

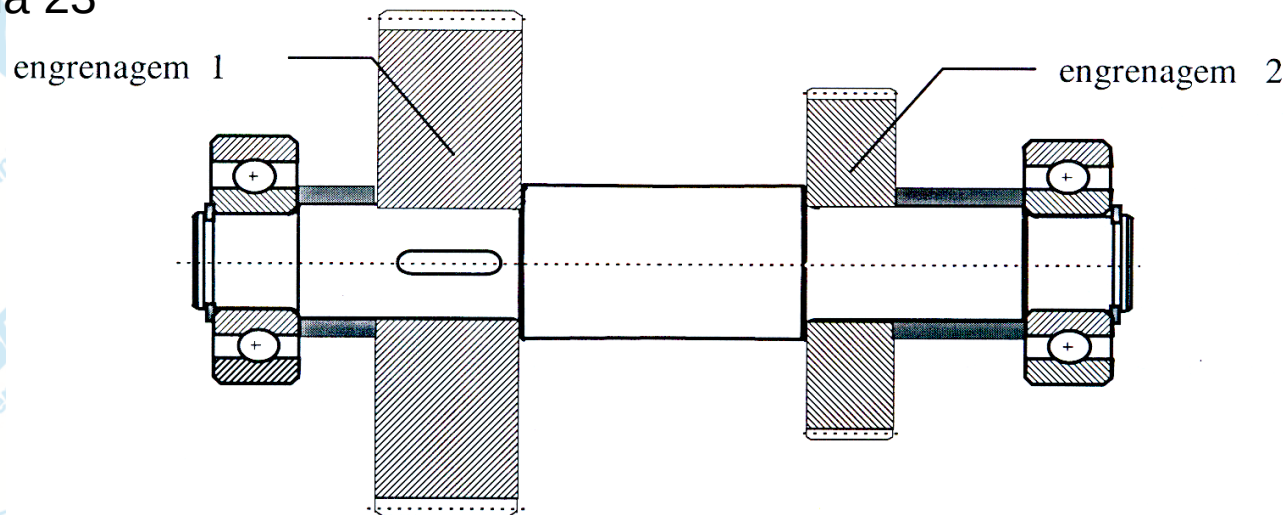
ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)

Notas de Aulas v.2018

Lista de exercícios – aula 12 – Dimensionamento de mancais de rolamentos

Professor: Carlos Alberto Fortulan

Ex47- aula 23



Dados

Força radial
Força axial (sentido único para esquerda)
Diâmetro do eixo no assento do rol. (d)
Temp. de serviço

Mancal esquerdo

6000 N
3000 N
40 mm
60°C

Mancal direito

8000 N
0
40 mm
60°C

Direção das forças bem definidas; lubrificação e montagem confiáveis; não há desbalanceamento; eixo de rotação contínua de 200 rpm em funcionamento tem vibrações médias e choques ocasionais leves.

Pede-se:

- ✓ Dimensionar os rolamentos;
- ✓ Escolher o óleo e método de lubrificação;
- ✓ Verificar $n_{\max}$;
- ✓ Calcular momentos de atrito;
- ✓ Escolher vedadores;
- ✓ Fazer desenho dos mancais.

Carga estática equivalente

Para rolamentos individuais e rolamentos em pares dispostos em tandem

$$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$$

Quando $P_0 < F_r$, $P_0 = F_r$ deverá ser usado. Para rolamentos em pares, F_r e F_a são as forças atuantes no par.

Para rolamentos em pares dispostos em O ou X

$$P_0 = F_r + 1,7 F_a$$

F_r e F_a são as forças atuantes no par.

Carga dinâmica equivalente

Para rolamentos individuais e rolamentos em pares dispostos em tandem

$$P = F_r \quad \text{quando } F_a/F_r \leq e$$

$$P = XF_r + YF_a \quad \text{quando } F_a/F_r > e$$

Os fatores X e Y necessários para o cálculo da carga equivalente de rolamentos rígidos de esferas, dependem da relação entre a carga axial F_a e a capacidade de carga estática C_0 . Eles também são influenciados pela valor da folga interna radial; aumentando-se a folga possibilita-se suportar uma carga axial maior.

Para rolamentos em pares dispostos em O e em X

$$P = F_r + Y_1 F_a \quad \text{quando } F_a/F_r \leq e$$

$$P = 0,75 F_r + Y_2 F_a \quad \text{quando } F_a/F_r > e$$

F_r e F_a são as forças atuantes no par de rolamentos. Os valores para os fatores e , Y_1 e Y_2 para diferentes valores de F_a/C_0 são dados na tabela inferior ao lado.

Se os rolamentos são montados com os ajustes usuais (tolerância j5 a n6 dependendo do diâmetro do eixo e J7 na caixa) os valores de e , X e Y dados na tabela superior podem ser utilizados para calcular a carga equivalente. Para rolamentos em pares dispostos em tandem, os valores dados sob "Folga C3" devem ser usados. Se uma folga maior que a normal é selecionada devido a uma redução da folga em trabalho, p. ex., como resultado de um grande aquecimento do anel interno, então os valores dos fatores sob folga normal devem ser usados.

Para rolamentos em pares dispostos em tandem, F_a e F_r são forças atuantes no par de rolamentos.

p.184 Catálogo Geral SKF

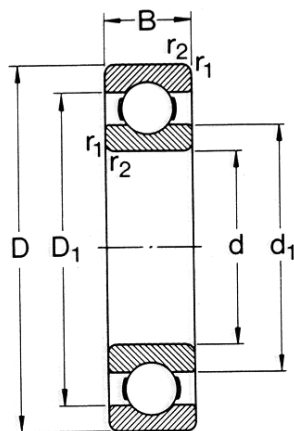
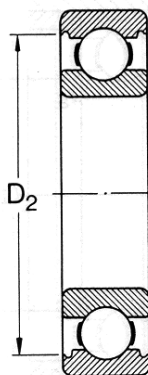
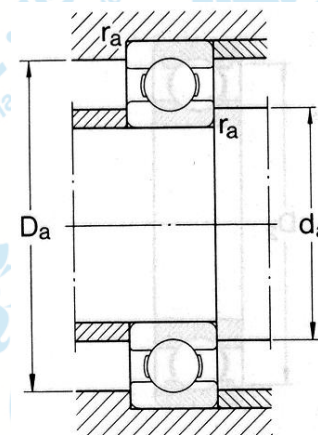
Rolamentos rígidos de esferas, uma carreira

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de uma carreira de esferas
Rolamentos individuais e em pares dispostos em tandem

F_a/C_0	Folga normal			Folga C3			Folga C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,025	0,22	0,56	2	0,31	0,46	1,75	0,4	0,44	1,42
0,04	0,24	0,56	1,8	0,33	0,46	1,62	0,42	0,44	1,36
0,07	0,27	0,56	1,6	0,36	0,46	1,46	0,44	0,44	1,27
0,13	0,31	0,56	1,4	0,41	0,46	1,3	0,48	0,44	1,16
0,25	0,37	0,56	1,2	0,46	0,46	1,14	0,53	0,44	1,05
0,5	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de uma carreira de esferas
Rolamentos em pares dispostos em O ou em X

F_a/C_0	e	Y_1	Y_2
0,03	0,32	2	2,8
0,10	0,4	1,55	2,2
0,25	0,47	1,3	1,85

Anel externo
sem ranhuras
de placasAnel externo
com ranhuras
de placas

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P_u	Velocidades de referência		Massa	Designação	Outras dimensões				Dimensões de encostos		
d	D	B	dinâm. C	estát. C_0		Lubrificação graxa	óleo			$d_1 \approx$	$D_1 \approx$	$D_2 \approx$	$r_{1,2} \min$	$d_a \min$	$D_a \max$	$r_a \max$
mm			N		N	r/min		kg	—					mm		
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808	43,7	48,5	—	0,3	42	50	0,3
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908	47	55,2	—	0,6	44	58	0,6
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008	49,4	57	—	0,3	42	66	0,3
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008	49,2	59,1	61,1	1,1	45	63	1
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208	52,6	67,9	69,8	1,1	46,5	73,5	1
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308	56,1	74,7	77,7	1,5	48	82	1,5
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408	62,8	88	—	2,8	49	101	2

p.190 Catálogo Geral SKF
Rolamentos rígidos de esferas, uma carreira

Tabela 7

Classe de viscosidade de acordo com ISO	Viscosidade cinemática 40 °C		
	média	mín	máx
—	mm ² /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

p.38 Catálogo Geral SKF

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de uma carreira de esferas
 Rolamentos individuais e em pares dispostos em tandem

F_a/C_0	Folga normal			Folga C3			Folga C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,025	0,22	0,56	2	0,31	0,46	1,75	0,4	0,44	1,42
0,04	0,24	0,56	1,8	0,33	0,46	1,62	0,42	0,44	1,36
0,07	0,27	0,56	1,6	0,36	0,46	1,46	0,44	0,44	1,27
0,13	0,31	0,56	1,4	0,41	0,46	1,3	0,48	0,44	1,16
0,25	0,37	0,56	1,2	0,46	0,46	1,14	0,53	0,44	1,05
0,5	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

p.185 Catálogo Geral SKF

Cálculo Indireto

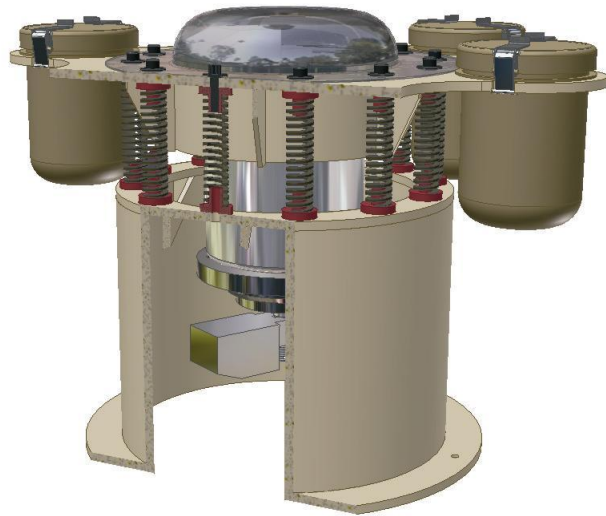
$$C_{nec} \geq P \cdot \left(\frac{L_{desejada} \cdot 60 \cdot n}{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{p}} ; L_{desejada} \text{ em horas}$$

Calculando o lado direito $P=12000N$ e estipulando vida de 5000 horas

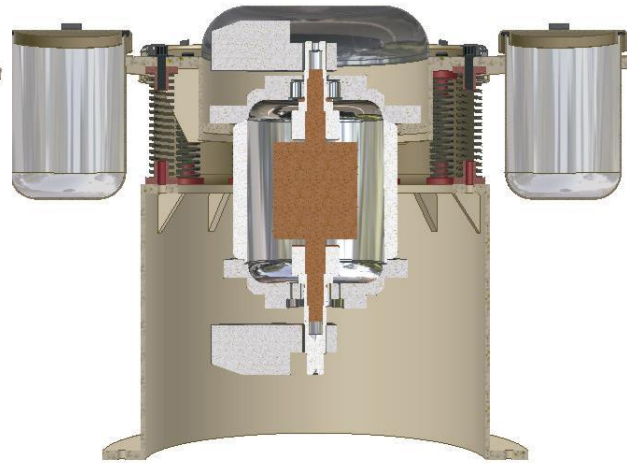
$$C_{nec} \geq 12000 \cdot \left(\frac{5000 \cdot 60 \cdot 200}{1 \cdot 1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 46972 N$$

Da catálogo pg. 190

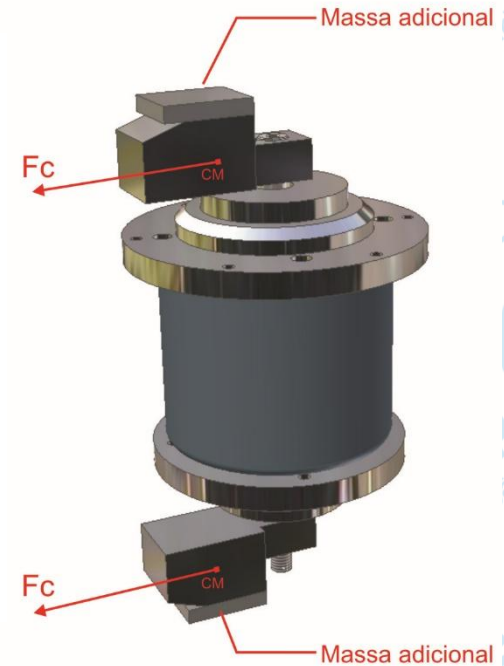
Ex48- aula 22– Selecionar e dimensionar os mancais de rolamentos para um mini moinho vibratório



MMV em detalhe

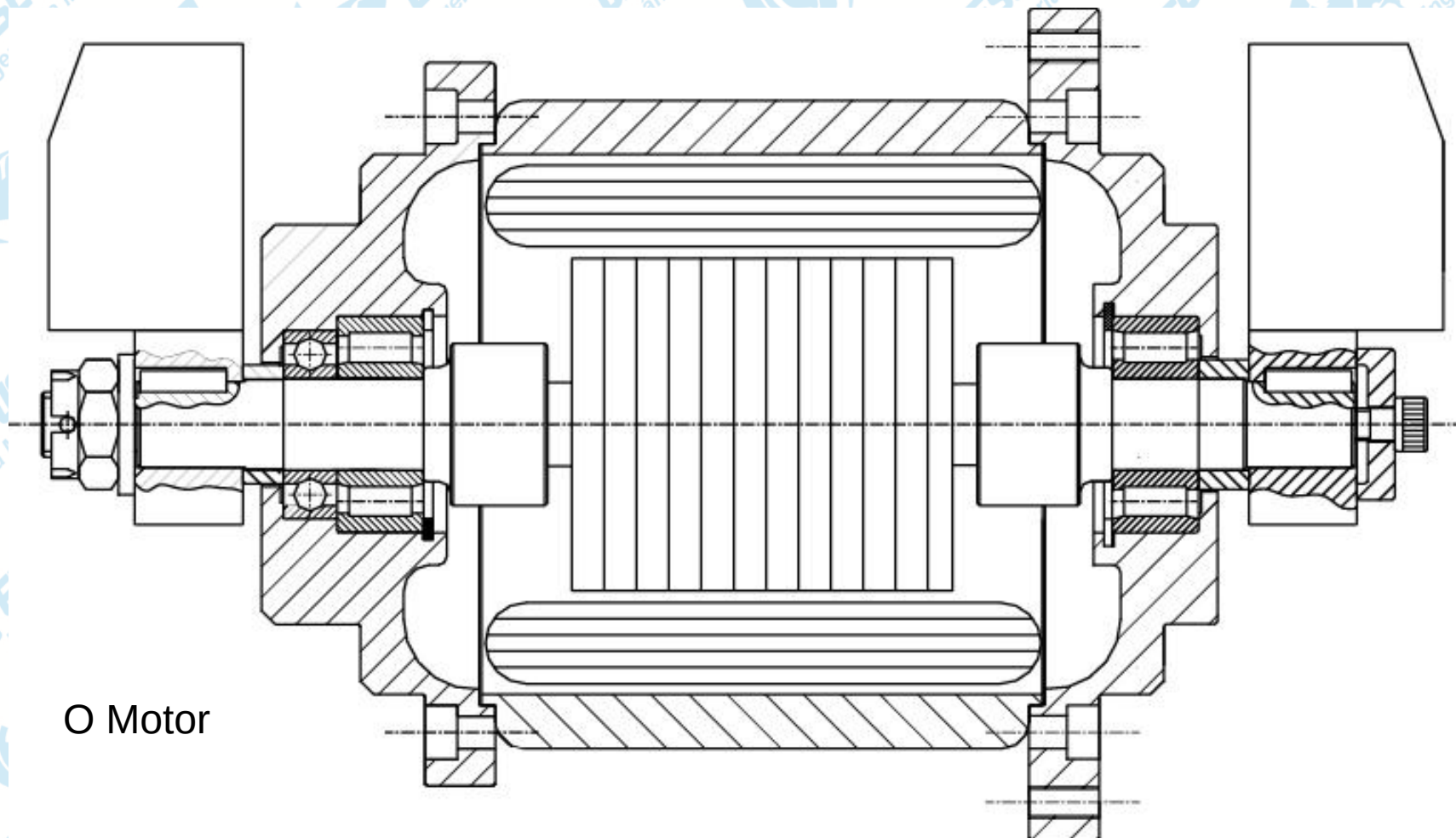


MMV em corte



Motor

Valores: $F_c = 1100\text{N}$
rotação: 1720 rpm
lubrificação : graxa
vibração (desbalanceamento): alta
temperatura: $\sim 70^\circ$ (média)
sem choques



O Motor

a) Cálculos:

$$F_{calc} = f \cdot F_{teoricas}, \text{ sendo } f = 1 \text{ a } 3$$

f é influenciado por: rotação alta; temperatura média, vibração, desbalanceamento, incerteza das cargas (OK!) e lubrificação (OK!) sem choques. Adota-se $f=2$.

$$F_{calc} = 2 \cdot 1100 \Rightarrow \text{sendo } F_{calc} = 2.200N$$

b) Dimensionamento Dinâmico Direto

Carga dinâmica equivalente

$$P = F_r \therefore P = F_{calc} = 2200N$$

c) Seleção do Rolamento

$d_{eixo} = 17mm$, opção por rolamento de rolos cilíndricos, tipo NU

designação	C (N)	C_0 (N)
NU 203	17200	14300
NU 2203	23800	21600

d) Cálculo da Vida

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$p = 10/3$ para rolamentos de rolos

$a_1 = 1$, para confiabilidade de 90%

$a_2 = 1$, temp. $< 150^\circ\text{C}$

$a_3 = a_{23}$, é preciso decidir pelo óleo a ser usado

Escolha do óleo (óleo base da graxa, neste caso)

$$d_m = \frac{d + D}{2} = \frac{17 + 40}{2} = 28,5 \text{ mm}, \text{ e temos } n = 1720 \text{ rpm}$$

Tabela 7

Classe de viscosidade de acordo com ISO	Viscosidade cinemática 40 °C média		
	mm ² /s	min	máx
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

p.185 Catálogo Geral SKF

Viscosidade necessária nas condições de trabalho $v_1 = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$. Mas a temperatura de trabalho é 70°C , precisa-se determinar qual a viscosidade à 40°C para que se tenha $v = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ à 70°C . Pelo gráfico têm-se $v = 70 \text{ mm}^2/\text{s}$ à 40°C . O óleo ISO VG 100, satisfaz e à 70°C terá viscosidade média $v = 27,5 \text{ mm}^2/\text{s}$.

$$k = \frac{v}{v_1} = \frac{27,5}{20} = 1,375$$

$$a_{23} = 1,3$$

Diagrama 3, p.39, Catálogo Geral SKF.

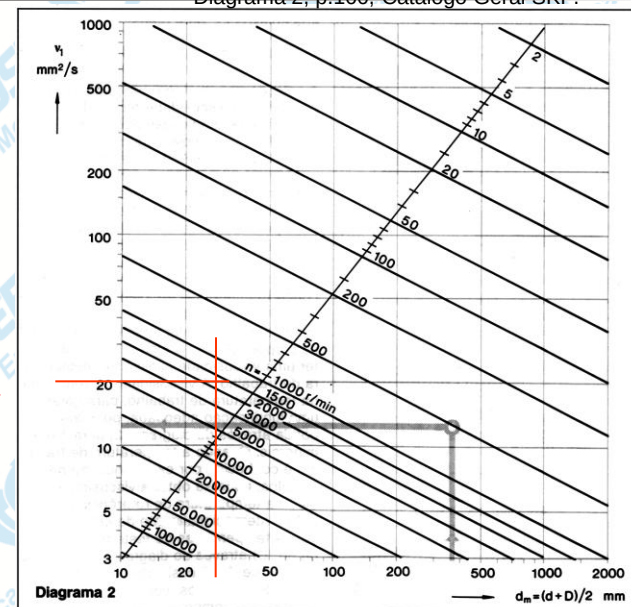
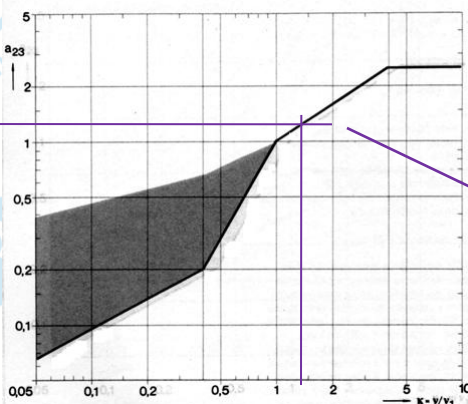
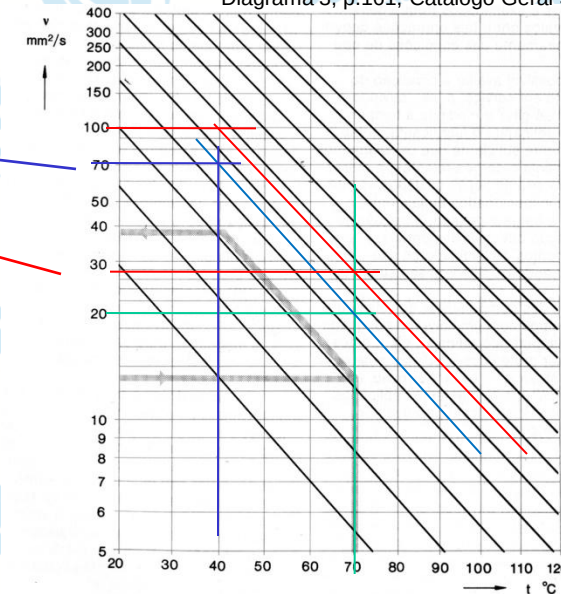


Diagrama 3, p.161, Catálogo Geral SKF.



d) Cálculo da Vida

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$p = 10/3$ para rolamentos de rolos

$a_1 = 1$, para confiabilidade de 90%

$a_2 = 1$, temp. < 150°C

$a_3 = a_{23}$, é preciso decidir pelo óleo a ser usado

✓ Testando o NU 203, para o rolamento superior (A)

$$L = 1.1.1.375 \left(\frac{17200}{2200} \right)^{3,333} = 1300 \text{ milhões de rotações}$$

$$Lh = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{1300 \cdot 10^6}{60 \cdot 1720} = 12.600 \text{ horas (previsão da vida útil)}$$

Na classe de máquinas para trabalho contínuo, 8 horas por dia totalmente utilizados (ventiladores, centrífugas, separadores) é estipulado de 20.000 a 30.000 horas de vida, o NU 203 não atende pois a previsão é de 12.600h.

✓ Testando o NU 2203

$$L = 1.1.1.375 \left(\frac{23800}{2200} \right)^{3,333} = 3850 \text{ milhões de rotações}$$

$$Lh = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{3850 \cdot 10^6}{60 \cdot 1720} = 37.300 \text{ horas (previsão da vida útil)}$$

O NU 2203 atende em horas de trabalho com folga a esta classe de máquinas e foi adotado no projeto.

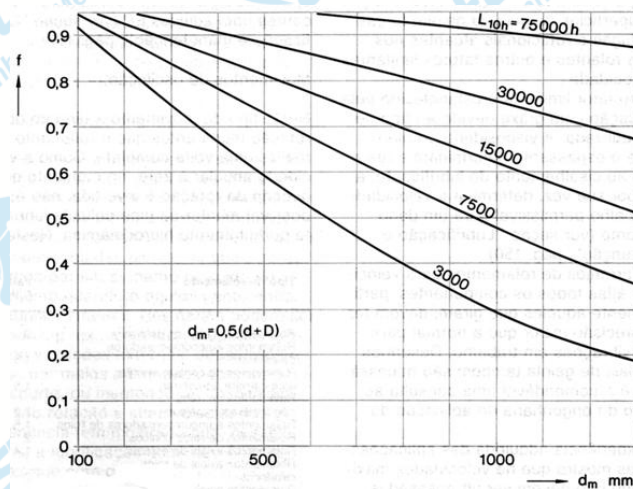
e) rotação máxima permitida

$$n_{\max \text{ perm}} = f \cdot n_{\max \text{ tabela}}$$

$$f = 0,95 \text{ (gráfico)}$$

$$n_{\max \text{ tabela}} \Rightarrow \text{NU 2203 p/ lub r. com graxa} = 16000 \text{ rpm}$$

$$n_{\max \text{ perm}} = 0,95 \cdot 1600 = 15200 > 1720 \text{ rpm}$$



p.65, Catálogo Geral SKF.