

7.3.2. Método Grinnell

As tabelas Grinnell, ou, como originalmente denominadas, *tables of common shapes*, foram criadas para estimar tensões e forças geradas pela expansão térmica com um esforço mínimo de cálculo. Estas tabelas, reproduzidas no Anexo 11, compreendem 15 configurações básicas bidimensionais e tridimensionais de sistemas de tubulação, para as quais seu uso oferece resultados com rapidez e relativa precisão. A exatidão das estimativas das tensões será diminuída se o valor do fator de intensificação β correspondente às curvas empregadas for maior que 1 (Equações 7-208 a 7-211). Os autores das tabelas criaram procedimentos que minimizam ou eliminam este inconveniente, mas, como na prática estes procedimentos levam a cálculos muito parecidos com o método de análise pelo centróide, recomenda-se que na necessidade de maior exatidão se recorra diretamente a este método de análise simplificada.

Para quem deseja se aprofundar neste assunto, recomenda-se a leitura do capítulo "Expansion and stresses", do livro *Piping Design and Engineering*, referenciado ao final do capítulo.

$$\beta = \frac{2 \cdot K}{3} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \lambda^2 + 5}{18}} \quad \text{para } \lambda \leq 1,47 \quad (7-208)$$

$$\beta = \frac{12 \cdot \lambda^2 - 2}{12 \cdot \lambda^2 + 1} \quad \text{para } \lambda > 1,47 \quad (7-209)$$

em que

$$K = \frac{12 \cdot \lambda^2 + 10}{12 \cdot \lambda^2 + 1} \quad (7-210)$$

e

$$\lambda = \frac{4 \cdot t \cdot R}{(D - t)^2} \quad (7-211)$$

sendo D o diâmetro externo do tubo, R o raio da curva e t a espessura da parede.

EXEMPLO 7-18 do livro

Considere o sistema bidimensional apresentado na Figura 7-22. Estimar, com o uso das tabelas Grinnell (Anexo 11), as forças e tensões geradas pela expansão térmica, partindo dos seguintes dados: diâmetro nominal de 12 polegadas, *sch standard*; tubos em aço-carbono ASTM A-106 Gr A; temperatura de projeto, 260°C; norma aplicável, ASME B31.3.

Reações

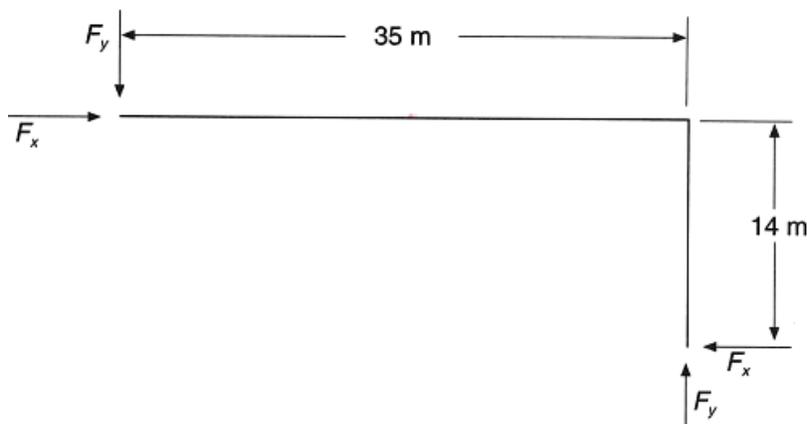


Figura 7-22 Esquema do sistema do Exemplo 7-18.

Através dos Anexos 2 e 8, temos que diâmetro externo $D = 323,85 \text{ mm}$ (12,75 in), momento de inércia $J = 1,1625 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ (273,9 in⁴), coeficiente de expansão térmica linear $e = 3,02 \text{ mm/m}$, módulo de elasticidade a quente $E_h = 181,9 \text{ GPa}$, tensão admissível a quente $S_h = 90,32 \text{ MPa}$, e tensão admissível a frio $S_c = 130,32 \text{ MPa}$. Alguns parâmetros são mostrados convertidos para unidades inglesas porque as tabelas Grinnell foram criadas para trabalhar com estas unidades.

As fórmulas anexas às tabelas empregam também um certo “fator de expansão” c , o qual nada mais é do que o produto do coeficiente de expansão térmica linear e com o módulo de elasticidade a quente E_h e um fator de conversão conveniente:

$$c = 1,02 \times 10^{-6} \cdot e \cdot E_h \quad (7-212)$$

onde E_h deve em pascal. Substituindo $e=3,02\text{mm/m}=3,02 \times 10^{-3}$ e $E_h=181,9 \text{ GPa}=181,9 \times 10^9 \text{ Pa}$ na Equação (7-212), tem-se:

$$c = 1,02 \times 10^{-6} \times 3,02 \times 10^{-3} \times 181,9 \times 10^9 = 560$$

Calcule a razão de aspecto: $L/h=35\text{m}/14\text{m}=2,5$.

Pelo ANEXO 11, escolher a tabela que contem mesma configuração como a figura acima (Figura 7-22), obtemos pela interpolação:

$$k_x=93,7, \quad k_y=19,9 \quad \text{e} \quad k_b=151$$

então, as reações

$$F_x = c \cdot k_x \cdot \frac{J}{L^2} = 560 \times 93,7 \times \frac{273,9(\text{pol}^4)}{(35 \times 3,281)^2(\text{pé}^2)} = 1089,9 \text{ lbf}$$

$$F_y = c \cdot k_y \cdot \frac{J}{L^2} = 560 \times 19,9 \times \frac{273,9(\text{pol}^4)}{(35 \times 3,281)^2(\text{pé}^2)} = 230,7 \text{ lbf}$$

e a tensão máxima de flexão

$$S_b = c \cdot k_b \cdot \frac{D}{L} = 560 \times 151 \times \frac{12,75(\text{pol})}{(35 \times 3,281)(\text{pé})} = 9388,6 \text{ lbf} / \text{pol}^2 = 9388,6 \times 6895 \text{ Pa} \approx 64,7 \text{ MPa}$$

Como a tensão admissível é

$$S_A = f(1,25S_c + 0,25S_h) = 1,0 \times (1,25 \times 130,32 \text{ MPa} + 0,25 \times 90,32 \text{ MPa}) = 185,48 \text{ MPa}$$

Então o sistema está aprovado quanto à expansão térmica.

EXEMPLO 7-19 do livro

Considere o sistema bidimensional apresentado na Figura 7-23. Estimar, pelo uso das tabelas Grinnell (Anexo 11), a dimensão do membro h , de modo que a maior tensão gerada pela expansão térmica não ultrapasse 30% do valor da tensão admissível S_A indicada pela norma ASME B31.3 para a temperatura de projeto. Dados: diâmetro nominal de 12 polegadas, *sch standard*; tubos em aço-carbono ASTM A-106 Gr A; temperatura de projeto, 260°C; $S_A = 185,5 \text{ MPa}$ (26.900 lbf/in²).

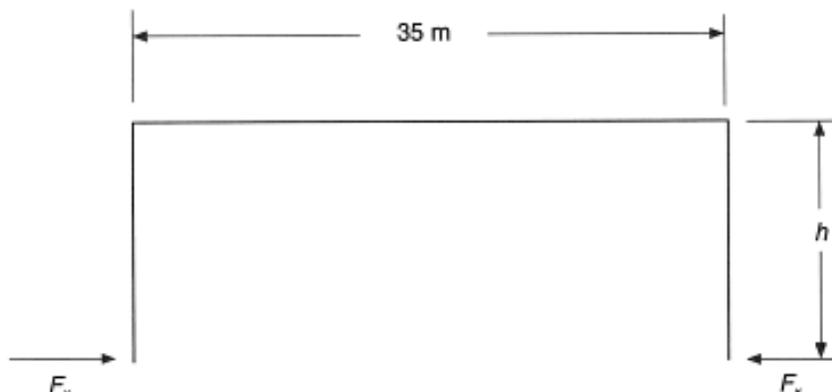


Figura 7-23 Esquema do sistema do Exemplo 7-19.

Tal como no Exemplo 7-18, temos diâmetro externo $D = 323,85 \text{ mm}$ (12,75 in), momento de inércia $J = 1,1625 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ (273,9 in⁴), coeficiente de expansão térmica linear $e = 3,02 \text{ mm/m}$, módulo de elasticidade a quente $E_h = 181,9 \text{ GPa}$, $L = 35 \text{ m}$ (114,8 ft). Estes dados permitem determinar o “fator de expansão” c :

$$c = 1,02 \times 10^{-6} \cdot e \cdot E_h \approx 560 \quad (7-217)$$

No Anexo 11 é selecionada a tabela **U shape – equal legs**, correspondente ao esquema da Figura 7-23. Nesta tabela, temos a equação para estimar a tensão de flexão resultante da expansão térmica:

$$S_B = k_b \cdot \frac{c \cdot D}{L} \quad (7-218)$$

Sabendo que $S_B = 0,30 \times 26.900 \text{ lbf/in}^2$, e remanejando os coeficientes de modo a isolar k_b , temos:

$$k_b = S_B \cdot \frac{L}{c \cdot D} = 0,30 \cdot 26.900 \cdot \frac{114,8}{560.12,75} = 129,8 \quad (7-219)$$

Interpolando na tabela selecionada, verifica-se que $L/h = 3,58$ e $k_x = 94,54$. Sabendo que $L = 35 \text{ m}$, temos então $h = 9,78 \text{ m}$, e $F_x = 1100 \text{ lbf}$ ou 4896 N .

QUESTÕES

19.

Considere o sistema bidimensional apresentado na Figura *abaixo*. Estimar, com o uso das tabelas Grinnell (Anexo 11), as forças e tensões geradas pela expansão térmica, partindo dos seguintes dados: diâmetro nominal de 12 polegadas, *sch standard*; tubos em aço-carbono ASTM A-106 Gr A; temperatura de projeto, 260°C ; norma aplicável, ASME B31.3.

As dimensões são $h=4\text{m}$, $h_1=2\text{m}$ e $L=10\text{m}$.

