CAPÍTULO 8

Parafusos, Fixadores e Projeto de Junções Não-Permanentes

8-6 Resistência de Parafusos

Table 8–9

SAE Specifications for Steel Bolts

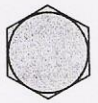
SAE Grade No.	Size Range Inclusive, in	Minimum Proof Strength,* kpsi	Minimum Tensile Strength,* kpsi	Minimum Yield Strength,* kpsi	Material	Head Marking
1	$\frac{1}{4}$–$1\frac{1}{2}$	33	60	36	Low or medium carbon	
2	$\frac{1}{4}$–$\frac{3}{4}$	55	74	57	Low or medium carbon	
	$\frac{7}{8}$–$1\frac{1}{2}$	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	85	120	92	Medium carbon, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$–$1\frac{1}{2}$	74	105	81		
A325, type 2	$\frac{1}{2}$–1	85	120	92	Low-carbon, martensite, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$–$1\frac{1}{2}$	74	105	81		
A325, type 3	$\frac{1}{2}$–1	85	120	92	Weathering steel, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$–$1\frac{1}{2}$	74	105	81		
A354, grade BC	$\frac{1}{4}$–$2\frac{1}{2}$	105	125	109	Alloy steel, Q&T	
	$2\frac{3}{4}$–4	95	115	99		
A354, grade BD	$\frac{1}{4}$–4	120	150	130	Alloy steel, Q&T	
A449	$\frac{1}{4}$–1	85	120	92	Medium-carbon, Q&T	
	$1\frac{1}{8}$–$1\frac{1}{2}$	74	105	81		
	$1\frac{3}{4}$–3	55	90	58		
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	

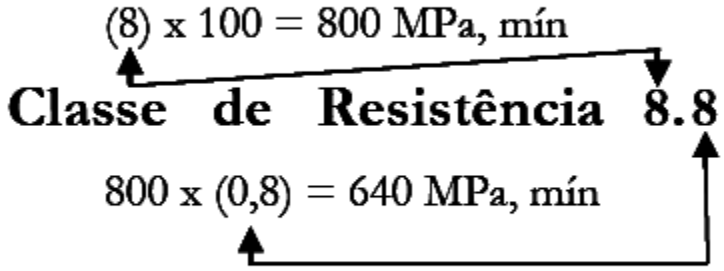
*The thread length for bolts and cap screws is

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

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

Classe de Resistência	**9.8**	**10.9**	**12.9**
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	**5.8**	**6.8**	**8.8**	**10.9**	**12.9**
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

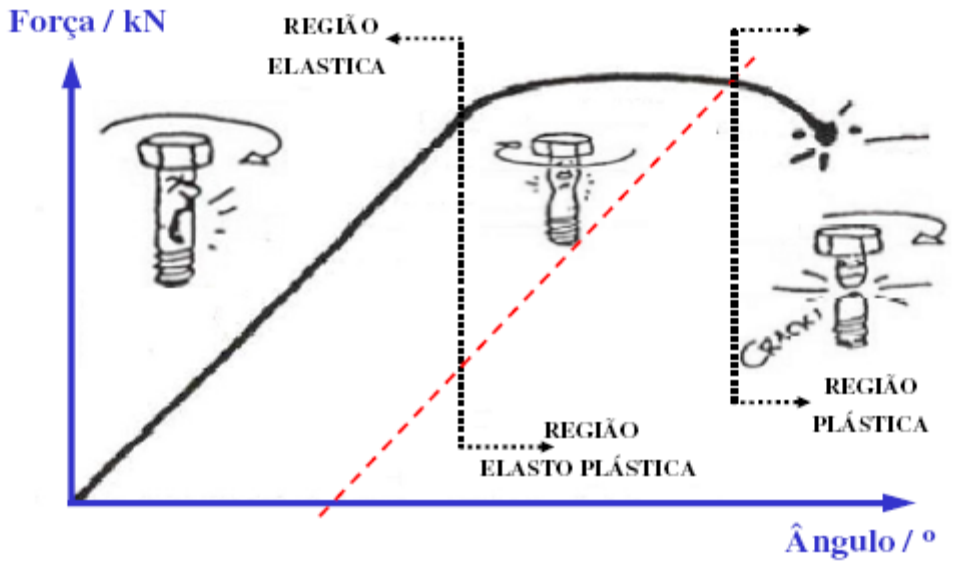


Gráfico Força (de união) em relação ao aperto (em ângulo) do parafuso

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

Exemplo: parafuso de cabeçote de motor diesel

$$M12 \times 1{,}75$$

$$classe\ de\ resistência\ 12.9$$

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

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

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

Exemplo: parafuso de cabeçote de motor diesel

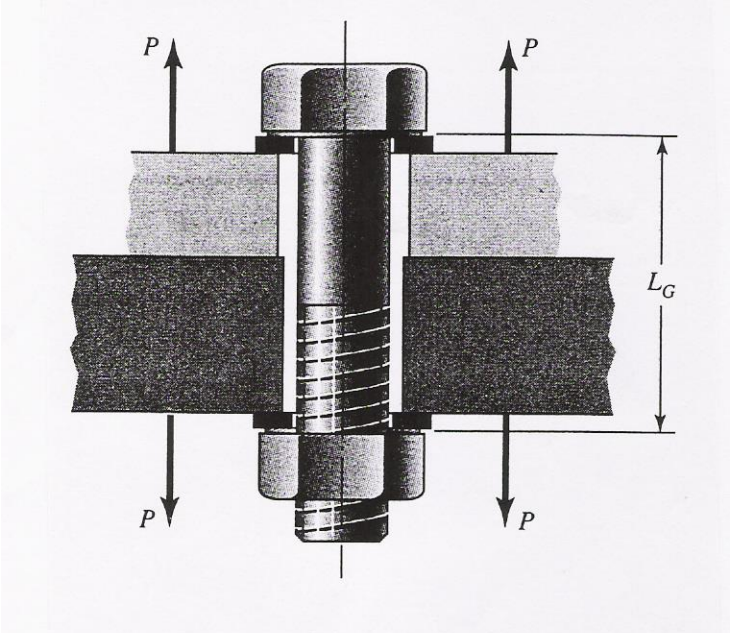
$$0{,}08 \leq \mu_G \leq 0{,}12$$

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

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

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

8-7 Junção de Tração



F_i = pré-carga

P = carga externa

P_b = porção de P absorvida pelo parafuso

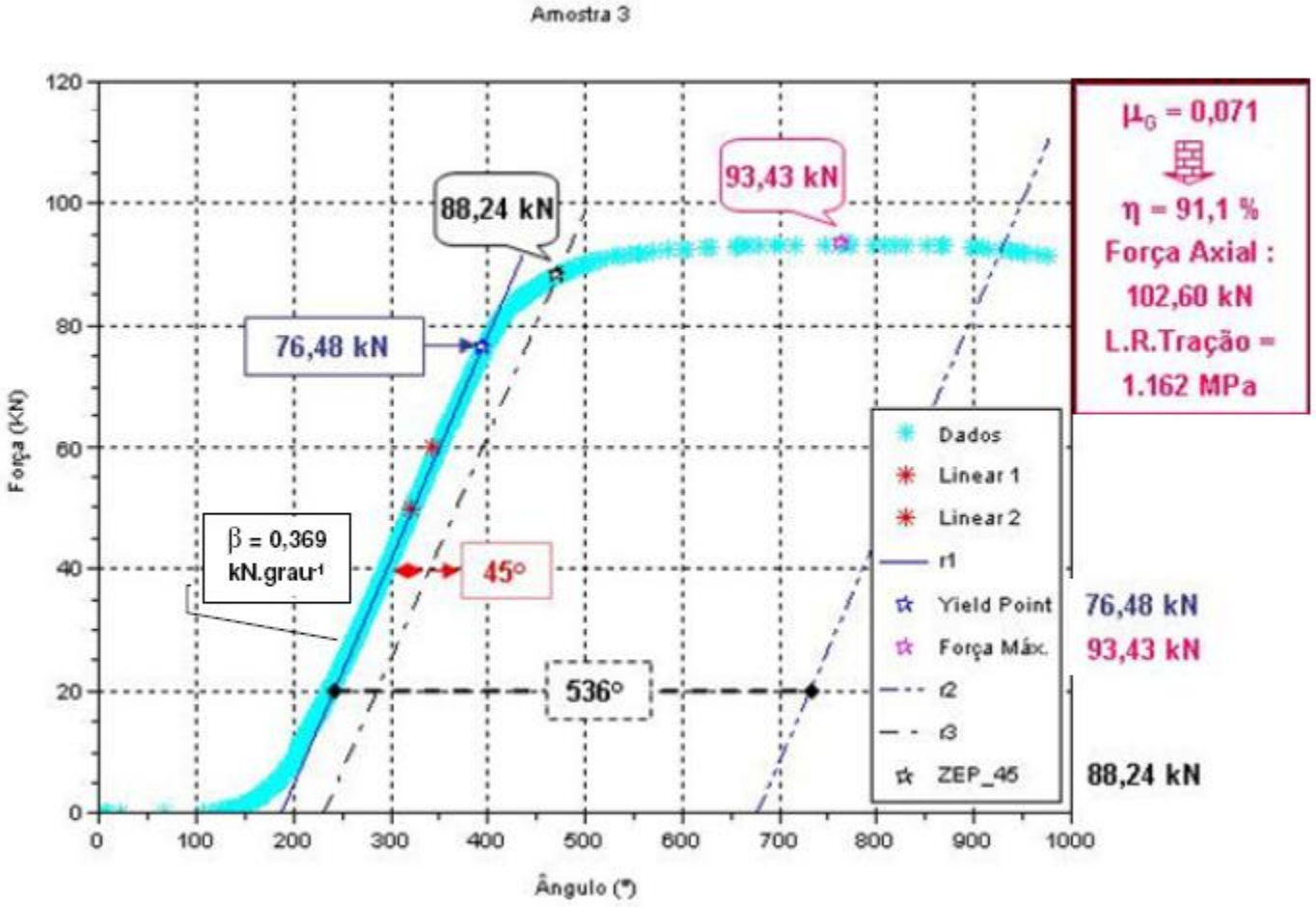
P_m = porção de P absorvida pelos membros

$P = P_b + P_m$

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

C = fração de P carregada pelo parafuso

1 – C = fração de P carregada pelos membros


Amostra 3
Força (kN)
Ângulo (°)
120
100
80
60
40
20
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
88,24 kN
93,43 kN
76,48 kN
β = 0,369
kN.grau-1
45°
536°
μG = 0,071
η = 91,1 %
Força Axial :
102,60 kN
L.R.Tração =
1.162 MPa
Dados
Linear 1
Linear 2
r1
Yield Point
Força Máx.
r2
r3
ZEP_45
76,48 kN
93,43 kN
88,24 kN

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

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

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

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

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

8-8 Relacionando o Torque à Tração

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

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

$$T = \frac{F_i d_m}{2}\left(\frac{\tan\lambda + f\sec\alpha}{1 - f\tan\lambda\sec\alpha}\right) + \frac{F_i f_c d_c}{2} \qquad (b)$$

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

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

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

$$T = K F_i d$$

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

Segurança contra a separação

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

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

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

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

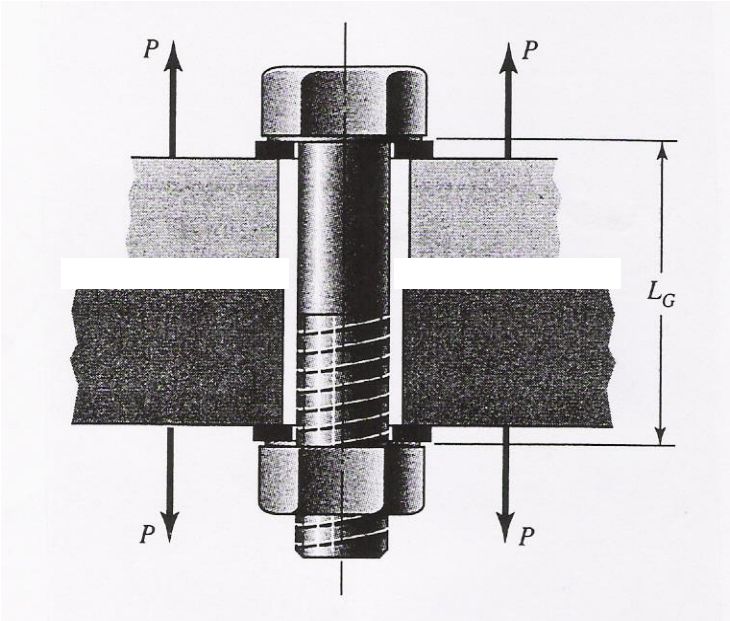
$$n_0 = \frac{P_0}{P}$$

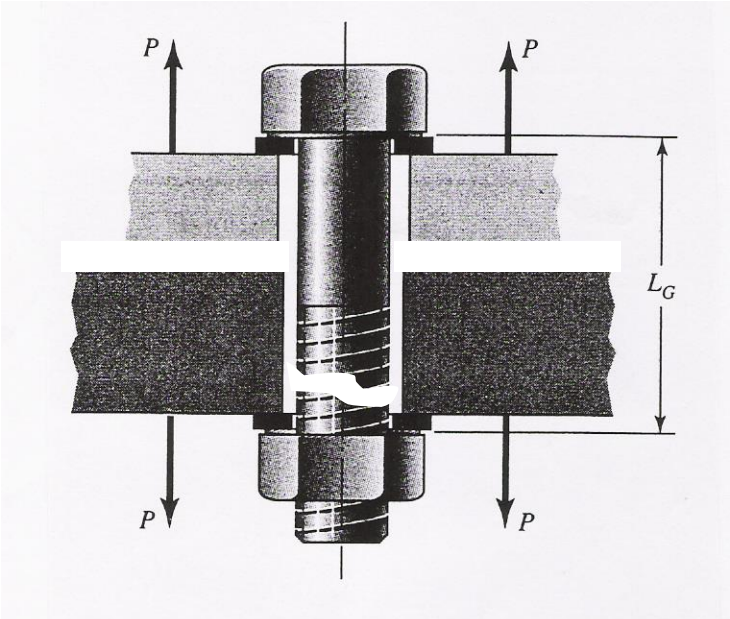
$$n_0 = \frac{F_i}{P(1 - C)}$$

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

$F_i = 0{,}90\ F_p$ para conexões permanentes

$$F_p = A_t\ S_p$$


P
P
L_G
P
P


P
P
L_G
P
P

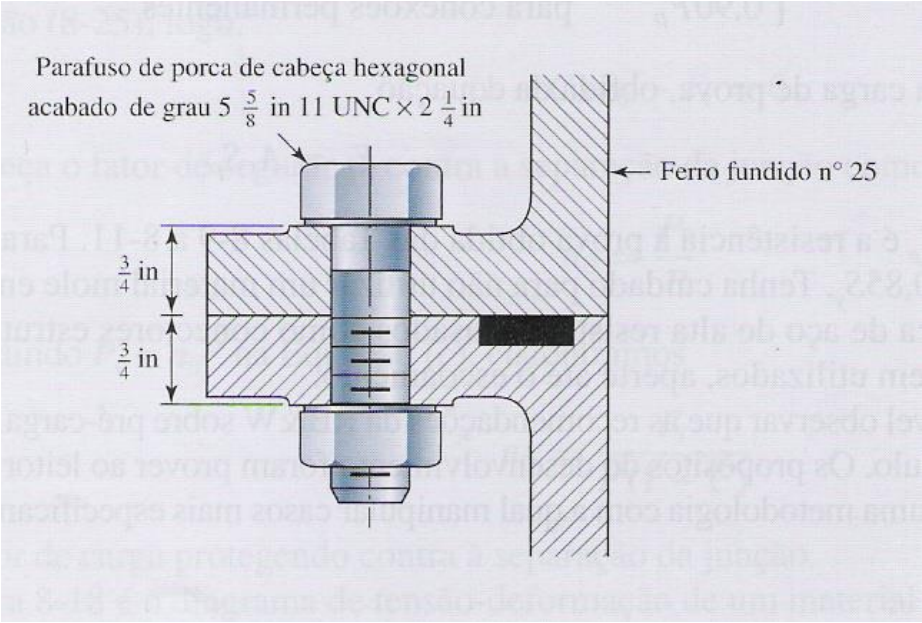
EXEMPLO

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.