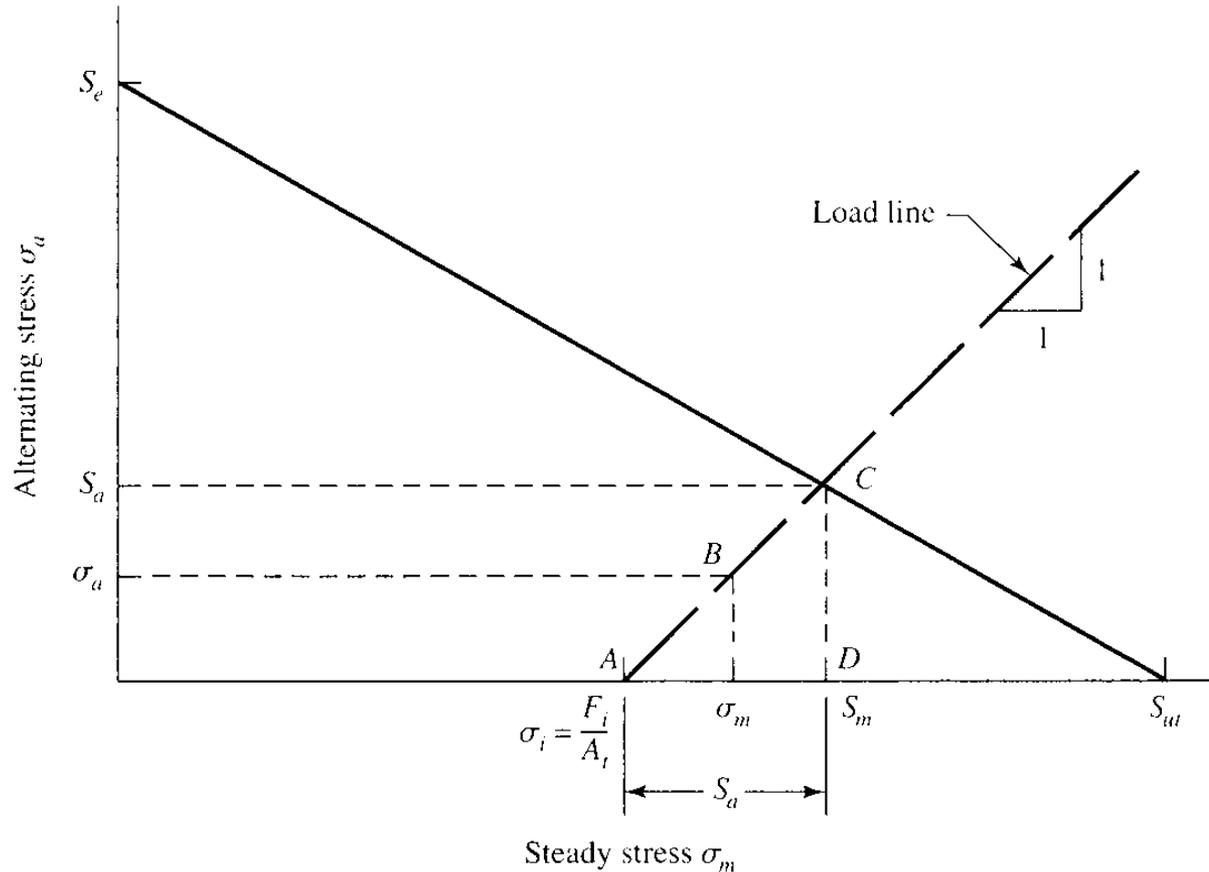


8.11 Fadiga em parafusos sujeitos a tração

Fator de concentração de tensão

Grade or Class	Size Range	Endurance Strength
SAE 5	$\frac{1}{4}$ -1 in	18.6 kpsi
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$ in	16.3 kpsi
SAE 7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ in	20.6 kpsi
SAE 8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ in	23.2 kpsi
ISO 8.8	M16-M36	129 MPa
ISO 9.8	M1.6-M16	140 MPa
ISO 10.9	M5-M36	162 MPa
ISO 12.9	M1.6-M36	190 MPa

Diagrama de fadiga



$$F_a = (F_{\max} - F_{\min})/2 = (F_b - F_i)/2 \quad \sigma_a = \frac{F_b - F_i}{2A_t} = \frac{(CP + F_i) - F_i}{2A_t} = \frac{CP}{2A_t}$$

$$\sigma_m = \frac{CP}{2A_t} + \frac{F_i}{A_t}$$

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i$$

Goodman:

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$$

Gerber:

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

ASME-elliptic:

$$\left(\frac{S_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_p}\right)^2 = 1$$

Goodman:

$$S_a = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_i)}{S_{ut} + S_e}$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

Gerber:

$$S_a = \frac{1}{2S_e} \left[S_{ut} \sqrt{S_{ut}^2 + 4S_e(S_e + \sigma_i)} - S_{ut}^2 - 2\sigma_i S_e \right]$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

ASME-elliptic:

$$S_a = \frac{S_e}{S_p^2 + S_e^2} \left(S_p \sqrt{S_p^2 + S_e^2 - \sigma_i^2} - \sigma_i S_e \right)$$

$$S_m = S_a + \sigma_i$$

$$n_f = \frac{S_a}{\sigma_a}$$

Goodman:

$$\sigma_a = \frac{F_b - F_i}{2A_t} = \frac{(CP + F_i) - F_i}{2A_t} = \frac{CP}{2A_t} \quad \& \quad \sigma_i = F_i/A_t$$



$$n_f = \frac{2S_e(S_{ut}A_t - F_i)}{CP(S_{ut} + S_e)}$$

- Sem pré-carga: $C = 1$ e $F_i = 0$

$$n_{f0} = \frac{2S_e S_{ut} A_t}{P(S_{ut} + S_e)}$$

Limite superior: $F_i \leq (1 - C)S_{ut} A_t$

Coeficiente de segurança contra o escoamento:

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_m + \sigma_a}$$

EXEMPLO

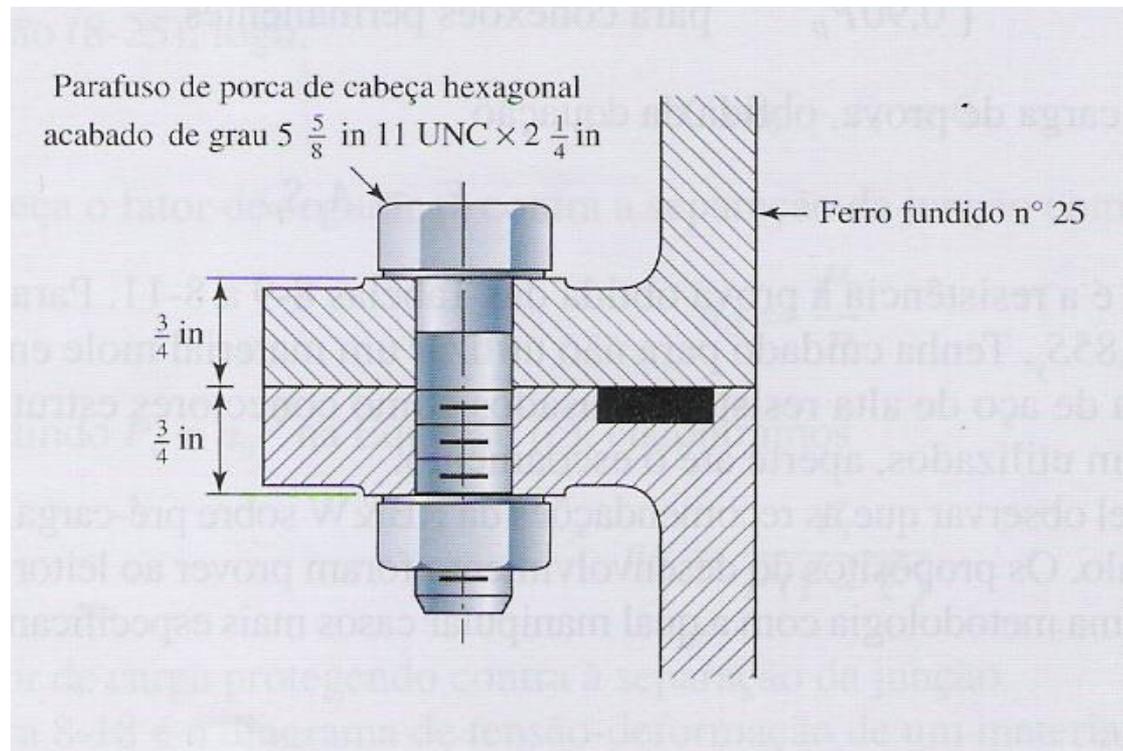
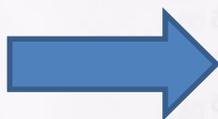


Tabela A-31 Dimensões de porcas hexagonais

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

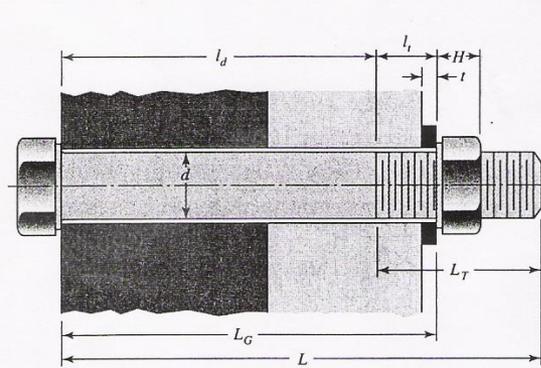
$$L = \frac{35}{64} + 1,50 + \frac{2}{22} = 2,229''$$



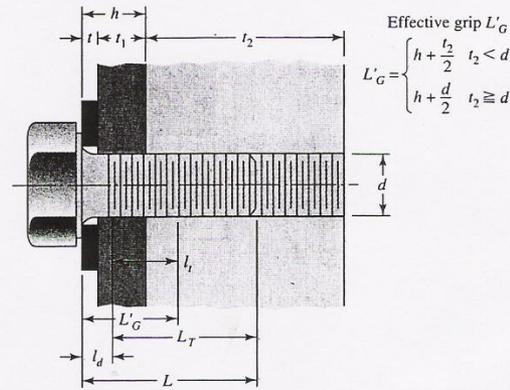
$$L = 2\frac{1}{4}''$$

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: $L > L_G + H$

Fastener length: $L > h + 1.5d$

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

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

Area of unthreaded portion:

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

Area of threaded portion:

A_t , Table 8-1 or 8-2

Fastener stiffness:

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

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

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

$$L_T = 2(0,625) + 0,25 = 1,50''$$

$$l_d = 2,25 - 1,50 = 0,75''$$

$$l_t = L_G - l_d = 0,75''$$

Designação do tamanho	Diâmetro maior nominal in	Série grossa - UNC			Série fina - UNF		
		Roscas por polegada N	Áreas de tensão de tração A_t , in ²	Área do diâmetro menor A_r , in ²	Roscas por polegada N	Áreas de tensão de tração A_t , in ²	Área do diâmetro menor A_r , in ²
0	0,0600				80	0,001 80	0,001 51
1	0,0730	64	0,002 63	0,002 18	72	0,002 78	0,002 37
2	0,0860	56	0,003 70	0,003 10	64	0,003 94	0,003 39
3	0,0990	48	0,004 87	0,004 06	56	0,005 23	0,004 51
4	0,1120	40	0,006 04	0,004 96	48	0,006 61	0,005 66
5	0,1250	40	0,007 96	0,006 72	44	0,008 80	0,007 16
6	0,1380	32	0,009 09	0,007 45	40	0,010 15	0,008 74
8	0,1640	32	0,014 0	0,011 96	36	0,014 74	0,012 85
10	0,1900	24	0,017 5	0,014 50	32	0,020 0	0,017 5
12	0,2160	24	0,024 2	0,020 6	28	0,025 8	0,022 6
$\frac{1}{4}$	0,2500	20	0,031 8	0,026 9	28	0,036 4	0,032 6
$\frac{5}{16}$	0,3125	18	0,052 4	0,045 4	24	0,058 0	0,052 4
$\frac{3}{8}$	0,3750	16	0,077 5	0,067 8	24	0,087 8	0,080 9
$\frac{7}{16}$	0,4375	14	0,106 3	0,093 3	20	0,118 7	0,109 0
$\frac{1}{2}$	0,5000	13	0,141 9	0,125 7	20	0,159 9	0,148 6
$\frac{9}{16}$	0,5625	12	0,182	0,162	18	0,203	0,189
$\frac{5}{8}$	0,6250	11	0,226	0,202	18	0,256	0,240
$\frac{3}{4}$	0,7500	10	0,334	0,302	16	0,373	0,351
$\frac{7}{8}$	0,8750	9	0,462	0,419	14	0,509	0,480
1	1,0000	8	0,606	0,551	12	0,663	0,625
$1\frac{1}{4}$	1,2500	7	0,969	0,890	12	1,073	1,024
$1\frac{1}{2}$	1,5000	6	1,405	1,294	12	1,581	1,521

Esta tabela foi compilada a partir da ANSI B1.1-1974. O diâmetro menor foi encontrado a partir da equação $d_r = d - 1,299\ 038p$, e o diâmetro de passo, a partir da equação $d_m = d - 0,649\ 519p$. A média do diâmetro de passo e do diâmetro menor foi usada para computar a área de tensão de tração.

$$A_t = 0,226''$$

$$A_d = \frac{\pi(0,625)^2}{4} = 0,3068in^2$$

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} = 5,31Mpsi$$

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

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



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

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

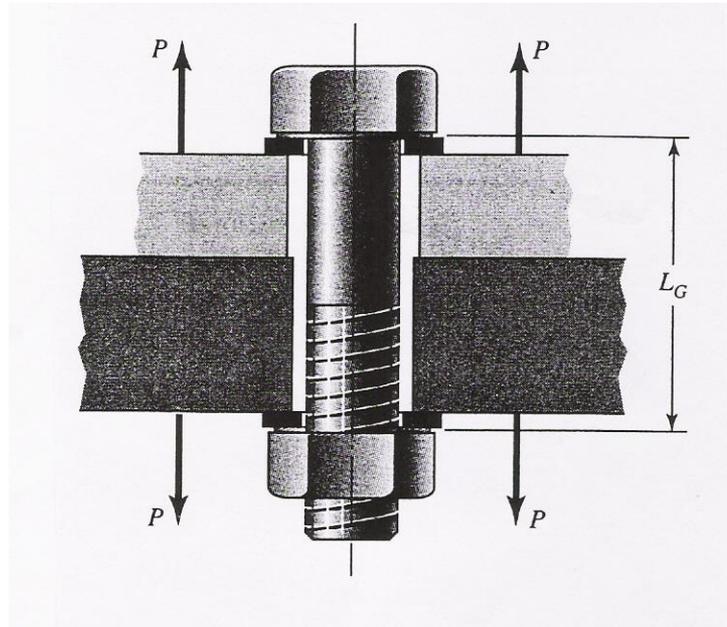
$$A_t = 0,226''$$

$$A_d = \frac{\pi(0,625)^2}{4} = 0,3068in^2$$

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d} = 5,31Mlbf / in$$

$$k_m = \frac{0,577 \pi(14)(0,625)}{2 \ln \left[5 \frac{0,5774(1,5) + 0,5(0,625)}{0,5574(1,5) + 2,5(0,625)} \right]} = 8,95Mlbf / in$$

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

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

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


$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{5,31}{5,31 + 8,95} = 0,38$$

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

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

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	

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

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

$$F_p = A_t S_p$$

$$N = \frac{0,368(2)(36)}{85(0,226) - 14,4} = 5,52 \rightarrow 6 \text{ parafusos}$$

$$n_0 = \frac{14,4}{\frac{36}{6}(1 - 0,368)} = 3,8 \Rightarrow \text{ok!}$$

Verificação da necessidade de pré-carga

$$F_i \leq (1 - C)S_{ut}A_t = (1 - 0,368)120 = 75,84$$

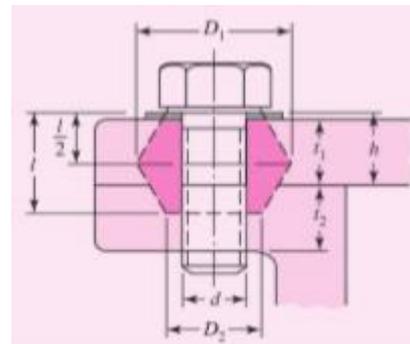
$$F_i = 14,4kip \quad \rightarrow \quad \text{Ok!}$$

EXEMPLO 8-5

A Figura 8-21 mostra uma conexão usando parafusos de haste totalmente rosqueada. A junção está sujeita a uma força flutuante cujo valor máximo é 5 kip por parafuso. Os dados requeridos são: parafuso rosqueado totalmente 5/8 in-11 NC, SAE 5; arruela de aço endurecido, com espessura $t_w = \frac{1}{16}$ in; chapa de aço de cobertura com espessura $t_1 = \frac{5}{8}$ in, $E_s = 30$ Mpsi; base de ferro fundido com espessura $t_2 = \frac{5}{8}$ in, $E_{ci} = 16$ Mpsi.

(a) Encontre k_b , k_m e C usando as suposições dadas na legenda da Figura 8-21.

(b) Encontre todos os fatores de segurança e explique o que eles significam.



Exemplo 8.5 do Shigley, 8ª. Ed.

A solução completa está no livro. Estude-a e faça o mesmo usando um parafuso métrico equivalente mais próximo.