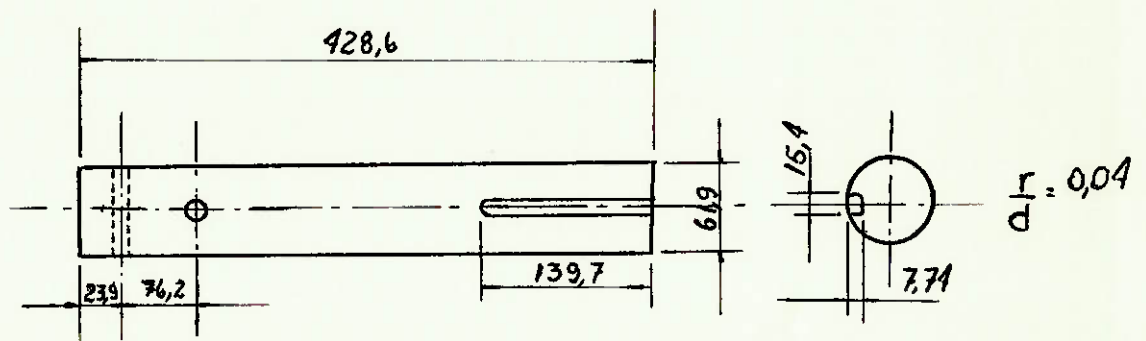


Fig. 9 Eixo de acionamento da rosca

O eixo de acoplamento responsável pelo acionamento da rosca, apresenta na extremidade oposta aos furos um rasgo de chaveta para permitir a transmissão com o sistema de acionamento. Este rasgo produz, da mesma forma que os furos, uma concentração de tensões que será analisada a seguir. A tensão

máxima de cisalhamento pode ser dada pela expressão

$$\tau_{\max} = k_{ts} \cdot \frac{16 T}{\pi D_d^3} \quad \tau_{\max} < \bar{\tau}$$

onde k_{ts} : fator de concentração de tensões devido ao rasgo de chaveta

T : momento torção aplicado = 11551,6 kgf/cm²

D_d : diâmetro do eixo

(*) $\bar{\tau}$: tensão admissível de cisalhamento = 492,14 kgf/cm²

Da fig. 10 (apêndice) obtemos para $r/D_p = 0,04$, temos $k_{ts} = 2,3$

$$\tau_{\max} = 2,3 \cdot \frac{16 \cdot 11551,6}{\pi \cdot 6,19^3} = 570,5 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $\tau_{\max} < \bar{\tau}$, concluímos que o eixo resiste satisfatoriamente, considerando a concentração de tensões devido ao rasgo de chaveta.

5.5.- Deflexão da Rosca Alimentadora

Deflexões de roscas alimentadoras e transportadoras de comprimento padrão raramente representam problema. Contudo, se seções de rosca de comprimento maior que o padrão forem utilizadas, sem mancais intermediários, devem ser tomados cuidados para evitar o contato da rosca com a calha devido a uma deflexão excessiva.

O valor geralmente aceito para a deflexão da rosca de 0,25". Quando este valor é ultrapassado, frequentemente o problema pode ser resolvido, utilizando-se uma secção de rosca transportadora com tubo de maior diâmetro. A utilização de tubos de maior espessura não traz reduções de deflexão satisfatórias.

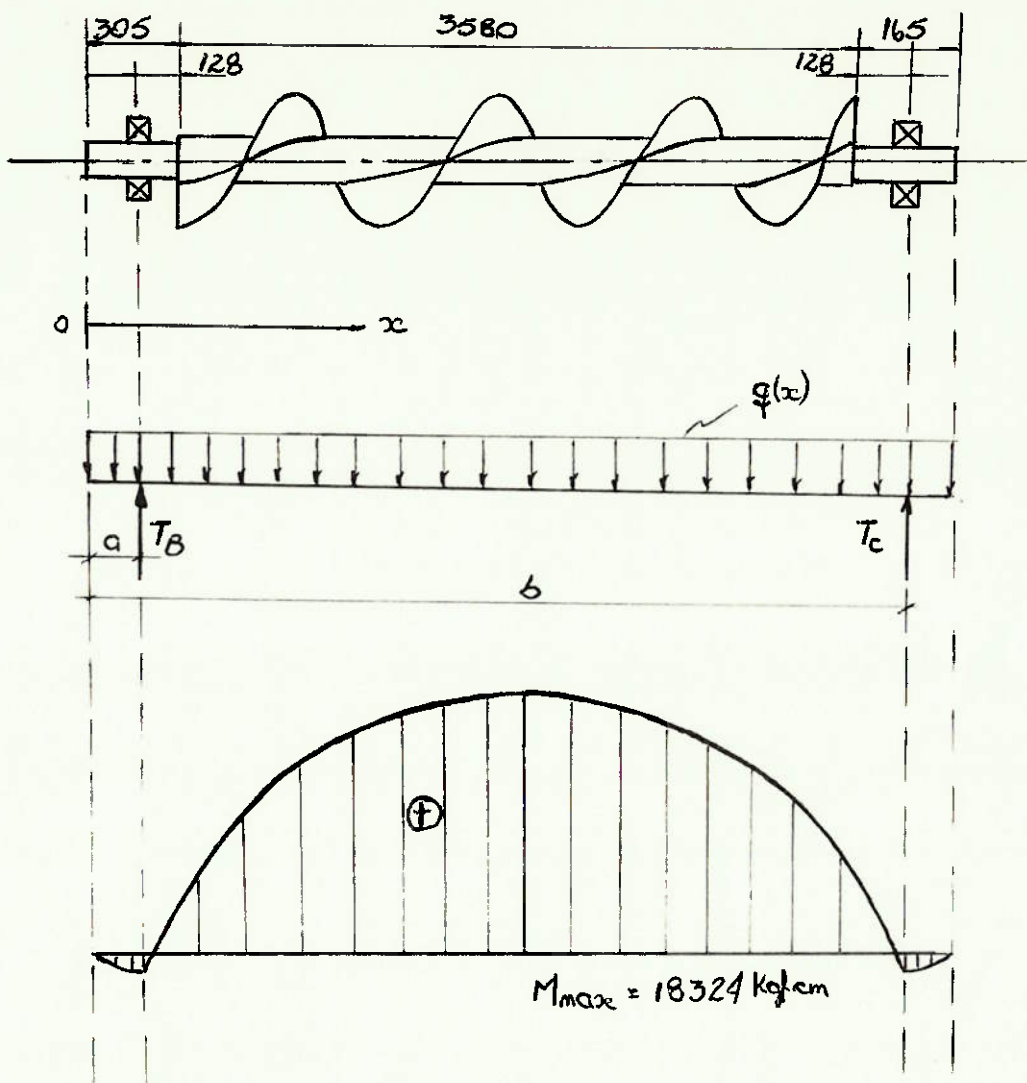


Fig. 11 - Diagrama de carga e momentos fletores

Determinação dos esforços nos mancais

$$\Sigma F_y = 0 : qL = T_B + T_C \quad T_B = qL - T_C$$

$$\Sigma M_A = 0 : \frac{qL^2}{2} - 401,3T_C - 17,7T_B = 0$$

donde

$$\frac{qL^2}{2} - 401,3T_C - 17,7 qL + 17,7 T_C = 0$$

$$\frac{qL^2}{2} - 17,7 qL - 383,6 T_C = 0$$

$$383,6 T_C = qL \left(\frac{405}{2} - 17,7 \right)$$

$$T_C = \frac{qL}{2,076}$$

$$T_B = \frac{qL}{1,929}$$

Determinação da deformação do tubo da rosca

Consideremos o carregamento uniforme ao longo de todo o conjunto indicado no diagrama da fig. 11

As equações do momento ao longo de toda a barra são as seguintes:

$$\text{trecho AB : } M(x) = - \frac{qx^2}{2}$$

$$\text{trecho BC : } M(x) = - \frac{qx^2}{2} + \frac{qL (x-a)}{2,076}$$

$$\text{trecho CD : } M(x) = - \frac{qx^2}{2} + \frac{qL (x-a)}{2,076} + \frac{qL (x-b)}{1,929}$$

Utilizando a noção de função de singularidade, definida a partir da relação:

$$\langle x - k \rangle^n = \begin{cases} 0 & \text{se } x < k \\ (x-k)^n & \text{se } x > k \end{cases},$$

podemos representar as equações dos momentos nos intervalos AB, BC e CD numa única expressão.

Assim, temos:

$$M(x) = -\frac{qx^2}{2} + \frac{qL}{1,929} \langle x-a \rangle + \frac{qL}{2,076} \langle x-b \rangle$$

Vamos agora utilizar a equação da linha elástica para o sistema. Devido às proporções entre os comprimentos das secções do eixo de acoplamento e do tubo e com o intuito de simplificar nossa análise, consideraremos o momento de inércia J para todo o conjunto representado na fig. 11, como igual ao momento de inércia do tubo de dimensões 3" SCH 40.

$$\text{Assim } J = \frac{\pi(d_e^4 - d_i^4)}{64} = \frac{\pi(8,89^4 - 7,793^4)}{64} = 125,56 \text{ cm}^4$$

Sendo:

- q : carregamento uniformemente distribuído
- E : módulo de elasticidade do aço = $2,1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
- J : momento de inércia do conjunto
- $f(x) = v(x)$: deslocamento angular
- $v(x)$: deslocamento linear

Teremos :

$$v''(x) = -\frac{M(x)}{EJ} = \frac{q}{EJ} \left| \frac{x^2}{2} - \frac{L}{1,929} \langle x-a \rangle - \frac{L}{2,076} \langle x-b \rangle \right|$$

$$f(x) = v(x) = \frac{q}{EJ} \left| -\frac{L}{3,858} \langle x-a \rangle^2 - \frac{L}{4,152} \langle x-b \rangle^2 + \frac{x^3}{6} + A \right|$$

$$v(x) = \frac{q}{EJ} \left| -\frac{L}{11,574} \langle x-a \rangle^3 - \frac{L}{12,456} \langle x-b \rangle^3 + \frac{x^4}{24} + Ax + B \right|$$

Condições de contorno

$$v(a) = 0 : \frac{a^4}{24} + Aa + B = 0$$

$$v(b) = 0 : -\frac{L(b-a)^3}{11,574} + \frac{b^4}{24} + Ab + B = 0$$

$$\text{donde} \quad A(b-a) - \frac{a^4}{24} + \frac{b^4}{24} - \frac{L(b-a)^3}{11,574} = 0$$

$$A = \frac{+a^4 - b^4}{24(b-a)} + \frac{L(b-a)^2}{11,574}$$

$$B = -\frac{a^4}{24} - \frac{a^5 + ab^4}{24(b-a)} - \frac{aL(b-a)^2}{11,574}$$

Tomando agora as distâncias indicadas na fig. 11 ,
teremos :

$$a = 17,7 \text{ cm}$$

$$b = 401,3 \text{ cm}$$

$$(b-a) = 383,6 \text{ cm}$$

$$L = 405,0 \text{ cm}$$

$$A = \frac{+ 17,7^4 - 401,3^4}{24 \cdot 383,6} + \frac{405 \cdot 383,6^2}{11,574} = + 2,3320803 \cdot 10^6$$

$$B = - \frac{17,7^4}{24} + \frac{-17,7^5 + 17,7 \cdot 401,3^4}{24 \cdot 383,6} - \frac{17,7 \cdot 405 \cdot 383,6^2}{11,574} =$$

$$= 41,281911 \cdot 10^6$$

Portanto:

$$v(x) = \frac{q}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 125,56} \left| -34,9922 \langle x-17,7 \rangle^3 - 32,5145 \langle x-401,3 \rangle^3 + \frac{x^4}{24} \right.$$

$$\left. + 2,3320803 \cdot 10^6 x - 41,281911 \cdot 10^6 \right|$$

A flexa máxima se dará na posição média entre os apoios, correspondente a $x = 209,5\text{cm}$

Assim, temos:

$$v_{\max} = \frac{q}{263,676 \cdot 10^6} \left| -34,9922 \cdot 7,0557926 \cdot 10^6 + \frac{209,5^4}{24} \right.$$

$$\left. + 488,57082 \cdot 10^6 - 41,281911 \cdot 10^6 \right|$$

$$v_{\max} = \frac{q}{263,676 \cdot 10^6} \cdot 280,65596 \cdot 10^6 = 1,064 q \text{ cm}$$

\therefore flexa máxima = $1,064 q$ cm, onde q é o carregamento distribuído em kgf/cm correspondente ao peso do conjunto por unidade de comprimento.

Avaliação do peso do conjunto da rosca

O conjunto da rosca consiste dos eixos de acoplamento, situados na extremidade do tubo de 3" SCH 40 em cuja superfície externa é soldada a hélice de diâmetro externo de 12" , mais os parafusos e buchas em ambas as extremidades do tubo.

As dimensões da hélice pelo padrão do Conveyors Equipment Manufactures Association, standart Nº 300-001 são dadas em função do diâmetro da rosca e do eixo de acoplamento.

Para a rosca de 12", eixo de acoplamento de 61,9 mm ($2 \frac{7}{16}$ "), teremos uma hélice de espessura média de 3,97 mm.

Deste modo, a área seccional da hélice será:

$$A_{hel} = 3,97 \cdot (304,8 - 88,9) = 215,9 \text{ mm}^2$$

A área seccional do tubo é:

$$A_{tubo} = \frac{\pi}{4} (D_e^4 - D_i^4) = \frac{\pi}{4} (88,90^4 - 77,93^4) = 1437,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Assim, } \frac{A_{hel}}{A_{tubo}} \cong 0,15$$

Pela relação entre as áreas seccionais, como os materiais são de composição semelhante, chegamos à conclusão que o peso do conjunto deve-se principalmente ao peso do tubo.

De acordo com catálogo de fabricante, o peso teórico do tubo ASTM A 53 3" SCH 40 é de 0,113 kg/cm. Vamos considerar, à favor da segurança, o dobro desse valor e adotá-lo como a carga distribuída no sistema.

$$\text{Assim } q = 0,23 \text{ kg/cm}$$

Como a flexa máxima calculada equivale a $v_{\max} = 1,064q$ cm , com $q = 0,23$ kg/cm,

$$\text{Temos } v_{\max} = 1,064 \times 0,23 = 0,245 \text{ cm}$$

$$v_{\max} \cong 0,25 \text{ cm}$$

Como já foi dito anteriormente, o valor aceitável para deflexão é de 0,25" (0,635 cm), logo o valor obtido é plenamente satisfatório.

5.6 - Empuxo Terminal na Rosca Alimentadora

O empuxo terminal na rosca alimentadora tem sua origem na reação às forças necessárias para mover o material ao longo do eixo da calha do alimentador. Tal força é oposta à direção de fluxo do material para resistir a tais forças é necessário um mancal de apoio axial e por vezes um reforço da calha do alimentador. Pode ser esperada um melhor desempenho, se o mancal for colocado de tal forma que os membros rotativos estiverem sob tensão, logo, um mancal de apoio axial deve ser colocado na extremidade de descarga do alimentador. Colocando aquele mancal na extremidade de alimentação de equipamento, os elementos rotativos funcionariam sob compressão que poderiam trazer efeitos indesejáveis.

Experiência de fabricantes tem mostrado que seleções de componentes para resistir empuxo terminal é raramen-

te um fator crítico e o empuxo não é normalmente calculado para fins de projeto. Componentes de empuxo sem a necessidade de se recorrer a sistemas especiais na maioria das aplicações.

Há, contudo, casos em que componentes devem ser dimensionados para resistir a carregamentos pesados.

Para estes casos a seguinte equação pode ser usada como um cálculo conservativo do empuxo terminal do alimentador (ref. 1 pag. 42).

$$\text{Empuxo (lbs)} = \frac{252000 \cdot N \cdot K}{n \cdot D_s}$$

onde n : rotação (rpm)

N : potência (HP)

D_s = diâmetro da rosca alimentadora (pol.)

K = 1,0 para passo padrão, passo = diâmetro

K = 1,5 para $\frac{2}{3}$ passo

K = 2,0 para $\frac{1}{2}$ passo

K = 3,0 para $\frac{1}{3}$ passo

K = 4,0 para $\frac{1}{4}$ passo

No nosso caso, teremos então:

$$E = \frac{25200 \cdot 4,93 \cdot 2}{31 \cdot 12} = 667,94 \text{ lbs}$$

$$E = 302,92 \text{ Kgf}$$

Testes constataram que esta equação tende a fornecer valores de empuxo várias vezes maior que o empuxo medido e experiência passada permitirá geralmente a seleção de com-

ponentes de empuxo mais leves que os indicados por esta fórmula.

5.7 - Escolha dos Rolamentos

Visando manter os elementos rotativos da rosca sob tensão vamos optar por uma montagem do eixo/acoplamentos de tal forma que o acoplamento da descarga seja o responsável pela resistência ao empuxo terminal na rosca.

Assim sendo, a distribuição de esforços nos mancais pode ser observada na fig. 12.

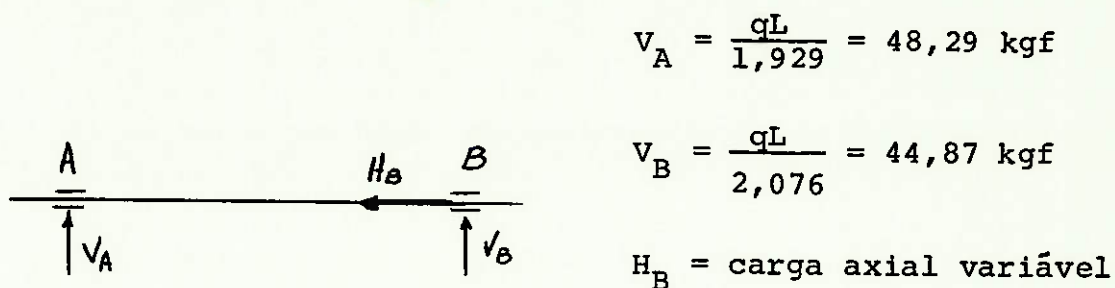


Fig. 12 - Esquema dos esforços nos mancais

Calculo da carga axial equivalente no rolamento B

O carregamento vertical nos rolamentos é constante e os valores V_A e V_B estão determinados.

Já o carregamento axial no mancal B que traduz o empuxo axial na rosca varia em função da rotação da mesma, da do pela expressão:

$$E = \frac{25200 \cdot N \cdot K}{n \cdot D_s} \quad \text{já apresentada}$$

Com o objetivo de melhor avaliar a carga equivalente no rolamento, faremos a consideração plenamente realística de que a variação da rotação com o tempo varia de acordo com uma distribuição normal (ref. 3 pg. 99), representada na fig. 13, onde os valores médios apresentam maiores possibilidades de ocorrer.

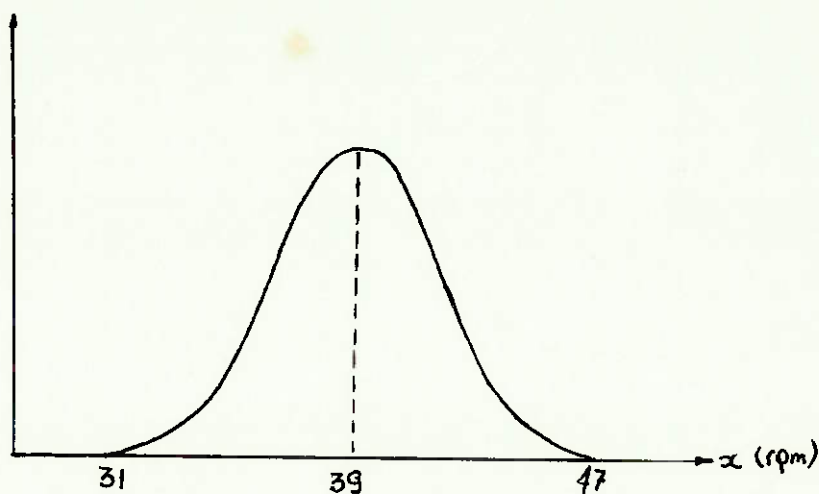


Figura 13 - Distribuição normal da rotação da rosca em função do tempo

Sendo que os valores entre 31 e 47 rpm representam a totalidade ou 100% do tempo.

O desvio padrão pode ser determinado a partir dos pontos 31 e 47 como segue:

probabilidade $P(n > 47) = 0 \implies P(39 < n < 47) = 0,5$

Da tabela de distribuição normal (ref. 3 pg. 136), teremos que $Z = 3,90$ (normal reduzida)

Como por definição $Z = \frac{x - \bar{\mu}}{\sigma}$, teremos:

$$3,9 = \frac{47 - 39}{\sigma} \quad \sigma = 2,05 \quad (\text{variância}) .$$

Vamos considerar os intervalos de rotação de 31 a 37, 37 a 39, 39 a 41 e 41 a 47rpm e determinar o tempo provável de trabalho em cada uma dessas faixas admitindo a distribuição normal. Para cada valor obtido, calcularemos o empuxo axial médio para o intervalo.

Em posse desses dados, determinaremos o esforço axial equivalente no mancal B.

Assim, utilizando a tabela de distribuição normal, chegaremos ao seguinte resultado.

$$P(37 < n < 39) = 47,58\%$$

$$P(39 < n < 41) = 47,58\%$$

$$P(31 < n < 37) = 2,42\%$$

$$P(41 < n < 47) = 2,42\%$$

Aplicando a expressão do o empuxo axial, teremos:

$$\bar{H}_B (31 \text{ a } 37\text{rpm}) = 278,36 \text{ kgf}$$

$$\bar{H}_B (37 \text{ a } 39\text{rpm}) = 247,29 \text{ kgf}$$

$$\bar{H}_B (41 \text{ a } 47\text{rpm}) = 174,42 \text{ kgf}$$

$$\bar{H}_B (39 \text{ a } 41\text{rpm}) = 234,91 \text{ kgf}$$

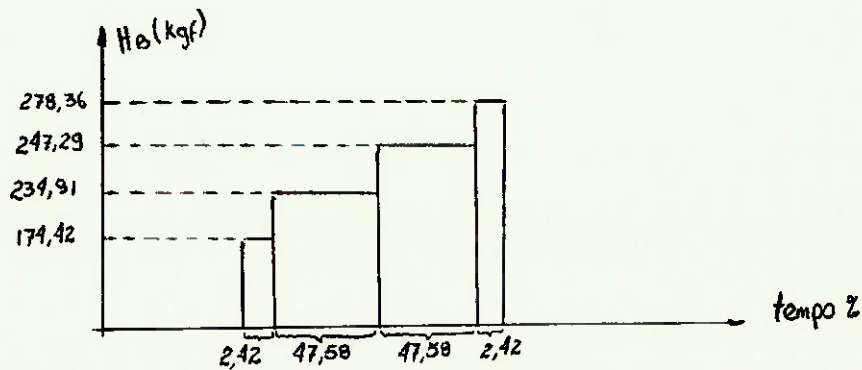


Figura 14 - Gráfico do carregamento axial no mancal B em função do tempo

$$\text{Carga ideal: } P = \frac{P_1^3 \cdot t_1 + P_2^3 \cdot t_2 + P_3^3 \cdot t_3 + P_4^3 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}^{1/3}$$

Substituindo os valores, temos:

$$P = (278,36^3 \cdot 0,0242 + 247,29^3 \cdot 0,4758 + 234,91^3 \cdot 0,4758 + 174,42^3 \cdot 0,0242)^{1/3}$$

Portanto $P_{\text{ideal}} = \boxed{H_B = 241,1} \text{ kgf}$ (carga axial)

Escolha do tipo de rolamento

O mancal A resistirá apenas a cargas radiais. Devido ao seu preço econômico, suportando tanto cargas radiais como axiais, vamos utilizar o rolamento fixo de esferas. Este rolamento possui uma capacidade de ajustagem angular limitada, o que não é problema pois como já foi calculado, a deflexão angular do eixo será bem pequena.

O mancal B estará solicitado a cargas axial e radial. Para apoiar cargas combinadas empregam-se rolamentos fixos de esferas, autocompensadores de esferas, rolamentos de contato angular de duas carreiras de esferas, autocompensadores de rolos, e os tipos de rolamentos de rolos cilíndricos que são usados como rolamentos fixos. O rolamento a ser escolhido dependerá da carga equivalente calculada.

Capacidade de Carga Estática Equivalente (Co)

A carga estática equivalente P_o é determinada pela equação

$$P_o = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a \quad (\text{kgf})$$

sendo F_r : carga radial (kgf)

F_a : carga axial (kgf)

X_o : fator radial

Y_o : fator axial

Os fatores X_o e Y_o para rolamentos fixos de uma car
reira de esferas são:

$$P_o = F_r \quad \text{para} \quad \frac{F_a}{F_r} \leq 0,8$$

$$P_o = 0,6F_r + 0,5F_a \quad \text{para} \quad \frac{F_a}{F_r} > 0,8$$

ROLAMENTO A : $P_o = 48,3 \text{ kgf}$

ROLAMENTO B : $\frac{F_a}{F_r} = \frac{241,1}{44,87} = 5,37 > 0,8$

$$P_o = 0,6 \cdot 44,87 + 0,5 \cdot 241,1 = 147,5 \text{ kgf}$$

$P_o = 147,5 \text{ kgf}$

Determinamos a capacidade de carga estática a partir da relação:

$$C_o = f_s \cdot P_o \quad (\text{kgf})$$

onde C_o : capacidade de carga estática (kgf)

P_o : carga estática equivalente (kgf)

f_s : fator de forças estáticas

Para exigências normais, adotaremos $f_s = 1,0$ (ref.4)

Portanto: ROLAMENTO A : $C_o = 48,3 \text{ kgf}$

ROLAMENTO B : $C_o = 147,5 \text{ kgf}$

Carga Dinâmica Equivalente (P)

A carga dinâmica equivalente pode ser determinada pelas expressões, considerando rolamento fixo de uma carreira de esferas

$$P = F_r \quad \text{para} \quad \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = 0,56 F_r + YF_a \quad \text{para} \quad \frac{F_a}{F_r} > e$$

onde "e" e "y" são tabelados em função de $\frac{F_a}{C_o}$

(ref. 4)

$$\text{ROLAMENTO A : } F_a = 0 \implies P = F_r = 48,29 \text{ kgf}$$

$$\text{ROLAMENTO B : } \frac{F_a}{C_o} = \frac{241,1}{147,5} = 1,6$$

$$\therefore P = 0,56 \cdot 44,87 + 241,1 = 266,2 \text{ kgf}$$

Capacidade de carga dinâmica (C)

Adotando uma duração de funcionamento até a fadiga de 10.000 horas, de acordo com a tab. 7 (apêndice) teremos:

$$\frac{C}{P}, fn = 2,71$$

onde fn é o fator do número de rotações.

Vamos considerar, a favor do segurança, o valor de fn para a rotação máxima, dado pela tab. 8 (apêndice).

$$\text{Assim, para } n = 47 \text{ rpm} \quad fn = 0,892$$

$$\text{Logo } c = \frac{2,71 \cdot P}{0,892}$$

ROLAMENTO A : $c = 147$

ROLAMENTO B : $c = 687$

Os valores de capacidade de carga são relativamente baixos. Escolheremos o tamanho do rolamento em função do diâmetro do eixo já dimensionado.

Assim, adotaremos:

ROLAMENTO A : fixo de uma carreira de esferas

marca : FAG

série 160

designação 160 13

diâmetro do furo : 65 mm

C = 1660 kg

C₀ : 1500 kg

ROLAMENTO B : idem

Bibliografia

- 1 - CEMA - Conveyor Equipment Manufacturers Association Publicação Nº 350 - 1973
- 2 - Peterson
"Stress Concentration factors"
- 3 - P. Costa Neto
M. Cymbalista
"Probabilidades"
- 4 - FAG
Catálogo de rolamentos
- 5 - Niemann
Elementos de máquinas
Vols I e II

APÉNDICE

Efeitos de algumas propriedades dos materiais sobre o projeto da rosca transportadora

As propriedades que seguem referem-se à codificação apresentada nas tabelas de materiais apresentadas (tab. 1 e tab. 2): Cuidados especiais devem ser tomados de acordo com a propriedade apontada para cada material específico, indicada na tab. 2

CÓDIGO

PROPRIEDADE

- K Alguns materiais a granel são sensíveis a pequenas variações na temperatura ou pressão. Por exemplo, materiais contendo óleos vegetais podem estragar pelo calor do atrito num mancal intermediário de sustentação.
- L Materiais poeirentos, especialmente os que o são em alto grau devem ser considerados cuidadosamente. Experiência prévia com materiais similares é o melhor guia. Podem ser necessár as bordas gaxetadas, especiais nas extremidades da calha podem ser necessárias.
- M Alguns materiais como cimento Portlant seco apresentam comportamento fluido como resultado do transporte na rosca transportadora. A densidade aparente "como transportada" é muito inferior à densidade aparente normal. Como o material apresenta comportamen-

CÓDIGO

PROPRIEDADE

to fluido, a escoabilidade aumenta consideravelmente e, em alguns casos o material escoará como água resultando num aumento do carregamento seccional e perda do controle da taxa de escoamento.

- N Cinzas associadas com certos materiais a granel são inflamáveis ou mesmo explosivos quando misturados ao ar em concentrações adequadas. Por isso deve-se reter cinzas transportadas dentro do corpo do transportador. O transportador com cobertura de cada mostrase satisfatório no manuseio de cinzas inflamáveis ou explosivas, embora proteções mais sofisticadas que a padrão possam ser necessárias.
- P e Q Materiais contamináveis e degradáveis devem ser reconhecidos pois sua venda ou uso podem ser afetados por um transporte inadequado. Rolamentos não lubrificados adequados devem ser usados. Velocidades baixas do transportador normalmente evitarão degradação excessiva.
- R Materiais desta categoria são similares aos descritos sob L e N, exceto que a exposição das cinzas ou fumos pode ser perigoso ao pessoal. Envoltórios hermeticamente fechados são necessários. Elaboração dos envoltórios dependem do gravidade do perigo.
- S e T Um problema comum é a necessidade de proteção contra corrosão. A escolha dos materiais de construção como os tipos de aço inoxidável a outro metal especial deve ser escolhido.

CÓDIGO

PROPRIEDADE

- U Certos materiais a granel são higroscópicos. Eles absorvem água da unidade do ar. A água procederá mudanças na escoabilidade do material, o que deve ser levado em conta no comportamento normal de tais materiais.
- V e X Materiais a granel que se entrelaçam e travam geralmente necessitarão roscas mais robustas que a padrão e bordas da rosca cortantes, que possam abrir caminho por entre o material. Mancais intermediários podem ter de ser eliminados.
- W Óleos ou substâncias químicas eventualmente presentes nos materiais a granel requerem consideração especial. Alguns desses constituintes podem tornar o material pegajoso e causam aderência aos componentes do transformador. Rosca em fita pode ajudar em certos casos.
- Y Materiais leves e macios necessitam considerações similares àqueles que empoeiram quando são transportados.
- Z Temperaturas elevadas são encontradas em várias fase do processamento de materiais. Roscas transportadoras devem ser fabricadas a partir do projeto e construção mais robustos que o padrão para suportar a expansão e contração inevitáveis que ocorrem. Mancais intermediários devem ser protegidos contra o calor a eliminados. Mancais terminais e equipamento de acionamento devem ser separados da calha para evitar sua exposição ao calor.

PREFÁCIO À TABELA DE MATERIAIS

A tabela de materiais (tab. 2) lista uma grande quantidade de materiais a granel que podem ser manuseados por meio de rosca transportadora. A tabela mostra em sua primeira coluna as classes de densidade que podem ser encontradas no manuseio do material. A densidade "como transportada" não é indicada especificamente, mas é geralmente assumida como sendo próxima ao mínimo valor.

A próxima coluna indica o código do material Consiste da densidade média, a designação dimensional normal, o número relativo à escoabilidade, o número relativo à abrasividade seguinte de indicações quanto às propriedades que influem na manuseabilidade do material (vide tab. 1).

A coluna da série de componentes refere-se aos componentes do transportador como indicados nas tabelas 2, 3 e 4 anexas.

Um material muito fino de 100 mesh com densidade média de 50 lbs por pé cúbico que apresenta uma média escoabilidade e abrasividade baixa teria um código de material 50 A₁₀₀ 36 . Se este material é muito empoeirado e levemente corrosivo, o número seria então 50 A₁₀₀ 36 LT.

O fator de material é utilizado na fórmula de potência para determinar a potência de acionamento de uma ros-

ca transportadora horizontal.

A última coluna indica apenas se o material é apropriado para transportar o material na posição vertical.

As informações e dados na tabela de materiais (tab. 2) foram obtidos por membros do CEMA* e representam muitos anos de experiência no projeto e aplicação de roscas transportadoras no manuseio dos materiais listados. As características físicas indicadas desses materiais não são o resultado de nenhum teste específico de laboratório nas foram obtidos da operação industrial real de um sem número de roscas transportadoras.

Os pesos unitários publicados, as séries de componentes e fatores de material F_m são para condições médias . Por exemplo, trigo seco a com pouca unidade de menos de 10% é altamente escoável e o fator F_m de 0,4 pode ser usado. Quando existe mais unidade, sugere-se um fator de 0,5 ou 0,6. Este fenômeno é comum a grãos cereais e algumas outras substâncias.

A tabela de materiais é apenas um guia. Uma amostra de um material específico pode apresentar propriedades que variam das apontadas na tabela.

*CEMA - Conveyor Equipment Manufacturers Association

Table 2-1

Material Classification Code Chart

TABELA 1

Major Class	Material Characteristics Included	Code Designation
Density	Bulk Density, Loose	Actual Lbs/CF
Size	Very Fine No. 200 Sieve (.0029") And Under No. 100 Sieve (.0059") And Under No. 40 Sieve (.016") And Under	A ₂₀₀ A ₁₀₀ A ₄₀
	Fine No. 6 Sieve (.132") And Under	B ₆
	Granular ½" And Under 3" And Under 7" And Under	C _½ D ₃ D ₇
	Lumpy 16" And Under Over 16" To Be Specified X=Actual Maximum Size	D ₁₆ D _X
	Irregular Stringy, Fibrous, Cylindrical, Slabs, Etc.	E
	Flowability	Very Free Flowing - Flow Function > 10 Free Flowing - Flow Function > 4 But < 10 Average Flowability - Flow Function > 2 But < 4 Sluggish - Flow Function < 2 <i>↳ 2.5 to 10, 10 to 16</i>
Abrasiveness	Mildly Abrasive - Index 1-17 Moderately Abrasive - Index 18-67 Extremely Abrasive - Index 68-416	5 6 7
Miscellaneous Properties Or Hazards	Builds Up and Hardens Generates Static Electricity Decomposes - Deteriorates in Storage Flammability Becomes Plastic or Tends to Soften Very Dusty Aerates and Becomes Fluid Explosiveness Stickiness-Adhesion Contaminable, Affecting Use Degradable, Affecting Use Gives Off Harmful or Toxic Gas or Fumes Highly Corrosive Mildly Corrosive Hygroscopic Interlocks, Mats or Agglomerates Oils Present Packs Under Pressure Very Light and Fluffy - May Be Windswept Elevated Temperature	F G H J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Table 2-2
Material Characteristics

TABELA 2

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Adipic Acid	45	45A ₁₀₀ 35	2B	.5	x
Alfalfa Meal	14-22	18B ₆ 45WY	2D	.6	x
Alfalfa Pellets	41-43	42C _{1/2} 25	2D	.5	
Alfalfa Seed	10-15	13B ₆ 15N	1A-1B-1C	.4	x
Almonds, Broken	27-30	29C _{1/2} 35Q	2D	.9	
Almonds, Whole Shelled	28-30	29C _{1/2} 35Q	2D	.9	
Alum, Fine	45-50	48B ₆ 35U	1A-1B-1C	.6	
Alum, Lumpy	50-60	55B ₆ 25	2A-2B	1.4	
Alumina	55-65	58B ₆ 27MY	3D	1.8	
Alumina Fines	35	35A ₁₀₀ 27MY	3D	1.6	
Alumina Sized or Briquette	65	65D ₃ 37	3D	2.0	
Aluminate Gel (Aluminate Hydroxide)	45	45B ₆ 35	2D	1.7	x
Aluminum Chips, Dry	7-15	11E45V	2D	1.2	
Aluminum Chips, Oily	7-15	11E45V	2D	.8	
Aluminum Hydrate	13-20	17C _{1/2} 35	1A-1B-1C	1.4	x
Aluminum Ore (See Bauxite)	—	—	—	—	—
Aluminum Oxide	60-120	90A ₁₀₀ 17M	3D	1.8	
Aluminum Silicate (Andalusite)	49	49C _{1/2} 35S	3A-3B	.8	x
Aluminum Sulfate	45-58	52C _{1/2} 25	1A-1B-1C	1.0	
Ammonium Chloride, Crystalline	45-52	49A ₁₀₀ 45FRS	3A-3B	.7	
Ammonium Nitrate	45-62	54A ₄₀ 35NTU	3D	1.3	
Ammonium Sulfate	45-58	52C _{1/2} 35FOTU	1A-1B-1C	1.0	
Antimony Powder	—	A ₁₀₀ 35	2D	1.6	x
Apple Pomace, Dry	15	15C _{1/2} 45Y	2D	1.0	x
Arsenate of Lead (See Lead Arsenate)	—	—	—	—	—
Arsenic Oxide (Arsenolite)*	100-120	110A ₁₀₀ 35R	—	—	—
Arsenic Pulverized	30	30A ₁₀₀ 25R	2D	.8	
Asbestos-Rock (Ore)	81	81D ₃ 37R	3D	1.2	
Asbestos-Shredded	20-40	30E46XY	2D	1.0	
Ash, Black Ground	105	105B ₆ 35	1A-1B-1C	2.0	
Ashes, Coal, dry—1/2"	35-45	40C _{1/2} 46TY	3D	3.0	x
Ashes, Coal, dry—3"	35-40	38D ₃ 46T	3D	2.5	
Ashes, Coal, Wet—1/2"	45-50	48C _{1/2} 46T	3D	3.0	
Ashes, Coal, Wet—3"	45-50	48D ₃ 46T	3D	4.0	
Ashes, Fly (See Fly Ash)	—	—	—	—	—
Asphalt, Crushed—1/2"	45	45C _{1/2} 45	1A-1B-1C	2.0	x
Bagasse	7-10	9E45RVXY	2A-2B-2C	1.5	
Bakelite, Fine	30-45	38B ₆ 25	1A-1B-1C	1.4	x
Baking Powder	40-55	48A ₁₀₀ 35	1B	.6	x
Baking Soda (Sodium Bicarbonate)	40-55	48A ₁₀₀ 25	1B	.6	x
Barite (Barium Sulfate) + 1/2"—3"	120-180	150D ₃ 36	3D	2.6	
Barite, Powder	120-180	150A ₁₀₀ 35X	2D	2.0	x
Barium Carbonate	72	72A ₁₀₀ 45R	2D	1.6	
Bark, Wood, Refuse	10-20	15E45TVY	3D	2.0	
Barley, Fine, Ground	24-38	31B ₆ 35	1A-1B-1C	.4	x
Barley, Malted	31	31C _{1/2} 35	1A-1B-1C	.4	x
Barley, Meal	28	28C _{1/2} 35	1A-1B-1C	.4	x
Barley, Whole	36-48	42B ₆ 25N	1A-1B-1C	.5	x
Basalt	80-105	93B ₆ 27	3D	1.8	
Bauxite, Dry, Ground	68	68B ₆ 25	2D	1.8	
Bauxite, Crushed—3"	75-85	80D ₃ 36	3D	2.5	
Beans, Castor, Meal	35-40	38B ₆ 35W	1A-1B-1C	.8	x
Beans, Castor, Whole Shelled	36	36C _{1/2} 15W	1A-1B-1C	.5	x
Beans, Navy, Dry	48	48C _{1/2} 15	1A-1B-1C	.5	
Beans, Navy, Steeped	60	60C _{1/2} 25	1A-1B-1C	.8	

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Bentonite, Crude	34-40	37D ₃ 45X	2D	1.2	
Bentonite, -100 Mesh	50-60	55A ₁₀₀ 25MXY	2D	.7	x
Benzene Hexachloride	56	56A ₁₀₀ 45R	1A-1B-1C	.6	
Bicarbonate of Soda (Baking Soda)	—	—	1B	.6	
Blood, Dried	35-45	40D ₃ 45U	2D	2.0	x
Blood, Ground, Dried	30	30A ₁₀₀ 35U	1A-1B	1.0	x
Bone Ash (Tricalcium Phosphate)	40-50	45A ₁₀₀ 45	1A-1B	1.6	
Boneblack	20-25	23A ₁₀₀ 25Y	1A-1B	1.5	x
Bonechar	27-40	34B ₆ 35	1A-1B	1.6	x
Bonemeal	50-60	55B ₆ 35	2D	1.7	x
Bones, Whole*	35-50	43E45V	2D	3.0	
Bones, Crushed	35-50	43D ₃ 45	2D	2.0	x
Bones, Ground	50	50B ₆ 35	2D	1.7	x
Borate of Lime	60	60A ₁₀₀ 35	1A-1B-1C	.6	
Borax, Fine	45-55	50B ₆ 25T	3D	.7	x
Borax Screening—½"	55-60	58C _½ 35	2D	1.5	
Borax, 1½-2" Lump	55-60	58D ₃ 35	2D	1.8	
Borax, 2"-3" Lump	60-70	65D ₃ 35	2D	2.0	
Boric Acid, Fine	55	55B ₆ 25T	3D	.8	x
Boron	75	75A ₁₀₀ 37	2D	1.0	
Bran, Rice-Rye-Wheat	16-20	18B ₆ 35NY	1A-1B-1C	.5	
Braunite (Manganese Oxide)	120	120A ₁₀₀ 36	2D	2.0	
Bread Crumbs	20-25	23B ₆ 35PQ	1A-1B-1C	.6	
Brewer's Grain, spent, dry	14-30	22C _½ 45	1A-1B-1C	.5	x
Brewer's Grain, spent, wet	55-60	58C _½ 45T	2A-2B	.8	
Brick, Ground—1/8"	100-120	110B ₆ 37	3D	2.2	
Bronze Chips	30-50	40B ₆ 45	2D	2.0	
Buckwheat	37-42	40B ₆ 25N	1A-1B-1C	.4	x
Calcine, Flour	75-85	80A ₁₀₀ 35	1A-1B-1C	.7	
Calcium Carbide	70-90	80D ₃ 25N	2D	2.0	
Calcium Carbonate (See Limestone)	—	—	—	—	
Calcium Fluoride (See Fluorspar)	—	—	—	—	
Calcium Hydrate (See Lime, Hydrated)	—	—	—	—	
Calcium Hydroxide (See Lime, Hydrated)	—	—	—	—	
Calcium Lactate	26-29	28D ₃ 45QTR	2A-2B	.6	
Calcium Oxide (See Lime, unslaked)	—	—	—	—	
Calcium Phosphate	40-50	45A ₁₀₀ 45	1A-1B-1C	1.6	
Calcium Sulfate (See Gypsum)	—	—	—	—	
Carbon, Activated, Dry, Fine*	—	—	—	—	
Carbon Black, Pelleted*	—	—	—	—	
Carbon Black, Powder *	—	—	—	—	x
Carborundum	100	100D ₃ 27	3D	3.0	
Casein	36	36B ₆ 35	2D	1.6	
Cashew Nuts	32-37	35C _½ 45	2D	.7	
Cast Iron, Chips	130-200	165C _½ 45	2D	4.0	
Caustic Soda	88	88B ₆ 35RSU	3D	1.8	
Caustic Soda, Flakes	47	47C _½ 45RSUX	3A-3B	1.5	
Celite (See Diatomaceous Earth)	—	—	—	—	
Cement, Clinker	75-95	85D ₃ 36	3D	1.8	
Cement, Mortar	133	133B ₆ 35Q	3D	3.0	
Cement, Portland	94	94A ₁₀₀ 26M	2D	1.4	x
Cement, Aerated (Portland)	60-75	68A ₁₀₀ 16M	2D	1.4	x

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Cerrusite (See Lead Carbonate)	—	—	—	—	
Chalk, Crushed	75-95	85D ₃ 25	2D	1.9	
Chalk, Pulverized	67-75	71A ₁₀₀ 25MXY	2D	1.4	x
Charcoal, Ground	18-28	23A ₁₀₀ 45	2D	1.2	
Charcoal, Lumps	18-28	23D ₃ 45Q	2D	1.4	
Chocolate, Cake Pressed	40-45	43D ₃ 25	2B	1.5	
Chrome Ore	125-140	133D ₃ 36	3D	2.5	
Cinders, Blast Furnace	57	57D ₃ 36T	3D	1.9	
Cinders, Coal	40	40D ₃ 36T	3D	1.8	
Clay (See Bentonite, Diatomaceous Earth, Fuller's Earth, Kaolin & Marl)	—	—	—	—	
Clay, Ceramic, Dry, Fines	60-80	70A ₁₀₀ 35P	1A-1B-1C	1.5	x
Clay, Calcined	80-100	90B ₆ 36	3D	2.4	
Clay, Brick, Dry, Fines	100-120	110C _{1/2} 36	3D	2.0	
Clay, Dry, Lumpy	60-75	68D ₃ 35	2D	1.8	
Clinker, Cement (See Cement Clinker)	—	—	—	—	
Clover Seed	45-48	47B ₆ 25N	1A-1B-1C	.4	x
Coal, Anthracite (River & Culm)	55-61	60B ₆ 35TY	2A-2B	1.0	
Coal, Anthracite, Sized—1/2"	49-61	55C _{1/2} 25	2A-2B	1.0	
Coal, Bituminous, Mined	40-60	50D ₃ 35LNXY	1A-1B	.9	
Coal, Bituminous, Mined, Sized	45-50	48D ₃ 35QV	1A-1B	1.0	
Coal, Bituminous, Mined, Slack	43-50	47C _{1/2} 45T	2A-2B	.9	
Coal, Lignite	37-45	41D ₃ 35T	2D	1.0	
Cocoa Beans	30-45	38C _{1/2} 25Q	1A-1B	.5	
Cocoa, Nibs	35	35C _{1/2} 25	2D	.5	
Cocoa, Powdered	30-35	33A ₁₀₀ 45XY	1B	.9	
Cocoanut, Shredded	20-22	21E45	2B	1.5	x
Coffee, Chaff	20	20B ₆ 25MY	1A-1B	1.0	x
Coffee, Green Bean	25-32	29C _{1/2} 25PQ	1A-1B	.5	
Coffee, Ground, Dry	25	25A ₄₀ 35P	1A-1B	.6	x
Coffee, Ground, Wet	35-45	40A ₄₀ 45X	1A-1B	.6	
Coffee, Roasted Bean	20-30	25C _{1/2} 25PQ	1B	.4	x
Coffee, Soluble	19	19A ₄₀ 35PUY	1B	.4	x
Coke, Breeze	25-35	30C _{1/2} 37	3D	1.2	
Coke, Loose	23-35	30D ₇ 37	3D	1.2	
Coke, Petrol, Calcined	35-45	40D ₇ 37	3D	1.3	
Compost	30-50	40D ₇ 45TV	3A-3B	1.0	
Concrete, Pre-Mix Dry	85-120	103C _{1/2} 36U	3D	3.0	
Copper Ore	120-150	135D _X 36	3D	4.0	
Copper Ore, Crushed	100-150	125D ₃ 36	3D	4.0	
Copper Sulphate, (Bluestone)	75-95	85C _{1/2} 35S	2A-2B-2C	1.0	
Copperas (See Ferrous Sulphate)	—	—	—	—	
Copra, Cake Ground	40-45	43B ₆ 45HW	1A-1B-1C	.7	x
Copra, Cake, Lumpy	25-30	28D ₃ 35HW	2A-2B-2C	.8	
Copra, Lumpy	22	22E ₃ 35HW	2A-2B-2C	1.0	
Copra, Meal	40-45	42B ₆ 35HW	2D	.7	x
Cork, Fine Ground	5-15	10B ₆ 35JNY	1A-1B-1C	.5	x
Cork, Granulated	12-15	14C _{1/2} 35JY	1A-1B-1C	.5	x
Corn, Cracked	40-50	45B ₆ 25P	1A-1B-1C	.7	x
Corn Cobs, Ground	17	17C _{1/2} 25Y	1A-1B-1C	.6	
Corn Cobs, Whole*	12-15	14E35	2A-2B		
Corn Ear*	56	56E35	2A-2B		
Corn Germ	21	21B ₆ 35PY	1A-1B-1C	.4	x
Corn Grits	40-45	43B ₆ 35P	1A-1B-1C	.5	x
Cornmeal	32-40	36B ₆ 35P	1A-1B	.5	x
Corn Oil, Cake	25	25D ₇ 45HW	1A-1B	.6	x

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Corn Seed	45	45C $\frac{1}{2}$ 25PQ	1A-1B-1C	.4	
Corn Shelled	45	45C $\frac{1}{2}$ 25	1A-1B-1C	.4	x
Corn Sugar	30-35	33B $\frac{6}{3}$ 5PU	1B	1.0	x
Cottonseed, Cake, Crushed	40-45	43C $\frac{1}{2}$ 45HW	1A-1B	1.0	x
Cottonseed, Cake, Lumpy	40-45	43D $\frac{7}{4}$ 5HW	2A-2B	1.0	x
Cottonseed, Dry, Delinted	22-40	31C $\frac{1}{2}$ 25X	1A-1B	.6	x
Cottonseed, Dry, Not Delinted	18-25	22C $\frac{1}{2}$ 45XY	1A-1B	.9	x
Cottonseed, Flakes	20-25	23C $\frac{1}{2}$ 35HWY	1A-1B	.8	x
Cottonseed, Hulls	12	12B $\frac{6}{3}$ 35Y	1A-1B	.9	x
Cottonseed, Meal, Expeller	25-30	28B $\frac{6}{4}$ 5HW	3A-3B	.5	x
Cottonseed, Meal, Extracted	35-40	37B $\frac{6}{4}$ 5HW	1A-1B	.5	x
Cottonseed, Meats, Dry	40	40B $\frac{6}{3}$ 5HW	1A-1B	.6	x
Cottonseed, Meats, Rolled	35-40	38C $\frac{1}{2}$ 45HW	1A-1B	.6	x
Cracklings, Crushed	40-50	45D $\frac{3}{4}$ 45HW	2A-2B-2C	1.3	x
Cryolite, Dust	75-90	83A $\frac{1}{100}$ 36L	2D	2.0	x
Cryolite, Lumpy	90-110	100D $\frac{1}{16}$ 36	2D	2.1	x
Cullet, Fine	80-120	100C $\frac{1}{2}$ 37	3D	2.0	
Cullet, Lump	80-120	100D $\frac{1}{16}$ 37	3D	2.5	
Culm, (See Coal, Anthracite)	—	—	—	—	
Cupric Sulphate (Copper Sulfate)	—	—	—	—	
Detergent (See Soap Detergent)	—	—	—	—	
Diatomaceous Earth	11-17	14A $\frac{40}{36}$ Y	3D	1.6	
Dicalcium Phosphate	40-50	45A $\frac{40}{35}$	1A-1B-1C	1.6	x
Disodium Phosphate	25-31	28A $\frac{40}{35}$	3D	.5	
Distiller's Grain-Spent Dry	30	30B $\frac{6}{3}$ 5	2D	.5	
Distiller's Grain, Spent Wet	40-60	50C $\frac{1}{2}$ 45V	3A-3B	.8	
Dolomite, Crushed	80-100	90C $\frac{1}{2}$ 36	2D	2.0	
Dolomite, Lumpy	90-100	95D $\frac{X}{36}$	2D	2.0	
Earth, Loam, Dry, Loose	76	76C $\frac{1}{2}$ 36	2D	1.2	
Ebonite, Crushed	63-70	67C $\frac{1}{2}$ 35	1A-1B-1C	.8	x
Egg Powder	16	16A $\frac{40}{35}$ MPY	1B	1.0	
Epsom Salts (Magnesium Sulfate)	40-50	45A $\frac{40}{35}$ U	1A-1B-1C	.8	x
Feldspar, Ground	65-80	73A $\frac{100}{37}$	2D	2.0	
Feldspar, Lumps	90-100	95D $\frac{7}{37}$	2D	2.0	
Feldspar, Powder	100	100A $\frac{200}{36}$	2D	2.0	
Feldspar, Screenings	75-80	78C $\frac{1}{2}$ 37	2D	2.0	
Ferrous Sulfide— $\frac{1}{2}$ "	120-135	128C $\frac{1}{2}$ 26	1A-1B-1C	2.0	x
Ferrous Sulfide—100M	105-120	113A $\frac{100}{36}$	1A-1B-1C	2.0	x
Ferrous Sulphate	50-75	63C $\frac{1}{2}$ 35U	2D	1.0	
Fish Meal	35-40	38C $\frac{1}{2}$ 45HP	1A-1B-1C	1.0	x
Fish Scrap	40-50	45D $\frac{7}{4}$ 5H	2A-2B-2C	1.5	
Flaxseed	43-45	44B $\frac{6}{3}$ 5X	1A-1B-1C	.4	x
Flaxseed Cake (Linseed Cake)	48-50	49D $\frac{7}{4}$ 5W	2A-2B	.7	
Flaxseed Meal (Linseed Meal)	25-45	35B $\frac{6}{4}$ 5W	1A-1B	.4	x
Flour Wheat	33-40	37A $\frac{40}{45}$ LP	1B	.6	x
Flue Dust, Basic Oxygen Furnace	45-60	53A $\frac{40}{36}$ LM	3D	3.5	
Flue Dust, Blast Furnace	110-125	118A $\frac{40}{36}$	3D	3.5	
Flue Dust, Boiler H. Dry	30-45	38A $\frac{40}{36}$ LM	3D	2.0	
Fluorspar, Fine (Calcium Fluoride)	80-100	90B $\frac{6}{3}$ 36	2D	2.0	
Fluorspar, Lumps	90-110	100D $\frac{7}{36}$	2D	2.0	
Flyash	30-45	38A $\frac{40}{36}$ M	3D	2.0	
Foundry Sand, Dry (See Sand)	—	—	—	—	
Fuller's Earth, Dry, Raw	30-40	35A $\frac{40}{25}$	2D	2.0	
Fuller's Earth, Oily, Spent	60-65	63C $\frac{1}{2}$ 45OW	3D	2.0	
Fuller's Earth, Calcined	40	40A $\frac{100}{25}$	3D	2.0	
Galena (See Lead Sulfide)	—	—	—	—	
Gelatine, Granulated	32	32B $\frac{6}{3}$ 5PU	1B	.8	x

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Gilsonite	37	37C _{1/2} 35	3D	1.5	
Glass, Batch	80-100	90C _{1/2} 37	3D	2.5	
Glue, Ground	40	40B ₆ 45U	2D	1.7	
Glue, Pearl	40	40C _{1/2} 35U	1A-1B-1C	.5	
Glue, Veg. Powdered	40	40A ₄₀ 45U	1A-1B-1C	.6	
Gluten, Meal	40	40B ₆ 35P	1B	.6	
Granite, Fine	80-90	85C _{1/2} 27	3D	2.5	
Grape Pomace	15-20	18D ₃ 45U	2D	1.4	x
Graphite Flake	40	40B ₆ 25LP	1A-1B-1C	.5	x
Graphite Flour	28	28A ₁₀₀ 35LMP	1A-1B-1C	.5	x
Graphite Ore	65-75	70D _x 35L	2D	1.0	
Guano Dry*	70	70C _{1/2} 35	3A-3B	2.0	
Gypsum, Calcined	55-60	58B ₆ 35U	2D	1.6	
Gypsum, Calcined, Powdered	60-80	70A ₁₀₀ 35U	2D	2.0	
Gypsum, Raw-1"	70-80	75D ₃ 25	2D	2.0	
Hay, Chopped*	8-12	10C _{1/2} 35JY	2A-2B	1.6	
Hexanedioic Acid (See Adipic Acid)	—	—	—	—	
Hominy, Dry	35-50	43C _{1/2} 25D	1A-1B-1C	.4	x
Hops, Spent, Dry	35	35D ₃ 35	2A-2B-2C	1.0	x
Hops, Spent, Wet	50-55	53D ₃ 45V	2A-2B	1.5	
Ice, Crushed	35-45	40D ₃ 35O	2A-2B	.4	x
Ice, Flaked*	40-45	43C _{1/2} 35O	1B	.6	x
Ice, Cubes	33-35	34D ₃ 35O	1B	.4	x
Ice, Shell	33-35	34D ₃ 45O	1B	.4	x
Ilmenite Ore	140-160	150D ₃ 37	3D	2.0	
Iron Ore Concentrate	120-180	150A ₄₀ 37	3D	2.2	
Iron Oxide Pigment	25	25A ₁₀₀ 36LMP	1A-1B-1C	1.0	
Iron Oxide, Millscale	75	75C _{1/2} 36	2D	1.6	
Iron Pyrites (See Ferrous Sulfide)	—	—	—	—	
Iron Sulphate (See Ferrous Sulfate)	—	—	—	—	
Iron Sulfide (See Ferrous Sulfide)	—	—	—	—	
Iron Vitriol (See Ferrous Sulfate)	—	—	—	—	
Kafir (Corn)	40-45	43C _{1/2} 25	3D	.5	x
Kaolin Clay	63	63D ₃ 25	2D	2.0	
Kaolin Clay-Talc	42-56	49A ₄₀ 35LMP	2D	2.0	
Kryolith (See Cryolite)	—	—	—	—	
Lactose	32	32A ₄₀ 35PU	1B	.6	
Lamp Black (See Carbon Black)	—	—	—	—	
Lead Arsenate	72	72A ₄₀ 35R	1A-1B-1C	1.4	
Lead Arsenite	72	72A ₄₀ 35R	1A-1B-1C	1.4	
Lead Carbonate	240-260	250A ₄₀ 35R	2D	1.0	
Lead Ore-1/8"	200-270	235B ₆ 35	3D	1.4	
Lead Ore-1/2"	180-230	205C _{1/2} 36	3D	1.4	
Lead Oxide (Red Lead)-100 Mesh	30-150	90A ₁₀₀ 35P	2D	1.2	
Lead Oxide (Red Lead)-200 Mesh	30-180	105A ₂₀₀ 35LP	2D	1.2	
Lead Sulphide-100 Mesh	240-260	250A ₁₀₀ 35R	2D	—	
Lignite (See Coal Lignite)	—	—	—	—	
Limanite, Ore, Brown	120	120C _{1/2} 47	3D	1.7	
Lime, Ground, Unslaked	60-65	63B ₆ 35U	1A-1B-1C	.6	x
Lime Hydrated	40	40B ₆ 35LM	2D	.8	x
Lime, Hydrated, Pulverized	32-40	36A ₄₀ 35LM	1A-1B	.6	x
Lime, Pebble	53-56	55C _{1/2} 25HU	2A-2B	2.0	
Limestone, Agricultural	68	68B ₆ 35	2D	2.0	
Limestone, Crushed	85-90	88D _x 36	2D	2.0	
Limestone, Dust	55-95	75A ₄₀ 46MY	2D	1.6-2.0	
Lindane (Benzene Hexachloride)	—	—	—	—	
Linseed (See Flaxseed)	—	—	—	—	

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Litharge (Lead Oxide)	—	—	—	—	
Lithopone	45-50	48A ₃₂₅ 35MR	1A-1B	1.0	
Maize (See Milo)	—	—	—	—	
Malt, Dry, Ground	20-30	25B ₆ 35NP	1A-1B-1C	.5	x
Malt, Meal	36-40	38B ₆ 25P	1A-1B-1C	.4	x
Malt, Dry Whole	20-30	25C _{1/2} 35N	1A-1B-1C	.5	x
Malt, Sprouts	13-15	14C _{1/2} 35P	1A-1B-1C	.4	x
Magnesium Chloride (Magnesite)	33	33C _{1/2} 45	1A-1B	1.0	
Manganese Dioxide*	70-85	78A ₁₀₀ 35NRT	2A-2B	1.5	
Manganese Ore	125-140	133D _x 37	3D	2.0	
Manganese Oxide	120	120A ₁₀₀ 36	2D	2.0	
Manganese Sulfate	70	70C _{1/2} 37	3D	2.4	
Marble, Crushed	80-95	88B ₆ 37	3D	2.0	
Marl, (Clay)	80	80D _x 36	2D	1.6	
Meat, Ground	50-55	53E45HQTX	2A-2B	1.5	
Meat, Scrap (W/bone)	40	40E46H	2D	1.5	
Mica, Flakes	17-22	20B ₆ 16 MY	2D	1.0	x
Mica, Ground	13-15	14B ₆ 36	2D	.9	x
Mica, Pulverized	13-15	14A ₁₀₀ 36M	2D	1.0	x
Milk, Dried, Flake	5-6	6B ₆ 35PUY	1B	.4	
Milk, Malted	27-30	29A ₄₀ 45PX	1B	.9	
Milk, Powdered	20-45	33B ₆ 25PM	1B	.5	
Milk Sugar	32	32A ₁₀₀ 35PX	1B	.6	
Milk, Whole, Powdered	20-36	28B ₆ 35PUX	1B	.5	
Mill Scale (Steel)	120-125	123E46T	3D	3.0	
Milo, Ground	32-36	34B ₆ 25	1A-1B-1C	.5	x
Milo Maize (Kafir)	40-45	43B ₆ 15N	1A-1B-1C	.4	x
Molybdenite Powder	107	107B ₆ 26	2D	1.5	
Monosodium Phosphate	50	50B ₆ 36	2D	.6	
Mortar, Wet*	150	150E46T	3D	3.0	
Mustard Seed	45	45B ₆ 15N	1A-1B-1C	.4	x
Naphthalene Flakes	45	45B ₆ 35	1A-1B-1C	.7	x
Niacin (Nicotinic Acid)	35	35A ₄₀ 35P	2D	.8	
Oats	26	26C _{1/2} 25MN	1A-1B-1C	.4	x
Oats, Crimped	19-26	23C _{1/2} 35	1A-1B-1C	.5	x
Oats, Crushed	22	22B ₆ 45NY	1A-1B-1C	.6	x
Oats, Flour	35	35A ₁₀₀ 35	1A-1B-1C	.5	x
Oat Hulls	8-12	10B ₆ 35NY	1A-1B-1C	.5	x
Oats, Rolled	19-24	22C _{1/2} 35NY	1A-1B-1C	.6	x
Oleo Margarine (Margarine)	59	59E45HKPWX	2A-2B	.4	
Orange Peel, Dry	15	15E45	2A-2B	1.5	
Oxalic Acid Crystals—Ethane Diacid Crystals	60	60B ₆ 35QS	1A-1B	1.0	
Oyster Shells, Ground	50-60	55C _{1/2} 36T	3D	1.6-2.0	
Oyster Shells, Whole	80	80D ₃ 36TV	3D	2.1-2.5	
Paper Pulp (4% or less)	62	62E45	2A-2B	1.5	
Paper Pulp (6% to 15%)	60-62	61E45	2A-2B	1.5	
Paraffin Cake—1/2"	45	45C _{1/2} 45K	1A-1B	.6	
Peanuts, Clean, in shell	15-20	18D ₃ 35Q	2A-2B	.6	
Peanut Meal	30	30B ₆ 35P	1B	.6	x
Peanuts, Raw, Uncleaned (unshelled)	15-20	18D ₃ 36Q	3D	.7	
Peanuts, Shelled	35-45	40C _{1/2} 35Q	1B	.4	x
Peas, Dried	45-50	48C _{1/2} 15NQ	1A-1B-1C	.5	x
Perlite-Expanded	8-12	10C _{1/2} 36	2D	.6	
Phosphate Acid Fertilizer	60	60B ₆ 25T	2A-2B	1.4	
Phosphate Disodium (See Sodium Phosphate)	—	—	—	—	

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Phosphate Rock, Broken	75-85	80D _x 36	2D	2.1	
Phosphate Rock, Pulverized	60	60B ₆ 36	2D	1.7	
Phosphate Sand	90-100	95B ₆ 37	3D	2.0	
Plaster of Paris (See Gypsum)	—	—	—	—	
Plumbago (See Graphite)	—	—	—	—	
Polystyrene Beads	40	40B ₆ 35PQ	1B	.4	
Polyvinyl, Chloride Powder	20-30	25A ₁₀₀ 45KT	2B	1.0	
Polyvinyl, Chloride Pellets	20-30	25E45KPQT	1B	.6	
Polyethelene, Resin Pellets	30-35	33C _{1/2} 45Q	1A-1B	.4	x
Potash (Muriate) Dry	70	70B ₆ 37	3D	2.0	
Potash (Muriate) Mine Run	75	75D _x 37	3D	2.2	
Potassium Carbonate	51	51B ₆ 36	2D	1.0	
Potassium Chloride Pellets	120-130	125C _{1/2} 25TU	3D	1.6	
Potassium Nitrate—1/2"	76	76C _{1/2} 16NT	3D	1.2	x
Potassium Nitrate—1/8"	80	80B ₆ 26NT	3D	1.2	x
Potassium Sulfate	42-48	45B ₆ 46X	2D	1.0	
Potato Flour	48	48A ₂₀₀ 35MNP	1A-1B	.5	x
Pumice—1/8"	42-48	45B ₆ 46	3D	1.6	
Pyrite, Pellets	120-130	125C _{1/2} 26	3D	2.0	
Quartz,—100 Mesh	70-80	75A ₁₀₀ 27	3D	1.7	
Quartz,—1/2"	80-90	85C _{1/2} 27	3D	2.0	
Rice, Bran	20	20B ₆ 35NY	1A-1B-1C	.4	x
Rice, Grits	42-45	44B ₆ 35P	1A-1B-1C	.4	x
Rice, Polished	30	30C _{1/2} 15P	1A-1B-1C	.4	x
Rice, Hulled	45-49	47C _{1/2} 25P	1A-1B-1C	.4	x
Rice, Hulls	20-21	21B ₆ 35NY	1A-1B-1C	.4	x
Rice, Rough	32-36	34C _{1/2} 35N	1A-1B-1C	.6	x
Rosin—1/2"	65-68	67C _{1/2} 45Q	1A-1B-1C	1.5	
Rubber, Reclaimed Ground	23-50	37C _{1/2} 45	1A-1B-1C	.8	x
Rubber, Pelleted	50-55	53D ₃ 45	2A-2B-2C	1.5	
Rye	42-48	45B ₆ 15N	1A-1B-1C	.4	x
Rye Bran	15-20	18B ₆ 35Y	1A-1B-1C	.4	x
Rye Feed	33	33B ₆ 35N	1A-1B-1C	.5	x
Rye Meal	35-40	38B ₆ 35	1A-1B-1C	.5	x
Rye Middlings	42	42B ₆ 35	1A-1B	.5	x
Rye, Shorts	32-33	33C _{1/2} 35	2A-2B	.5	x
Safflower, Cake	50	50D ₃ 26	2D	.6	
Safflower, Meal	50	50B ₆ 35	1A-1B-1C	.6	x
Safflower Seed	45	45B ₆ 15N	1A-1B-1C	.4	x
Saffron (See Safflower)	—	—	—	—	
Sal Ammoniac (Ammonium Chloride)	—	—	—	—	
Salt Cake, Dry Coarse	85	85B ₆ 36TU	3D	2.1	
Salt Cake, Dry Pulverized	65-85	75B ₆ 36TU	3D	1.7	
Salicylic Acid	29	29B ₆ 37U	3D	.6	
Salt, Dry Coarse	45-60	53C _{1/2} 36TU	3D	1.0	x
Salt, Dry Fine	70-80	75B ₆ 36TU	3D	1.7	x
Saltpeter—(See Potassium Nitrate)	—	—	—	—	
Sand Dry Bank (Damp)	110-130	120B ₆ 47	3D	2.8	
Sand Dry Bank (Dry)	90-110	100B ₆ 37	3D	1.7	
Sand Dry Silica	90-100	95B ₆ 27	3D	2.0	
Sand Foundry (Shake Out)	90-100	95D ₃ 37Z	3D	2.6	
Sand (Resin Coated) Silica	104	104B ₆ 27	3D	2.0	
Sand (Resin Coated) Zircon	115	115A ₁₀₀ 27	3D	2.3	
Sawdust, Dry	10-13	12B ₆ 45UX	1A-1B-1C	.7	
Sea-Coal	65	65B ₆ 36	2D	1.0	
Sesame Seed	27-41	34B ₆ 26	2D	.6	x

Table 2-2 (con't)
Material Characteristics

Material	Weight lbs. per cu. ft.	Material Code	Component Series	Mat'l. Factor Fm	V
Shale, Crushed	85-90	88C _{1/2} 36	2D	2.0	
Shellac, Powdered or Granulated	31	31B ₆ 35P	1B	.6	x
Silicon Dioxide (See Quartz)	—	—	—	—	
Silica, Flour	80	80A ₄₀ 46	2D	1.5	
Silica Gel + 1/2"-3"	45	45D ₃ 37HKQU	3D	2.0	
Slag, Blast Furnace Crushed	130-180	155D ₃ 37Y	3D	2.4	
Slag, Furnace Granular, Dry	60-65	63C _{1/2} 37	3D	2.2	
Slate, Crushed, -1/2"	80-90	85C _{1/2} 36	2D	2.0	
Slate, Ground, -1/8"	82-85	84B ₆ 36	2D	1.6	
Sludge, Sewage, Dried	40-50	45E47TW	3D	.8	
Sludge, Sewage, Dry Ground	45-55	50B46S	2D	.8	
Soap, Beads or Granules	15-35	25B ₆ 35Q	1A-1B-1C	.6	
Soap, Chips	15-25	20C _{1/2} 35Q	1A-1B-1C	.6	
Soap Detergent	15-50	33B ₆ 35FQ	1A-1B-1C	.8	
Soap, Flakes	5-15	10B ₆ 35QXY	1A-1B-1C	.6	
Soap, Powder	20-25	23B ₆ 25X	1A-1B-1C	.9	
Soapstone, Talc, Fine	40-50	45A ₂₀₀ 45XY	1A-1B-1C	2.0	
Soda Ash, Heavy	55-65	60B ₆ 36	2D	1.0	
Soda Ash, Light	20-35	28A ₄₀ 36Y	2D	.8	x
Sodium Aluminate, Ground	72	72B ₆ 36	2D	1.0	
Sodium Aluminum Fluoride (See Kryolite)	—	—	—	—	
Sodium Aluminum Sulphate*	75	75A ₁₀₀ 36	2D	1.0	
Sodium Bentonite (See Bentonite)	—	—	—	—	
Sodium Bicarbonate (See Baking Soda)	—	—	—	—	
Sodium Chloride (See Salt)	—	—	—	—	
Sodium Carbonate (See Soda Ash)	—	—	—	—	
Sodium Hydrate (See Caustic Soda)	—	—	—	—	
Sodium Hydroxide (See Caustic Soda)	—	—	—	—	
Sodium Borate (See Borax)	—	—	—	—	
Sodium Nitrate	70-80	75D ₃ 25NS	2A-2B	1.2	
Sodium Phosphate	50-60	55A35	1A-1B	.9	
Sodium Sulfate (See Salt Cake)	—	—	—	—	
Sodium Sulfit	96	96B ₆ 46X	2D	1.5	
Sorghum, Seed (See Kafir or Milo)	—	—	—	—	
Soybean, Cake	40-43	42D ₃ 35W	2A-1B-1C	1.0	x
Soybean, Cracked	30-40	35C _{1/2} 36NW	2D	.5	x
Soybean, Flake, Raw	18-25	22C _{1/2} 35Y	1A-1B-1C	.8	x
Soybean, Flour	27-30	29A ₄₀ 35MN	1A-1B-1C	.8	x
Soybean Meal, Cold	40	40B ₆ 35	1A-1B-1C	.5	x
Soybean Meal Hot	40	40B ₆ 35T	2A-2B	.5	
Soybeans, Whole	45-50	48C _{1/2} 26NW	—	1.0	
Starch	25-50	38A ₄₀ 15M	1A-1B-1C	1.0	x
Steel Turnings, Crushed	100-150	125D ₃ 46WV	3D	3.0	
Sugar Beet, Pulp, Dry	12-15	14C _{1/2} 26	2D	.9	
Sugar Beet, Pulp, Wet	25-45	35C _{1/2} 35X	1A-1B-1C	1.2	
Sugar, Refined, Granulated Dry	50-55	53B ₆ 35PU	1B	1.0:1.2	x
Sugar, Refined, Granulated Wet	55-65	60C _{1/2} 35X	1B	1.4:2.0	
Sugar, Powdered	50-60	55A ₁₀₀ 35PX	1B	.8	x
Sugar, Raw	55-65	60B ₆ 35PX	1B	1.5	
Sulphur, Crushed -1/2"	50-60	55C _{1/2} 35N	1A-1B	.8	
Sulphur, Lumpy, -3"	80-85	83D ₃ 35N	2A-2B	.8	
Sulphur, Powdered	50-60	55A ₄₀ 35MN	1A-1B	.6	
Sunflower Seed	19-38	29C _{1/2} 15	1A-1B-1C	.5	x
Talcum, -1/2"	80-90	85C _{1/2} 36	2D	.9	
Talcum Powder	50-60	55A ₂₀₀ 36M	2D	.8	x
Tanbark, Ground*	55	55B ₆ 45	1A-1B-1C	.7	

TABELA

Table 6-1
Screw Feeder Capacities, Speeds and Typical Dimensions*

A Screw Diameter	Maximum Speed RPM	Capacity Cubic Feet Per Hour **		B † Inch	C †† Inch	D Inch	E	
		At one RPM C _f	At Max. RPM				Flared Trough Inch	U Trough Inch
6	70	4.98	348	36	12	7	14	7
9	65	18.50	1202	42	18	9	18	10
12	60	44.40	2664	48	24	10	22	13
14	55	70.0	3850	54	28	11	24	15
16	50	104.7	5235	56	32	11 1/2	28	17
18	45	151	6795	58	36	12 1/8	31	19
20	40	209	8360	60	40	13 1/2	34	21
24	30	363	10,890	64	48	16 1/2	40	25

* Dimensions are all in inches, but are typical and approximate. Actual dimensions should be certified for installation purposes.

** Based on 100% of theoretical capacity with standard pitch and screw pipe. For non-standard pitch or pipe size consult screw conveyor manufacturer.

† Maximum in regular construction. Larger inlet openings require engineering consideration not covered here.

†† The length C is equal to TWO standard pitches.

TABELA 4

Table 3-2
Conveyor Diameter Factor, F_d

Screw Diameter Inches	Factor F_d	Screw Diameter Inches	Factor F_d
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0

FIGURA 6

For values of $HP_f + HP_m$ greater than 5.2, F_c is 1.0

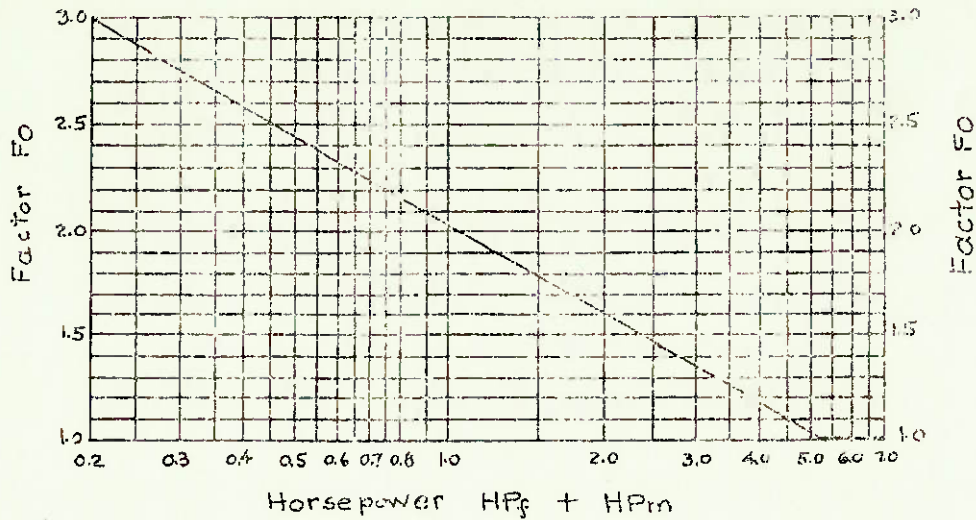


Chart For Values of Factor F_c .

TABELA 6

Table 6-2
Equivalent Length of Feeder, L_f

Material Code Class	Particle Size Inches	Flight Type Under Inlet	Values of L_f , Feet For Dimensions See Figs. 6.1 & 6.2
A15, A16, A17, A25, A26, A27, A35, A36, A37, also	1/8	Standard Pitch	$\frac{B}{C}$ $L_f + 12$
		Uniform dia.	
B15, B16, B17, B25, B26, B27, B35, B36, B37.	Maximum	Short Pitch	B & C from Table 6-1
		Uniform dia.	
		Standard Pitch	$\frac{B}{C}$
		*Tapered dia.	$L_f + 12 + 12$
		Short Pitch	B & C from Table 6-1
		*Tapered dia.	Table 6-1

*Variable pitch of constant diameter may be used in place of tapered diameter and constant pitch flighting.

TABELA 5

Table 2-7
Component Groups

Normal Service Component Groups 1A, 1B and 1C
Regular screw flights and troughs

Screw Dia. Inches	Coupling Dia. Inches	Screw Number		Thickness, U.S. Std. Gauge or Inches	
		Helicoid Flights	Sectional Flights	Trough	Cover
6	1 1/2	6H304	6S307	16 ga.	16 ga.
9	1 1/2	9H306	9S307	14 ga.	14 ga.
9	2	9H406	9S409	14 ga.	14 ga.
12	2	12H408	12S409	12 ga.	14 ga.
12	2 7/16	12H508	12S509	12 ga.	14 ga.
14	2 7/16	14H508	14S509	12 ga.	14 ga.
16	3	16H610	16S612	12 ga.	14 ga.
18	3	-	18S612	10 ga.	12 ga.
20	3	-	20S612	10 ga.	12 ga.
24	3 7/16	-	24S712	10 ga.	12 ga.

Note: Screw numbers refer to CEMA Standard No. 300-1971 on Screw Conveyors.

Table 2-8

Heavy Service Component Groups 2A, 2B, 2C and 2D
Heavy flights and heavy trough

Screw Dia. Inches	Coupling Dia. Inches	Screw Number		Thickness, U.S. Std. Gauge or Inches	
		Helicoid Flights	Sectional Flights	Trough	Cover
6	1 1/2	6H308	6S309	14 ga.	16 ga.
9	1 1/2	9H312	9S309	10 ga.	14 ga.
9	2	9H412	9S412	10 ga.	14 ga.
12	2	12H412	12S412	3/16 in.	14 ga.
12	2 7/16	12H512	12S512	3/16 in.	14 ga.
12	3	12H614	12S616	3/16 in.	14 ga.
14	2 7/16	-	14S512	3/16 in.	14 ga.
14	3	14H614	14S616	3/16 in.	14 ga.
16	3	16H614	16S616	3/16 in.	14 ga.
18	3	-	18S616	3/16 in.	12 ga.
20	3	-	20S616	3/16 in.	12 ga.
24	3 7/16	-	24S716	3/16 in.	12 ga.

Extra Heavy Service Component Groups 3A, 3B and 3D
Extra heavy flights and extra heavy trough

Screw Dia. Inches	Coupling Dia. Inches	Screw Number		Thickness, U.S. Std. Gauge or Inches	
		Helicoid Flights	Sectional Flights	Trough	Cover
6	1 1/2	6H312	6S312	10 ga.	16 ga.
9	1 1/2	9H312	9S312	3/16 in.	14 ga.
9	2	9H414	9S416	3/16 in.	14 ga.
12	2	12H412	12S412	1/4 in.	14 ga.
12	2 7/16	12H512	12S512	1/4 in.	14 ga.
12	3	12H614	12S616	1/4 in.	14 ga.
14	3	-	14S624	1/4 in.	14 ga.
16	3	-	16S624	1/4 in.	14 ga.
18	3	-	18S624	1/4 in.	12 ga.
20	3	-	20S624	1/4 in.	12 ga.
24	3 7/16	-	24S724	1/4 in.	12 ga.

TABELA 7

14. Fatigue life L_h for ball bearings

14. Duração de funcionamento até a fadiga para rolamentos de esferas (em horas)

$$\frac{C}{P} \cdot f_n = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$	L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$
100	0,585	300	0,843	700	1,120	1 750	1,520	4 500	2,08	10 000	2,71	30 000	3,91
105	0,595	310	0,852	720	1,130	1 800	1,535	4 600	2,10	10 500	2,76	31 000	3,96
110	0,604	320	0,861	740	1,140	1 850	1,545	4 700	2,11	11 000	2,80	32 000	4,00
115	0,613	330	0,870	760	1,150	1 900	1,560	4 800	2,13	11 500	2,85	33 000	4,04
120	0,622	340	0,879	780	1,160	1 950	1,575	4 900	2,14	12 000	2,89	34 000	4,08
125	0,631	350	0,888	800	1,170	2 000	1,590	5 000	2,15	12 500	2,93	35 000	4,12
130	0,639	360	0,896	820	1,180	2 100	1,615	5 200	2,18	13 000	2,96	36 000	4,16
135	0,647	370	0,905	840	1,190	2 200	1,640	5 400	2,21	13 500	3,00	37 000	4,20
140	0,654	380	0,913	860	1,200	2 300	1,665	5 600	2,24	14 000	3,04	38 000	4,24
145	0,662	390	0,921	880	1,205	2 400	1,690	5 800	2,27	14 500	3,07	39 000	4,27
150	0,670	400	0,928	900	1,215	2 500	1,710	6 000	2,29	15 000	3,11	40 000	4,31
155	0,677	410	0,936	920	1,225	2 600	1,730	6 200	2,32	15 500	3,14	41 000	4,35
160	0,684	420	0,944	940	1,235	2 700	1,755	6 400	2,34	16 000	3,18	42 000	4,38
165	0,691	430	0,951	960	1,245	2 800	1,775	6 600	2,37	16 500	3,21	43 000	4,42
170	0,698	440	0,959	980	1,250	2 900	1,795	6 800	2,39	17 000	3,24	44 000	4,45
175	0,705	450	0,966	1 000	1,260	3 000	1,815	7 000	2,41	17 500	3,27	45 000	4,48
180	0,712	460	0,973	1 050	1,280	3 100	1,835	7 200	2,43	18 000	3,30	46 000	4,51
185	0,718	470	0,980	1 100	1,300	3 200	1,855	7 400	2,46	18 500	3,33	47 000	4,55
190	0,724	480	0,987	1 150	1,320	3 300	1,875	7 600	2,48	19 000	3,36	48 000	4,58
195	0,731	490	0,994	1 200	1,340	3 400	1,895	7 800	2,50	19 500	3,39	49 000	4,61
200	0,737	500	1,000	1 250	1,360	3 500	1,910	8 000	2,52	20 000	3,42	50 000	4,64
210	0,749	520	1,015	1 300	1,375	3 600	1,930	8 200	2,54	21 000	3,48	55 000	4,80
220	0,761	540	1,025	1 350	1,395	3 700	1,950	8 400	2,56	22 000	3,53	60 000	4,94
230	0,772	560	1,040	1 400	1,410	3 800	1,965	8 600	2,58	23 000	3,58	65 000	5,07
240	0,783	580	1,050	1 450	1,425	3 900	1,985	8 800	2,60	24 000	3,63	70 000	5,19
250	0,794	600	1,065	1 500	1,445	4 000	2,00	9 000	2,62	25 000	3,68	75 000	5,30
260	0,804	620	1,075	1 550	1,460	4 100	2,02	9 200	2,64	26 000	3,73	80 000	5,43
270	0,814	640	1,085	1 600	1,475	4 200	2,03	9 400	2,66	27 000	3,78	85 000	5,55
280	0,824	660	1,100	1 650	1,490	4 300	2,05	9 600	2,68	28 000	3,82	90 000	5,65
290	0,834	680	1,110	1 700	1,505	4 400	2,07	9 800	2,70	29 000	3,87	100 000	5,85

15. Fatigue life L_h for roller bearings

15. Duração de funcionamento até a fadiga para rolamentos de rolos (em horas)

L_h hours horas	$\frac{C}{P} \cdot f_n$
100	0,617
105	0,626
110	0,635
115	0,643
120	0,652
125	0,660
130	0,668
135	0,675
140	0,683
145	0,690
150	0,697
155	0,704
160	0,710
165	0,717
170	0,723
175	0,730
180	0,736
185	0,742
190	0,748
195	0,754
200	0,760
210	0,771
220	0,782
230	0,792
240	0,802
250	0,812
260	0,822
270	0,831
280	0,840
290	0,849

To determine fatigue life L_h from value $\frac{C}{P} \cdot f_n$ use tables 14 and 15 where:

table 14 applies to ball bearings

table 15 applies to roller bearings

It should be understood that the established fatigue life value is only realistic if the exact operating conditions are properly accounted for by equivalent load P. There are many instances where a true equivalent load cannot be established because magnitude and duration of applied external loads vary too much.

Para determinar a duração de funcionamento até a fadiga L_h , segundo a fórmula, $\frac{C}{P} \cdot f_n$, usa-se as tabelas número 14 e número 15, servindo

para rolamentos de esferas a tabela 14, e

para rolamentos de rolos a tabela 15

É necessário ressaltar, que a determinação da duração de funcionamento até a fadiga só é realista, quando no cálculo da carga equivalente P, forem devidamente consideradas as condições de serviço realmente existentes. Muitas vezes torna-se difícil determinar uma carga equivalente autêntica, porque a intensidade e o tempo de atuação das cargas externas são muito variáveis.

Wear life

Wear is primarily concerned with the course of bearing, but also in corrosion due to contact of wear suffered by a bearing on operating conditions of sealing system.

The perceptible indications of wear are a consequence of the running of gears. Gears loose their close conditions of out-of-rounding irregular running the bearing. Finally, favourable load distribution tends to cause pre-

TABELA 8

12. Speed factor f_n for ball bearings

12. Fator do número de rotações f_n para rolamentos de esferas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33^{1/3}}{n}}$$

n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n	n r. p. m.	f_n
10	1,494	60	0,822	250	0,511	900	0,333	4 000	0,203	15 000	0,131	10	1,435
11	1,447	62	0,813	260	0,504	920	0,331	4 100	0,201	15 500	0,129	11	1,395
12	1,405	64	0,805	270	0,498	940	0,329	4 200	0,199	16 000	0,128	12	1,359
13	1,369	66	0,797	280	0,492	960	0,326	4 300	0,198	16 500	0,126	13	1,326
14	1,335	68	0,788	290	0,487	980	0,324	4 400	0,196	17 000	0,125	14	1,297
15	1,305	70	0,781	300	0,481	1 000	0,322	4 500	0,195	17 500	0,124	15	1,271
16	1,277	72	0,774	310	0,476	1 050	0,317	4 600	0,193	18 000	0,123	16	1,246
17	1,252	74	0,767	320	0,471	1 100	0,312	4 700	0,192	18 500	0,122	17	1,224
18	1,228	76	0,760	330	0,466	1 150	0,307	4 800	0,191	19 000	0,121	18	1,203
19	1,206	78	0,753	340	0,461	1 200	0,303	4 900	0,190	19 500	0,120	19	1,184
20	1,186	80	0,747	350	0,457	1 250	0,299	5 000	0,188	20 000	0,119	20	1,166
21	1,166	82	0,741	360	0,453	1 300	0,295	5 200	0,186	21 000	0,117	21	1,149
22	1,148	84	0,735	370	0,448	1 350	0,291	5 400	0,183	22 000	0,115	22	1,133
23	1,132	86	0,729	380	0,444	1 400	0,288	5 600	0,181	23 000	0,113	23	1,118
24	1,116	88	0,724	390	0,441	1 450	0,284	5 800	0,179	24 000	0,112	24	1,104
25	1,100	90	0,718	400	0,437	1 500	0,281	6 000	0,177	25 000	0,110	25	1,090
26	1,086	92	0,713	410	0,433	1 550	0,278	6 200	0,175	26 000	0,109	26	1,077
27	1,073	94	0,708	420	0,430	1 600	0,275	6 400	0,173	27 000	0,107	27	1,065
28	1,060	96	0,703	430	0,426	1 650	0,272	6 600	0,172	28 000	0,106	28	1,054
29	1,048	98	0,698	440	0,423	1 700	0,270	6 800	0,170	29 000	0,105	29	1,043
30	1,036	100	0,693	450	0,420	1 750	0,267	7 000	0,168	30 000	0,104	30	1,032
31	1,025	105	0,682	460	0,417	1 800	0,265	7 200	0,167			31	1,022
32	1,014	110	0,672	470	0,414	1 850	0,262	7 400	0,165			32	1,012
33	1,003	115	0,662	480	0,411	1 900	0,260	7 600	0,164			33	1,003
34	0,994	120	0,652	490	0,408	1 950	0,258	7 800	0,162			34	0,994
35	0,984	125	0,644	500	0,406	2 000	0,255	8 000	0,161			35	0,986
36	0,975	130	0,635	520	0,400	2 100	0,251	8 200	0,160			36	0,977
37	0,966	135	0,627	540	0,395	2 200	0,247	8 400	0,158			37	0,969
38	0,958	140	0,620	560	0,390	2 300	0,244	8 600	0,157			38	0,962
39	0,949	145	0,613	580	0,386	2 400	0,240	8 800	0,156			39	0,954
40	0,941	150	0,606	600	0,382	2 500	0,237	9 000	0,155			40	0,947
41	0,933	155	0,599	620	0,378	2 600	0,234	9 200	0,154			41	0,940
42	0,926	160	0,593	640	0,374	2 700	0,231	9 400	0,153			42	0,933
43	0,919	165	0,586	660	0,370	2 800	0,228	9 600	0,152			43	0,927
44	0,912	170	0,581	680	0,366	2 900	0,226	9 800	0,150			44	0,920
45	0,905	175	0,575	700	0,363	3 000	0,223	10 000	0,149			45	0,914
46	0,899	180	0,570	720	0,359	3 100	0,221	10 500	0,147			46	0,908
47	0,892	185	0,565	740	0,356	3 200	0,218	11 000	0,145			47	0,902
48	0,885	190	0,560	760	0,353	3 300	0,216	11 500	0,143			48	0,896
49	0,880	195	0,555	780	0,350	3 400	0,214	12 000	0,141			49	0,891
50	0,874	200	0,550	800	0,347	3 500	0,212	12 500	0,139			50	0,886
52	0,863	210	0,541	820	0,344	3 600	0,210	13 000	0,137			52	0,875
54	0,851	220	0,533	840	0,341	3 700	0,208	13 500	0,135			54	0,865
56	0,841	230	0,525	860	0,339	3 800	0,206	14 000	0,134			56	0,856
58	0,831	240	0,518	880	0,336	3 900	0,205	14 500	0,132			58	0,847

13. Speed factor f_n

13. Fator do número de rotações f_n

FIG. 89

FIGURA 7

SHEAR STRESS CONCENTRATION FACTOR, K_{ts}
 FOR THE TORSION CASE
 OF A SHAFT WITH A TRANSVERSE HOLE

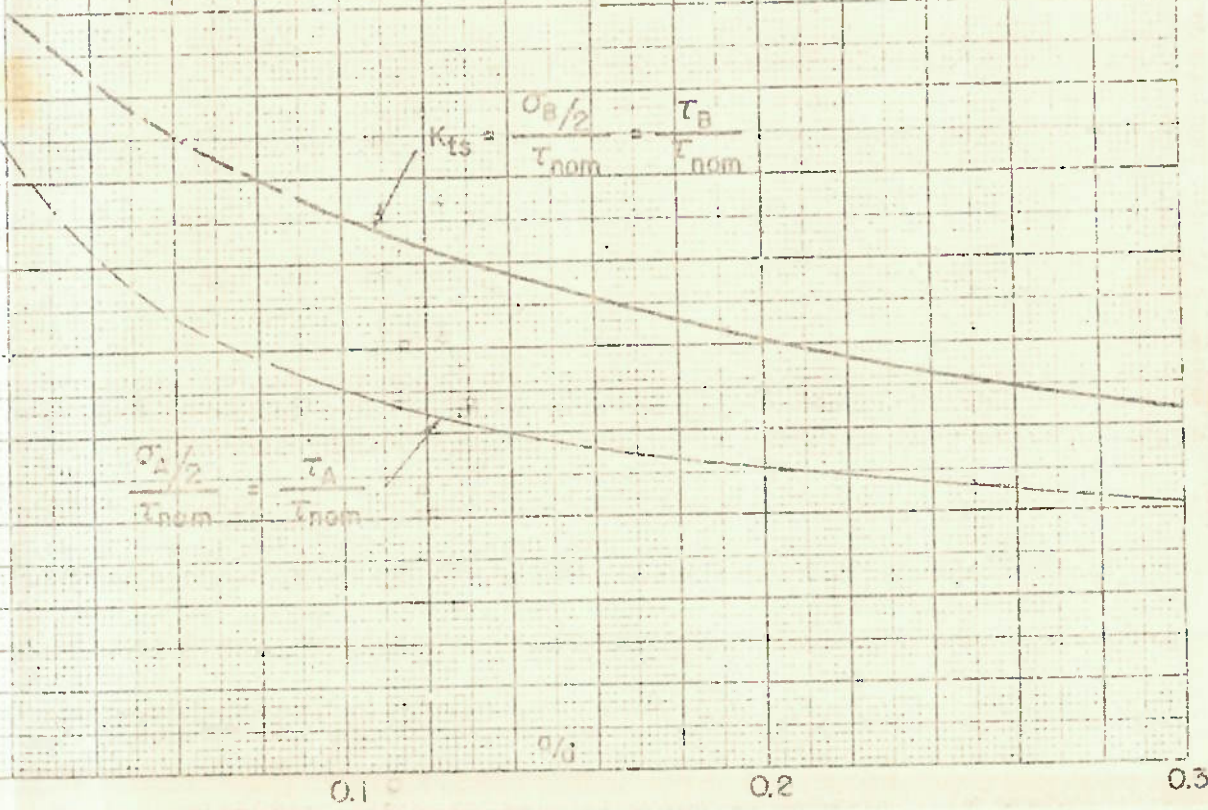
(DETERMINED BY STRAIN GAGE
 METHOD BY THUM AND KIRMSER)



$$\tau_{nom} = \frac{T}{\frac{\pi d^3}{16}} \quad (\text{APPROX.})$$

$$K_{ts} = \frac{\sigma_B/2}{\tau_{nom}} = \frac{\tau_B}{\tau_{nom}}$$

$$\frac{\sigma_A/2}{\tau_{nom}} = \frac{\tau_A}{\tau_{nom}}$$



- HOLES (Torsion)
- KEYWAYS
- GEAR TEETH
- T-HEADS
- CURVED BARS
- HELICAL SPRINGS
- ROTATING DISKS

FIG. 100

