

Passo-a-passo para dimensionar rolamentos

Baseado no catálogo virtual SKF

(páginas do catálogo virtual em parênteses)

[Para catálogo físico antigo páginas equivalente em colchetes]

Pré-dimensionamento

Antes de mais nada avalie o tipo de rolamento que deve ser adequado para a aplicação.

- Qual espaço disponível?
- Quais as cargas?
 - Radiais, axiais, combinadas?
 - Qual magnitude
- Há desalinhamento significativo?
- Qual requisito de precisão?
- Qual a velocidade?
- Qual requisito de atrito?
- Há limitação do ruído máximo?
- Rigidez é um requisito importante?
- deslocamento axial: Há movimento ou dilatação térmica?
- Qual deve ser a facilidade de montagem e desmontagem?
- Como é o ambiente do rolamento? Sujo? Molhado? Precisa de vedação?

Em geral a primeira escolha é o rolamento de esferas comum. Para requisitos diferentes tentar outros rolamentos.

(Págs 46-59)

Pré-dimensionamento por fadiga

1. Definir vida esperada em horas
2. Calcular vida em ciclos
3. Calcular relação C/P – escolher a_1 e assumir $a_{skf} = 1$
4. Calcular C_{min} , assumindo $P = 1,1 * F_r$
5. Buscar rolamento com $C > C_{min}$

1. Definir vida esperada em horas

Tabela 9

Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina	
Tipo de máquina	Especificação da vida útil Horas operacionais
Máquinas domésticas, máquinas agrícolas, instrumentos, equipamento técnico para uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente: ferramentas elétricas manuais, guincho de elevação em oficinas, equipamentos e máquinas de construção	3 000 ... 8 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente, onde é necessária uma alta confiabilidade operacional: elevadores, guindastes para mercadorias embaladas ou cabos de suspensão de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia, mas nem sempre totalmente utilizadas: transmissões de engrenagens para finalidades gerais, motores elétricos para uso industrial, trituradores rotativos	10 000 ... 25 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia e utilizadas por completo: máquinas-ferramenta, máquinas para trabalho em madeira, máquinas para o setor de engenharia, guindastes para material a granel, ventiladores, esteiras transportadoras, equipamentos de impressão, separadores e centrífugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para uso contínuo durante 24 horas: unidades de engrenagens de laminadores, máquinas elétricas de médio porte, compressores, elevadores de minas, bombas, máquinas têxteis	40 000 ... 50 000
Máquinas de energia eólica, que incluem eixo principal, guinada, redutores de engrenagens de afastamento, rolamentos de geradores	30 000 ... 100 000
Máquinas para trabalhos com água, fomalhas rotativas, máquinas de estiramento de cabos, máquinas de propulsão para embarcações oceânicas	60 000 ... 100 000
Grandes máquinas elétricas, usina de geração de energia, bombas de minas, ventiladores de minas, rolamentos de túneis de eixos para navios oceânicos	> 100 000

Tabela 10

Valores de referência de especificação de vida útil para rolamentos e acessórios da caixa do mancal do eixo e unidades para veículos ferroviários	
Tipo de veículo	Especificação da vida útil Milhões de quilômetros
Vagões de trens de carga de acordo com a especificação UIC com base em carga máxima atuando continuamente	0,8
Veículos de transporte público: trens suburbanos, metrô, veículos ferroviários leves e vagonetes	1,5
Vagões de passageiros da linha principal	3
Trens-unidade diesel-elétricos de linha principal	3 ... 4
Locomotivas diesel-elétricas de linha principal	3 ... 5

(Pág 83)
[Pág 34]

1. Definir vida esperada em horas
2. Calcular vida em ciclos
3. Calcular relação C/P – escolher a_1 e assumir $a_{skf} = 1$
4. Calcular C_{min} , assumindo $P = 1,1 * F_{axial}$

$$L_{nm} = a_1 a_{skf} L_{10} = a_1 a_{skf} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Se a velocidade for constante, a vida poderá ser expressa em horas de funcionamento, utilizando

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 n} L_{nm}$$

Em geral, 90% é adequado

onde

L_{nm} = vida nominal SKF (com 100 – n^1)% de confiabilidade) [milhões de revoluções]

L_{nmh} = vida nominal SKF (com 100 – n^1)% de confiabilidade) [horas de funcionamento]

L_{10} = vida nominal básica (com 90% de confiabilidade) [milhões de revoluções]

a_1 = fator de ajuste de vida para confiabilidade (→ **tabela 1**, valores de acordo com a norma ISO 281)

a_{skf} = fator de modificação de vida útil SKF (→ **diagramas 1 a 4**)

C = classificação de carga dinâmica básica [kN]

P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]

n = velocidade de rotação [r/min]

p = expoente da equação de vida
 – para rolamentos de esferas, $p = 3$
 – para rolamentos de rolos, $p = 10/3$

Se houver incerteza nas cargas, multiplicar por um coeficiente de segurança f ;

f de 1,0 a 3,0

C é a carga nominal para 1×10^6 revoluções

Tabela 1

Valores para o fator de ajuste de vida útil a_1

Confiabilidade	Probabilidade de falha	Vida nominal SKF	Fator
%	%	L_{nm} milhões de revoluções	a_1
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

(Pág 65)
[Pág 35]

Para carga variável

$$L_{10m} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10m1}} + \frac{U_2}{L_{10m2}} + \frac{U_3}{L_{10m3}} + \dots}$$

onde L_{10m}

$L_{10m1}, L_{10m2}, \dots$

U_1, U_2, \dots

= vida nominal SKF (com 90% de confiabilidade) [milhões de revoluções]
 = vidas nominais SKF (com 90% de confiabilidade) em condições constantes 1, 2, ... [milhões de revoluções]
 = fração de ciclo de vida em condições 1, 2, ...
 Observação:
 $U_1 + U_2 + \dots + U_n = 1$

1. Definir vida esperada em horas
2. Calcular vida em ciclos
3. Calcular relação C/P – assumir $a_{skf} = 1$
4. Calcular C_{min} , assumindo $P = 1,1 \cdot F_a$
5. **Buscar rolamento com $C > C_{min}$**

Buscar no catálogo!

Exemplo de rolamento com diâmetro interno 190 mm:

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	C	C_0	P_u	Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	–
190	240	24	76,1	98	2,8	5 300	3 200	2,25	61838
	260	33	117	134	3,8	5 000	3 200	4,5	61938
	260	33	117	134	3,8	5 000	4 300	5,2	61938 MA
	290	31	148	166	4,55	4 800	3 000	6,9	16038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 000	9,55	6038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 800	11	6038 M
	340	55	255	280	7,35	3 800	2 400	19,5	6238
	340	55	255	280	7,35	3 800	3 400	22	6238 M
	400	78	371	430	10,8	3 400	2 200	42	6338
	400	78	371	430	10,8	3 400	3 000	48,5	6338 M

Dimensionamento

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: D , C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento.
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}
6. Verificar se vida em horas está adequada
7. Calcular P_0 e verificar se coeficiente de segurança estático está adequado
8. Checar carga mínima e carga axial admitida
9. Checar se velocidade < velocidade limite e velocidade de referência ajustada
10. Se necessário escolher outro rolamento

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: D , C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)

Buscar no catálogo!

Exemplo de rolamento com diâmetro interno 190 mm:

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	–
190	240	24	76,1	98	2,8	5 300	3 200	2,25	61838
	260	33	117	134	3,8	5 000	3 200	4,5	61938
	260	33	117	134	3,8	5 000	4 300	5,2	61938 MA
	290	31	148	166	4,55	4 800	3 000	6,9	16038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 000	9,55	6038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 800	11	6038 M

			Dimensões de encosto e raio			Fatores de cálculo	
d ₁	D ₁	r _{1,2}	d _a	D _a	r _a	k _r	f ₀
~	~	min.	min.	máx.	máx.		
			mm			–	
206	224	1,5	197	233	1,5	0,015	17
212	238	2	199	251	2	0,02	17
212	239	2	199	251	2	0,02	17
223	256	2	199	281	2	0,02	16
222	258	2,1	200	280	2	0,025	16
222	258	2,1	200	280	2	0,025	16

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento

$$P = XF_r + YF_a$$

onde

P = carga dinâmica equivalente do rolamento
[kN]

F_r = carga radial real do rolamento [kN]

F_a = carga axial real do rolamento [kN]

X = fator de carga radial para o rolamento

Y = fator de carga axial para o rolamento

Se houver incerteza nas cargas, multiplicar por um coeficiente de segurança f ;

f de 1,0 a 3,0

$$F_m = \frac{F_{\min} + 2 F_{\max}}{3}$$

No caso de variação linear da carga

[illegible][illegible][illegible]

Rígido de esferas

Contato angular

Rolos cilíndricos

VERIFICAR CARGA MÍNIMA E CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

EXEMPLO

Rígido de esferas

- Calcular $f_o F_a / C_0$
- Encontrar e, X e Y

Tabela 8

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de esferas

$f_o F_a / C_0$	Rolamentos de uma e de duas carreiras Folga normal			Rolamentos de uma carreira Folga C3			Folga C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Os fatores de cálculo devem ser selecionados de acordo com a folga operacional no rolamento, que pode ser diferente da folga interna antes da montagem. Para obter mais informações ou para fatores de cálculo para outras classes de folga, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

Os valores intermediários podem ser obtidos através da interpolação linear.

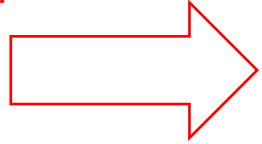
(Pág 315)

[Pág 185]

EXEMPLO

Rígido de esferas

Calcular carga
dinâmica
equivalente



Cargas

	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas	Rolamentos rígidos de esferas de aço inoxidável	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas com rasgos de entrada	Rolamentos rígidos de duas carreiras de esferas	Símbolos
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$ <p>O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional. No caso de aplicações em que rolamentos rígidos de esferas em aço inoxidável ou de uma ...</p>				C_0 = classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos) d_m = média de diâmetro do rolamento [mm] = 0,5 (d + D) e = limite da relação de cargas de acordo com a relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) f_0 = fator de cálculo (→ tabelas de produtos) F_a = carga axial [kN] F_r = carga radial [kN] F_{rm} = carga radial mínima [kN] k_r = fator mínimo de carga (→ tabelas de produtos) n = velocidade de rotação [r/min] P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN] X = fator de cálculo para a carga radial (→ tabela 8, página 315) Y = fator de cálculo para a carga axial dependendo da relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) n = viscosidade operacional real do lubrificante [mm²/s]
Para obter mais informações (→ página 86)	... carreira de esferas são utilizados, é possível aplicar uma pré-carga axial ajustando-se os anéis interno e externo entre si, ou por meio de molas.				
Capacidade de carga axial	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$ Rolamentos pequenos ¹⁾ e rolamentos de séries leves ²⁾ → $F_a \leq 0,25 C_0$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,25 C_0$	$F_a \leq 0,6 F_r$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$	
	As cargas axiais excessivas poderão reduzir, de forma considerável, a vida útil do rolamento.				
Carga dinâmica equivalente do rolamento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$		$F_a/F_r \leq 0,6$ e $P \leq 0,5 C_0$ → $P = F_r + F_a$	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	
Para obter mais informações (→ página 85)					
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$		$F_a/F_r \leq 0,6$ → $P_0 = F_r + 0,5 F_a$	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$	
Para obter mais informações (→ página 88)					

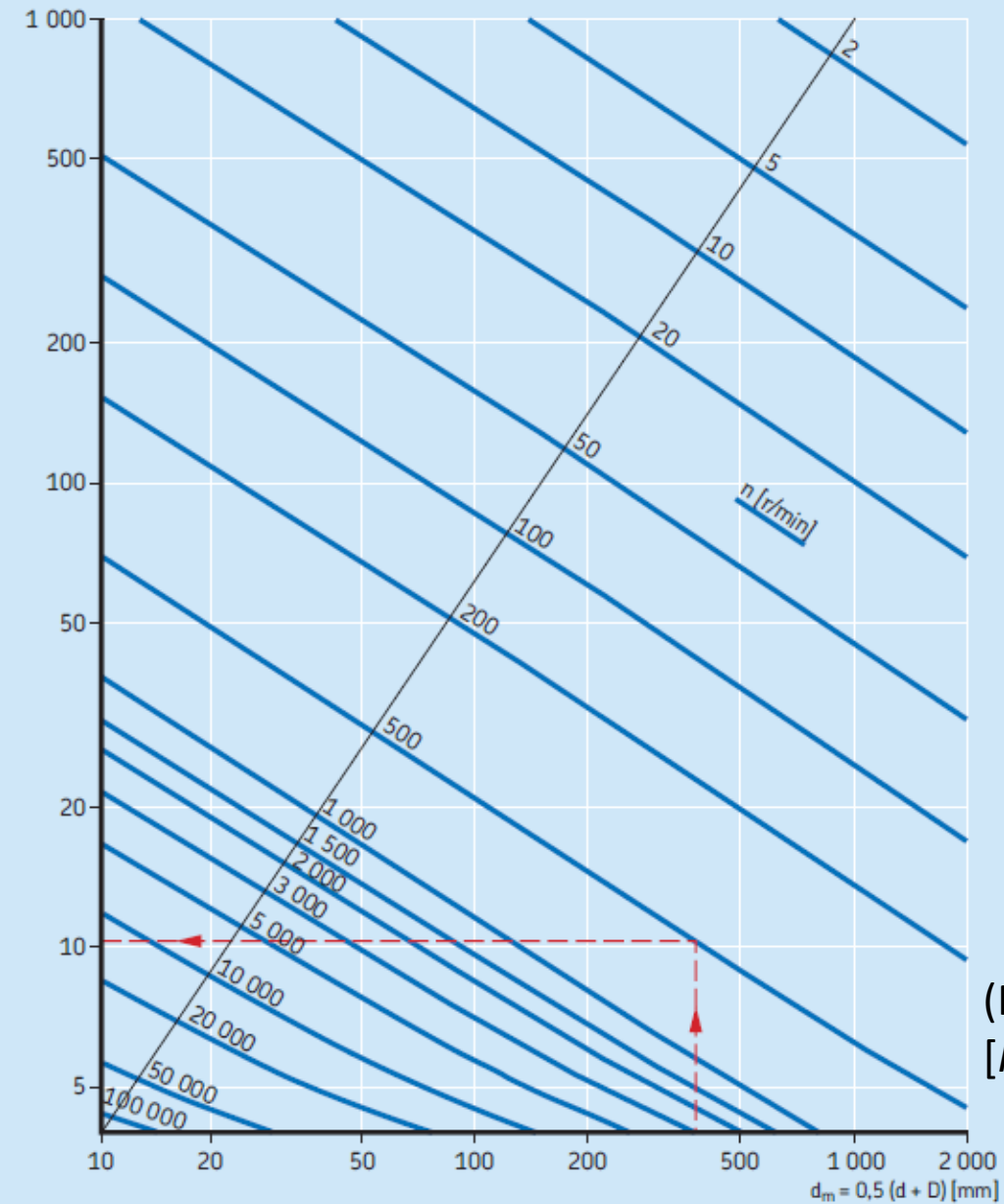
(Pág 316-317)
[Pág 183-184]

¹⁾ $d \leq 12$ mm
²⁾ Séries de diâmetro 8, 9, 0 e 1

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional

Estimativa da viscosidade nominal v_1 na temperatura operacional

Viscosidade nominal v_1 à temperatura operacional [mm^2/s]



(Pág 72)
[Pág 36]

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional

Tabela 3

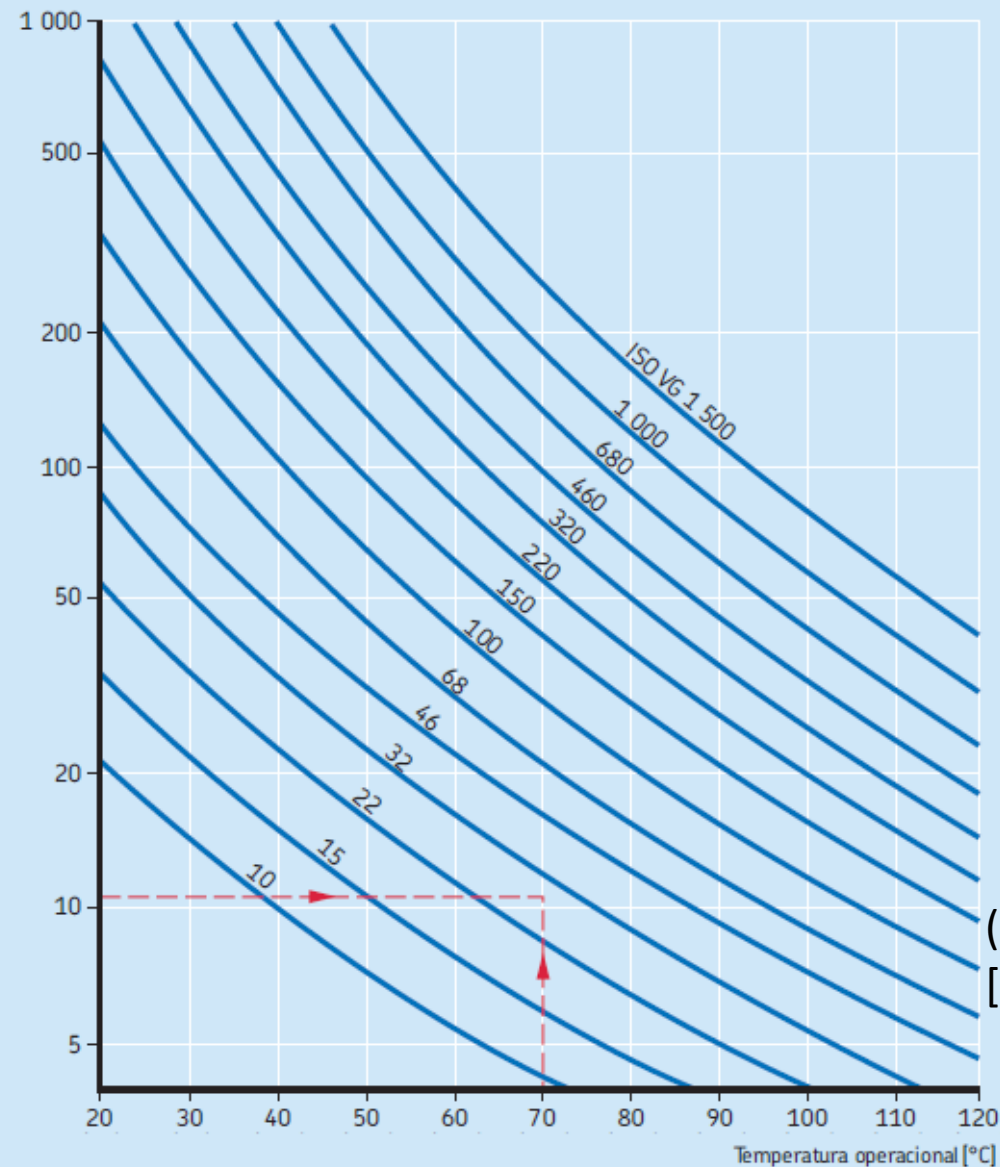
Classificação de viscosidade de acordo com a norma ISO 3448

Grau de viscosidade	Limites de viscosidade cinemática a 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

(Pág 71)
[Pág 38]

Diagrama de viscosidade-temperatura para os graus de viscosidade ISO (Óleos minerais, índice de viscosidade 95)

Viscosidade [mm²/s]



(Pág 73)
[Pág 37]

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k

$$\kappa = \frac{v}{v_1}$$

onde

κ = relação de viscosidade

v = viscosidade operacional real do lubrificante
[mm²/s]

v_1 = viscosidade nominal do lubrificante,
dependendo do diâmetro médio do
rolamento e da velocidade de rotação
[mm²/s]

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza η_c

Tabela 4

Valores de referência para o fator η_c para diferentes níveis de contaminação

Condições	Fator η_c ¹⁾ para rolamentos com diâmetro médio	
	$d_m < 100 \text{ mm}$	$d_m \geq 100 \text{ mm}$
Limpeza extrema <ul style="list-style-type: none"> tamanho aproximado das partículas da mesma espessura do filme lubrificante condições laboratoriais 	1	1
Alto nível de limpeza <ul style="list-style-type: none"> óleo filtrado através de filtro extremamente fino condições típicas: os rolamentos vedados são lubrificados para toda a vida útil 	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpeza normal <ul style="list-style-type: none"> óleo filtrado através de um filtro fino condições típicas: os rolamentos com placas de proteção são lubrificados para a vida 	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Leve contaminação <ul style="list-style-type: none"> condições típicas: rolamentos sem vedações integradas, filtragem grosseira, partículas de desgaste e leve infiltração de contaminantes 	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminação típica <ul style="list-style-type: none"> condições típicas de rolamentos sem vedações integradas, filtragem grosseira, partículas de desgaste e entrada de contaminantes 	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminação grave <ul style="list-style-type: none"> condições típicas: altos níveis de contaminação, devido a desgaste excessivo e/ou vedações ineficientes arranjo de rolamentos com vedações ineficientes ou com danos 	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminação muito grave <ul style="list-style-type: none"> condições típicas: níveis de contaminação tão severas que os valores de η_c estão fora da escala, o que reduz significativamente a vida do rolamento 	0	0

(Pág 74)

[Pág 45]

¹⁾ A escala para η_c refere-se apenas a contaminantes sólidos típicos. Contaminantes como água ou outros fluidos prejudiciais à vida do rolamento não está incluída. Devido ao desgaste abrasivo em ambientes altamente contaminados ($\eta_c = 0$), a vida útil de um rolamento pode ser significativamente mais curta que a vida nominal.

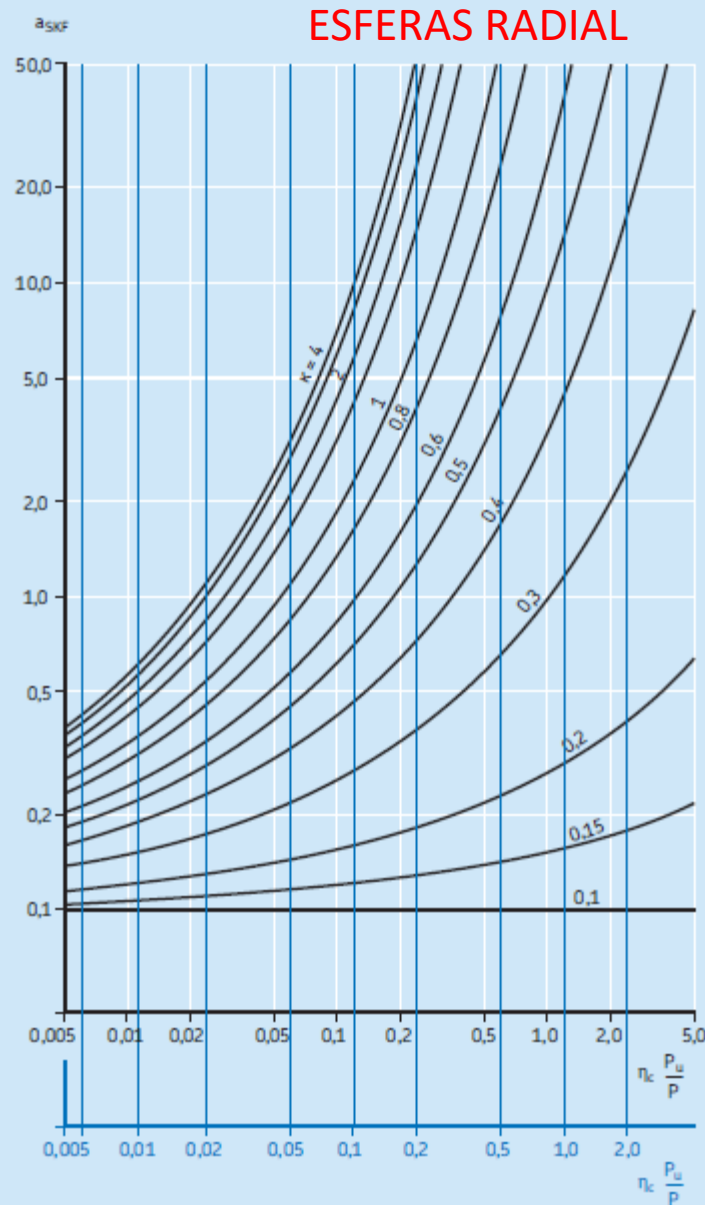
1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza η_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado

a_{skf} máximo = 50

(Pág 66-69)
[Pág 41-44]

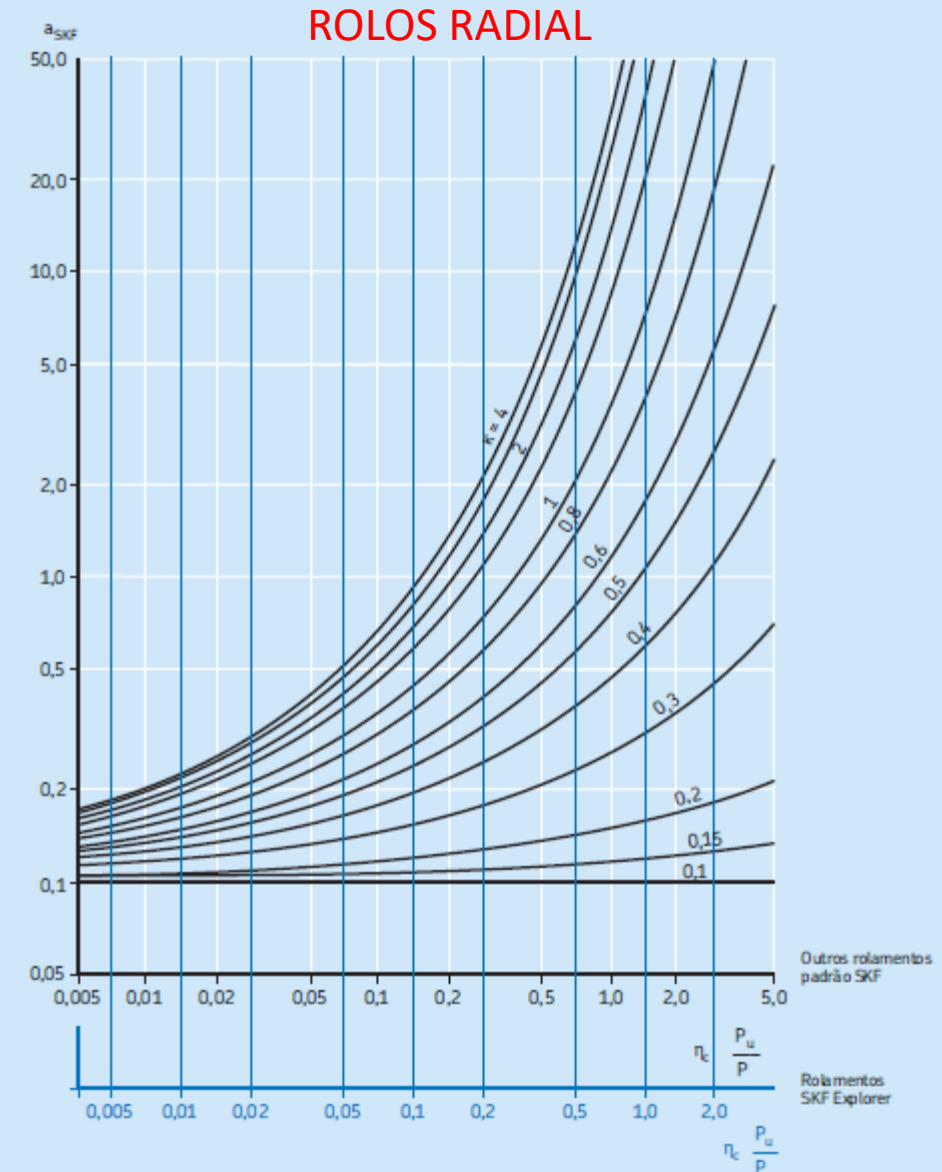
Fator a_{skf} para rolamentos de esferas radiais

0 diagrama 1



Fator a_{skf} para rolamentos de rolos radiais

0 diagrama 2



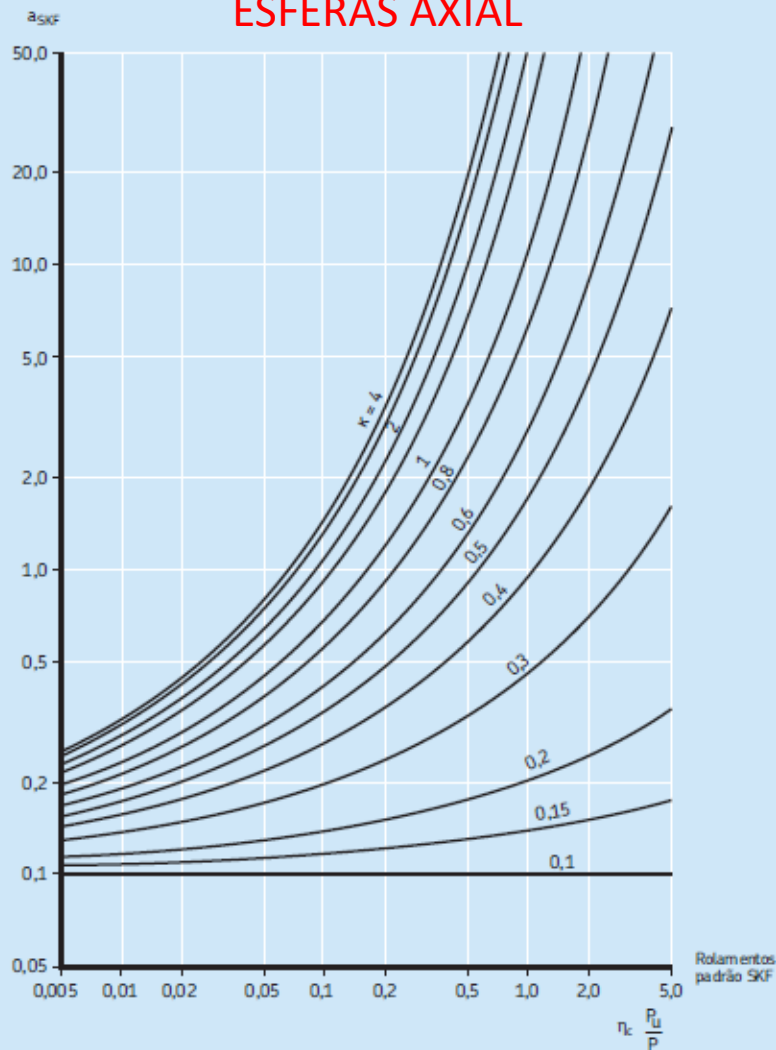
1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza η_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado

a_{skf} máximo = 50

(Pág 66-69)
[Pág 41-44]

Fator a_{skf} para rolamentos de esferas axiais

ESFERAS AXIAL



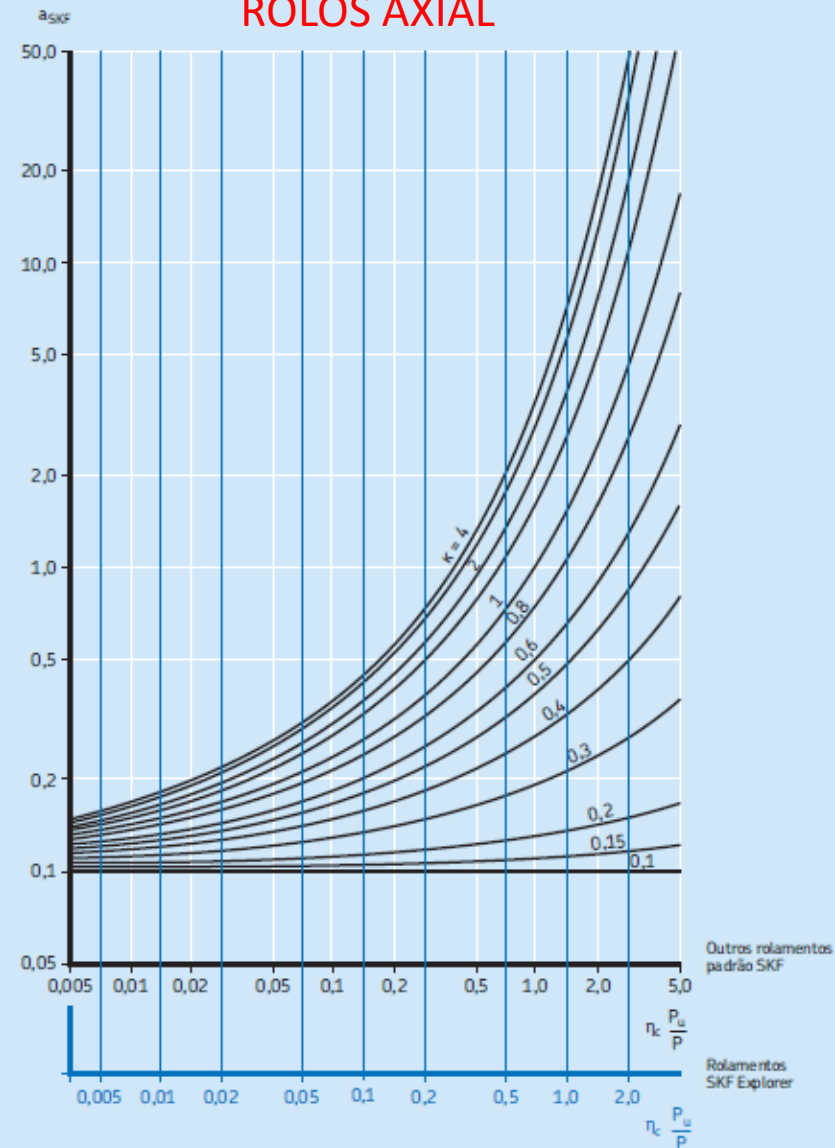
Se $k > 4$, utilize a curva para $k = 4$.

Conforme o valor de $\eta_c \frac{P_u}{P}$ tender a zero, a_{skf} tende a 0,1 para todos os valores de k .

0 diagrama 3

Fator a_{skf} para rolamentos de rolos axiais

ROLOS AXIAL



Se $k > 4$, utilize a curva para $k = 4$.

Conforme o valor de $\eta_c \frac{P_u}{P}$ tender a zero, a_{skf} tende a 0,1 para todos os valores de k .

0 diagrama 4

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}

$$5 \quad L_{nm} = a_1 a_{skf} L_{10} = a_1 a_{skf} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Se a velocidade for constante, a vida poderá ser expressa em horas de funcionamento, utilizando

$$5 \quad L_{nmh} = \frac{10^6}{60 n} L_{nm}$$

onde

L_{nm} = vida nominal SKF (com 100 – n^1)% de confiabilidade) [milhões de revoluções]

L_{nmh} = vida nominal SKF (com 100 – n^1)% de confiabilidade) [horas de funcionamento]

L_{10} = vida nominal básica (com 90% de confiabilidade) [milhões de revoluções]

a_1 = fator de ajuste de vida para confiabilidade (→ **tabela 1**, valores de acordo com a norma ISO 281)

a_{skf} = fator de modificação de vida útil SKF (→ **diagramas 1 a 4**)

C = classificação de carga dinâmica básica [kN]

P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]

n = velocidade de rotação [r/min]

p = expoente da equação de vida
 – para rolamentos de esferas, $p = 3$
 – para rolamentos de rolos, $p = 10/3$

4

Tabela 1

Valores para o fator de ajuste de vida útil a_1

Confiabilidade	Probabilidade de falha	Vida nominal SKF	Fator
%	%	L_{nm} milhões de revoluções	a_1 –
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

(Pág 65)
[Pág 35]

Para carga variável

$$L_{10m} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10m1}} + \frac{U_2}{L_{10m2}} + \frac{U_3}{L_{10m3}} + \dots}$$

onde
 L_{10m}

$L_{10m1}, L_{10m2}, \dots$

U_1, U_2, \dots

= vida nominal SKF (com 90% de confiabilidade) [milhões de revoluções]
 = vidas nominais SKF (com 90% de confiabilidade) em condições constantes 1, 2, ... [milhões de revoluções]
 = fração de ciclo de vida em condições 1, 2, ...
 Observação:
 $U_1 + U_2 + \dots U_n = 1$

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}
6. Verificar se vida em horas está adequada

Tabela 9

Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina

Tipo de máquina	Especificação da vida útil Horas operacionais
Máquinas domésticas, máquinas agrícolas, instrumentos, equipamento técnico para uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente: ferramentas elétricas manuais, guincho de elevação em oficinas, equipamentos e máquinas de construção	3 000 ... 8 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente, onde é necessária uma alta confiabilidade operacional: elevadores, guindastes para mercadorias embaladas ou cabos de suspensão de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia, mas nem sempre totalmente utilizadas: transmissões de engrenagens para finalidades gerais, motores elétricos para uso industrial, trituradores rotativos	10 000 ... 25 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia e utilizadas por completo: máquinas-ferramenta, máquinas para trabalho em madeira, máquinas para o setor de engenharia, guindastes para material a granel, ventiladores, esteiras transportadoras, equipamentos de impressão, separadores e centrífugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para uso contínuo durante 24 horas: unidades de engrenagens de laminadores, máquinas elétricas de médio porte, compressores, elevadores de minas, bombas, máquinas têxteis	40 000 ... 50 000
Máquinas de energia eólica, que incluem eixo principal, guinada, redutores de engrenagens de afastamento, rolamentos de geradores	30 000 ... 100 000
Máquinas para trabalhos com água, formilhas rotativas, máquinas de estiramento de cabos, máquinas de propulsão para embarcações oceânicas	60 000 ... 100 000
Grandes máquinas elétricas, usina de geração de energia, bombas de minas, ventiladores de minas, rolamentos de túneis de eixos para navios oceânicos	> 100 000

Tabela 10

Valores de referência de especificação de vida útil para rolamentos e acessórios da caixa do mancal do eixo e unidades para veículos ferroviários

Tipo de veículo	Especificação da vida útil Milhões de quilômetros
Vagões de trens de carga de acordo com a especificação UIC com base em carga máxima atuando continuamente	0,8
Veículos de transporte público: trens suburbanos, metrô, veículos ferroviários leves e vagonetes	1,5
Vagões de passageiros da linha principal	3
Trens-unidade diesel-elétricos de linha principal	3 ... 4
Locomotivas diesel-elétricas de linha principal	3 ... 5

(Pág 83)

[Pág 34]

1. Obter os valores tabelados do rolamento: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}
6. Verificar se vida em horas está adequada
7. Calcular P_0 e verificar se coeficiente de segurança está adequado

O tamanho do rolamento deverá ser selecionado com base nas classificações de carga estática C_0 em vez de com base na vida útil do rolamento quando uma das condições a seguir existir:

- O rolamento é estacionário e está sujeito a cargas contínuas ou intermitentes (de choque).
- O rolamento faz movimentos de alinhamento ou oscilatórios lentos quando carregado.
- O rolamento gira sob carga, a uma velocidade muito baixa ($n < 10$ r/min) e só é necessário ter uma vida útil curta. Em outras palavras, a equação de vida útil, neste caso, para uma determinada carga equivalente P , pode oferecer uma necessidade de classificação de carga dinâmica básica C tão baixa, que o rolamento selecionado em uma vida útil, poderá ficar seriamente sobrecarregado em serviço.
- O rolamento gira e, além das cargas operacionais normais, tem que sustentar cargas de choque pesadas.

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

onde

P_0 = carga estática equivalente do rolamento
[kN]

F_r = carga radial real do rolamento (consulte abaixo) [kN]

F_a = carga axial real do rolamento (consulte abaixo) [kN]

X_0 = fator de carga radial para o rolamento

Y_0 = fator de carga axial para o rolamento

Régido de esferas	Cargas				Símbolos
	Requerimentos rígidos de uma corrente de esfera	Requerimentos rígidos de esfera de aço inoxidável	Requerimentos rígidos de uma corrente de esfera com resmas de aço	Requerimentos rígidos de duas correntes de esfera	
Carga mínima Pelo eixo mais desfavorável (→ página 86)	$F_{s1} = \lambda \sqrt{\frac{10^3}{13087} \frac{10^3}{13087}}$				G ₁ = classificação de carga mínima (→ tabela de probabilidade de falha de 100% e de 50%) G ₂ = classificação de probabilidade de falha de 100% e de 50% G ₃ = índice de carga mínima G ₄ = índice de carga mínima
Capacidade de carga real	Carga axial pura → $F_A \leq 0,5 C_0$ Requerimento peneiras/elementos de corrente leve → $F_A \leq 0,5 C_0$ Carga axial pura → $F_A \leq 0,5 C_0$				T ₁ = temperatura de trabalho T ₂ = temperatura de probabilidade de falha de 100% e de 50% T ₃ = carga real total T ₄ = carga real total
Carga distribuída no requerimento Pelo eixo mais desfavorável (→ página 86)	$F_{s1} \leq 0,4 \rightarrow P = F$ $F_{s1} \leq 0,4 \rightarrow P = 0,3 F + 0,1 F_0$		$F_{s1} \leq 0,6 \text{ e } 0,5 \rightarrow P = F$	$F_{s1} \leq 0,4 \rightarrow P = F$ $F_{s1} \leq 0,4 \rightarrow P = 0,3 F + 0,1 F_0$	A = fator mínimo de carga A = fator mínimo de probabilidade de falha de 100% e de 50% A = índice de carga mínima A = carga mínima real
Carga real de equilíbrio do requerimento	$F_{s1} \leq 0,4 \text{ e } 0,5 \rightarrow P = F$ $P = F \rightarrow P = F_0$		$F_{s1} \leq 0,6 \rightarrow P = 0,3 F + 0,1 F_0$	$F_{s1} \leq 0,4 \text{ e } 0,5 \rightarrow P = F$ $P = F \rightarrow P = F_0$	B = fator de ajuste para a vida útil B = fator de ajuste para a vida útil de 100% e de 50% B = índice de carga mínima B = classificação operacional no fator de ajuste (B _{100%})
Pelo eixo mais desfavorável (→ página 86)					

43

[illegible]

Roles cilíndricos	Cargos				Símbolos
	Relaciones de una carrera de diámetro cilíndrico	Relaciones de radio cilíndrico de alta capacidad	Relaciones de radio cilíndrico de una carrera con relaciones estándar de serie	Relaciones de radio cilíndrico de dos carreras con relaciones estándar de serie	
Carga mínima	$F_{\text{min}} = k \cdot \left(\frac{4 \cdot \Delta \cdot l}{\pi} \right) \cdot \left(\frac{d_m}{130} \right)^2$				d_m = diámetro medio de los ejes [mm] = 0,5 (3-4) = 0,6 (4-5) = 0,7 (5-6) Tabla 7, página 593 F_{min} = carga axial [N] k = carga axial [N] d_m = carga radial [mm] [46] Δ = factor de carga mínima
Carga dinámica equivalente de momento	Relaciones línea $P = F_v$				= tablas de productos estándar , página 593 = tablas de productos estándar en relación [46]
Carga axial más comparativa (→ página 88)	$\begin{aligned} F_{\text{ax}} &= F_v \\ F_{\text{ax}} &= F_v \\ F_{\text{ax}} &= F_v \\ \Rightarrow P &= 0,92 F_v + 0,4 F_{\text{ax}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} F_{\text{ax}} &= 0,2 F_v \\ F_{\text{ax}} &= 0,3 F_v \\ \Rightarrow P &= 0,92 F_v + 0,4 F_{\text{ax}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} F_{\text{ax}} &= F_v \\ F_{\text{ax}} &= F_v \\ \Rightarrow P &= 0,92 F_v + F_{\text{ax}} \end{aligned}$	$\begin{aligned} F_{\text{ax}} &= 0,35 F_v \\ F_{\text{ax}} &= 0,4 F_v \\ \Rightarrow P &= 0,92 F_v + 0,4 F_{\text{ax}} \end{aligned}$	P = carga estática equivalente de momento con momentos de inercia máximos de los elementos de relación máxima y límites de los utilizan 3 a 6 = unidades de momento [Nmm] F_v = carga axial equivalente de momento (→ tablas 7, página 593)
Carga estática equivalente de momento	$P = F_v$	$P = 0,92 F_v + 0,4 F_{\text{ax}}$	$P = 0,92 F_v + F_{\text{ax}}$	$P = 0,92 F_v + 0,4 F_{\text{ax}}$	
Carga axial más información (→ página 88)					

(Pág 594-595)
[Pág 336-337]

47

Rígido de esferas

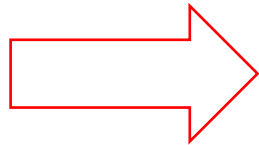
Contato angular

Rolos cilíndricos

EXEMPLO

Rígido de esferas

Calcular carga
estática
equivalente



(Pág 316-317)
[Pág 183-184]

Cargas

	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas	Rolamentos rígidos de esferas de aço inoxidável	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas com rasgos de entrada	Rolamentos rígidos de duas carreiras de esferas	Símbolos
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\ 000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$				C_0 = classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos) d_m = média de diâmetro do rolamento [mm] = 0,5 (d + D) e = limite da relação de cargas de acordo com a relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) f_0 = fator de cálculo (→ tabelas de produtos) F_a = carga axial [kN] F_r = carga radial [kN] F_{rm} = carga radial mínima [kN] k_r = fator mínimo de carga (→ tabelas de produtos) n = velocidade de rotação [r/min] P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN] X = fator de cálculo para a carga radial (→ tabela 8, página 315) Y = fator de cálculo para a carga axial dependendo da relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) n = viscosidade operacional real do lubrificante [mm ² /s]
Para obter mais informações (→ página 86)	O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional. No caso de aplicações em que rolamentos rígidos de esferas em aço inoxidável ou de uma ...				
Capacidade de carga axial	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$ Rolamentos pequenos ¹⁾ e rolamentos de séries leves ²⁾ → $F_a \leq 0,25 C_0$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,25 C_0$	$F_a \leq 0,6 F_r$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$	
	As cargas axiais excessivas poderão reduzir, de forma considerável, a vida útil do rolamento.				
Carga dinâmica equivalente do rolamento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$		$F_a/F_r \leq 0,6$ e $P \leq 0,5 C_0$ → $P = F_r + F_a$	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	
Para obter mais informações (→ página 85)					
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$		$F_a/F_r \leq 0,6$ → $P_0 = F_r + 0,5 F_a$	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$	
Para obter mais informações (→ página 88)					

¹⁾ $d \leq 12$ mm
²⁾ Séries de diâmetro 8, 9, 0 e 1

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

onde

s_0 = fator de segurança estático

C_0 = classificação de carga estática básica [kN]

P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN]

Tabela 11

Valores de referência para o fator de segurança estática s_0

Tipo de operação	Rolamento rotativo Requisitos de desempenho (por exemplo, giro silencioso ou operação sem vibração)						Rolamento sem rotação	
	insignificante		normal		alta			
	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos
Sem problemas, sem vibração	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas ¹⁾	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para rolamentos axiais de rolos de esferas, é aconselhável utilizar $s_0 \geq 4$.

¹⁾ Onde a magnitude da carga de choque for desconhecida, os valores de s_0 pelo menos tão grandes quanto os citados acima, devem ser utilizados. Se a magnitude das cargas de choque for conhecida com precisão, valores menores que s_0 podem ser aplicados.

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{refr} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}
6. Verificar se vida em horas está adequada
7. Calcular P_0 e verificar se coeficiente de segurança está adequado
8. Checar carga mínima e carga axial admitida

Depende do tipo de rolamento!

[illegible]

Condo Angular	Cargas			
	Requisitos de duas cargas de esforços de centro angular	Requisitos de duas cargas de esforços de centro angular	Requisitos de esforços de quatro pontos de contato	Símbolos
Carga mínima	Carga axial mínima para elementos isolados $F_{ax} = N_{ax} \sqrt{\frac{1 + 0,06}{1000000}}^2$	-	Carga axial mínima: $F_{ax} = N_{ax} \sqrt{\frac{1 + 0,06}{1000000}}^2$	C_p = classificação de carga estática tabela 202
				F_{ax} = força axial = carga de projeto = carga de projeto = 0,516 F _{ax}
	Carga radial mínima (para o cálculo para as cargas mínimas distribuídas em 0 ou em 100%)	Carga radial mínima: $F_{rx} = N_{rx} \sqrt{\frac{1 + 0,06}{1000000}}^2$	-	F_{ax} = força axial para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)
				F_{rx} = força radial para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)
				F_{ax} = carga axial mínima (a = tabela 7, página 146)
				F_{rx} = carga radial mínima (a = tabela 7, página 146)
				N_{ax} = fator de carga axial mínima (a = tabela 7, página 146)
				N_{rx} = fator de carga radial mínima (a = tabela 7, página 146)
Para obter mais informações (→ página 60)	2) em dois componentes suportados pelo elemento, juntamente com as forças externas, incluindo o efeito de um momento. Se o elemento for fixado, o elemento pode ser substituído com uma carga axial adicional, conforme a tabela 202.		-	por exemplo, considerando o centro de gravidade, adicionando as forças mínimas em um elemento e em um outro ponto de momento
Carga distribuída e equivalente de momento	Requisitos individuais em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Requisitos individuais em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Requisitos (para cada um dos sentidos) em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	P = carga axial suportada pelo elemento N_{ax} , N_{rx} = fatores de carga para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)
Para obter mais informações (→ página 60)	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	P = carga axial suportada pelo elemento N_{ax} , N_{rx} = fatores de carga para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)
Carga estática e equivalente de momento	Requisitos individuais em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Requisitos individuais em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Requisitos (para cada um dos sentidos) em ambos os sentidos: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	P = carga axial suportada pelo elemento N_{ax} , N_{rx} = fatores de carga para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)
Para obter mais informações (→ página 60)	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	Para o carregamento distribuído em 0 ou em 100%: $F_{ax} \geq 0,516 F_{ax} \rightarrow P = F_{ax} \cdot 0,516$ $F_{rx} \geq 0,516 F_{rx} \rightarrow P = F_{rx} \cdot 0,516$	P = carga axial suportada pelo elemento N_{ax} , N_{rx} = fatores de carga para elementos de duas cargas (a = tabela 10, página 183)

1) Elementos sujeitos a 2 cargas de esforços de centro angular (a = tabela 10, página 183)

2) Elementos sujeitos a 2 cargas de esforços de centro angular (a = tabela 10, página 183)

3) Elementos sujeitos a 2 cargas de esforços de centro angular (a = tabela 10, página 183)

Pág. 492-40

Pág. 291-2

[illegible]

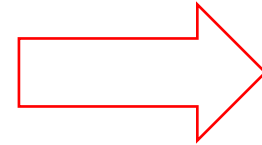
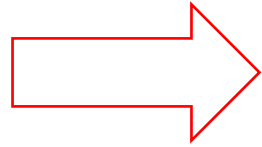
Rígido de esferas

Contato angular

Rolos cilíndricos

EXEMPLO

Rígido de esferas



Calcular carga mínima e axial admitida

Cargas

	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas	Rolamentos rígidos de esferas de aço inoxidável	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas com rasgos de entrada	Rolamentos rígidos de duas carreiras de esferas	Símbolos
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$ <p>O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional. No caso de aplicações em que rolamentos rígidos de esferas em aço inoxidável ou de uma ...</p>				C_0 = classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos) d_m = média de diâmetro do rolamento [mm] = 0,5 (d + D) e = limite da relação de cargas de acordo com a relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) f_0 = fator de cálculo (→ tabelas de produtos) F_a = carga axial [kN] F_r = carga radial [kN] F_{rm} = carga radial mínima [kN] k_r = fator mínimo de carga (→ tabelas de produtos) n = velocidade de rotação [r/min] P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN] X = fator de cálculo para a carga radial (→ tabela 8, página 315) Y = fator de cálculo para a carga axial dependendo da relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) n = viscosidade operacional real do lubrificante [mm ² /s]
Para obter mais informações (→ página 86)	... carreira de esferas são utilizados, é possível aplicar uma pré-carga axial ajustando-se os anéis interno e externo entre si, ou por meio de molas.				
Capacidade de carga axial	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$ Rolamentos pequenos ¹⁾ e rolamentos de séries leves ²⁾ → $F_a \leq 0,25 C_0$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,25 C_0$	$F_a \leq 0,6 F_r$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$	
	As cargas axiais excessivas poderão reduzir, de forma considerável, a vida útil do rolamento.				
Carga dinâmica equivalente do rolamento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$		$F_a/F_r \leq 0,6$ e $P \leq 0,5 C_0$ → $P = F_r + F_a$	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	
Para obter mais informações (→ página 85)					
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$		$F_a/F_r \leq 0,6$ → $P_0 = F_r + 0,5 F_a$	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$	
Para obter mais informações (→ página 88)					

¹⁾ $d \leq 12$ mm
²⁾ Séries de diâmetro 8, 9, 0 e 1

(Pág 316-317)
 [Pág 183-184]

1. Obter os valores tabelados do rolamento escolhido: C , C_0 , P_u , Vel_{ref} , k_r , (f_0)
2. Calcular P dependendo o tipo de rolamento
3. Obter a_{skf}
 1. Definir v_1 para o rolamento na temperatura operacional
 2. Escolher lubrificante com v próximo de v_1 na temperatura operacional
 3. Calcular relação k
 4. Definir fator de limpeza n_c
 5. Obter a_{skf} do gráfico apropriado
4. Obter a_1 da tabela
5. Calcular L_{nm} e L_{nmh}
6. Verificar se vida em horas está adequada
7. Calcular P_0 e verificar se coeficiente de segurança estático está adequado
8. Checar carga mínima e carga axial admitida
9. Checar se velocidade < velocidade limite e de referência ajustada

Depende do tipo de rolamento!

Associada a dissipação de calor

Associada a mecânica

Buscar no catálogo!

Exemplo de rolamento com diâmetro interno 190 mm:

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	C	C_0	P_u	Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	–
190	240	24	76,1	98	2,8	5 300	3 200	2,25	61838
	260	33	117	134	3,8	5 000	3 200	4,5	61938
	260	33	117	134	3,8	5 000	4 300	5,2	61938 MA
	290	31	148	166	4,55	4 800	3 000	6,9	16038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 000	9,55	6038
	290	46	195	216	5,85	4 800	3 800	11	6038 M

- Obter velocidade de referência ajustada

A velocidade de referência ISO baseia-se em rolamentos abertos, sob as seguintes condições operacionais:

- cargas leves:
 - carga radial $P = 0,05 C_0$ para rolamentos radiais
 - carga axial $P = 0,02 C_0$ para rolamentos axiais
- aumento nominal da temperatura de 50 °C acima de uma temperatura ambiente de referência de 20 °C
- boas condições de lubrificação e limpeza
- folga normal interna (→ *Folga interna do rolamento*, **página 149**)

Influência da carga e da viscosidade do óleo na velocidade permitida

Quando forem aplicados valores de carga ou viscosidade maiores do que os valores de referência, a resistência ao atrito aumentará e a velocidade de referência deverá ser ajustada. Inversamente, valores de carga ou viscosidade menores podem garantir velocidades mais altas.

A influência da carga e da viscosidade cinemática na velocidade de referência pode ser estimada pelos diagramas:

- para rolamentos radiais de esferas (→ **diagrama 2**)
- para rolamentos radiais de rolos (→ **diagrama 3, página 122**)
- para rolamentos axiais de esferas (→ **diagrama 4, página 123**)
- para rolamentos axiais de rolos (→ **diagrama 5, página 124**)

(Pág 120-126)

[Pág 64- 67] – *Fórmula diferente*

- Obter velocidade de referência ajustada

Lubrificação a óleo

Os valores dos fatores de ajuste para lubrificação com óleo podem ser obtidos nos **diagramas 2 a 5** como uma função de P/C_0 e o diâmetro médio de rolamento d_m :

- f_p : para a influência da carga dinâmica equivalente do rolamento P
- f_v para a influência da viscosidade

onde

P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]

C_0 = classificação de carga estática básica [kN]
(→ **tabelas de produtos**)

d_m = média de diâmetro do rolamento [mm]
 $= 0,5 (d + D)$

Os valores de viscosidade nos diagramas são expressos com designações ISO, por exemplo, ISO VG 32, onde 32 é a viscosidade do óleo a 40 °C.

A velocidade de referência ajustada para lubrificação com óleo pode ser estimada usando-se

$$n_{ar} = n_r f_p f_v$$

onde:

n_{ar} = velocidade de referência ajustada [r/min]

n_r = velocidade de referência nominal [r/min]

(→ **tabelas de produtos**)

f_p = fator de ajuste para carga do rolamento P

f_v = fator de ajuste para viscosidade do óleo

(Pág 120-126)

[Pág 64- 67] – *Fórmula diferente*

1. Obter momento de atrito
2. Obter velocidade de referência ajustada (não pode ser maior que a limite do rolamento)

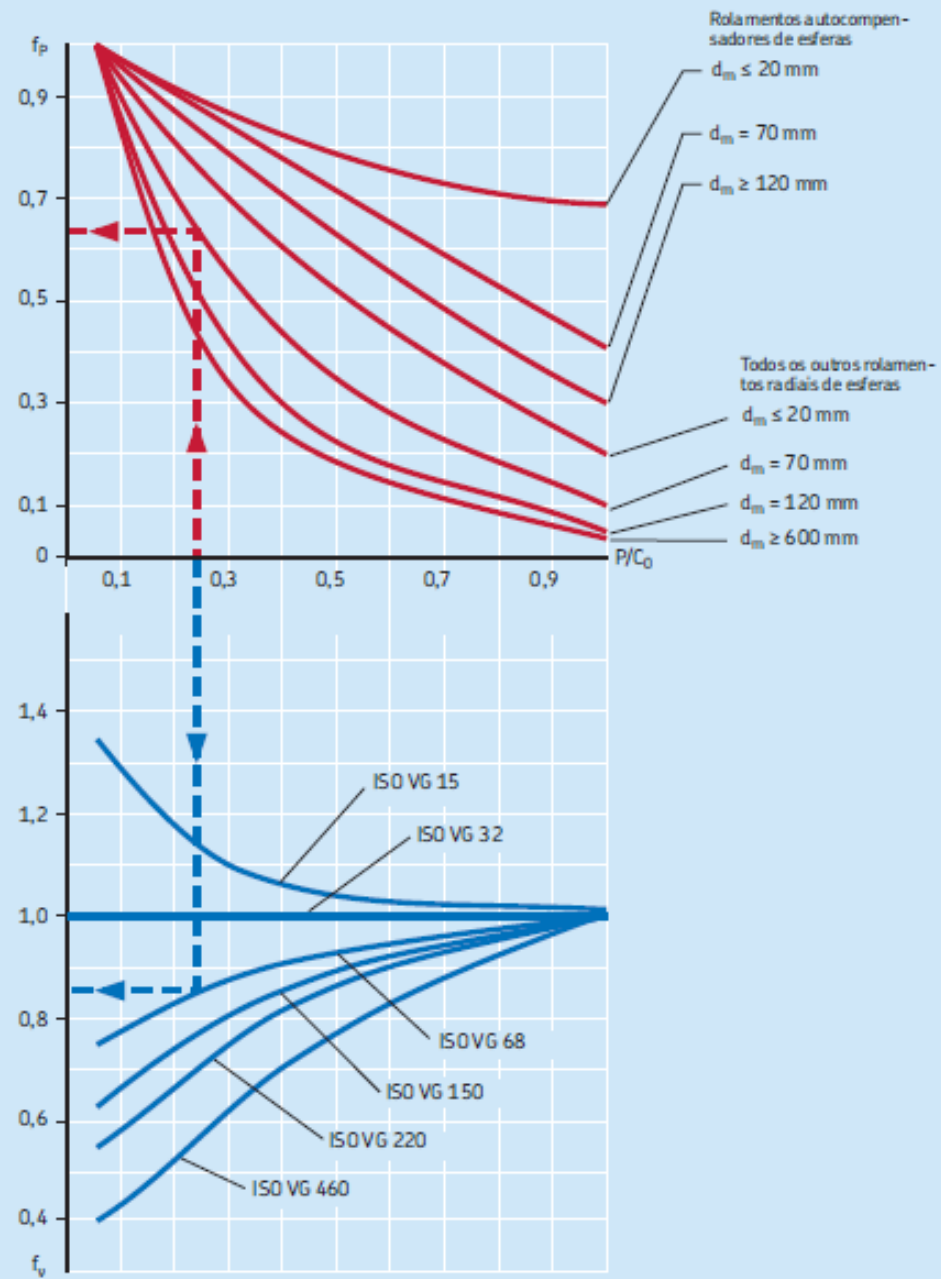
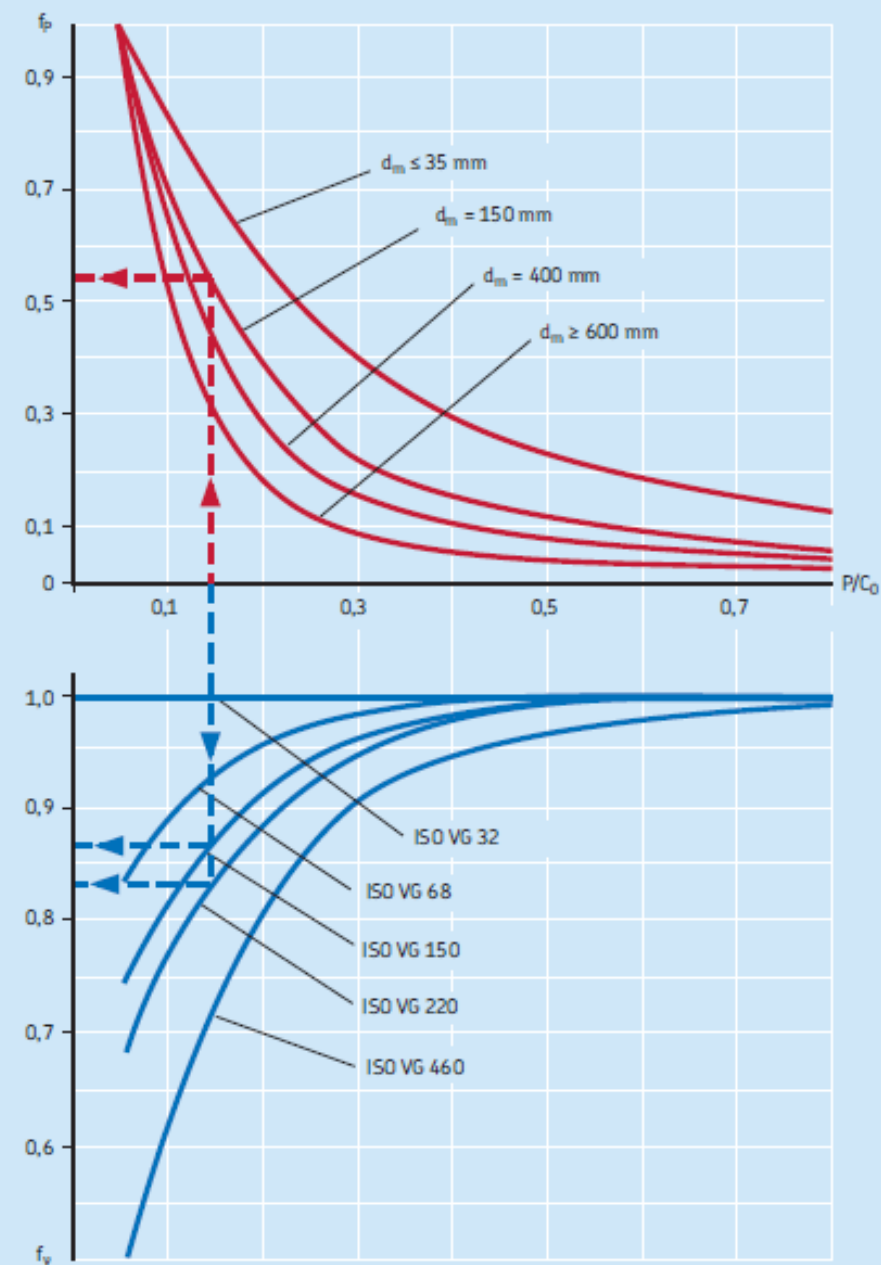
Lubrificação a graxa

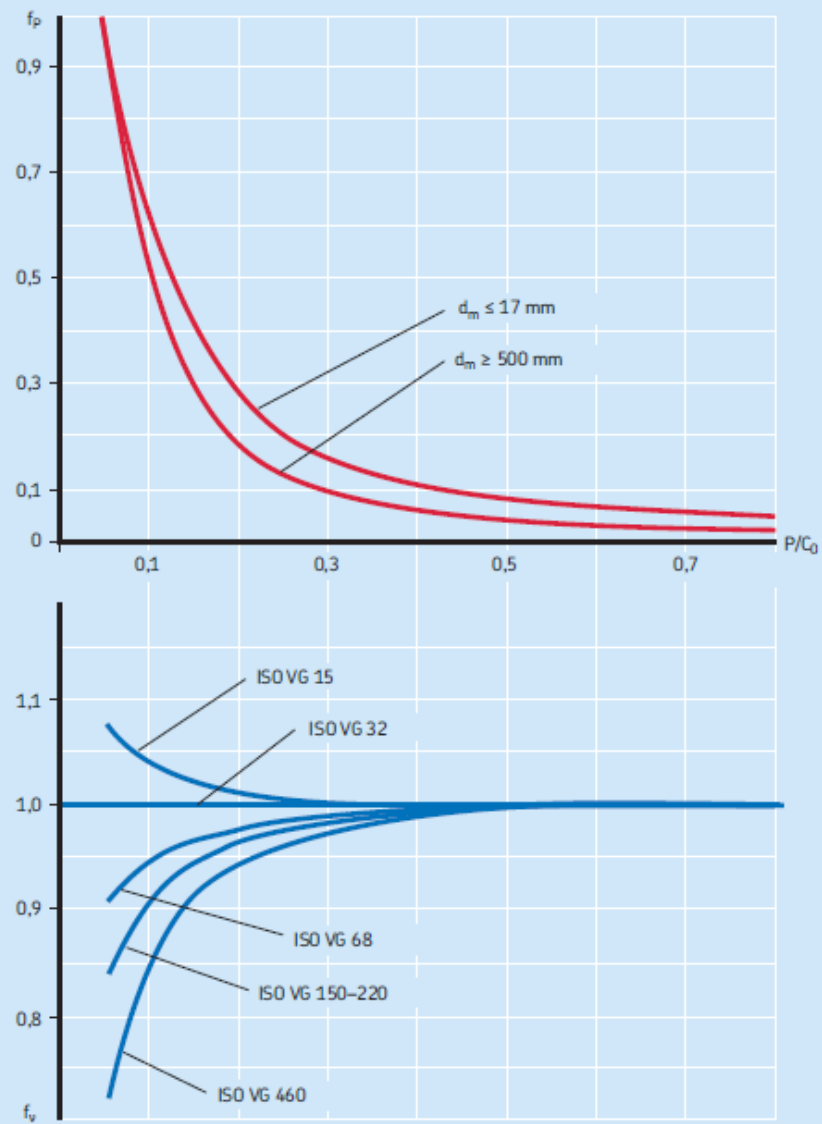
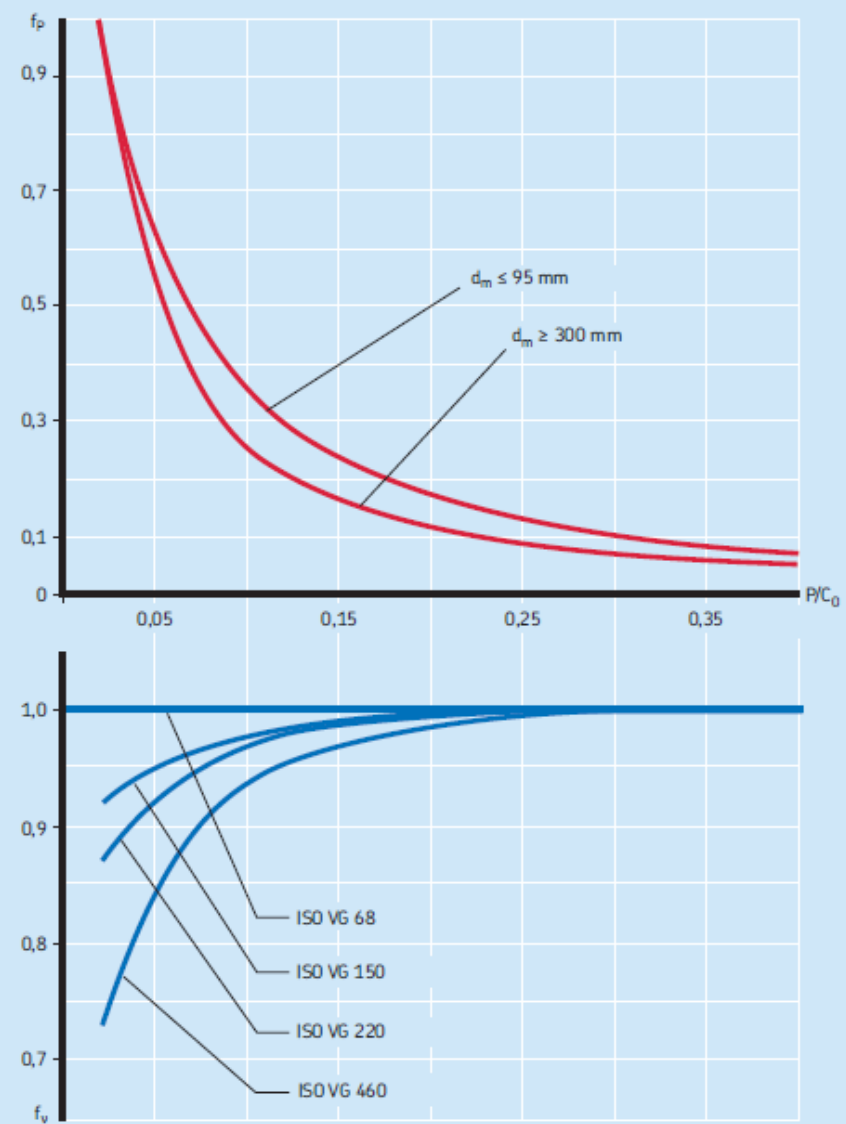
Os valores para o fator de ajuste da carga do rolamento (f_p) fornecidos nos **diagramas 2 a 5** também são válidos para lubrificação a graxa. Quando forem usadas graxas com viscosidade do óleo base entre 100 e 200 mm²/s a 40 °C, o valor do fator de ajuste para viscosidade $f_v = 1$. Para outras viscosidades do óleo base, o valor para f_v deve ser comparado com o valor do óleo ISO VG 150. A velocidade de referência ajustada para lubrificação a graxa pode ser estimada usando-se

$$n_{ar} = n_r f_p \frac{f_v \text{ viscosidade real do óleo base}}{f_v \text{ ISO VG150}}$$

(Pág 120-126)

[Pág 64- 67] – Fórmula diferente

Fatores de ajuste f_p e f_v para rolamentos radiais de esferasFatores de ajuste f_p e f_v para rolamentos radiais de rolos

Fatores de ajuste f_p e f_v para rolamentos axiais de esferasFatores de ajuste f_p e f_v para rolamentos axiais de rolos

Análises complementares

1. Obter momento de atrito
2. Calcular o ajuste baseado no uso e no tipo de rolamento
3. Método de fixação axial
4. Verificar o raio do assento do rolamento
5. Seleção de folga ou pré-carga (Págs 212-225)
6. Seleção da vedação (Págs 226-236)
7. Cálculo do intervalo de lubrificação (Pág 252-267)

1. Obter momento de atrito

Para calculo
detalhado, ver o
capítulo sobre atrito
do catálogo
Págs 96 a 115

Estimativa do momento de atrito

Sob certas condições, o momento de atrito pode ser estimado com precisão suficiente, usando-se um coeficiente constante de atrito μ . As condições são:

- carga do rolamento $P \approx 0,1 C$
- boa lubrificação
- condições operacionais normais

O momento de atrito sob essas condições pode ser estimado com

$$M = 0,5 \mu P d$$

Para rolamentos radiais de rolos de agulhas, use F ou F_w , em vez de d .

onde

M = momento de atrito [Nmm]

μ = coeficiente constante de atrito para o rolamento (→ **tabela 1**)

P = carga dinâmica equivalente do rolamento [N]

d = diâmetro do furo do rolamento [mm]

F = diâmetro da pista do anel interno [mm]

F_w = diâmetro sob os rolos [mm]

Tabela 1

Coeficiente constante de atrito μ para rolamentos abertos (rolamentos sem vedações de contato)

Tipo de rolamento	Coeficiente de atrito μ
Rolamentos rígidos de esferas	0,0015
Rolamentos de esferas de contato angular	
– uma carreira	0,0020
– de duas carreiras	0,0024
– de quatro pontos de contato	0,0024
Rolamentos autocompensadores de esferas	0,0010
Rolamentos de rolos cilíndricos	
– com uma gaiola, quando $F_a = 0$	0,0011
– número máximo de rolos, quando $F_a = 0$	0,0020
Rolamentos de rolos de agulhas com gaiola	0,0020
Rolamentos de rolos cônicos	0,0018
Rolamentos autocompensadores de rolos	0,0018
Rolamentos de rolos toroidais CARB com gaiola	0,0016
Rolamentos axiais de esferas	0,0013
Rolamentos axiais de rolos cilíndricos	0,0050
Rolamentos axiais de rolos de agulhas	0,0050
Rolamentos axiais autocompensadores de rolos	0,0018

(Pág 98)

[Pág 57]

1. Obter momento de atrito
2. Calcular o ajuste baseado no uso e no tipo de rolamento

Tabela 1				
Condições de rotação e de carga				
Condições operacionais	Ilustração esquemática	Condição de carga	Exemplo	Ajustes recomendados
<p>Anel interno rotativo</p> <p>Anel externo estacionário</p> <p>Direção de carga constante</p>		<p>Carga rotativa no anel interno</p> <p>Carga estacionária no anel externo</p>	Eixos acionados por correia	<p>Ajuste interferente do anel interno</p> <p>Ajuste com folga para anel externo possível</p>
<p>Anel interno estacionário</p> <p>Anel externo rotativo</p> <p>Direção de carga constante</p>		<p>Carga estacionária no anel interno</p> <p>Carga rotativa no anel externo</p>	<p>Polias de esteira transportadora</p> <p>Rolamentos do cubo da roda do carro</p>	<p>Ajuste com folga para anel interno possível</p> <p>Ajuste interferente do anel externo</p>
<p>Anel interno rotativo</p> <p>Anel externo estacionário</p> <p>A carga gira com o anel interno</p>		<p>Carga estacionária no anel interno</p> <p>Carga rotativa no anel externo</p>	<p>Para aplicações vibratórias</p> <p>Peneiras vibratórias ou motores</p>	<p>Ajuste interferente do anel externo</p> <p>Ajuste com folga para anel interno possível</p>
<p>Anel interno estacionário</p> <p>Anel externo rotativo</p> <p>A carga gira com o anel externo</p>		<p>Carga rotativa no anel interno</p> <p>Carga estacionária no anel externo</p>	<p>Britador giratório</p> <p>(Acionadores em carrossel)</p>	<p>Ajuste interferente do anel interno</p> <p>Ajuste com folga para anel externo possível</p>

Ajustes para eixos maciços em aço

Rolamentos radiais com furo cilíndrico¹⁾

Condições	Exemplos	Diâmetro do eixo [mm] Rolamentos de esferas ³⁾	Rolamentos de rolos cilíndricos	Rolamentos de rolos cônicos	Rolamentos de rolos toroidais CARB e rolamentos auto-compensadores de rolos	Classe de tolerância ²⁾
Carga do anel interno rotativo ou direção da carga indeterminada						
Cargas leves e variáveis ($P \leq 0,05 C$)	Esteiras transportadoras, rolamentos de caixa redutora com carga leve	≤ 17 > 17 a 100 > 100 a 140 —	— ≤ 25 > 25 a 60 > 60 a 140	— ≤ 25 > 25 a 60 > 60 a 140	— — — —	$js5 (h5)^{4)}$ $j6 (s5)^{4)}$ k6 m6
Cargas normais a pesadas ($P > 0,05 C$)	Aplicação de rolamentos geral, motores elétricos, turbinas, bombas, engrenagens, máquinas de trabalho com madeira	≤ 10 > 10 a 17 > 17 a 100 — > 100 a 140 > 140 a 200 — > 200 a 500 — > 500 — —	— — — ≤ 30 > 30 a 50 — > 50 a 65 > 65 a 100 > 100 a 280 — > 280 a 500 > 500	— — — ≤ 40 — > 40 a 65 — > 65 a 200 > 200 a 360 — > 360 a 500 > 500	— — — < 25 25 a 40 — > 40 a 60 > 60 a 100 > 100 a 200 — > 200 a 500 > 500	$js5$ $j5 (js5)^{4)}$ k5 ⁵⁾ k6 m5 m6 n5 ⁶⁾ n6 ⁶⁾ p6 ⁷⁾ p7 ⁶⁾ r6 ⁶⁾ r7 ⁶⁾
Cargas pesadas a muito pesadas e cargas de choque em condições operacionais difíceis ($P > 0,1 C$)	Caixas de mancal de veículos ferroviários pesados, motores de tração, laminadores, turbinas eólicas	— — — — — —	> 50 a 65 > 65 a 85 > 85 a 140 > 140 a 300 > 300 a 500 > 500	— > 50 a 110 > 110 a 200 > 200 a 500 — — > 500	> 50 a 70 — > 70 a 140 > 140 a 280 > 280 a 400 > 400	n5 ⁶⁾ n6 ⁶⁾ p6 ⁸⁾ r6 ⁹⁾ $s6_{min} \pm IT6/2^8)$ $s7_{min} \pm IT7/2^8)$
Altos requisitos de precisão de giro com cargas leves ($P \leq 0,05 C$) ¹⁰⁾	Máquinas-ferramentas (rolamentos de classe de precisão)	8 a 240 — — — —	— 25 a 40 > 40 a 140 > 140 a 200 > 200 a 500	— 25 a 40 > 40 a 140 > 140 a 200 > 200 a 500	— — — — —	$js4$ $js4 (j5)^{10)}$ k4 (k5) ¹⁰⁾ m5 n5
Carga estacionária do anel interno						
Fácil deslocamento axial do anel interno no eixo desejável	Rodas em eixos sem rotação					g6 ¹²⁾
Fácil deslocamento axial do anel interno no eixo desnecessário	Polias de tensão, polias guia corda					h6
Somente cargas axiais						
	Aplicações de rolamentos de todos os tipos	≤ 250 > 250	— —	≤ 250 > 250	≤ 250 > 250	j6 js6

¹⁾ Para rolamentos de rolos de agulhas → Tolerâncias do eixo e do mancal, página 716. Para rolamentos Y → Tolerâncias do eixo, página 450.

²⁾ Todas as classes de tolerância ISO são válidas com o requisito de envelope (como H7(Ⓔ)), de acordo com a norma ISO 14405-1.

³⁾ Os rolamentos de esferas sob cargas normais a pesadas ($P > 0,05 C$) geralmente exigem folga interna radial maior que o normal quando as classes de tolerância do eixo listadas acima são usadas. Se a folga radial for maior que o normal, mas as condições operacionais exigirem ajustes mais apertados para evitar que o anel interno derrape, use as seguintes classes de tolerância:

- k4(Ⓔ) para diâmetros do eixo de 10 a 17 mm
- n6(Ⓔ) para diâmetros do eixo de 140 a 300 mm
- k5(Ⓔ) para diâmetros do eixo de 17 a 25 mm
- p6(Ⓔ) para diâmetros do eixo de 300 a 500 mm
- m5(Ⓔ) para diâmetros do eixo de 25 a 140 mm

Para obter informações adicionais, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

Não use ajustes mais apertados para rolamentos em aço inoxidável.

⁴⁾ A tolerância nos suportes é aplicável a rolamentos em aço inoxidável.

⁵⁾ Para rolamentos em aço inoxidável dentro da faixa de diâmetros de 17 a 30 mm, é aplicável a classe de tolerância j5(Ⓔ).

⁶⁾ Podem ser necessários rolamentos com folga interna radial maior que o normal.

⁷⁾ Para diâmetros maiores ou iguais a 150 mm, são recomendados rolamentos com folga interna radial superior ao normal. Quando $d > 150$ mm, podem ser necessários rolamentos com folga interna radial maior que o normal.

⁸⁾ Rolamentos com folga interna radial maior que o normal não são recomendados.

⁹⁾ Podem ser necessários rolamentos com folga interna radial maior que o normal. Para rolamentos de rolos cilíndricos, é recomendada uma folga interna radial superior à normal.

¹⁰⁾ A classe de tolerância nos suportes é aplicável a rolamentos de rolos cônicos. Para rolamentos de rolos cônicos com carga leve ajustados através de um anel interno, deve ser usada a classe de tolerância js5(Ⓔ) ou js6(Ⓔ).

¹¹⁾ Para um alto grau de precisão de giro, são necessários rolamentos com precisão maior que o normal. As tolerâncias para o furo e o diâmetro externo são mais rígidas, que influenciam os ajustes prováveis. Para obter os valores relevantes, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

¹²⁾ A classe de tolerância f6(Ⓔ) pode ser selecionada para rolamentos grandes para facilitar o deslocamento axial do eixo.

Ajustes para mancais não bipartidos em ferro fundido e aço (para rolamentos radiais)¹⁾

Condições	Exemplos	Classe de tolerância ^{2) 3)}	Deslocamento do anel externo
Carga do anel externo rotativo			
Cargas pesadas sobre rolamentos em mancais de parede fina, cargas de choque pesadas ($P > 0,1 C$)	Cubos de roda com rolamentos de rolos, rolamentos de grandes extremidades	P7	Não pode ser deslocado
Cargas normais a pesadas ($P > 0,05 C$)	Cubos de roda de rolamentos de esferas, rolamentos de grandes extremidades, rodas de deslocamento de guindastes	N7	Não pode ser deslocado
Cargas leves e variáveis ($P \leq 0,05 C$)	Rolos de esteira transportadora, polias guia corda, polias tensionadoras da correia	M7	Não pode ser deslocado
Direção da carga indeterminada			
Cargas de choque pesadas	Motores de tração elétricos	M7	Não pode ser deslocado
Cargas normais a pesadas ($P > 0,05 C$), deslocamento axial do anel externo desnecessário	Motores elétricos, bombas, rolamentos do virabrequim	K7	Na maioria dos casos, não pode ser deslocado
Operação precisa ou silenciosa⁴⁾			
Rolamentos de esferas	Motores elétricos pequenos	J6 ⁵⁾	Na maioria dos casos, pode ser deslocado
Rolamentos de rolos cônicos ⁶⁾			

¹⁾ Para rolamentos de rolos de agulhas combinados, com capa estampada e de alinhamento: → *Tolerâncias do eixo e do mancal, página 716.*

²⁾ Todas as classes de tolerância ISO são válidas com o requisito de envelope (como H7(E)), de acordo com a norma ISO 14405-1.

³⁾ Para rolamentos de esferas, quando $D \leq 100$ mm, o grau de tolerância IT6 é geralmente preferível e recomendado para rolamentos com anéis de paredes finas, por exemplo, na série de diâmetros 7, 8 e 9. Para essas séries, as tolerâncias de desvio radial total IT4 também são recomendadas.

⁴⁾ Para rolamentos de superprecisão com classe de tolerância P5 ou superior, são aplicáveis outras recomendações. Para mais detalhes, consulte as informações disponíveis on-line em skf.com/super-precision.

⁵⁾ A classe de tolerância H6(E) pode ser selecionada em vez de J6(E) para facilitar o deslocamento axial no furo do mancal.

⁶⁾ Entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

Ajustes para mancais bipartidos ou não em ferro fundido e aço (para rolamentos radiais)¹⁾

Condições	Exemplos	Classe de tolerância ^{2) 3)}	Deslocamento do anel externo
Direção da carga indeterminada			
Cargas leves a normais ($P \leq 0,1 C$), deslocamento axial do anel externo desejável	Motores elétricos e geradores de tamanho médio, bombas, rolamentos de virabrequim	J7	Na maioria dos casos, pode ser deslocado, mas pode ocorrer alguma força axial (induzida)
Carga estacionária do anel externo			
Cargas de todos os tipos	Engenharia geral, caixas de mancal	H7 ⁴⁾	Pode ser deslocado
Cargas leves a normais ($P \leq 0,1 C$) com condições operacionais simples	Engenharia geral	H8	Pode ser deslocado
Expansão térmica do eixo	Cilindros secadores, grandes máquinas elétricas com rolamentos autocompensadores de rolos	G7 ⁵⁾	Pode ser deslocado

¹⁾ Para rolamentos de rolos de agulhas combinados, com capa estampada e de alinhamento: → *Tolerâncias do eixo e do mancal*, **página 716**.

²⁾ Todas as classes de tolerância ISO são válidas com o requisito de envelope (como H7(E)), de acordo com a norma ISO 14405-1.

³⁾ Para rolamentos de esferas, quando $D \leq 100$ mm, o grau de tolerância IT6 é geralmente preferível e recomendado para rolamentos com anéis de paredes finas, por exemplo, na série de diâmetros 7, 8 e 9. Para essas séries, as tolerâncias de cilindridade IT4 também são recomendadas.

⁴⁾ Para rolamentos grandes ($D > 250$ mm) ou diferenças de temperatura entre o anel externo e o mancal acima de 10 °C, a classe de tolerância G7(E) deve ser usada em vez da H7(E).

⁵⁾ Para rolamentos grandes ($D > 500$ mm) ou diferenças de temperatura entre o anel externo e o mancal acima de 10 °C, a classe de tolerância F7(E) deve ser usada em vez da G7(E).

Tabela 12

Rugosidade superficial de assentos de rolamentos

Diâmetro do assento		Valor de R_a recomendado para ajustes retificados		
d (D) ¹⁾ sobre	incl.	Grau de tolerância do diâmetro		
		IT7	IT6	IT5
mm		µm		
–	80	1,6	0,8	0,4
80	500	1,6	1,6	0,8
500	1 250	3,2 ²⁾	1,6	1,6

¹⁾ Para diâmetros maiores que 1 250 mm, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

²⁾ Ao utilizar o método de injeção de óleo para montagem, R_a não deve exceder 1,6 μm .

1. Obter momento de atrito
2. Calcular o ajuste baseado no uso e no tipo de rolamento
3. **Método de fixação axial**

Rolamentos com furo cilíndrico

Os anéis do rolamento que são montados com um ajuste interferente geralmente têm um anel que serve de encosto para um ressalto no eixo (→ **fig. 19**) ou no mancal. No lado oposto, o anel interno é normalmente preso por uma porca de fixação com uma arruela de trava MB presa à extremidade do eixo (→ **fig. 19**) ou uma placa de extremidade (→ **fig. 20**). Os anéis externos são normalmente fixados por uma tampa do mancal (→ **fig. 21**) ou um anel rosqueado (→ **fig. 22**).

Em vez de ressalto integrais no eixo ou no mancal, colares ou buchas espaçadoras podem ser utilizados entre os anéis do rolamento ou entre um anel do rolamento e um componente adjacente, como um câmbio (→ **fig. 23**).

O uso de anéis de retenção para a fixação axial de rolamentos de esferas economiza espaço, permite montagem e desmontagem rápidas e simplifica a usinagem de eixos e diâmetros dos mancais. Se cargas axiais normais ou pesadas tiverem que ser suportadas, um colar de encosto deverá ser inserido entre o anel do rolamento e o anel de retenção, de modo que o anel de retenção não seja submetido a momentos de curvatura excessivos (→ **fig. 24**). A folga axial comum entre o anel de retenção e a ranhura para anel de retenção pode ser reduzida, se necessário, pela escolha de tolerâncias adequadas para o colar do encosto ou pelo uso de calços.

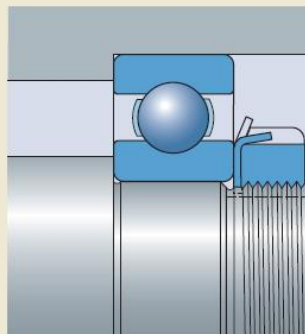


Fig. 19

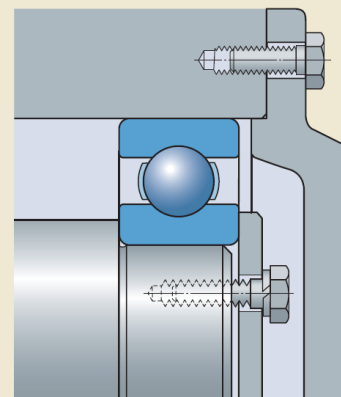


Fig. 20

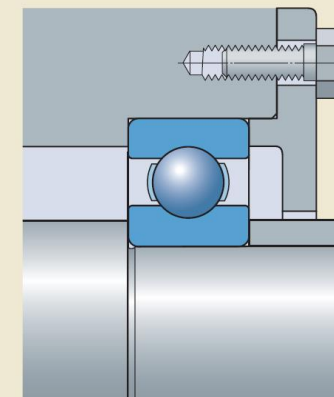


Fig. 21

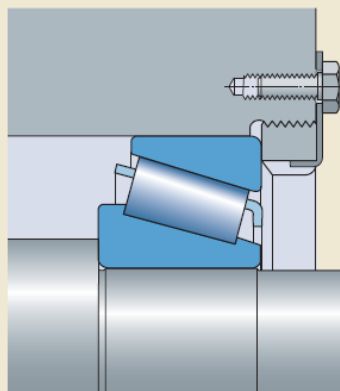


Fig. 22

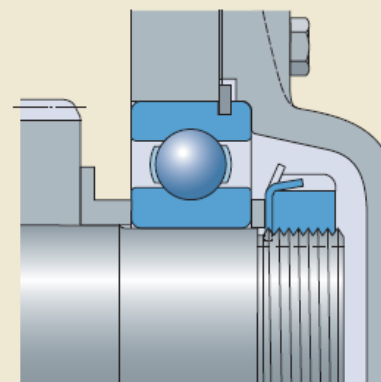


Fig. 23

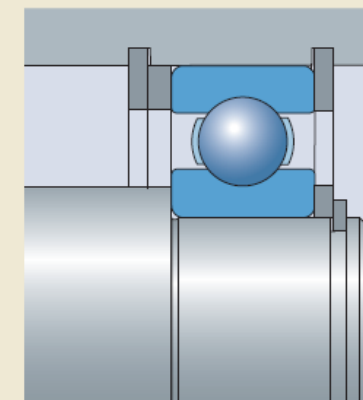


Fig. 24

1. Obter momento de atrito
2. Calcular o ajuste baseado no uso e no tipo de rolamento
3. Método de fixação axial
4. Verificar o raio do assento do rolamento

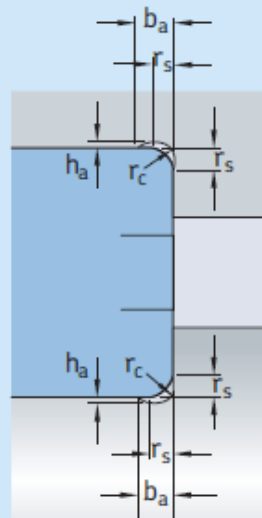
Dimensões de encosto e raio

As dimensões dos componentes adjacentes ao rolamento (como o eixo e os ressalto do mancal e buchas espaçadoras) devem ser capazes de fornecer suporte suficiente para os anéis do rolamento. No entanto, não deve haver contato algum entre as peças rotativas do rolamento e um componente adjacente estacionário. As dimensões adequadas dos encostos e dos filetes estão listadas nas tabelas de produtos.

A transição entre o assento do rolamento e o ressalto do mancal ou do eixo pode ser um filete de acordo com as dimensões r_a e r_b nas tabelas de produtos, ou um rebaixo (→ **tabela 13**). À medida que o raio de filete aumenta, a distribuição de tensão na área do filete melhora. Portanto, eixos com cargas pesadas, que normalmente exigem um raio maior, usam um colar espaçador entre o anel interno e o ressalto do eixo para fornecer uma superfície de apoio suficiente-mente grande para o anel do rolamento. A lateral do colar que encosta no ressalto do eixo deve ser projetada de modo que não entre em contato com o filete (→ **fig. 29**).

Tabela 13

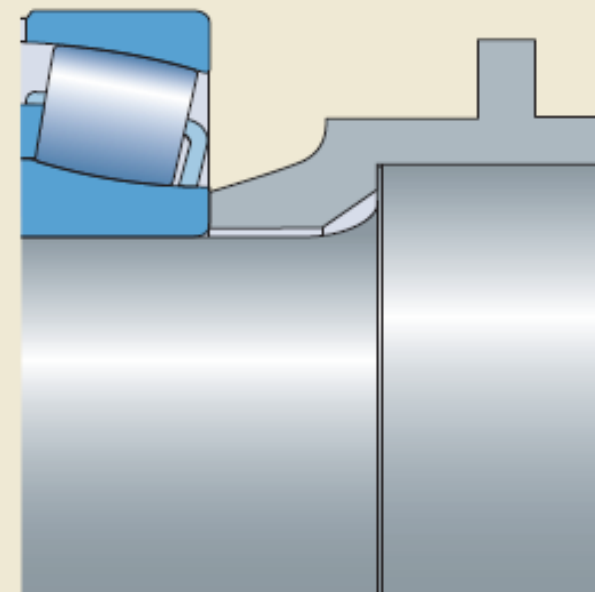
Dimensões do rebaixo



Dimensão do chanfro do rolamento

r_s	b_a	h_a	r_c
mm	mm		
1	2	0,2	1,3
1,1	2,4	0,3	1,5
1,5	3,2	0,4	2
2	4	0,5	2,5
2,1	4	0,5	2,5
3	4,7	0,5	3
4	5,9	0,5	4
5	7,4	0,6	5
6	8,6	0,6	6
7,5	10	0,6	7
9,5	12	0,6	9

Fig. 29



1. Obter momento de atrito
2. Calcular o ajuste baseado no uso e no tipo de rolamento
3. Método de fixação axial
4. Verificar o raio do assento do rolamento
5. Seleção de folga ou pré-carga (Págs 212-225)
6. Seleção da vedação (Págs 226-236)
7. Cálculo do intervalo de lubrificação (Pág 252-267)

Consultar catálogo!!!

Rígido de esferas

Cargas

	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas	Rolamentos rígidos de esferas de aço inoxidável	Rolamentos rígidos de uma carreira de esferas com rasgos de entrada	Rolamentos rígidos de duas carreiras de esferas	Símbolos
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$				C_0 = classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos) d_m = média de diâmetro do rolamento [mm] = 0,5 (d + D) e = limite da relação de cargas de acordo com a relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) f_0 = fator de cálculo (→ tabelas de produtos) F_a = carga axial [kN] F_r = carga radial [kN] F_{rm} = carga radial mínima [kN] k_r = fator mínimo de carga (→ tabelas de produtos) n = velocidade de rotação [r/min] P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN] X = fator de cálculo para a carga radial (→ tabela 8, página 315) Y = fator de cálculo para a carga axial dependendo da relação $f_0 F_a/C_0$ (→ tabela 8, página 315) n = viscosidade operacional real do lubrificante [mm²/s]
Para obter mais informações (→ página 86)	O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional. No caso de aplicações em que rolamentos rígidos de esferas em aço inoxidável ou de uma ...				
Capacidade de carga axial	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$ Rolamentos pequenos ¹⁾ e rolamentos de séries leves ²⁾ → $F_a \leq 0,25 C_0$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,25 C_0$	$F_a \leq 0,6 F_r$	Carga axial pura → $F_a \leq 0,5 C_0$	
	As cargas axiais excessivas poderão reduzir, de forma considerável, a vida útil do rolamento.				
Carga dinâmica equivalente do rolamento	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$		$F_a/F_r \leq 0,6$ e $P \leq 0,5 C_0$ → $P = F_r + F_a$	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$	
Para obter mais informações (→ página 85)					
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$		$F_a/F_r \leq 0,6$ → $P_0 = F_r + 0,5 F_a$	$P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$	
Para obter mais informações (→ página 88)					

(Pág 316-317)
[Pág 183-184]

¹⁾ $d \leq 12$ mm
²⁾ Séries de diâmetro 8, 9, 0 e 1

Tabela 8

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de esferas

$f_0 F_a/C_0$	Rolamentos de uma e de duas carreiras Folga normal			Rolamentos de uma carreira Folga C3			Folga C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Os fatores de cálculo devem ser selecionados de acordo com a folga operacional no rolamento, que pode ser diferente da folga interna antes da montagem. Para obter mais informações ou para fatores de cálculo para outras classes de folga, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

Os valores intermediários podem ser obtidos através da interpolação linear.

(Pág 315)

[Pág 185]

Cargas

	Rolamentos de uma carreira de esferas de contato angular	Rolamentos de duas carreiras de esferas de contato angular	Rolamentos de esferas de quatro pontos de contato	Símbolos
Carga mínima	<p>Carga axial mínima para rolamentos individuais e em pares dispostos em tandem:</p> $F_{am} = k_a \frac{C_0}{1\,000} \left(\frac{n d_m}{100\,000} \right)^2$	–	<p>Carga axial mínima:</p> $F_{am} = k_a \frac{C_0}{1\,000} \left(\frac{n d_m}{100\,000} \right)^2$	<p>C_0 = classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos)</p> <p>d_m = média de diâmetro do rolamento [mm] = 0,5 (d + D)</p> <p>e = fator de cálculo para rolamentos de duas carreiras (→ tabela 10, página 494)</p> <p>F_a = carga axial [kN]</p> <p>F_{am} = carga axial mínima [kN]</p> <p>F_r = carga radial [kN]</p> <p>F_{rm} = carga radial mínima [kN]</p> <p>k_a = fator de carga axial mínima (→ tabela 9, página 494)</p>
	<p>Carga radial mínima fatores de cálculo para pares de rolamentos dispostos em O ou em X:</p> $F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$	<p>Carga radial mínima:</p> $F_{rm} = k_r \left(\frac{v n}{1\,000} \right)^{2/3} \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$	–	<p>k_r = fator de carga radial mínima (→ tabela 9, página 494)</p> <p>n = velocidade de rotação [r/min]</p> <p>P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]</p>
Para obter mais informações (→ página 86)	O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Se este não for o caso, o rolamento precisará ser submetido a uma carga radial ou axial adicional, conforme o tipo de rolamento e de arranjo, por exemplo, aumentando a tensão da cor- reia, ajustando os anéis interno ou externo entre si ou por meio de molas.	
Carga dinâmica equivalente do rolamento	<p>Rolamentos individuais e em pares dispostos em tandem:</p> $F_a/F_r \leq 1,14^{1)} \rightarrow P = F_r$ $F_a/F_r > 1,14^{1)} \rightarrow P = 0,35 F_r + 0,57 F_a$	$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r + Y_1 F_a$ $F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y_2 F_a$	<p>Rolamentos fixos para suportar carga radial e axial:</p> $F_a/F_r \leq 0,95^{2)} \rightarrow P = F_r + 0,66 F_a$ $F_a/F_r > 0,95^{2)} \rightarrow P = 0,6 F_r + 1,07 F_a$	<p>P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN]</p> <p>X, Y_0, Y_1, Y_2 = fatores de cálculo para rolamentos de duas carreiras, dependendo da série do rolamento (→ tabela 10, página 494)</p>
Para obter mais informações (→ página 85)	<p>Pares de rolamentos dispostos em O ou em X:</p> $F_a/F_r \leq 1,14 \rightarrow P = F_r + 0,55 F_a$ $F_a/F_r > 1,14 \rightarrow P = 0,57 F_r + 0,93 F_a$		<p>Rolamentos axiais com liberdade radial em combinação com um rolamento radial:</p> $P = 1,07 F_a$	<p>v = viscosidade operacional real do lubrificante [mm²/s]</p>
Carga estática equivalente do rolamento	<p>Rolamentos individuais e em pares dispostos em tandem:</p> $P_0 = 0,5 F_r + 0,26 F_a^{1)}$ $P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$	$P_0 = F_r + Y_0 F_a$	$P_0 = F_r + 0,58 F_a$	
Para obter mais informações (→ página 88)	<p>Pares de rolamentos dispostos em O ou em X:</p> $P_0 = F_r + 0,52 F_a$			

¹⁾ Ao determinar a carga axial F_a , consulte Cálculo de carga axial de rolamentos individualmente ou em pares e dispostos em tandem (→ **página 495**).

²⁾ Para uma função adequada, a SKF recomenda a carga axial $F_a \geq 1,27 F_r$.

Tabela 9

Fatores de carga mínima

Séries de rolamentos	Fatores de carga mínima	
	k_a	k_r
Rolamentos de uma carreira		
70 B	0,9	0,083
72 BE	1,4	0,095
72 B	1,2	0,08
73 BE	1,6	0,1
73 B	1,4	0,09
Rolamentos de duas carreiras		
32 A	–	0,06
33 A	–	0,07
33 D	–	0,095
33 DNRCBM	–	0,095
Rolamentos de quatro pontos de contato		
QJ 2	1	–
QJ 3	1,1	–

70 B	0,9	0,083
72 BE	1,4	0,095
72 B	1,2	0,08
73 BE	1,6	0,1
73 B	1,4	0,09

32 A	–	0,06
33 A	–	0,07
33 D	–	0,095
33 DNRCBM	–	0,095

QJ 2	1	–
QJ 3	1,1	–

Capacidade de carga de rolamentos em pares

Os valores das classificações de carga básica e dos limites de carga de fadiga indicados na tabela de produtos aplicam-se a rolamentos individuais. Nos pares de rolamentos montados imediatamente adjacentes entre si, aplicam-se os seguintes valores:

- classificação de carga dinâmica básica para rolamentos padrão em todos os arranjos e para rolamentos SKF Explorer, dispostos em O ou X
 $C = 1,62 C_{\text{rolamento individual}}$
- classificação de carga dinâmica básica para rolamentos SKF Explorer em arranjo em tandem
 $C = 2 C_{\text{rolamento individual}}$
- classificação de carga estática básica
 $C_0 = 2 C_{0 \text{ rolamento individual}}$
- limite de carga de fadiga
 $P_u = 2 P_{u \text{ rolamento individual}}$

Tabela 10

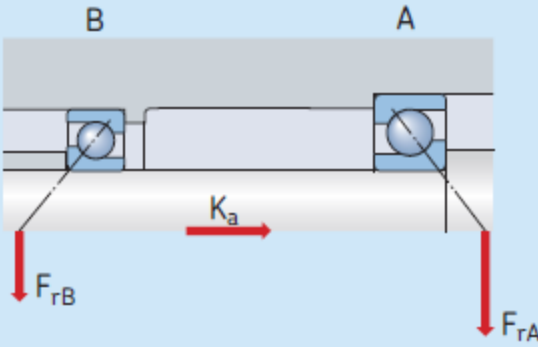
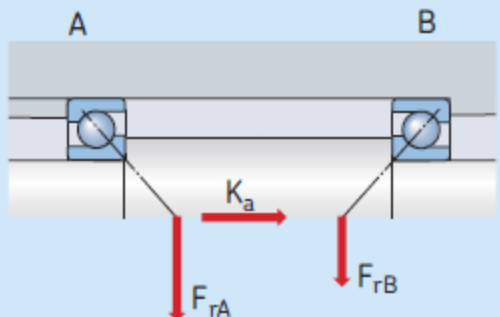
Fatores de cálculo para rolamentos de duas carreiras de esferas de contato angular

Séries de rolamentos	Fatores de cálculo e	X	Y_1	Y_2	Y_0
32 A, 33 A	0,8	0,63	0,78	1,24	0,66
33 D	1,34	0,54	0,47	0,81	0,44
33 DNRCBM	1,14	0,57	0,55	0,93	0,52

(Pág 494)

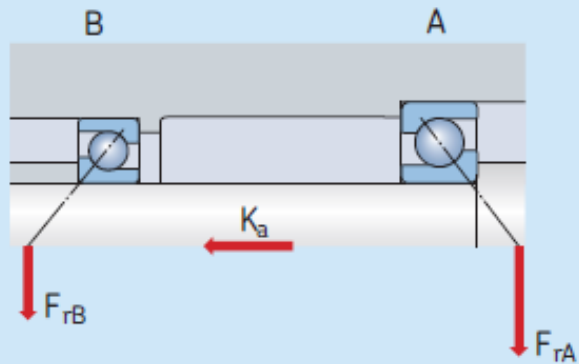
Tabela 11

Carga axial de arranjos com dois rolamentos de esferas de contato angular, design B ou BE, de uma carreira e/ou pares de rolamentos dispostos em tandem

Arranjo de rolamentos	Caso de carga	Cargas axiais	
<p>Em O</p> 	<p>Caso 1a</p> $F_{rA} \geq F_{rB}$ $K_a \geq 0$	$F_{aA} = R F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
<p>Em X</p> 	<p>Caso 1b</p> $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a \geq R (F_{rB} - F_{rA})$	$F_{aA} = R F_{rA}$	$F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	<p>Caso 1c</p> $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a < R (F_{rB} - F_{rA})$	$F_{aA} = F_{aB} - K_a$	$F_{aB} = R F_{rB}$

(Pág 496)
[Pág 293]

Em 0



Caso 2a

$$F_{rA} \leq F_{rB}$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = R F_{rB}$$

$$K_a \geq 0$$

Caso 2b

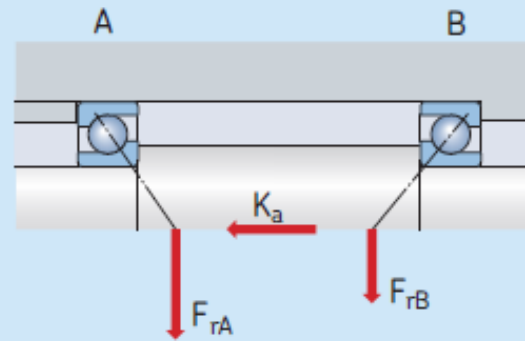
$$F_{rA} > F_{rB}$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = R F_{rB}$$

$$K_a \geq R (F_{rA} - F_{rB})$$

Em X



Caso 2c

$$F_{rA} > F_{rB}$$

$$F_{aA} = R F_{rA}$$

$$F_{aB} = F_{aA} - K_a$$

$$K_a < R (F_{rA} - F_{rB})$$

(Pág 496)

[Pág 293]

Rolos cilíndricos

Cargas					
	Rolamentos de uma carreira de rolos cilíndricos	Rolamentos de rolos cilíndricos de alta capacidade	Rolamentos de rolos cilíndricos de uma carreira com número máximo de rolos	Rolamentos de rolos cilíndricos de duas carreiras com número máximo de rolos	Símbolos
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left(6 + \frac{4n}{n_r} \right) \left(\frac{d_m}{100} \right)^2$				d_m = diâmetro médio do rolamento [mm] = 0,5 (d + D) e = valor limite (→ tabela 7, página 593)
Para obter mais informações (→ página 86)	O peso dos componentes suportados pelo rolamento, juntamente com as forças externas, costuma exceder a carga mínima necessária. Caso não exceda, o rolamento precisa ser submetido a uma carga radial adicional.				F_a = carga axial [kN] F_r = carga radial [kN] F_{rm} = carga radial mínima [kN] k_r = fator de carga mínima (→ tabelas de produtos e tabela 6, página 593)
Carga dinâmica equivalente do rolamento	Rolamentos livres $P = F_r$ Rolamentos fixos $F_a/F_r \leq e$ → $P = F_r$ $F_a/F_r > e$ → $P = 0,92 F_r + Y F_a$				n = velocidade de rotação [r/min] n_r = velocidade de referência [r/min] (→ tabelas de produtos) Para rolamentos com número máximo de rolos de carreira dupla com as vedações removidas e lubrificação com óleo: utilize 1,3 vezes a velocidade limite
Para obter mais informações (→ página 85)	F_a não deve exceder 0,5 F_r .	F_a não deve exceder 0,5 F_r .	F_a não deve exceder 0,5 F_r .	F_a não deve exceder 0,25 F_r .	P = carga dinâmica equivalente do rolamento [kN] P_0 = carga estática equivalente do rolamento [kN] Y = fator de carga axial (→ tabela 7, página 593)
Carga estática equivalente do rolamento	$P_0 = F_r$				
Para obter mais informações (→ página 88)					

(Pág 594-595)
[Pág 336-337]

Capacidade de carga axial dinâmica

Rolamentos de rolos cilíndricos com flanges nos anéis interno e externo podem suportar cargas axiais além de radiais. F_a não deve exceder $0,25 F_r$ para rolamento de rolos cilíndricos com número máximo de rolos e $0,5 F_r$ para outros modelos.

A capacidade de carga axial é determinada principalmente pela habilidade de suportar cargas das superfícies deslizantes do contato entre o flange e as extremidades dos rolos. Os fatores que mais afetam essa capacidade são o lubrificante, a temperatura operacional e a dissipação de calor do rolamento.

As fórmulas abaixo são válidas para condições operacionais normais, por exemplo:

- $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ entre a temperatura ambiente e a temperatura operacional normal
- perda de calor específica $= 0,5 \text{ mW/mm}^2$
- relação de viscosidade $\kappa \geq 2$
- desalinhamento ≤ 1 minuto de arco. Para o desalinhamento > 1 minuto de arco, entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação SKF.

Superfície de diâmetro externo e do furo $\pi B (D + d) \leq 50\,000 \text{ mm}^2$

$$F_{ap} = \frac{k_1 C_0 10^4}{n (d + D)} - k_2 F_r$$

Superfície de diâmetro externo e do furo $\pi B (D + d) > 50\,000 \text{ mm}^2$

$$F_{ap} = \frac{7,5 k_1 C_0^{2/3} 10^4}{n (d + D)} - k_2 F_r$$

Aplicações de óleo circulante

$$F_{ap\,oil} = F_{ap} + \frac{1,5 \times 10^4 k_1 \Delta T_s V_s}{n (d + D)}$$

Para evitar riscos de fratura no flange, a carga axial de atuação contínua máxima é limitada:

Rolamentos da série 2..
 $\rightarrow F_{ap\,max} \leq 0,0045 D^{1,5}$
 Rolamentos de outras séries
 $\rightarrow F_{ap\,max} \leq 0,0023 D^{1,7}$

Rolamentos de alta capacidade
 $\rightarrow F_{ap\,max} \leq 0,0035 D^{1,7}$

Por períodos curtos, desde que ele não aumente a temperatura operacional do rolamento $> 5^\circ\text{C}$ temporariamente:

$$F_{ap\,brief} \leq 2 F_{ap} \quad \text{em que } F_{ap} = F_{ap}, F_{ap\,oil} \text{ ou } F_{ap\,max}$$

Dependendo do tamanho, carga e velocidade do rolamento, esse "breve período" abrange apenas alguns segundos ou pode durar alguns minutos. Como regra, um curto período consiste no tempo que o rolamento demora para efetuar 1 000 rotações.

Cargas de choque ocasionais:

$$F_{ap\,shock} \leq 3 F_{ap} \quad \text{em que } F_{ap} = F_{ap}, F_{ap\,oil} \text{ ou } F_{ap\,max}$$

Símbolos

B	= largura do rolamento [mm]
C_0	= classificação de carga estática básica [kN] (→ tabelas de produtos)
d	= diâmetro do furo do rolamento [mm]
d	= diâmetro externo do rolamento [mm]
ΔT_s	= diferença de temperatura entre a entrada e saída de fluxo de óleo [$^\circ\text{C}$]
F_a	= carga axial [kN]
F_{ap}	= carga axial permitida [kN]
$F_{ap\,brief}$	= carga axial máxima para períodos breves [kN]
$F_{ap\,max}$	= carga axial máxima de atuação contínua [kN]
$F_{ap\,oil}$	= carga axial máxima permitida em aplicações de óleo circulante [kN]
$F_{ap\,shock}$	= carga de choque axial máxima ocasional [kN]
F_r	= carga radial [kN]
k_1, k_2	= fatores de lubrificação (→ tabela 8, página 598)
n	= velocidade de rotação [r/min]
\dot{V}_s	= quantidade de fluxo de óleo [l/min]

Tabela 6

Fatores de conversão para o fator de carga mínima k_r de rolamento de uma carreira de rolos cilíndricos

Rolamento com gaiola padrão	gaiola padrão alternativa	
	P, PH, J, M, MR	PA, PHA, MA, ML
P, PH, J, M, MR	1	1,5
PA, PHA, MA, ML	0,67	1

Tabela 7

Fatores de cálculo para rolamentos de rolos cilíndricos

Séries de dimensões de rolamento	Valor limite e	Fator de carga axial Y
10, 18, 2, 3, 4	0,2	0,6
22, 23, 28, 29, 30	0,3	0,4

Tabela 8

Fatores de lubrificação para rolamentos de rolos cilíndricos

Tipos de rolamento	Fatores de lubrificação			
	Lubrificação a óleo k_1	k_2	Lubrificação a graxa k_1	k_2
Rolamentos de uma carreira de rolos cilíndricos e rolamentos de rolos cilíndricos de alta capacidade	1,5	0,15	1	0,1
Rolamentos de rolos cilíndricos de uma carreira com número máximo de rolos	1	0,3	0,5	0,15
Rolamentos de rolos cilíndricos de duas carreiras com número máximo de rolos	0,35	0,1	0,2	0,06

(Pág 593,598)

[Pág 336-337]