

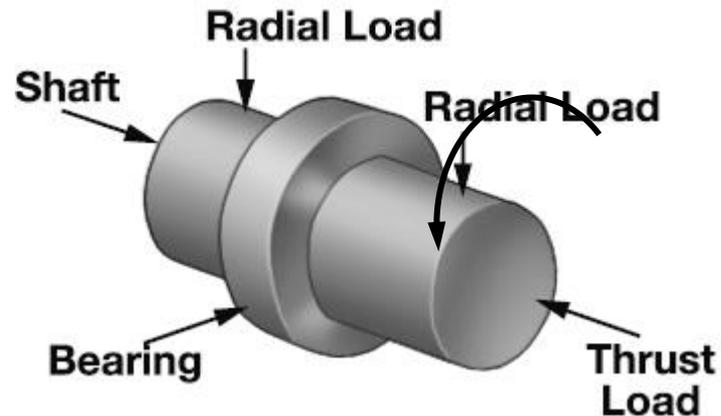
PMR 3103

Vida de Rolamento

Mancais de Rolamento

- Principal Característica: Baixo Atrito mesmo sem lubrificação
- Valores Típicos (coeficiente de atrito):

$$\mu=0.001 - 0.005$$



Vida de um Rolamento



Componente: Anel interno de rolamento de contato angular.

Sintoma: Escamamento em metade da circunferência da pista.

Causa: Lubrificação deficiente gerada pela entrada de fluido de corte no interior do rolamento.



Componente: Anel interno de rolamento de contato angular.

Sintoma: Escamamento ao longo da pista.

Causa: Desalinhamento na instalação.

Vida de um Rolamento



Componente: Anel interno de rolamento fixo de uma carreira de esferas.
Sintoma: Escamamento na pista no intervalo das esferas.
Causa: Impactos na instalação.



Componente: Anel interno de rolamento de contato angular.
Sintoma: Escamamento na pista nos intervalos das esferas.
Causa: Impactos na instalação.

Vida de um Rolamento



Componente: Esferas da foto 7-1-4.

Sintoma: Escamamento na superfície das esferas.

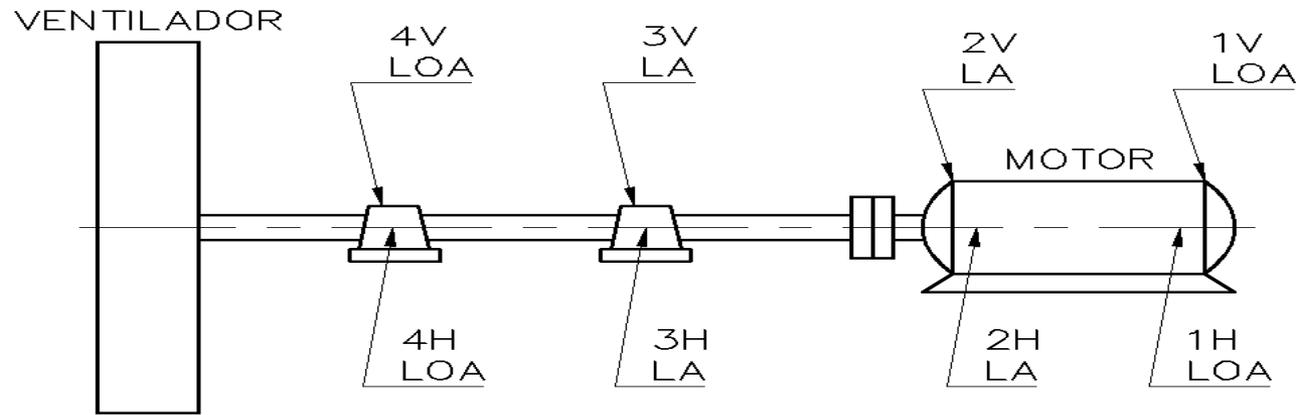
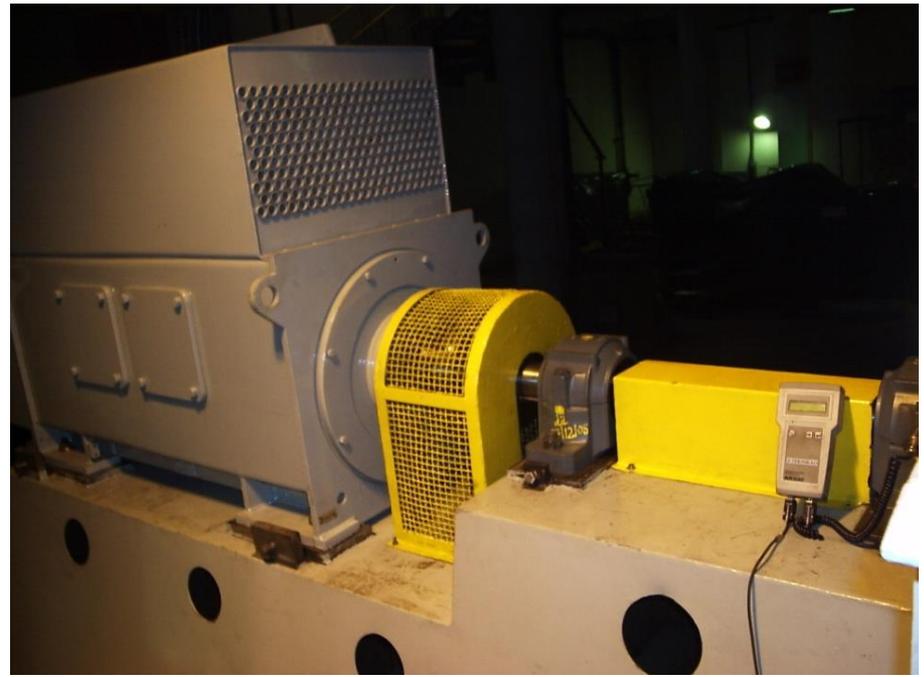
Causa: Impactos na instalação.



Componente: Rolos de rolamento de rolos cilíndricos.

Sintoma: Escamamento prematuro ocorrido axialmente sobre a superfície dos rolos.

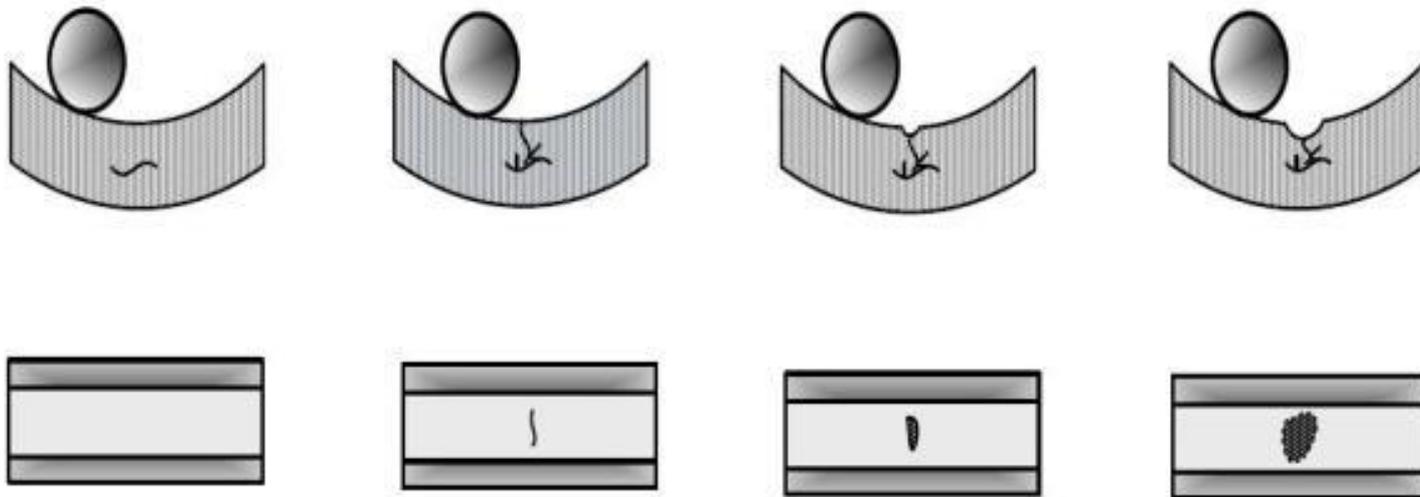
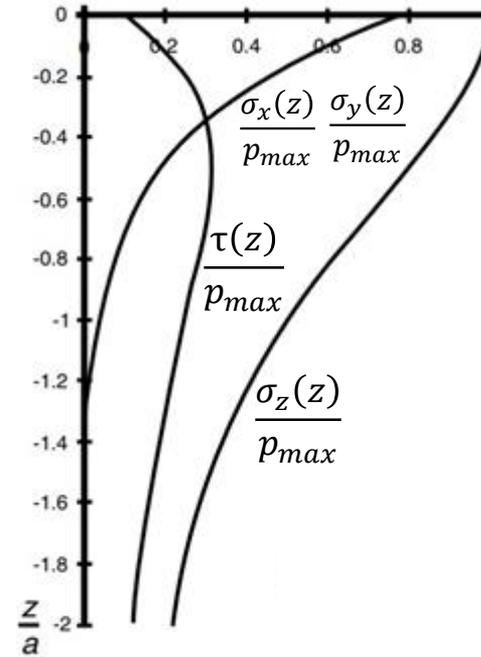
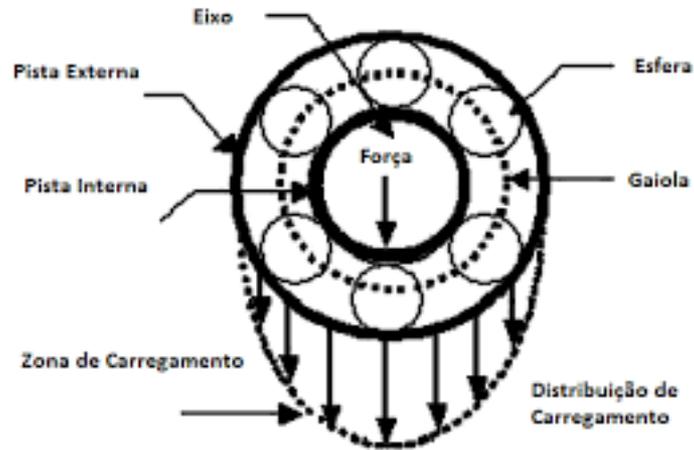
Causa: Instalação inadequada.



Falha de Mancal de Rolamento

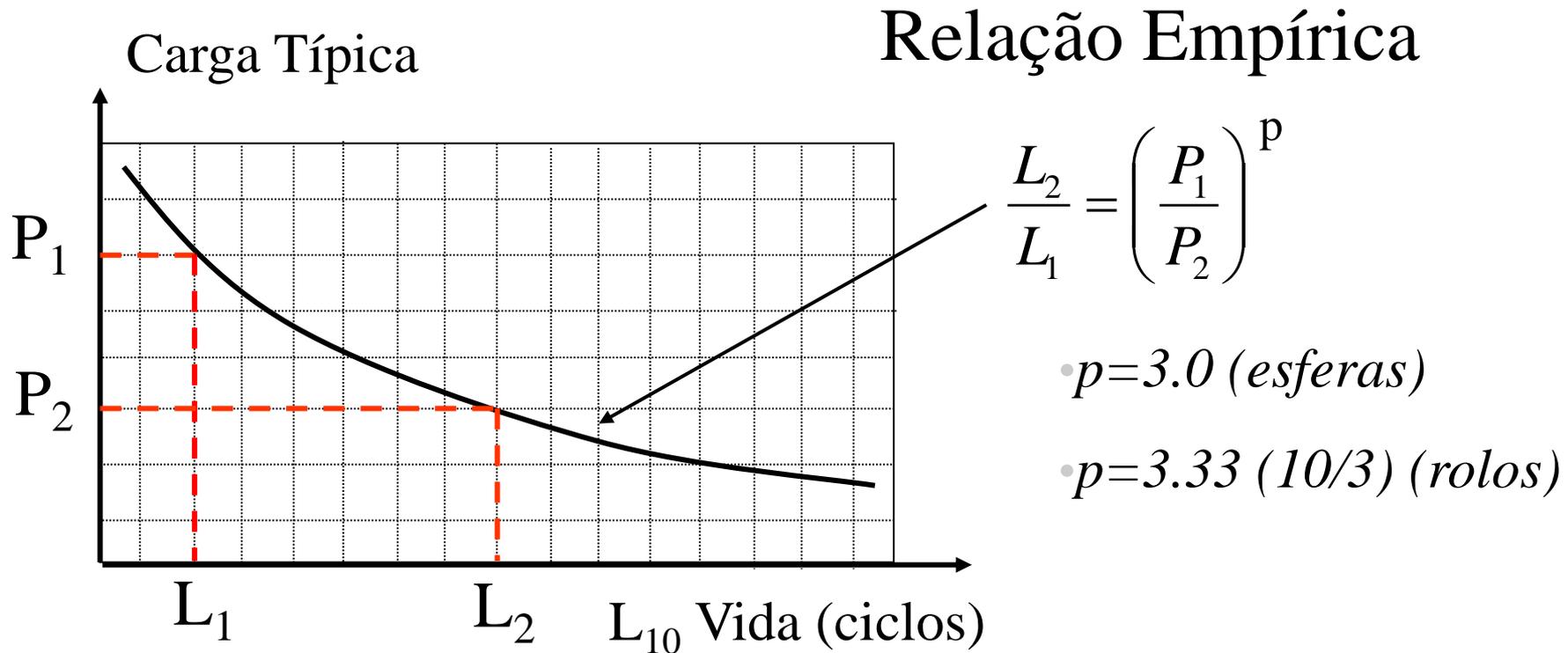


Fadiga de Contato em Mancais de Rolamento



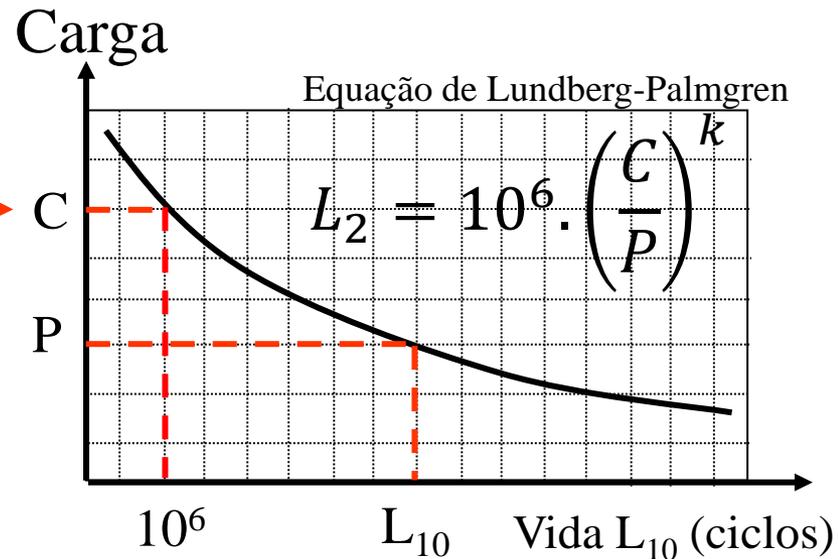
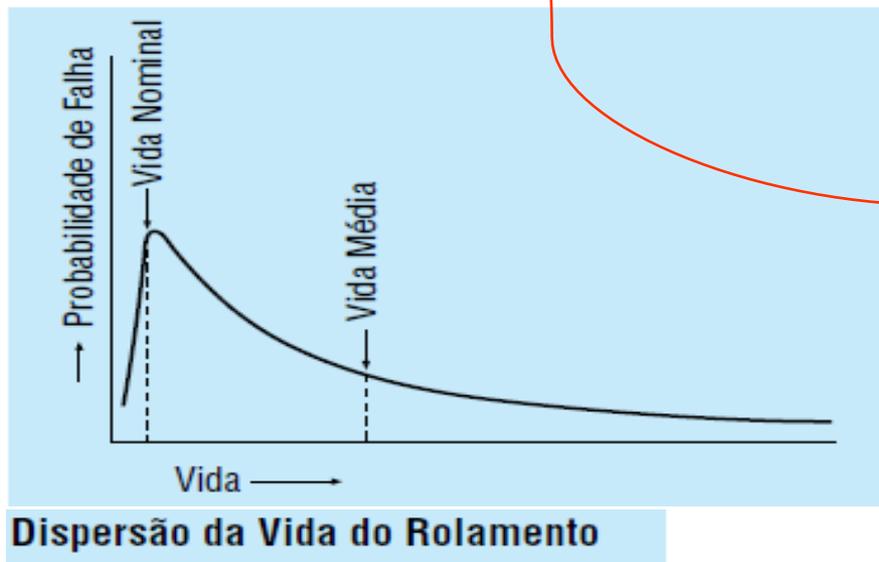
Relação Carga x Vida

Ensaio de Fadiga



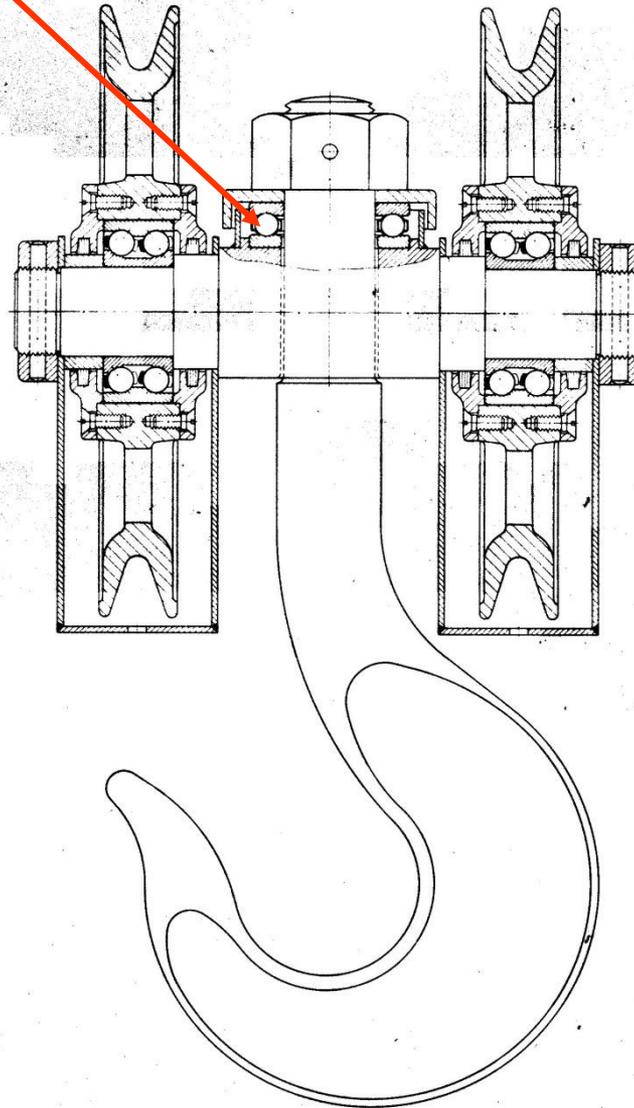
Capacidade de Carga

Dinâmica (C) => Vida de 10^6 ciclos para 90% (ou mais) dos rolamentos testados



Estática (C_o) => Deformação permanente de $0,0001 \delta$ (diâmetro do elemento rodante)

Rolamento não gira completamente



Adequação do Rolamento é verificada pela Capacidade Estática de Carga

Vida Nominal Ajustada

$$L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot (C/P)^p$$

L_{10} = Vida em 10^6 ciclos (90%) 10 = 100 - 90

C = Capacidade Dinâmica de Carga (fabricante)

P = Carga Dinâmica Equivalente Aplicada

a_1 = fator de confiabilidade

a_2 = fator de material

a_3 = fator de serviço – lubrificação

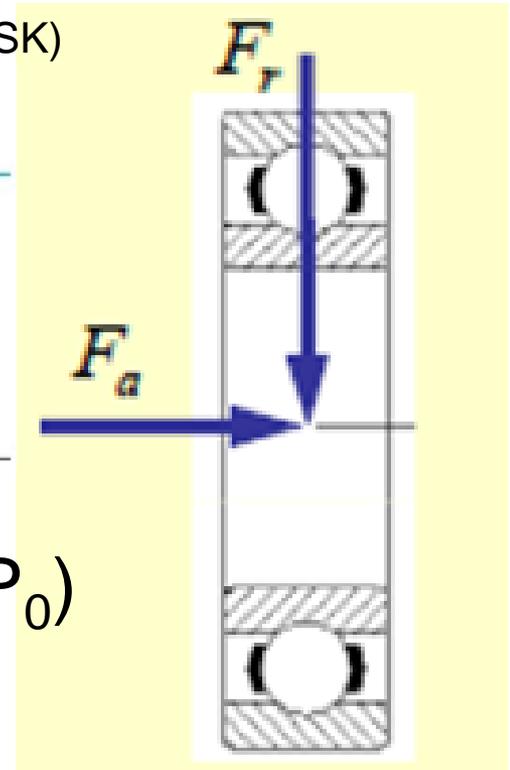
$p = 3$ para rolamento de esferas e $10/3$ para rolamentos de rolos

Carga Dinâmica Equivalente Aplicada (P)

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Fatores X e Y (Cálculo Carga Dinâmica Equivalente- Fabricante NSK)

	$\frac{C_{or}}{F_a}$	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$		e
		X	Y	X	Y	
Rolamento Fixo de 1 Carreira de Esferas	5				1.26	0.35
	10				1.49	0.29
	15				1.64	0.27
	20	1	0	0.56	1.76	0.25
	25				1.85	0.24
	30				1.92	0.23
	50				2.13	0.20



Carga Estática Equivalente Aplicada (P₀)

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

P_0 = Carga estática equivalente aplicada

X_0 = Fator radial (definido pelo fabricante)

Y_0 = Fator axial (definido pelo fabricante)

F_r = Força radial carga estática

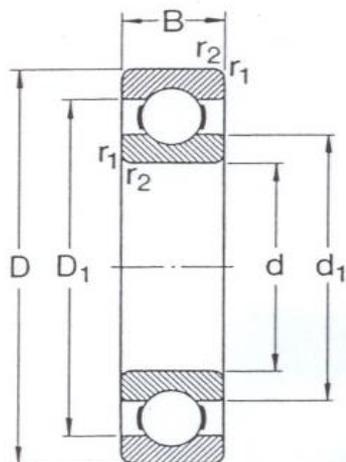
F_a = Força axial carga estática

Se P_0 calculado $< F_r \Rightarrow P_0 = F_r$

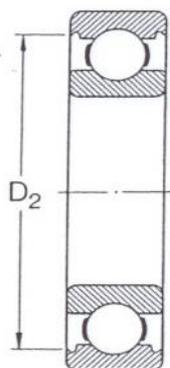
Fator de carga estática

$$f_s = C_0/P_0$$

ROLAMENTO RÍGIDO DE UMA CARREIRA DE ESFERAS



Anel externo
sem ranhuras
de placas



Anel externo
com ranhuras
de placas

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P_u	Velocidades de referência		Massa	Designação
d	D	B	Carga dinâm. C	estát. C_0		Lubrificação graxa	óleo		
mm			N		N	r/min		kg	-
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408
45	58	7	6 050	4 300	228	9 500	12 000	0,040	61809
	68	12	14 000	9 800	465	9 000	11 000	0,14	61909
	75	10	15 600	10 800	520	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	20 800	14 600	640	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	21 600	915	7 500	9 000	0,41	6209
	100	25	52 700	31 500	1 340	6 700	8 000	0,83	6309
	120	29	76 100	45 000	1 900	6 000	7 000	1,55	6409
50	65	7	6 240	4 750	250	9 000	11 000	0,052	61810
	72	12	14 600	10 400	500	8 500	10 000	0,14	61910
	80	10	16 300	11 400	560	8 500	10 000	0,18	16010
	80	16	21 600	16 000	710	8 500	10 000	0,26	6010
	90	20	35 100	23 200	980	7 000	8 500	0,46	6210
	110	27	61 800	38 000	1 600	6 300	7 500	1,05	6310
	130	31	87 100	52 000	2 200	5 300	6 300	1,90	6410
55	72	9	8 320	6 200	325	8 500	10 000	0,083	61811
	80	13	15 900	11 400	560	8 000	9 500	0,19	61911
	90	11	19 500	14 000	695	7 500	9 000	0,26	16011
	90	18	28 100	21 200	900	7 500	9 000	0,39	6011
	100	21	43 600	29 000	1 250	6 300	7 500	0,61	6211
	120	29	71 500	45 000	1 900	5 600	6 700	1,35	6311
	140	33	99 500	62 000	2 600	5 000	6 000	2,30	6411

Fator de Confiabilidade

Confiabilidade %		a1
90	(L ₁₀)	1
95	(L ₅)	0,62
96	(L ₄)	0,53
97	(L ₃)	0,44
98	(L ₂)	0,33
99	(L ₁)	0,21

Seleção de um Rolamento

- 1- Definir o tipo de rolamento (radial, axial ou misto – rígido ou autocompensador)
- 2- Definir o tipo de elemento rodante (esfera* ou rolo)
- 3- Definir a Vida em horas
- 4- Definir as cargas sobre o rolamento
- 5- Definir a confiabilidade e os fatores de material e lubrif.
- 6- Calcular a Vida L_{10} (ou escolher outra confiabilidade)
- 7- Calcular a Capacidade de Carga requerida C
- 8- Escolher o Rolamento mais adequado no catálogo
- 9- Recalcular a Vida em horas

Valores de Coeficiente de Carga f_w

Condições de Operação	Exemplos de Aplicação	f_w
Operação suave e sem choque	Motores elétricos, máquinas operatrizes, ar condicionado	1 a 1,2
Operação normal	Sopradores, elevadores, compressores, guindastes, máquinas para indústria de papel	1,2 a 1,5
Operação com choque, vibração ou ambos	Máquinas de construção civil, britadores, peneiras vibratórias, laminadores	1,5 a 3

Coeficiente de Carga Rolamento NSK

Vida Recomendada para o Rolamento Shigley – Mechanical Engineering Design

Recomendações acerca da vida de mancais para várias classes de maquinaria.

Tipo de aplicação

Vida, kh

Instrumentos e aparatos de uso não frequente	Até 0,5
Motores de aeronaves	0,5–2
Máquinas para operação curta, ou intermitente, em que a interrupção do serviço é de importância menor	4–8
Máquinas para serviço intermitente em que a confiabilidade de operação é de grande importância	8–14
Máquinas para serviço de 8 h que não são utilizadas de maneira plena	14–20
Máquinas para serviço de 8 h que são utilizadas de maneira plena	20–30
Máquinas para serviço contínuo de 24 h	50–60
Máquinas para serviço de 24 h em que a confiabilidade é de importância extrema	100–200

Exercício 1

Definir a vida nominal ajustada de um mancal de rolamento rígido de uma carreira de esferas, com código 6208, quando submetido a uma carga radial de 5500 N e girando com uma rotação de 320 rpm. Pedese definir as vidas para confiabilidades de 90% e 97%

⇒ CÓDIGO 6208

MANCAL RÍGIDO DE UMA CORREIRA DE ESFERAS

$$C = 30\,700 \text{ N (CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA)}$$

• CONFIABILIDADE DE 90%

$$L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad \textcircled{3} \text{ --- MANCAL DE ESFERAS}$$

}
↓

L CONSIDERADA IGUAL A 1,0

(CONDIÇÕES DE USO CONFORME DADOS DO FABRICANTE)

1,0

(CONFIABILIDADE DE 90%)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{30\,700}{5\,500}\right)^3 = 173,911 \text{ (MILHÕES DE REVOLUÇÕES)}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \times 10^6}{60 \times n} = \frac{173,911 \times 10^6}{60 \times 320} = 9057,86 \text{ horas}$$

• CONFIABILIDADE DE 97%

$$L_3 = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

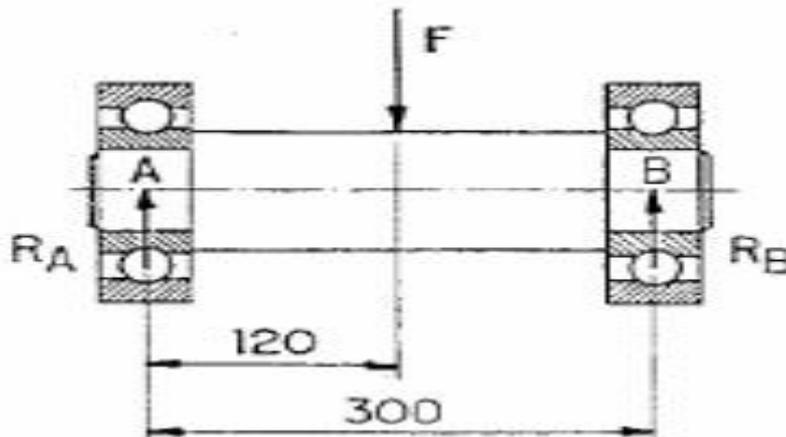
↳ PARA CONFIABILIDADE 97% $a_1 = 0,44$ (TABELADO PELO FABRICANTE)

$$L_3 = 0,44 \cdot \left(\frac{30\,700}{5\,500}\right)^3 = 76,52 \text{ (MILHÕES DE REVOLUÇÕES)}$$

$$L_{3h} = \frac{L_3 \times 10^6}{60 \times n} = \frac{76,52 \times 10^6}{60 \times 320} = 3985,48 \text{ horas}$$

Exercício 2

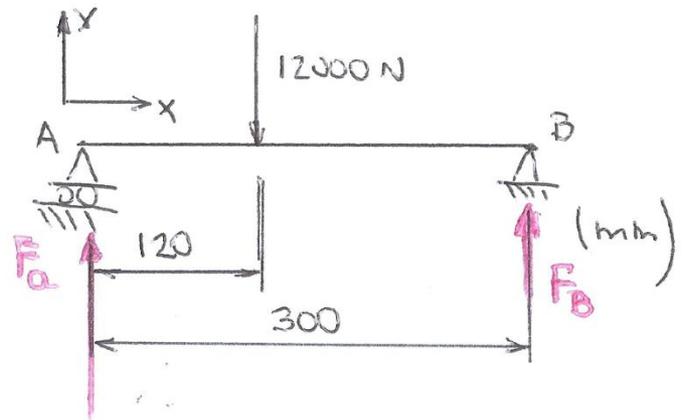
O eixo de um equipamento gira a uma rotação de 800 rpm. O diâmetro do eixo no apoio dos mancais (A e B) é de 35 mm. Determine os mancais de rolamento rígidos de uma carreira de esferas que devem ser instalados em suas extremidades, sendo a vida esperada de 5000 horas para uma confiabilidade de 90%.



$$F=12000N$$

O MODELO PARA CÁLCULO DOS ESFORÇOS ADQUANTES NO ROLAMENTO É:

• VIGA BI-APOIADA (ROLAMENTOS SÃO OS APOIOS):



• EQUILÍBRIO DE FORÇAS

$$12000 = F_A + F_B \quad (\Sigma F_y = 0)$$

• EQUILÍBRIO DE MOMENTOS

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -12000 \times 120 + F_B \times 300 = 0$$

$$F_B = 4800 \text{ N}$$

$$F_A = 12000 - 4800 = 7200$$

$$\bar{F}_A = 7200 \text{ N}$$

• VIDA REQUERIDA P/ OS MANCAIS: 5000 hrs

• CONFIABILIDADE = 90%

• CAPACIDADE DE CARGA REQUERIDA:

$$L_{10} h = \frac{L_{10} \times 10^6}{60 \times m} = \frac{10^6}{60 \times m} \times \underset{\uparrow}{1} \times \left(\frac{C}{P}\right)^3 \Rightarrow \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{L_{10} h \times 60 \times m}{10^6}$$

$$a_1 = 1 \text{ (Confabilidade 90\%)}$$

(CAPACIDADE REQUERIDA DO MANCAL)

$$C = P \times \sqrt[3]{\frac{L_{10} h \times 60 \times m}{10^6}}$$

PARA O CASO EM ESTUDO

$$C = P \cdot \sqrt[3]{\frac{5000 \times 60 \times 800}{10^6}} = P \cdot 6,2145$$

PARA A POSIÇÃO A

$$P = F_A = 7200 \text{ N} \rightarrow C = 7200 \times 6,2145$$

$$C = 44.744 \text{ N}$$

MANUAL SELECIONADO: 6407 $\Rightarrow C_{\text{max}} = 55.300 \text{ N}$ (CONSIDERANDO O CATÁLOGO DISPONÍVEL NAS NOTAS DE AULA)

$$d_s = 35 \text{ mm}$$

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$B = 25 \text{ mm}$$

PARA A POSIÇÃO B

$$P = F_B = 4800 \text{ N} \rightarrow C = 4800 \times 6,2145$$

$$C = 29829 \text{ N}$$

MANUAL SELECIONADO: 6307 $\Rightarrow C_{\text{max}} = 33.200 \text{ N}$ (CONSIDERANDO O CATÁLOGO DISPONÍVEL NAS NOTAS DE AULA)

$$d_s = 35 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

$$B = 21 \text{ mm}$$

Comparação entre Mancais de Rolamento e Deslizamento

Vantagens

- Menor atrito e aquecimento
- Coeficiente de atrito de partida (estático) não superior ao de operação (dinâmico)
- Pouca variação do coeficiente de atrito com carga e velocidade
- Baixa exigência de lubrificação
- Intercambialidade internacional
- Ocupa menor espaço axial
- Pequeno aumento da folga durante a vida útil

Desvantagens

- Maior sensibilidade aos choques
- Maiores custos de fabricação
- Tolerância pequena para carcaça e alojamento do eixo
- Não suporta cargas tão elevadas como os mancais de deslizamento
- Ocupa maior espaço radial