

8

Parafusos, Fixadores
e Projeto de Junções
Não-Permanentes

8-1	Padrões de Rosca e Definições	386
8-2	Mecânica dos Parafusos de Potência	387
8-3	Fixadores Rosqueados	397
8-4	Junções – Rigidez de Fixadores	398
8-5	Junções – Rigidez de Membro	402
8-6	Resistência de Parafuso de Porca	405
8-7	Junções de Tração – Carga Externa	407
8-8	Relacionando o Torque à Tração de Parafuso de Porca	409
8-9	Junção de Tração Carregada Estaticamente com Pré-Carga	412
8-10	Junções de Gaxeta	415
8-11	Carregamento de Fadiga de Junções de Tração	415
8-12	Junções de Cisalhamento	421
8-13	Parafusos de Retenção	426
8-14	Chavetas e Pinos	427
8-15	Considerações Estocásticas	433

8-6 Resistência de Parafusos

Table 8-9

SAE Specifications for Steel Bolts

SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	55	74	57	Low or medium carbon	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Medium carbon, cold-drawn	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Low-carbon martensite, Q&T	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Medium-carbon alloy, Q&T	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Medium-carbon alloy, Q&T	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Low-carbon martensite, Q&T	

Table 8-10

ASTM Specifications for Steel Bolts

ASTM Designation No.	Size Range, Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
A307	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low carbon	
A325, type 1	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Medium carbon, Q&T	
A325, type 2	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Low-carbon, martensite, Q&T	
A325, type 3	$\frac{1}{2}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Weathering steel, Q&T	
A354, grade BC	$\frac{1}{4}$ - $2\frac{1}{2}$ $2\frac{3}{4}$ -4	105 95	125 115	109 99	Alloy steel, Q&T	
A354, grade BD	$\frac{1}{4}$ -4	120	150	130	Alloy steel, Q&T	
A449	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ $1\frac{3}{4}$ -3	85 74 55	120 105 90	92 81 58	Medium-carbon, Q&T	
A490, type 1	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Alloy steel, Q&T	
A490, type 3	$\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Weathering steel, Q&T	

*Minimum strengths are strengths exceeded by 99 percent of fasteners.

Table 8-11

Metric Mechanical-Property Classes for Steel Bolts, Screws, and Studs*

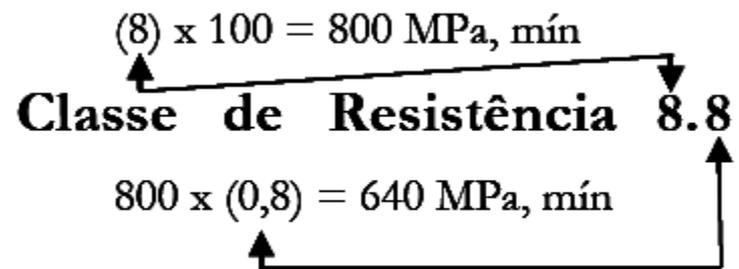
Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength, [†] MPa	Minimum Tensile Strength, [†] MPa	Minimum Yield Strength, [†] MPa	Material	Head Marking
4.6	M5-M36	225	400	240	Low or medium carbon	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Low or medium carbon	
5.8	M5-M24	380	520	420	Low or medium carbon	
8.8	M16-M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T	
10.9	M5-M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	

*The thread length for bolts and cap screws is

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & l \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < l \leq 200 \\ 2d + 25 & l > 200 \end{cases}$$

where L is the bolt length. The thread length for structural bolts is slightly shorter than given above.[†] Minimum strengths are strength exceeded by 99 percent of fasteners.

Valor da Resistência à Tração, Nominal



Valor da Resistência ao Escoamento, Nominal

<u>Classe de Resistência</u>	<u>9.8</u>	<u>10.9</u>	<u>12.9</u>
Resistência à Tração / MPa	900	1.000	1.200
Limite de Escoamento / MPa	720	900	1.080

A especificação ISO 898, Parte I (EN ISO 898-1, 1999) determina valores mínimos para o Limite de Resistência à Tração (LRT) e Limite de Escoamento (LE) para cada categoria de parafusos. Também recomenda Dureza Rockwell “B” HRB (para parafusos não tratados termicamente), Dureza Rockwell “C” HRC (para parafusos temperados e revenidos). Seus valores são mostrados na tabela abaixo:

Classe	<u>5.8</u>	<u>6.8</u>	<u>8.8</u>	<u>10.9</u>	<u>12.9</u>
LRT (min)	540 MPa	600 MPa	800 MPa	1.040 MPa	1.220 MPa
LE (min)	420 MPa	480 MPa	640 MPa	936 MPa	1.100 MPa
HR “B”	82 ~ 99,5	89 ~ 99,5	- o -	- o -	- o -
HR “C”	- o -	- o -	22 ~ 32	32 ~ 39	39 ~ 44

Valores mínimos para LRT, LE e dureza Rockwell para parafusos, segundo sua classe de resistência

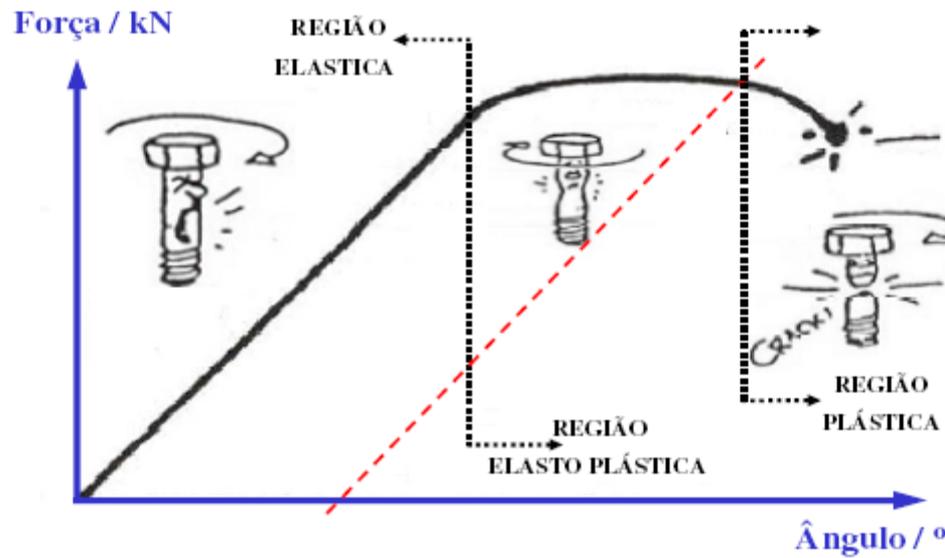


Gráfico Força (de união) em relação ao aperto (em ângulo) do parafuso

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{4}{1 + \left(\frac{d_3}{d_2} \right)} \cdot \left[\frac{p}{\pi \cdot d_2} + 1.155 \cdot \mu_G \right] \right]^2}}$$

Exemplo: parafuso de cabeçote de motor diesel

M12×1,75

classe de resistência 12.9

$$A_t = 84,3 \text{ mm}^2$$

$$LRT = 1200 \times 84,3 = 101,3 \text{ kN}$$

$$LE = 1080 \times 84,3 = 91,2 \text{ kN}$$

Exemplo: parafuso de cabeçote de motor diesel

$$0,08 \leq \mu_G \leq 0,12$$

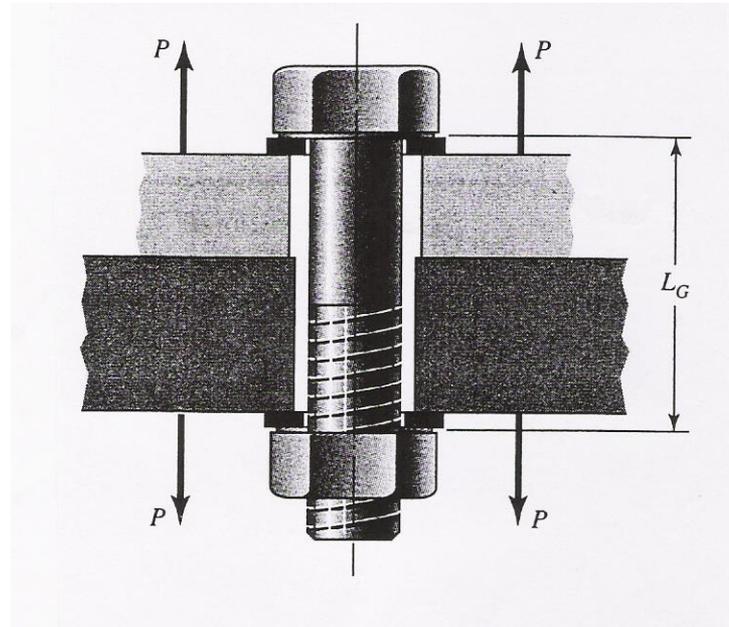
$$82,31\% \leq \eta \leq 88,65\%$$



$$84,8kN \leq \textit{força máxima} \leq 91,3kN$$

$$76,4kN \leq \textit{força de escoamento} \leq 82,3kN$$

8-7 Junção de Tração



F_i = pré-carga

P = carga externa

P_b = porção de P absorvida pelo parafuso

P_m = porção de P absorvida pelos membros

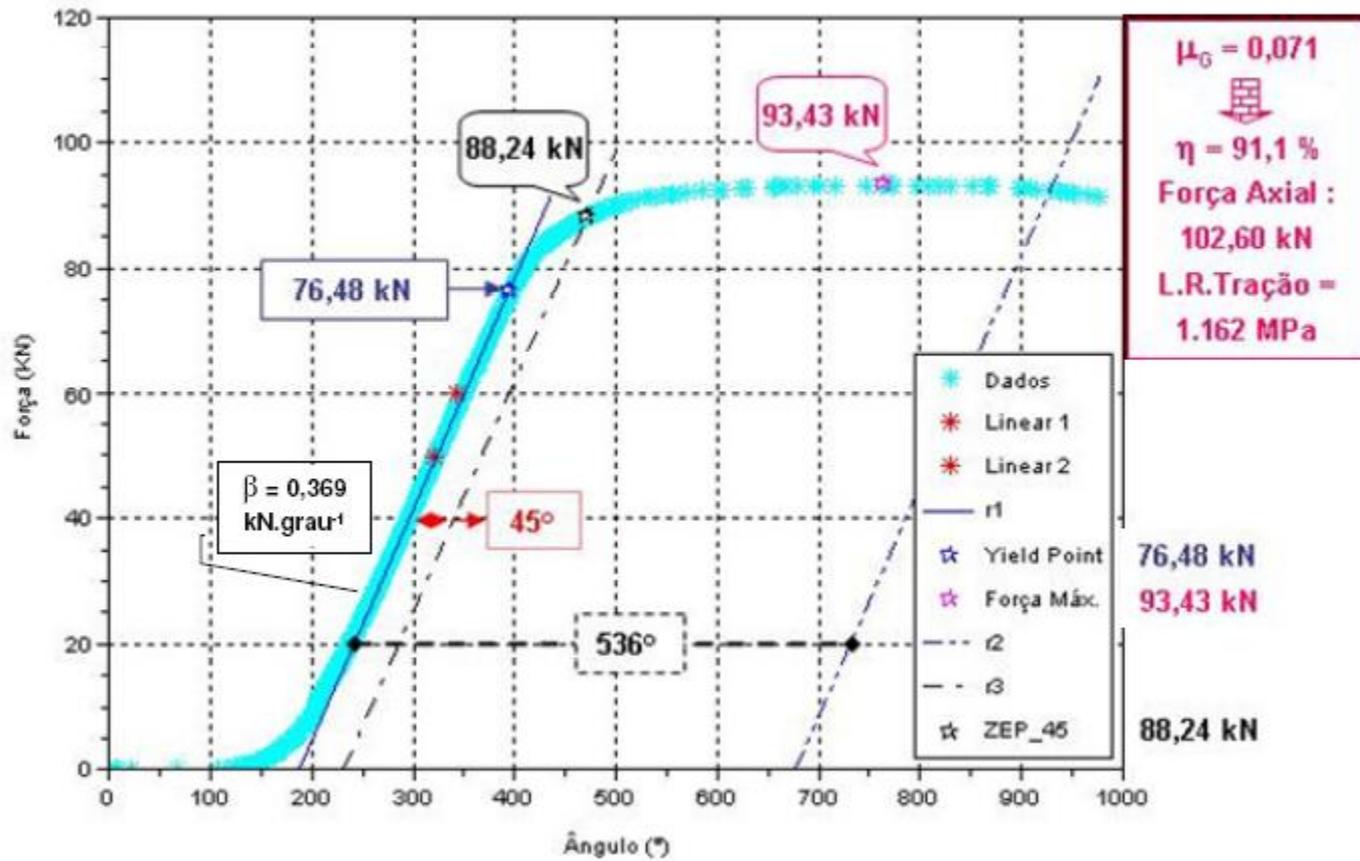
$$P = P_b + P_m$$

$$F_b = P_b + F_i \qquad F_m = P_m - F_i$$

C = fração de P carregada pelo parafuso

$1 - C$ = fração de P carregada pelos membros

Amostra 3



$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = C P$$

$$P_m = P - P_b = (1 - C) P$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$F_b = P_b + F_i = C P + F_i \quad F_m < 0$$

$$F_m = P_m - F_i = (1 - C) P - F_i \quad F_m < 0$$

8-8 Relacionando o Torque à Tração

$$T = \frac{F_i d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m - f l \sec \alpha} \right) + \frac{F_i f_c d_c}{2} \quad (a)$$

$$\tan \lambda = l / \pi d_m,$$

$$T = \frac{F_i d_m}{2} \left(\frac{\tan \lambda + f \sec \alpha}{l - f \tan \lambda \sec \alpha} \right) + \frac{F_i f_c d_c}{2} \quad (b)$$

$$d_c = (d + 1,5d)/2 = 1,25d.$$

$$T = \left[\left(\frac{d_m}{2d} \right) \left(\frac{\tan \lambda + f \sec \alpha}{1 - f \tan \lambda \sec \alpha} \right) + 0,625 f_c \right] F_i d \quad (c)$$

$$K = \left(\frac{d_m}{2d} \right) \left(\frac{\tan \lambda + f \sec \alpha}{1 - f \tan \lambda \sec \alpha} \right) + 0,625 f_c \quad (8-26)$$

$$T = K F_i d$$

Tabela 8-15 Fatores de torque K para uso com a Equação (8-27)

Condição do parafuso de porca	K
Não-metalizado (chapeado), acabamento negro	0,30
Chapeado de zinco (zincado)	0,20
Lubrificado	0,18
Chapeado de cádmio	0,16
Com Bowman antiagarramento	0,12
Com porcas Bowman de agarramento	0,09

8-9 Junção de Tração Carregada Estaticamente com Pré-Carga

Segurança
contra
ruptura

$$\sigma_b = \frac{CP}{A_t} + \frac{F_i}{A_t}$$

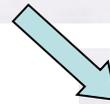


$$\frac{CnP}{A_t} + \frac{F_i}{A_t} = S_p$$

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{CP}$$

Segurança
contra a
separação

$$(1 - C)P_0 - F_i = 0$$



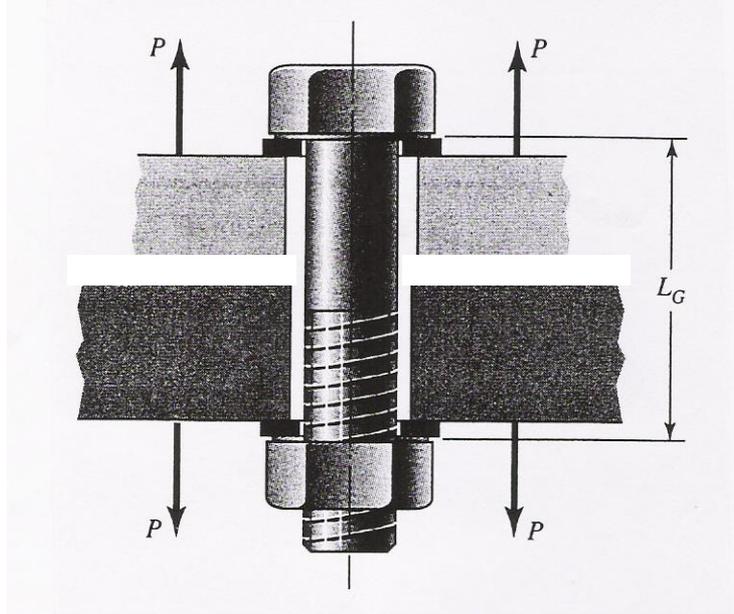
$$n_0 = \frac{P_0}{P}$$

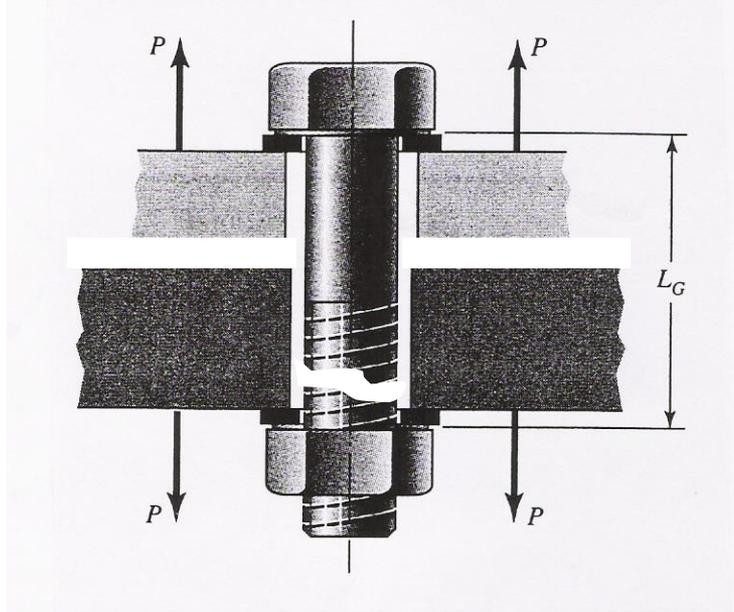
$$n_0 = \frac{F_i}{P(1 - C)}$$

$F_i = 0,75 F_p$ para conexões não-permanentes

$F_i = 0,90 F_p$ para conexões permanentes

$$F_p = A_t S_p$$





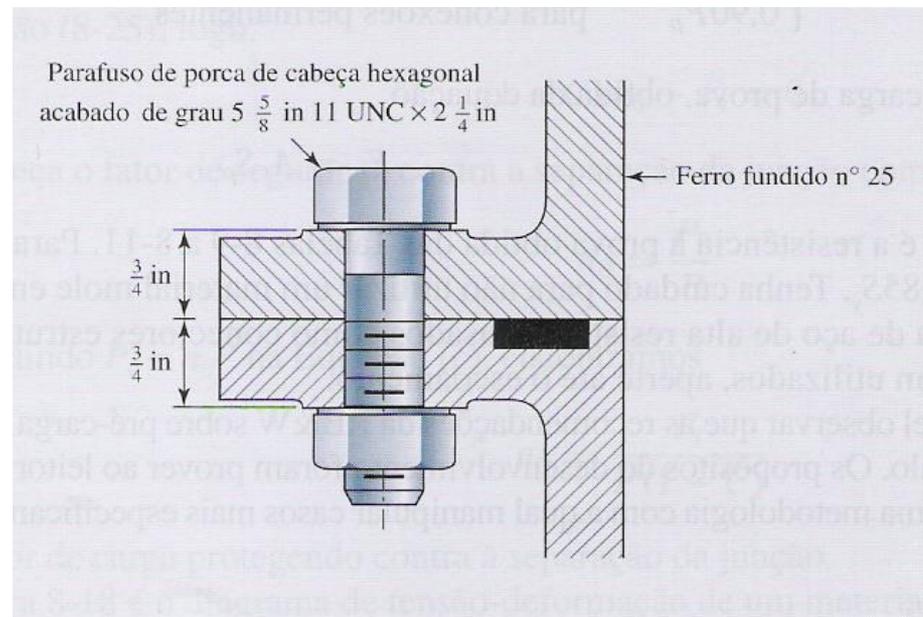
EXEMPLO

Exemplo 8.4 do Shigley, 8ª. Ed.

A Figura 8-19 é uma seção transversal de um vaso de pressão de ferro fundido de grau 25. Um total de N parafusos de porca são usados para resistir a força de separação de 36 kip.

(a) Determine k_b , k_m e C .

(b) Encontre o número de parafusos de porca requeridos para um fator de carga de 2, em que os parafusos de porca podem ser reutilizados quando a junção for desmontada.



O exercício está resolvido no livro. Estude a solução e faça exatamente o mesmo, usando parafusos métricos mais próximos.