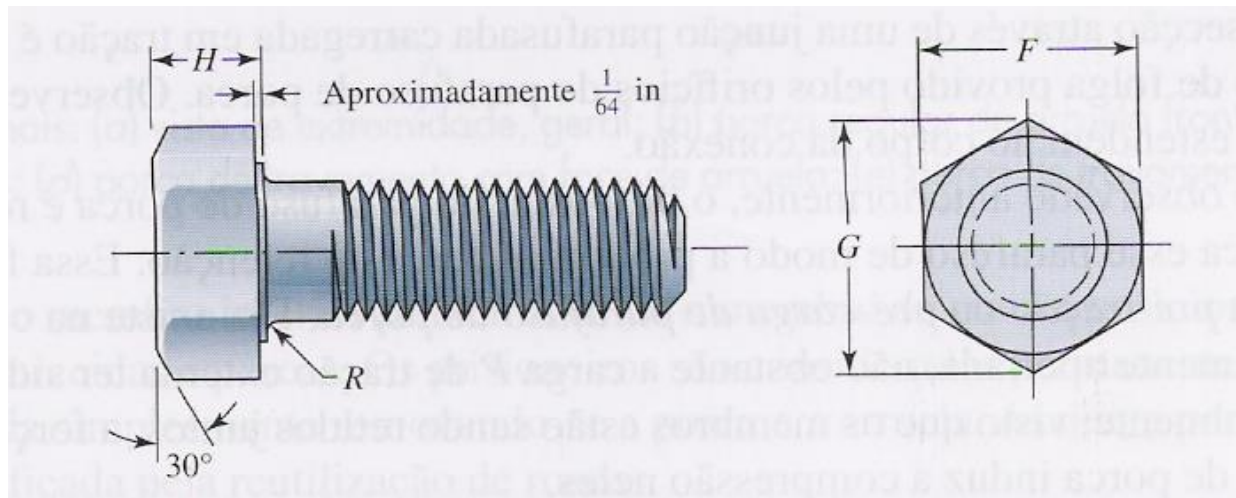


8

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

8-3 Fixadores Roscados



$$L_T = \begin{cases} 2D + \frac{1}{4} \text{ in} & L \leq 6 \text{ in} \\ 2D + \frac{1}{2} \text{ in} & L > 6 \text{ in} \end{cases}$$

$$L_T = \begin{cases} 2D + 6 & L \leq 125 & D \leq 48 \\ 2D + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2D + 25 & L > 200 \end{cases}$$

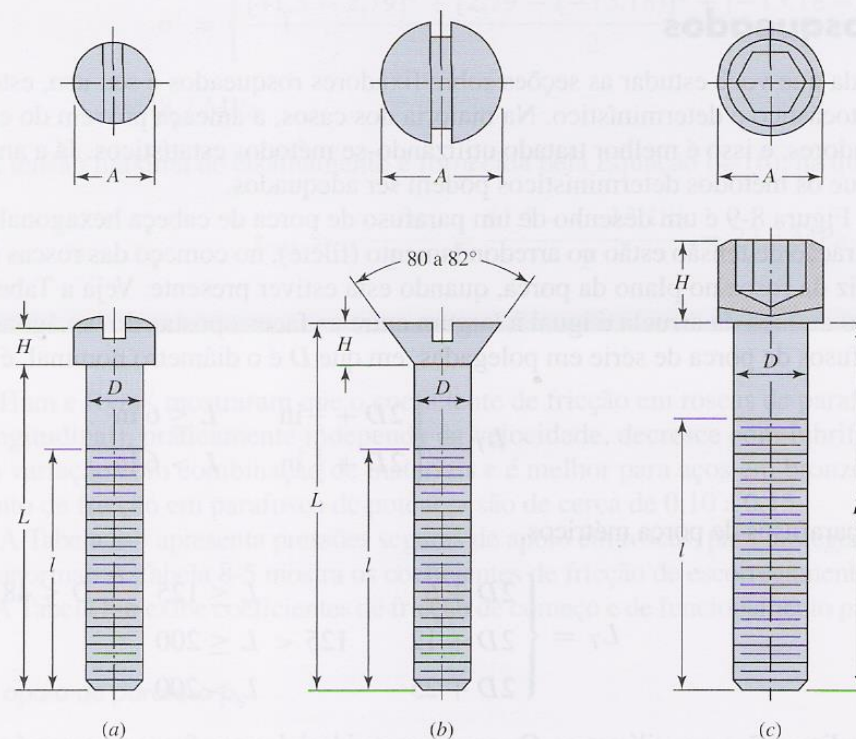
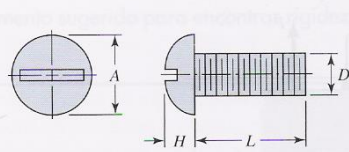
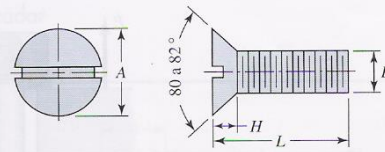


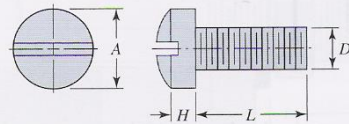
Figura 8-10 Cabeças típicas de parafusos de calota: (a) cabeça *fillister* (cilíndrica-oval de fenda); (b) cabeça plana (cônica-plana de fenda); (c) cabeça de bocal hexagonal. Parafusos de calota são sempre manufacturados com cabeças hexagonais similares às mostradas na Figura 8-9, bem como com diversos outros estilos de cabeça. Essa ilustração utiliza um dos métodos convencionais de representação de roscas.



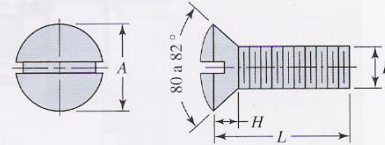
(a) Cabeça redonda (de fenda)



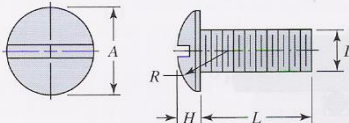
(b) Cabeça plana (cônica-plana de fenda)



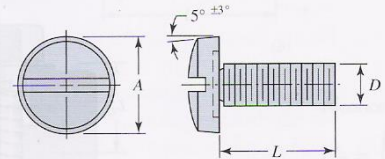
(c) Cabeça acanalada (cilíndrica-oval de fenda)



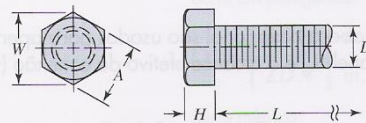
(d) Cabeça oval (cônica-oval de fenda)



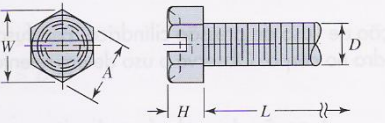
(e) Cabeça de faixa (de fenda)



(f) Cabeça encaixada (de fenda)

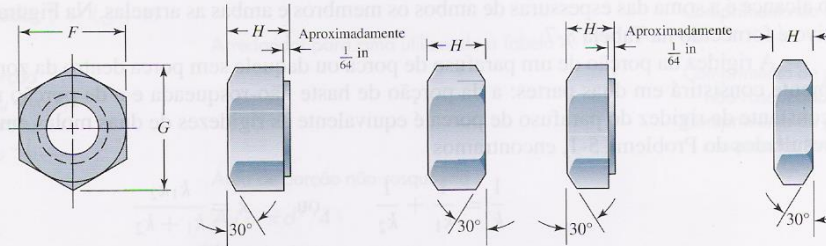


(g) Cabeça hexagonal (aparada)

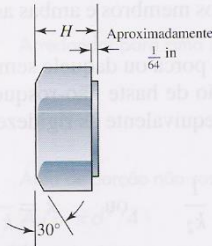


(h) Cabeça hexagonal (recalcada)

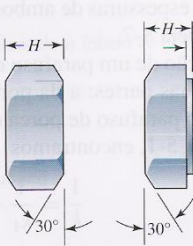
Tipos de cabeças usadas em parafusos de máquina.*



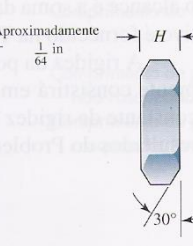
(a)



(b)



(c)



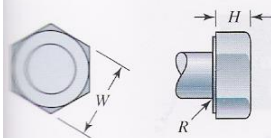
(d)



(e)

Porcas hexagonais: (a) vista de extremidade, geral; (b) porca regular de arruela frontal; (c) porca regular, chanfrada em ambos os lados; (d) porca de travamento com face de arruela; (e) porca de travamento chanfrada em ambos os lados.

Tabela A-29 Dimensões de parafusos de porca quadrada e hexagonal



Medida nominal, in	Quadrada		Hexagonal regular			Tipo de cabeça Hexagonal pesada			Hexagonal estrutural		
	W	H	W	H	R_{min}	W	H	R_{min}	W	H	R_{min}
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{11}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{64}$	0,01						
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{32}$	0,01						
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	0,01						
$\frac{7}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{19}{64}$	0,01						
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{11}{32}$	0,01	$\frac{7}{8}$	$\frac{11}{32}$	0,01	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$	0,09
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{27}{64}$	0,02	$1 \frac{1}{16}$	$\frac{27}{64}$	0,02	$1 \frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$	0,021
$\frac{3}{4}$	$1 \frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	0,02	$1 \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0,02	$1 \frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$	0,021
1	$1 \frac{1}{2}$	$\frac{21}{32}$	$1 \frac{1}{2}$	$\frac{43}{64}$	0,03	$1 \frac{5}{8}$	$\frac{43}{64}$	0,03	$1 \frac{5}{8}$	$\frac{39}{64}$	0,062
$1 \frac{1}{8}$	$1 \frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	$1 \frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	0,03	$1 \frac{13}{16}$	$\frac{3}{4}$	0,03	$1 \frac{13}{16}$	$\frac{11}{16}$	0,062
$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{7}{8}$	$\frac{27}{32}$	$1 \frac{7}{8}$	$\frac{27}{32}$	0,03	2	$\frac{27}{32}$	0,03	2	$\frac{25}{32}$	0,062
$1 \frac{3}{8}$	$2 \frac{1}{16}$	$\frac{29}{32}$	$2 \frac{1}{16}$	$\frac{29}{32}$	0,03	$2 \frac{3}{16}$	$\frac{29}{32}$	0,03	$2 \frac{3}{16}$	$\frac{27}{32}$	0,062
$1 \frac{1}{2}$	$2 \frac{1}{4}$	1	$2 \frac{1}{4}$	1	0,03	$2 \frac{3}{8}$	1	0,03	$2 \frac{3}{8}$	$\frac{15}{16}$	0,062
Medida nominal, mm											
M5	8	3,58	8	3,58	0,2						
M6			10	4,38	0,3						
M8			13	5,68	0,4						
M10			16	6,85	0,4						
M12			18	7,95	0,6	21	7,95	0,6			
M14			21	9,25	0,6	24	9,25	0,6			
M16			24	10,75	0,6	27	10,75	0,6	27	10,75	0,6
M20			30	13,40	0,8	34	13,40	0,8	34	13,40	0,8
M24			36	15,90	0,8	41	15,90	0,8	41	15,90	1,0
M30			46	19,75	1,0	50	19,75	1,0	50	19,75	1,2
M36			55	23,55	1,0	60	23,55	1,0	60	23,55	1,5

Tabela A-30

Dimensões de parafusos de calota hexagonal e parafusos hexagonais pesados [W = largura entre superfícies planas paralelas; H = altura da cabeça. Veja Figura na Tabela A-29]

<i>Medida nominal, in</i>	<i>Raio mínimo de filete</i>	<i>Calota W</i>	<i>Tipo de parafuso Pesado W</i>	<i>Altura H</i>
$\frac{1}{4}$	0,015	$\frac{7}{16}$		$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	0,015	$\frac{1}{2}$		$\frac{13}{64}$
$\frac{3}{8}$	0,015	$\frac{9}{16}$		$\frac{15}{64}$
$\frac{7}{16}$	0,015	$\frac{5}{8}$		$\frac{9}{32}$
$\frac{1}{2}$	0,015	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	0,020	$\frac{15}{16}$	$1\frac{1}{16}$	$\frac{25}{64}$
$\frac{3}{4}$	0,020	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{15}{32}$
$\frac{7}{8}$	0,040	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{7}{16}$	$\frac{35}{64}$
1	0,060	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{39}{64}$
$1\frac{1}{4}$	0,060	$1\frac{7}{8}$	2	$\frac{25}{32}$
$1\frac{3}{8}$	0,060	$2\frac{1}{16}$	$2\frac{3}{16}$	$\frac{27}{32}$
$1\frac{1}{2}$	0,060	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{8}$	$\frac{15}{16}$
<i>Medida nominal, mm</i>				
M5	0,2	8		3,65
M6	0,3	10		4,15
M8	0,4	13		5,50
M10	0,4	16		6,63
M12	0,6	18	21	7,76
M14	0,6	21	24	9,09
M16	0,6	24	27	10,32
M20	0,8	30	34	12,88
M24	0,8	36	41	15,44
M30	1,0	46	50	19,48
M36	1,0	55	60	23,38

Tabela A-31 Dimensões de porcas hexagonais

Medida nominal, in	Largura W	Altura H		
		Hexagonal regular	Espessa ou de fenda	JAM
$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{4}$	$1 \frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$
$\frac{7}{8}$	$1 \frac{5}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$
1	$1 \frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	1	$\frac{35}{64}$
$1 \frac{1}{8}$	$1 \frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1 \frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$
$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{7}{8}$	$1 \frac{1}{16}$	$1 \frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$
$1 \frac{3}{8}$	$2 \frac{1}{16}$	$1 \frac{11}{64}$	$1 \frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$
$1 \frac{1}{2}$	$2 \frac{1}{4}$	$1 \frac{9}{32}$	$1 \frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$

Medida nominal, mm				
M5	8	4,7	5,1	2,7
M6	10	5,2	5,7	3,2
M8	13	6,8	7,5	4,0
M10	16	8,4	9,3	5,0
M12	18	10,8	12,0	6,0
M14	21	12,8	14,1	7,0
M16	24	14,8	16,4	8,0
M20	30	18,0	20,3	10,0
M24	36	21,5	23,9	12,0
M30	46	25,6	28,6	15,0
M36	55	31,0	34,7	18,0

Tabela A-32 Dimensões básicas de arruelas planas do padrão americano [todas as dimensões em polegadas]

Medida do fixador	Medida da arruela	Diâmetro		Espessura
		ID	OD	
#6	0,138	0,156	0,375	0,049
#8	0,164	0,188	0,438	0,049
#10	0,190	0,219	0,500	0,049
$\frac{3}{16}$	0,188	0,250	0,562	0,049
#12	0,216	0,250	0,562	0,065
$\frac{1}{4}$ N	0,250	0,281	0,625	0,065
$\frac{1}{4}$ W	0,250	0,312	0,734	0,065
$\frac{5}{16}$ N	0,312	0,344	0,688	0,065
$\frac{5}{16}$ W	0,312	0,375	0,875	0,083
$\frac{3}{8}$ N	0,375	0,406	0,812	0,065
$\frac{3}{8}$ W	0,375	0,438	1,000	0,083
$\frac{7}{16}$ N	0,438	0,469	0,922	0,065
$\frac{7}{16}$ W	0,438	0,500	1,250	0,083
$\frac{1}{2}$ N	0,500	0,531	1,062	0,095
$\frac{1}{2}$ W	0,500	0,562	1,375	0,109
$\frac{9}{16}$ N	0,562	0,594	1,156	0,095
$\frac{9}{16}$ W	0,562	0,625	1,469	0,109
$\frac{5}{8}$ N	0,625	0,656	1,312	0,095

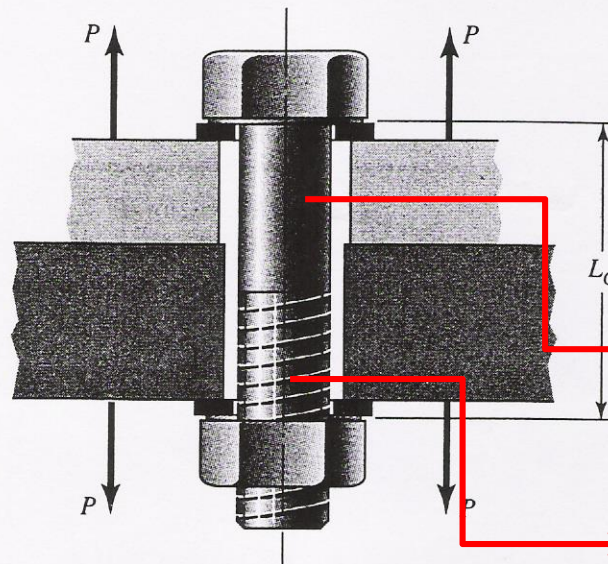
Tabela A-33 Dimensões de arruelas planas métricas [todas as dimensões em milímetros]

Medida da arruela*	Mínimo ID	Máximo OD	Espessura mínima	Medida da arruela*	Mínimo ID	Máximo OD	Espessura mínima
1,6 N	1,95	4,00	0,70	10 N	10,85	20,00	2,30
1,6 R	1,95	5,00	0,70	10 R	10,85	28,00	2,80
1,6 W	1,95	6,00	0,90	10 W	10,85	39,00	3,50
2 N	2,50	5,00	0,90	12 N	13,30	25,40	2,80
2 R	2,50	6,00	0,90	12 R	13,30	34,00	3,50
2 W	2,50	8,00	0,90	12 W	13,30	44,00	3,50
2,5 N	3,00	6,00	0,90	14 N	15,25	28,00	2,80
2,5 R	3,00	8,00	0,90	14 R	15,25	39,00	3,50
2,5 W	3,00	10,00	1,20	14 W	15,25	50,00	4,00
3 N	3,50	7,00	0,90	16 N	17,25	32,00	3,50
3 R	3,50	10,00	1,20	16 R	17,25	44,00	4,00
3 W	3,50	12,00	1,40	16 W	17,25	56,00	4,60
3,5 N	4,00	9,00	1,20	20 N	21,80	39,00	4,00
3,5 R	4,00	10,00	1,40	20 R	21,80	50,00	4,60
3,5 W	4,00	15,00	1,75	20 W	21,80	66,00	5,10
4 N	4,70	10,00	1,20	24 N	25,60	44,00	4,60
4 R	4,70	12,00	1,40	24 R	25,60	56,00	5,10
4 W	4,70	16,00	2,30	24 W	25,60	72,00	5,60
5 N	5,50	11,00	1,40	30 N	32,40	56,00	5,10
5 R	5,50	15,00	1,75	30 R	32,40	72,00	5,60
5 W	5,50	20,00	2,30	30 W	32,40	90,00	6,40
6 N	6,65	13,00	1,75	36 N	38,30	66,00	5,60
6 R	6,65	18,80	1,75	36 R	38,30	90,00	6,40
6 W	6,65	25,40	2,30	36 W	38,30	110,00	8,50
8 N	8,90	18,80	2,30				
8 R	8,90	25,40	2,30				
8 W	8,90	32,00	2,80				

N = estreita; R = regular; W = larga.

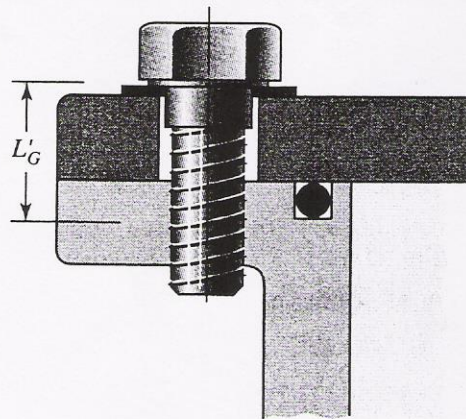
* Mesmas medidas dos parafusos e parafusos de porca.

8-4 Juncões – Rigidez de Fixadores



$$k_d = \frac{A_d E}{l_d}$$

$$k_t = \frac{A_t E}{l_t}$$



8-4 Junções – Rigidez de Fixadores

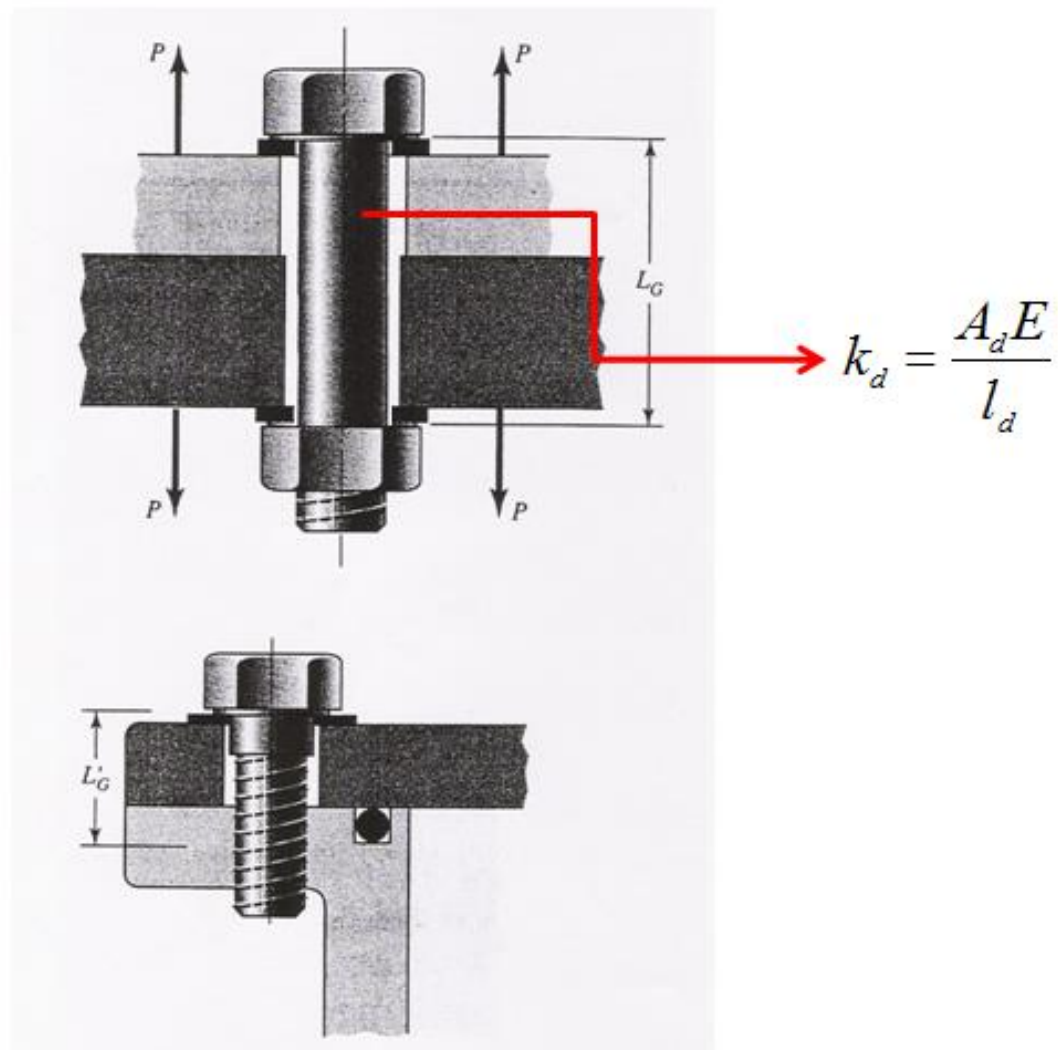
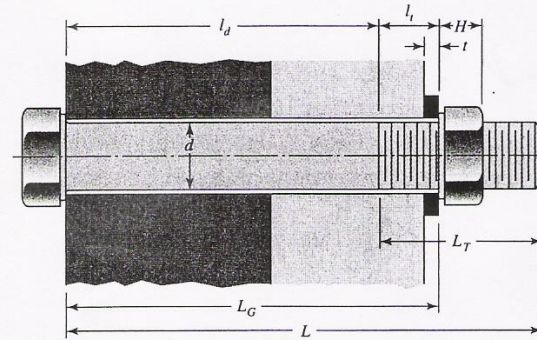
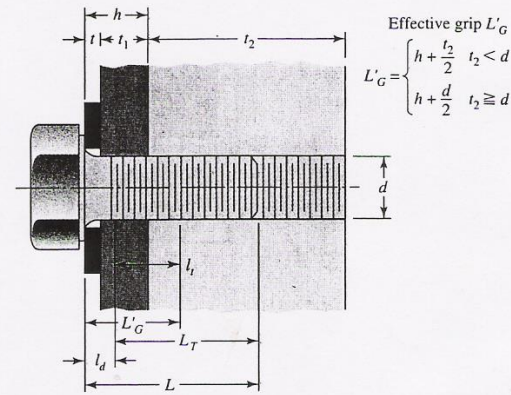


Table 8-7

Suggested Procedure for Finding Fastener Stiffness



(a)



(b) /

Given fastener diameter d
and pitch p or number of threads

Effective grip

Grip is thickness L_G

Washer thickness from
Table A-32 or A-33
Threaded length L_T
Inch series:

$$L_T = \begin{cases} 2D + \frac{1}{4} \text{ in}, & L \leq 6 \text{ in} \\ 2D + \frac{1}{2} \text{ in}, & L > 6 \text{ in} \end{cases}$$

Metric series:

$$L_T = \begin{cases} 2D + 6 \text{ mm}, & L \leq 125, D \leq 48 \text{ mm} \\ 2D + 12 \text{ mm}, & 125 < L \leq 200 \text{ mm} \\ 2D + 25 \text{ mm}, & L > 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Fastener length: $L > L_G + H$

Length of useful unthreaded
portion: $l_d = L - L_T$
Length of useful threaded
portion: $l_t = L_G - l_d$

Round up using Table A-17*

Area of unthreaded portion:

$$A_d = \pi d^2 / 4$$

Area of threaded portion:

A_t , Table 8-1 or 8-2

Fastener stiffness:

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

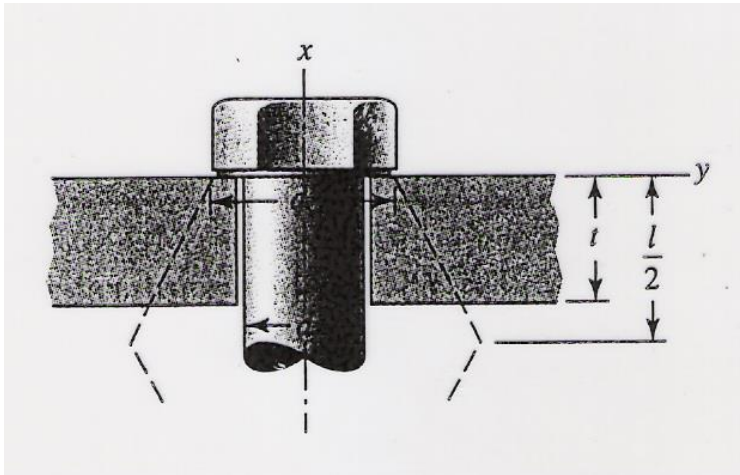
$$L'_G = \begin{cases} h + \frac{t_2}{2} & t_2 < d \\ h + \frac{d}{2} & t_2 \geq d \end{cases}$$

$$L'_G = \begin{cases} h + t_2/2, & t_2 < d \\ h + d/2, & t_2 > d \end{cases}$$

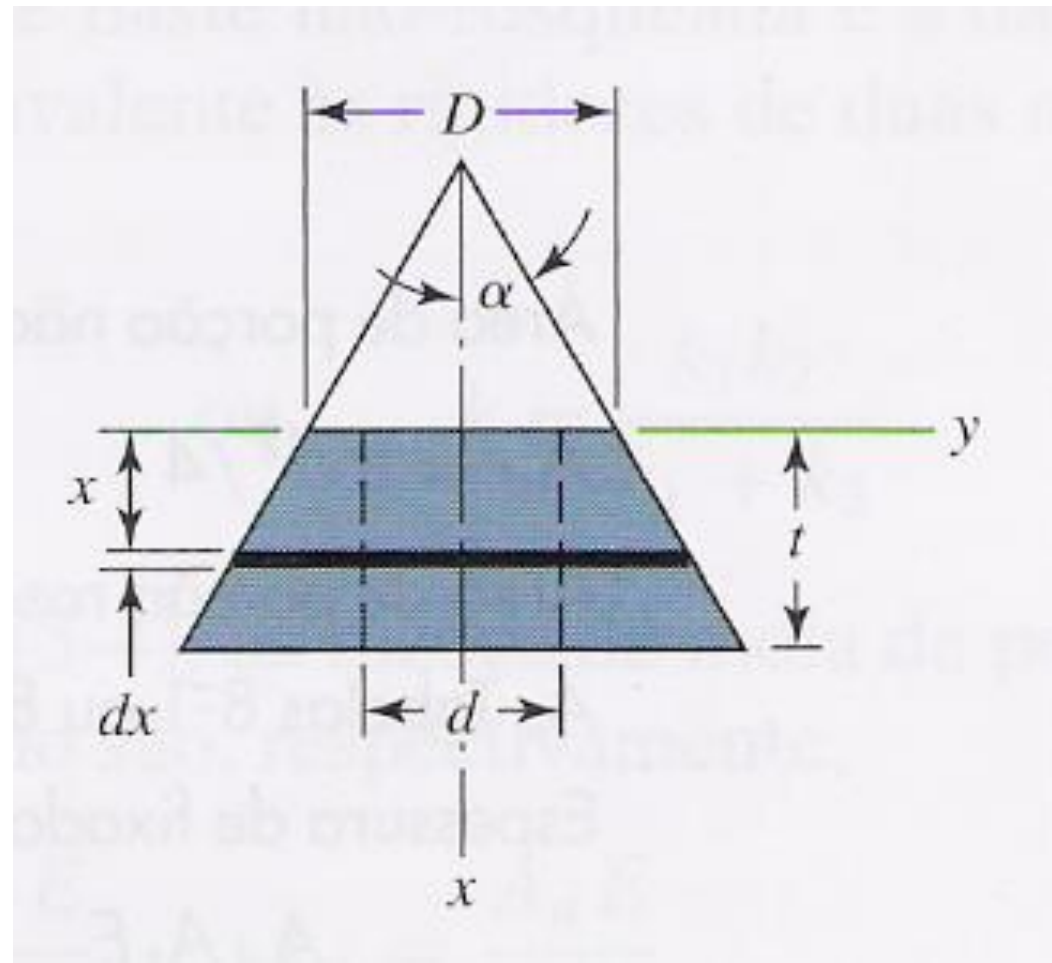
Fastener length: $L > h + 1.5d$

Length of useful unthreaded
portion: $l_d = L - L_T$
Length of useful threaded
portion: $l_t = L'_G - l_d$

8-5 Juncões – Rigidez de Membro



$$d\delta = \frac{P dx}{EA} \quad (a)$$



A área do elemento é

$$\begin{aligned} A &= \pi(r_o^2 - r_i^2) = \pi \left[\left(x \tan \alpha + \frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] \\ &= \pi \left(x \tan \alpha + \frac{D+d}{2} \right) \left(x \tan \alpha + \frac{D-d}{2} \right) \end{aligned} \quad (b)$$

Substituindo isso na Equação (a) e integrando, obtemos uma contração total de

$$\delta = \frac{P}{\pi E} \int_0^t \frac{dx}{[x \tan \alpha + (D+d)/2][x \tan \alpha + (D-d)/2]} \quad (c)$$

Utilizando uma tabela de integrais, encontrarmos o resultado valendo

$$\delta = \frac{P}{\pi E d \tan \alpha} \ln \frac{(2t \tan \alpha + D - d)(D + d)}{(2t \tan \alpha + D + d)(D - d)} \quad (d)$$

Logo, a razão de mola ou rigidez desse frusto é

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{\pi E d \tan \alpha}{\ln \frac{(2t \tan \alpha + D - d)(D + d)}{(2t \tan \alpha + D + d)(D - d)}} \quad (8-19)$$

Com $\alpha = 30^\circ$, esta torna-se

$$k = \frac{0,5774\pi E d}{\ln \frac{(1,155t + D - d)(D + d)}{(1,155t + D + d)(D - d)}} \quad (8-20)$$

Com $l = 2t$ e $k_m = k/2$ e $D = d_w = 1,5 d$, eq. 8-19 torna-se

$$k_m = \frac{\pi E d \tan \alpha}{2 \ln \frac{(l \tan \alpha + d_w - d)(d_w + d)}{(l \tan \alpha + d_w + d)(d_w - d)}} \quad (8-21)$$

$$k_m = \frac{0,5774\pi E d}{2 \ln \left(5 \frac{0,5774l + 0,5d}{0,5774l + 2,5d} \right)} \quad (8-22)$$

$$\frac{k_m}{Ed} = \frac{\pi \tan \alpha}{2 \ln \left[\frac{(l \tan \alpha + d_w - d)(d_w + d)}{(l \tan \alpha + d_w + d)(d_w - d)} \right]}$$

$$\frac{k_m}{Ed} = A \exp(Bd/l)$$

8-23

Table 8-8

Stiffness Parameters
of Various Member
Materials[†]

[†]Source: J. Wileman, M.
Choudury, and I. Green,
"Computation of Member
Stiffness in Bolted
Connections," *Trans. ASME,
J. Mech. Design*, vol. 113,
December 1991,
pp. 432-437.

Material Used	Poisson Ratio	Elastic GPa	Modulus Mpsi	A	B
Steel	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminum	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Copper	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Gray cast iron	0.21 ¹	100	14.5	0.778 71	0.616 16
General expression				0.789 52	0.629 14

Figure 8-16

The dimensionless plot of stiffness versus aspect ratio of the members of a bolted joint, showing the relative accuracy of methods of Rotscher, Mischke, and Motosh, compared to a finite-element analysis (FEA) conducted by Wileman, Choudury, and Green.

