

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto Mecânico

Projeto de uma Mesa de Correlação

Autor: Cláudio Wilson Moles

Orientador: Prof. Hélio Nanni

1983

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal do Acelerador Linear do Instituto de Física da USP pelo apoio dado.

Em particular quero expressar meu agradecimento ao prof. Paulo Reginaldo Pascholati (idealizador do projeto) e ao colega Manuel Tiago Freitas da Cruz, bolsista de Física Nuclear do LAL e responsável pela parte introdutória deste trabalho, referente aos objetivos da Mesa de Correlação.

INTRODUÇÃO

O experimento de Correlação Angular:

Um experimento de correlação Angular gama-gama é a medida da função angular $w(\theta)$ de duas radiações ocorridas em cascata (fig 1a). $w(\theta)d\Omega_1d\Omega_2$ é a probabilidade de que ao decair, o estado nuclear excitado emita a radiação γ_1 , segundo o ângulo sólido $d\Omega_1$, e γ_2 segundo $d\Omega_2$ os quais formam o ângulo θ entre si.

A figura 1 contém um exemplo do experimento de correlação angular gama-gama, onde pode-se ver um esquema de níveis com duas transições em cascata (a), um esboço do arranjo experimental utilizado (b) e um exemplo da função $w(\theta)$ (c) referente ao esquema de níveis em (a).

O procedimento para obtenção de $w(\theta)$ é o de se medir γ_1 ou (γ_2) no detetor fixo em coincidência em tempo com γ_2 ou (γ_1) no detetor móvel, para diversas posições angulares, em tempos de contagem iguais. Quando a meia vida do isótopo radioativo é longa em relação à duração do experimento, não há problema, mas, se isto não for verdade, as contagens obtidas deverão ser corrigidas para o decaimento da fonte. Nestas condições, o número de contagens da transição medida em função do ângulo será a própria $w(\theta)$, após as correções de eficiência, ângulo sólido dos detetores e normalização.

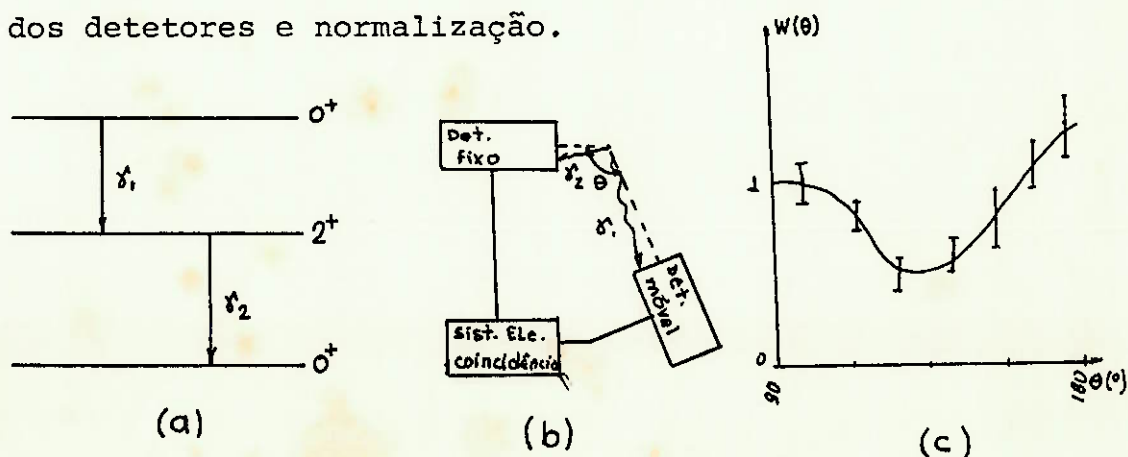


Fig 1

Desenvolvimento do projeto da Mesa de Correlação

As medidas de Correlação Angular são realizadas no Laboratório do Acelerador Linear (LAL) do IFUSP através de dois detetores: um de germânio-lítio GeLi (fixo sobre uma base) e um detetor de iodeto de sódio NaI (móvel), os quais são instalados em um aparato mecânico que permite o deslocamento angular do detetor móvel.

Neste ponto é evidente que a capacidade de trabalho fica limitada pelas características de resolução e eficiência em energia inerentes aos detetores de NaI e GeLi. Quanto a eficiência em energia do detetor de GeLi, seu valor comparativamente reduzido e relação ao de NaI é um fator limitante no que diz respeito à intensidade da cascata gama que se pretende estudar, não podendo esta ser muito fraca, ficando comprometida a viabilidade de sua medida. A limitação mais crítica é aquela do outro detetor.

O detetor de NaI instalado na mesa de correlação atualmente em uso no LAL é um cristal de 3"x3" (diâmetro x altura) acoplado a uma válvula fotomultiplicadora. Sua resolução (largura total de pico à meia altura, FWHM) fica em torno de 7% da energia da linha, um valor bastante elevado, quando comparado àquela dos detetores de estado sólido para gamas, que atualmente fica em torno de 1,5 a 2,0 KeV para a linha de 1,33 MeV do ^{60}Co (o de NaI fornece, nas mesmas condições, 93 KeV). Deste modo, se na região de $E=1,0$ MeV houver duas transições separadas de cerca de 70 KeV, o detetor de NaI não as resolverá completamente, ocorrendo uma superposição indesejada, nem sempre controlável.

Medidas de correlação Angular com dois detetores de GeLi

Substituição do detetor de NaI pelo de GeLi

As dificuldades encontradas para essa substituição foram estudadas pelo grupo de espectroscopia nuclear (GEN) do LAL, que resultou no presente projeto.

Dentre essas dificuldades a maior foi de origem mecânica, que pode ser entendida pela descrição de ambos os detetores:

-O detetor de NaI é um cristal encapsulado no interior de um tubo metálico protetor, selado contra a umidade (o cristal é altamente higroscópico) dispendo de uma janela de vidro através da qual é opticamente acoplado a uma válvula fotomultiplicadora. Todo o conjunto tem uma forma cilíndrica ϕ 5cm x 30 a 35 cm. O sistema opera normalmente à temperatura ambiente necessitando apenas de uma alimentação de alta tensão que é ligada à válvula.

-O detetor de estado sólido GeLi também é um cristal alojado em um tubo de metal protetor, no entanto, devido às suas características este tipo de cristal necessita de um ambiente evacuado e uma temperatura muito baixa (próxima a do nitrogênio líquido), para isso, este detetor deve estar acoplado a um reservatório de N_2 líquido ("dewar") com capacidade de 30 litros.

Para tanto, passar de um detetor móvel como o de NaI para um de estado sólido de GeLi o sistema de apoio e movimentação é completamente diferente, pois o detetor e o "dewar" não podem ser separados.

Devido a essas características tão diferentes foi necessária a criação de um projeto de uma mesa de correlação completamente nova e para tornar versátil este projeto inclui:

-Sistema para sustentação dos detetores incluindo a possibilidade para ajustes de alinhamento (movi

mento tipo X-Y).

04

-Constância na distância entre a face do detector móvel e a amostra radioativa durante o movimento angular.

-Sistema para suportar a amostra com ajuste vertical para alinhamento com os dois detectores

-Sistema de apoio para o detector fixo com movimentos X-Y e ajuste vertical para alinhamento com o detector móvel.

-Movimentos precisos e sem vibrações pois os cristais de estado sólido são sensíveis a estas últimas.

Memorial de Cálculo

Características:

Redução: 90 vezes.

módulo de corte: $m_m = 1,5 \text{ mm}$.

Diâmetro máximo da coroa: 150 mm

Ângulo de pressão: 20°

diâmetro do parafuso: 25 mm 1 entrada.

Coroa (2)

Número de dentes: $\frac{z_2}{z_1} = \lambda \Rightarrow z_2 = 90 \times 1 = 90 \text{ dentes}$

Ângulo de acmço $\delta_0 = \frac{m z_1}{d_{o1}} = \frac{1,5 \times 1}{25} = 0,06$

$\delta_0 = 3^\circ 26'$

Módulo frontal da coroa: $m_f = \frac{m_m}{\cos \delta_0} = \frac{1,5}{\cos 3,43} = 1,5024$

diâmetro primitivo da coroa: $d_{o2} = m_f \cdot i \cdot z_1 = 1,5024 \times 90$

$$d_{o2} = 135,2188 \text{ mm}$$

diâmetro de cabeça da coroa: $d_{s2} = 2h_s + d_{o2}$

$$h_s = 1,25 m_f = 1,25 \times 1,5024 = 1,878 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = 2 \times 1,878 + 135,2188 \Rightarrow d_{s2} = 138,9749 \text{ mm}$$

diâmetro de pé: $d_f = d_s - 2h$

$$h = 2,25 \times m_f = 2,25 \times 1,5024 \Rightarrow h = 3,3805$$

$$d_{f2} = 138,9749 - 3,3805 \times 2 \Rightarrow d_{f2} = 132,2139$$

largura da coroa:

07

$$\text{coeficiente de forma dos dentes: } z_f = \frac{d_{01}}{m_f} = \frac{25}{1,5024} = 16,64$$

$$b_2 = 0,45 (d_{m1} + 6m) = 0,45 (25,00 + 6 \times 1,5)$$

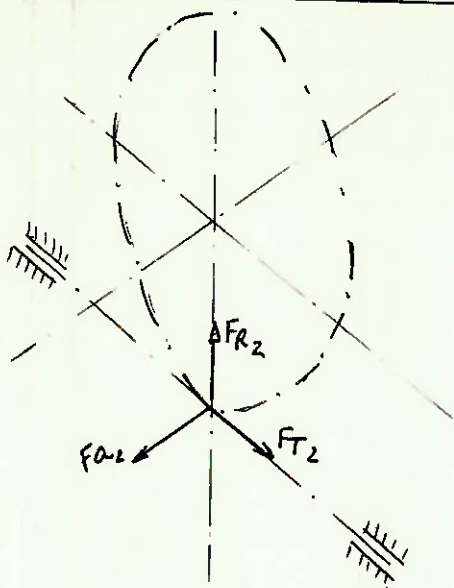
$$b_2 \approx 15,30$$

$$b_2 = 16 \text{ mm}$$

distância entre centros

$$a = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{25 + 135,219}{2} = 80,11 \text{ mm.}$$

Forças atuando na coroa.



Torque máximo na coroa: $M_{2 \text{ máx}} = 200 \text{ kgf cm.}$

$$F_{a2} = F_{t2} = \frac{200 \times 2}{d_{02}} = \frac{200 \times 2}{13,5219}$$

$$F_{t2} = 29,63 \text{ kgf.}$$

$$F_{R2} = 29,63 \times \text{tg } \alpha = 29,63 \times \text{tg } 20^\circ$$

$$F_{R2} = 10,78 \text{ kgf}$$

$$F_{a2} = F_{t1} = F_{t2} \text{ tg } (\delta_m + \rho)$$

$\rho = \text{arc tg } 0,2 = 5^\circ$ (ângulo de atrito \rightarrow coroa de bronze / parafuso de aço)

$$F_{a2} = 29,63 \times \text{tg } (3,43 + 5)$$

$$F_{a2} = 4,39 \text{ kgf}$$

Torque no eixo do parafuso

$$M_1 = \frac{4,39 \times 2,5}{2} = 5,49 \text{ kgf cm}$$

$$M_1 = 54,9 \text{ N cm}$$

Comprimento do parafuso: 36 mm.

diâmetro de cabeça : $d_{s1} = d_{os} + 2m = 25 + 2 \times 1,5$

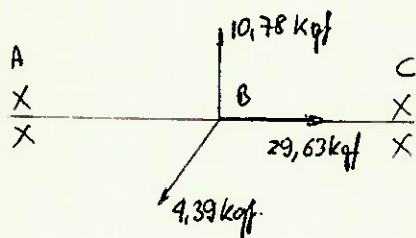
08

$d_{s1} = 28 \text{ mm.}$

diâmetro de pé : $d_{s2} = d_{os} - 2,4m = 25 - 2,4 \times 1,5$

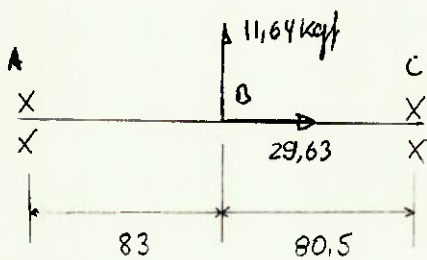
$d_{s2} = 21,40 \text{ mm}$

Escolha dos rolamentos e/ o parafuso sem fim



Carga radial : $P_r = \sqrt{10,78^2 + 4,39^2} = 11,64 \text{ kgf}$

Carga Axial : $P_a = 29,63 \text{ kgf.}$



Podem-se admitir que a carga ~~axial~~^{radial} em cada rolamento seja : $\frac{11,64}{2} = 5,82 \text{ kgf.}$

$\left(\frac{C}{P}\right)^p = \frac{L_{10h} \times 60 \times n}{10^6}$

$L_{10h} = 12000 \text{ h}$ vida nominal

$p = 3$

$n = 45$ máxima rotação do eixo do parafuso.

$\left(\frac{C}{P}\right)^3 = 32,4$

$\frac{P_a}{P_r} = \frac{29,63}{5,82} = 5,091$

condição mais desfavorável só um rolamento suportando a carga axial.

rolamento auto-compensador de esferas

SKF 1200 } $x = 0,65$
 $y = 3,00$

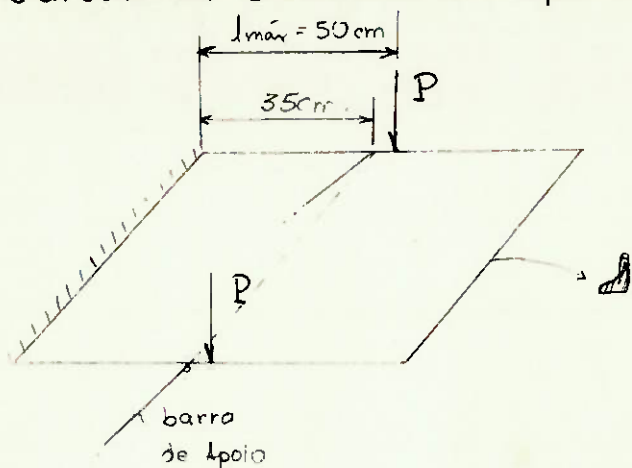
$P = x P_r + y P_a = 0,65 \times 5,82 + 3,0 \times 29,63 = 92,67 \text{ kgf.}$

$\frac{C}{P} = 3,19 \Rightarrow C = 92,67 \times 3,19 = 295,63$

$C = 2956 \text{ N}$

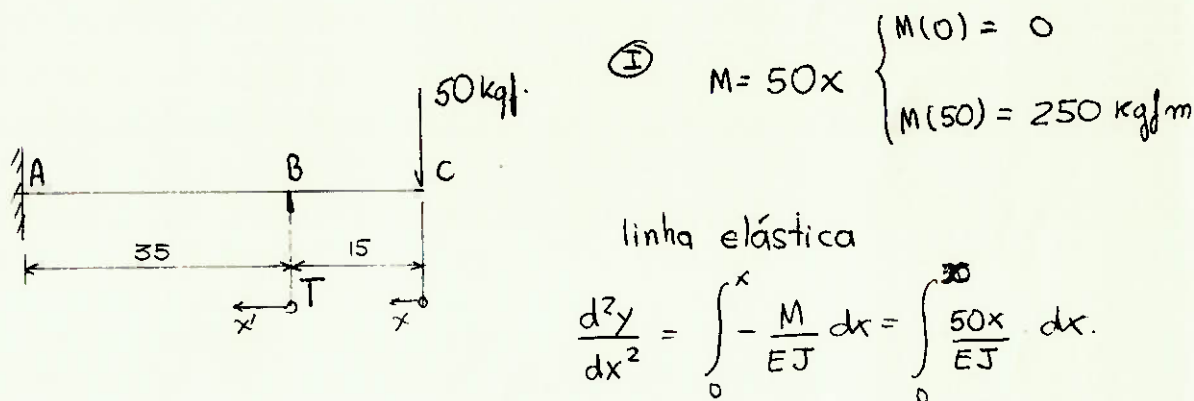
$C_{rolamento} = 4150 \gg C$

1. Cálculo da estrutura de Apoio do detetor móvel



P = peso do detetor de Ge-Li
 mais o reservatório de N_2
 = 100 kgf (máximo)

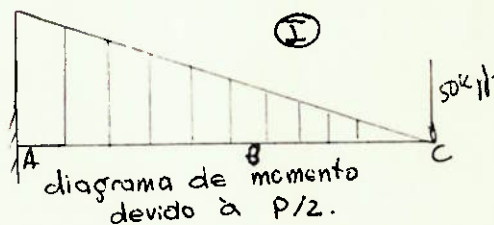
Como o quadro é simétrico pode-se calcular os esforços apenas para a metade:



$$\frac{dy}{dx} = \frac{50x^2}{2EJ} + C_1 = \frac{25x^2}{EJ} + C_1 \quad ; \quad y = \frac{25x^3}{3EJ} + C_1x + C_2$$

Condições de contorno:

1/ $x = 50 : \rho = 0 = dy/dx$
 $y = 0$



$$\frac{dy}{dx} = 0 = \frac{25 \times 50^2}{EJ} + C_1 \Rightarrow C_1 = \frac{-25 \times 50^2}{EJ}$$

1/ perfil de AÇO L 1 1/2" $\Rightarrow EJ = 2,1 \times 10^4 \times 5,46 = 1,14 \times 10^7 \text{ cm}^2 \text{ kgf}$

$C_1 = -5,48 \times 10^{-3}$

$$y = 0 = \frac{25 \times 50^3}{3 \times 1,14 \times 10^7} - 5,48 \times 10^{-3} \times 50 + C_2 \Rightarrow C_2 = 0,183 \text{ cm}$$

$$\textcircled{II} \quad M = Tx'$$

$$\phi = \frac{dy}{dx} = - \int \frac{Tx'}{EJ} dx = - \frac{Tx'^2}{2EJ} + C_1$$

$$y = - \frac{Tx'^3}{6EJ} + C_1x + C_2$$

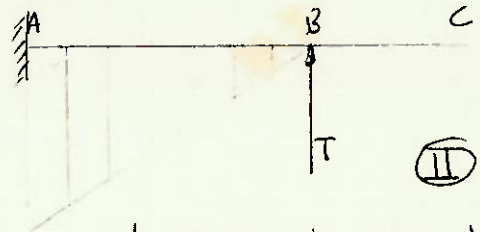


diagrama de momentos devido à T

condição de contorno $x = 35,0 \Rightarrow \phi = \frac{dy}{dx} = 0$

substituindo tira-a: $C_1 = 5,37 \times 10^{-5}$

e para: $x = 35 \Rightarrow y = 0$ tira-a: $C_2 = -1,25 \times 10^{-3} T$

deslocamento da seção B: $v_I = 7,31 \times 10^{-7} x^3 - 5,48 \times 10^{-3} x + 0,183$

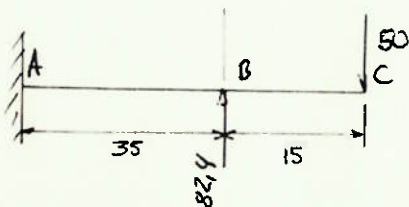
e $v_{II} = (1,54 \times 10^{-8} x^3 + 1,10 \times 10^{-4} x' - 3,57 \times 10^{-7}) T$

compatibilidade de deslocamento: $v_I + v_{II} = 0$ em B

$v_I(15) = 0,103$ e $v_{II}(0) = -1,25 \times 10^{-3} T$

substituindo: $T = 82,4 \text{ kgf}$

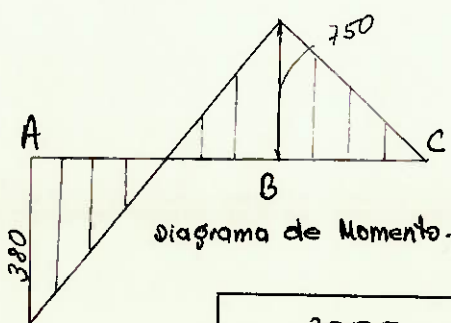
Cálculo do momento em A



$$M = -50 \times 15 - (50 - 82,4)x = -750 + 32,4x$$

$$x = 0 \Rightarrow M_B = -750 \text{ kgf/cm}$$

$$x = 35 \Rightarrow M_A = -750 + 32,4 \times 35 = 389 \text{ kgf/cm}$$



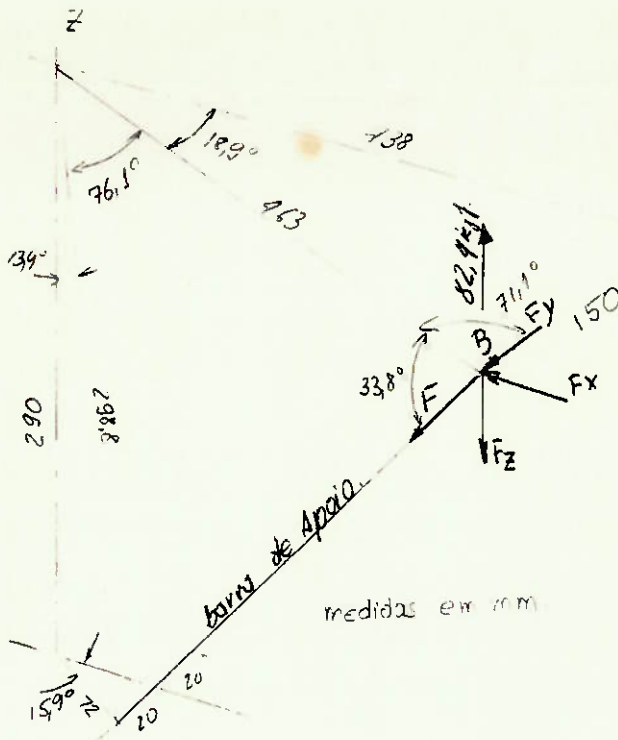
verificação do coeficiente de segurança na seção mais solicitada:

$$\bar{\sigma}_x = \frac{M}{W_x} = \frac{750}{1,91} = 392,67 \text{ kgf/cm}^2$$

$\bar{\sigma}_r = 3000 \text{ kgf/cm}^2$ tensão de ruptura do material do perfil.

$$s = \frac{3000}{392,67} = 7,64$$

Força de solicitação nas barras de apoio



Comprimento das barras

$$l = 519,8 \text{ mm}$$

Força em cada barra:

$$F = 147,4 \text{ kgf.}$$

$$F_z = -82 \text{ kgf}$$

$$F_x = -115,9 \text{ kgf}$$

$$F_y = -39,7 \text{ kgf.}$$

Verificação da resistência à flambagem das barras.

diâmetro das barras: $D = 10 \text{ mm}$

Área da seção transversal: $S = \frac{\pi D^2}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$

$$J_p = \frac{\pi D^4}{32} \quad ; \quad i = \sqrt{\frac{J}{S}} = 0 \quad i = 0,35 \text{ cm.}$$

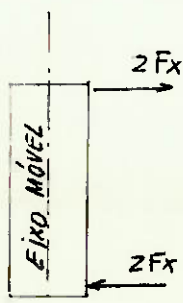
$$\lambda = \frac{52}{0,35} = 148,57 \quad (\text{índice de esbeltez}).$$

$$\bar{\sigma}_f = \frac{10363000}{\lambda^2} = \frac{10363000}{(148,57)^2} = 469,49 \text{ kgf/cm}^2.$$

$\sigma_p = 2300 \text{ kgf/cm}^2$ (limite proporcional de resistência de cada barra).

$$\bar{\sigma}_f \ll \sigma_p.$$

Força nos rolamentos do eixo móvel



$$2F_x = 2 \times 115 = 231,8 \text{ kgf.}$$

Diâmetro dos parafusos de fixação

$$\bar{\sigma} = \frac{2F_x}{S} \quad \bar{\sigma}_{ad} = 11,3 \text{ kgf/mm}^2.$$

$$S \geq \frac{231,8}{11,3} \Rightarrow S \geq 20,45 \text{ mm}^2 \Rightarrow D \geq 3,61 \text{ mm.}$$

Rolamento axial de apoio do eixo móvel.

12

Força axial máxima: 180 kgf (incluindo o peso da estrutura.)

Vida nominal do rolamento: $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^b$ $P = 1800 N$
 $b = 3$ (rolamento de esferas)

regime de trabalho: variável, com cursos de 0° a 180°

admitindo uma vida de 5 milhões de rotações:

$$5 = \left(\frac{C}{1800}\right)^3 \Rightarrow C = 3077,96 N \quad \text{carga dinâmica}$$

rolamento escolhido: SKF 51112 $d = 60 \text{ mm}$
 $D = 85 \text{ mm}$.

Rolamento radial do eixo móvel

Vida: 5 milhões de rotações

Carga radial: 231 kgf = 2310 N

$$C = 2310 \sqrt[3]{5} = 3950 N$$

Carga axial 0

rolamentos escolhidos: superior: SKF 6208
inferior: SKF 6009

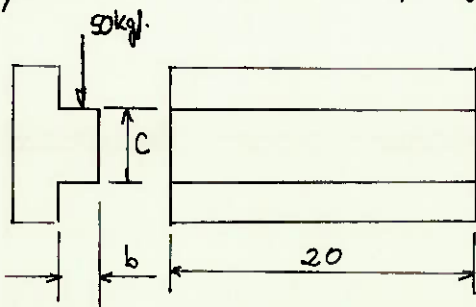
Cálculo das guias de Nylon

Material: TEN NYL A216

$$\sigma_{\text{máx}} = 5,80 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\tau_{\text{máx}} = 6,10 \text{ kgf/mm}^2$$

Admitindo um peso máximo de 50 kgf numa guia de 20 mm de comprimento: $A = 2$ (col. sup.)



resistência ao esmagamento

$$\frac{50}{6 \times 20} \leq \frac{6,1}{2} \therefore \underline{b \geq 0,820 \text{ mm}}$$

resistência ao cisalhamento

$$\frac{50}{c \times 20} \leq \frac{5,80}{2} \therefore \underline{c \geq 0,862}$$

Cálculo das engrenagens.

distância entre centros: 40 mm.

diâmetro de cabeça: $d_s = 40 \text{ mm}$.

módulo: 1 mm.

$$d_{s1} = d_{o1} + 2h_{s01}$$

$$h_0 = m_0 = 1 \text{ mm (cadendo)}$$

$$40 = d_{o1} + 2 \Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} d_{o1} = 38 \text{ mm} \\ z_1 = 38 \text{ dentes} \end{array}}$$

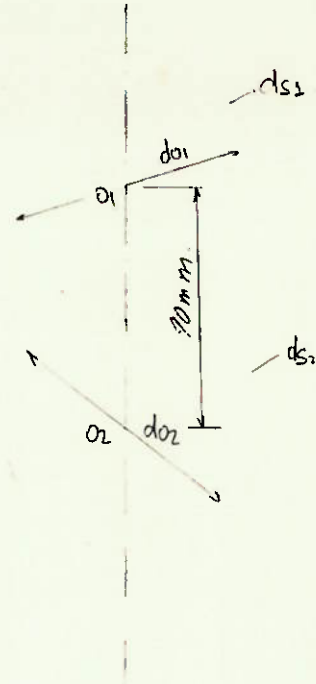
$$\text{diâmetro de pé: } d_{f1} = 40 - 2h = 40 - 2 \times 2,25 \Rightarrow \boxed{d_{f1} = 35,50 \text{ mm.}}$$

$$a = \frac{d_{o1} + d_{o2}}{2} = 40 = \frac{38 + d_{o2}}{2} \rightarrow d_{o2} = 80 - 38 = 42.$$

$$\text{diâmetro de pé: } d_{f2} = 44 - 2 \times 2,25 = 39,50$$

$d_{o2} = 42,0 \text{ mm}$
$d_{s2} = 44,0 \text{ mm}$
$d_{f2} = 39,5 \text{ mm}$
$z_2 = 42 \text{ dentes.}$

material das engrenagens: latão.



Bibliografia

Nieman, G. "Elementos de Máquinas" VOLs. I e III

Oliveira, Nelson C. G. "Engrenagens"

Oliveira, Nelson C. G. "Roscas e Parafusos"

ABNT - NB 8, NB 13, NB 86

SKF "catálo de Rolamentos"

ANEXO

Desenhos de Projeto

- Vistas de Conjunto
- Vistas de Montagem
- Vistas de de Detalhes
- Lista de Peças

Relação de componentes - mesa de correlação

<u>número</u>	<u>especificação</u>	<u>material</u>
001	roda de vagão ferroviário	aço
002/1	coroa	Bronze
002/2	parafuso sem fim	Aço 1045
003	Parafuso NC 12 x 30mm	aço
004	eixo vertical	aço SAE 1060
005	motor passo a passo Werner SM-048-0170 AE	
006	acoplamento elástico	
007	base de apoio do motor	ferro
008	base de apoio dos mancais do redutor	ferro
009	suporte dos mancais	ferro
010	bucha	ferro
011	anel de fixação	aço
012	anel distanciador	ferro
013	parafuso NC 1/4" x 20mm	aço
014	parafuso NC 3/8" X 50mm	aço
015	parafuso NC 3/16" x 20mm	aço
016	mesa de apoio do motor	ferro
017/1	caixa do rolamento	ferro
017/2	tampa frontal	ferro
017/3	tampa posterior	ferro
017/4	parafuso NC 1/8" x 6mm	aço
017/5	rolamento SKF 1200 auto compensador de esferas	
018	parafuso 1/4" x 20mm	aço
019	rolamento SKF 51112 rolamento axial de esferas	
020	base de apoio do detetor	L 1 1/2" aço
021/0	porca - rosca ϕ 14mm 6 fios por pol.	aço
021/1	pino	ferro
021/2	pino	ferro
021/3	bucha	latão
021/4	bucha	latão
022/0	parafuso de movimento	aço SAE 1045

022/1	bucha	latão
022/2	placa de fixação	alumínio
022/3	placa de escora	alumínio
022/4	bucha	latão
022/5	parafuso M 5 x 20mm	aço
023	garfo	aço SAE 1060
024/0	pino	" " "
024/1	articulação	" " "
025	porca de ajuste	aço SAE 1060
026	barra de apoio	aço SAE 1060
027/0	manivela	alumínio
027/1	maçaneta da manivela	alumínio
028/0	apoio do detetor	ferro
028/1	porca NC 1/4"	aço
028/2	parafuso NC 1/4" x 50mm cab. ASA B18.3	aço
028/3	parafuso NC 5/32" x 6mm cab. chanfrada	aço
029	guias	nylon
030/1	base - mesa Y	alumínio
030/2	reforço	L 1/4" alumínio
031/0	placa de apoio	alumínio
031/1	apoio lateral	L 1 1/2" alum.
031/2	engrenagem	latão
031/3	engrenagem	latão
031/4	bucha	latão
031/5	anel	latão
031/6	tampa frontal	alumínio
031/7	bucha	latão
031/8	eixo	aço
031/9	base de apoio das engrenagens	L 1 1/2" alum.
031/10	base	L 1 1/2" alum.
031/11	bucha	latão
031/12	parafuso NC 10 x 30mm cab. sex	aço
031/13	parafuso NC 10 x 20mm cab. arred.	aço

031/14	parafuso NC 10 x 10mm cab. sex.	aço
031/15	parafuso NC 10 x 15mm cab. sex. c/ porca	aço
031/16	" NC 8 x 15mm " " " "	aço
031/17	" NC 1/8" x 10mm " " " "	aço
031/18	" NC 10 x 15mm " " " "	aço
032/0	reforço	L 1/4" alumínio
032/1	base de apoio	alumínio
033	assento do detetor	madeira
034/0	borboleta da presilha	alumínio
034/1	parafuso NC 3/8"	aço
034/2	porca 3/8"	aço
034/3	suporte	aço
034/4	perfil lateral	aço
034/5	parafuso NC 10 x 20mm	aço
034/6	encosto	borracha
034/7	parafuso NC 6 x 10mm c. arredondada	aço
034/8	parafuso NC 1/8" x 10mm c. arred.	aço
034/9	arruela	latão