

Marcelo Silveira Pereira
Mauricio Vicente **Donadon**

EST-25
Estruturas Aeroespaciais II
Lista de Exercícios I

Brasil
06/11/2018

1 Exercícios Resolvidos

Questão

Considere uma placa de liga Al 7075-T6, com dimensões $12'' \times 3'' \times 0,04''$, submetida a um carregamento uni-axial no sentido de seu comprimento, simplesmente apoiada nos lados carregados e engastada nos lados descarregados. Considere que os lados descarregados são livres para se deslocar no sentido transversal. Nestas condições:

- a) Qual é a tensão de flambagem?
- b) Qual é a largura efetiva quando a tensão de bordo é 35 ksi?
- c) Qual é a tensão média de falha?

Dados: $E = 10.500 \text{ ksi}$, $\nu_e = 0,3$, $F_{0.7} = 70 \text{ ksi}$, $F_{cy} = 67 \text{ ksi}$, $n = 9,2$

Solução

Solução a)

Para o cálculo da tensão de flambagem, deve-se seguir as seguintes etapas abaixo:

1 - Cálculo de tensão de flambagem elástica

Com base em eq. 3.32 em Donadon (2015a), tem-se:

$$\sigma_{cr,e} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \nu_e^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (1.1)$$

Dessa forma, com base nas propriedades fornecidas na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,e} &= k \frac{\pi^2 \times 10.500}{12(1 - 0,3^2)} \left(\frac{0,04}{3}\right)^2 \\ \sigma_{cr,e} &= 1,687 \times k \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Com base na Fig. 5-9 em Donadon (2015a), tem-se $k = 7,1$, logo;

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,e} &= 1,687 \times 7,1 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,e} &= 11,98 \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.3)$$

2 - Correção de plasticidade

Após a obtenção de $\sigma_{cr,e}$, fazemos a correção de plasticidade.

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,p} &= \eta_p \times \sigma_{cr,e} \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,p} &= 11,98 \times \eta_p \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Para isso, utilizamos o caso D da tabela 5-1 em Donadon (2015a). Logo, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,p} &= 11,98 \times 1,0 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,p} &= 11,98 \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Tal resultado já era esperado, uma vez que o valor de $\sigma_{cr,e}$ estava muito abaixo de F_{cy} , indicando que $\sigma_{cr,e}$ também estaria abaixo de F_p (limite de proporcionalidade).

3 - Correção de Clad

Após a obtenção de $\sigma_{cr,p}$, fazemos a correção de clad.

$$\begin{aligned} \sigma_{cr} &= \eta_c \times \sigma_{cr,p} \text{ ksi} \\ \sigma_{cr} &= 11,98 \times \eta_c \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Como a placa não apresenta clad, tem-se:

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= 11,98 \times 1,0 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr} &= 11,98 \text{ ksi}\end{aligned}\tag{1.7}$$

Resultado

Com base no procedimento acima, tem-se a tensão de flambagem da placa:

$$\sigma_{cr} = 11,98 \text{ ksi}\tag{1.8}$$

Solução b)

Como caráter didático, iremos encontrar a largura efetiva através dos vários métodos presentes em Donadon (2015b). Contudo, cabe ao engenheiro, em uma situação real, decidir qual o melhor método a ser utilizado com base no seu julgamento de engenharia.

1 - Método de Koiter

Com base em eq. 1.2 em Donadon (2015b), tem-se:

$$b_e = b \left[1,2 \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_e} \right)^{0,4} - 0,65 \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_e} \right)^{0,8} + 0,45 \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_e} \right)^{1,2} \right] \quad (1.9)$$

Logo, substituindo o valor encontrado em (1.8) junto com o valor de σ_e fornecido na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= b \left[1,2 \left(\frac{11,98}{35} \right)^{0,4} - 0,65 \left(\frac{11,98}{35} \right)^{0,8} + 0,45 \left(\frac{11,98}{35} \right)^{1,2} \right] \\ b_e &= 0,63 \times b \\ b_{e,Koiter} &= 1,89'' \end{aligned} \quad (1.10)$$

2 - Método de Marguerre

Com base em eq. 1.3 em Donadon (2015b), tem-se:

$$b_e = b \left[0,19 + 0,81 \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_e} \right)^{0,5} \right] \quad (1.11)$$

Logo, substituindo o valor encontrado em (1.8) junto com o valor de σ_e fornecido na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= b \left[0,19 + 0,81 \left(\frac{11,98}{35} \right)^{0,5} \right] \\ b_e &= 0,66 \times b \\ b_{e,Marguerre} &= 1,99'' \end{aligned} \quad (1.12)$$

3 - Argyris e Dunne

Com base em Fig. 1-4 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}} = \frac{35}{11,98} = 2,92 \rightarrow \frac{b_e}{b} = 0,67 \quad (1.13)$$

Logo, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= 0,67 \times b \\ b_{e,Argyris} &= 2,01'' \end{aligned} \quad (1.14)$$

4 - Método de von Karman

Com base em eq. 1.5 em Donadon (2015b), tem-se:

$$b_e = 2,52t\sqrt{\frac{\eta E}{\sigma_e}} \quad (1.15)$$

Logo, substituindo o valor de σ_e fornecido na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= 2,52 \times 0,04 \times \sqrt{\frac{10500 \times \eta}{35}} \\ b_e &= 1,75 \times \sqrt{\eta} \end{aligned} \quad (1.16)$$

Com base em eq. 1.10 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= 1,75 \times \sqrt{0.99} \\ b_{e,Karman} &= 1,74'' \end{aligned} \quad (1.17)$$

5 - Método de Niu

Com base em Fig. 1-5 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{b}{t} = \frac{3}{0.04} = 75 \rightarrow K_c = 5,41 \quad (1.18)$$

Logo, com base em eq. 1.7 em Donadon (2015b) tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= t\sqrt{\frac{K_c E}{\sigma_e}} \\ b_e &= 0,04 \times \sqrt{\frac{10500 \times 5,41}{35}} \\ b_{e,Niu} &= 1,61'' \end{aligned} \quad (1.19)$$

Resultado

A fim de verificarmos a variação dos valores de b_e obtidos por cada método, construímos as tabelas abaixo.

Tabela 1 – Valores de b_e obtidos por cada método.

Método	Koiter	Marguerre	Argyris e Dunne	von Karman	Niu	Média
Valor	1,89''	1,99''	2,01''	1,74''	1,61''	1,84''
Diferença	2,27%	7,75%	8,75%	-5,95%	-12,8''	

Note que, conforme esperado, a diferença de valores de b_e está na faixa 10% quando comparado a média.

É importante salientar, todavia, que as fórmulas usadas foram elaboradas com base em um conjunto de hipóteses que podem não ser satisfeitas dependendo do problema que o engenheiro esteja resolvendo. Dessa forma, apesar da diferença não ser significativa, cabe ao engenheiro decidir qual o melhor método a ser empregado no seu problema.

Solução c)

Como caráter didático, iremos encontrar a tensão média de falha através dos vários métodos presentes em Donadon (2015b). Contudo, cabe ao engenheiro, em uma situação real, decidir qual o melhor método a ser utilizado com base no seu julgamento de engenharia.

1 - Método de von Karman

Sabe-se, com base em eq. 1.15 em Donadon (2015b), que a largura efetiva de uma placa na falha é:

$$b_e = b \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{cy}}} \quad (1.20)$$

Com base no valor encontrado em (1.8) e nos valores fornecidos na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= b \sqrt{\frac{11,98}{67}} \\ b_e &= 0,42 \times b \\ b_{e,Karman} &= 1,27'' \end{aligned} \quad (1.21)$$

Logo a tensão média de falha será:

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{f,Karman} &= \frac{b_e t \sigma_{cy}}{b t} \\ \bar{\sigma}_{f,Karman} &= \frac{b_e \sigma_{cy}}{b} \\ \bar{\sigma}_{f,Karman} &= \frac{1,27 \times 67}{3} \\ \bar{\sigma}_{f,Karman} &= 28,33 \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.22)$$

2 - Método de Winter

Sabe-se, com base em eq. 1.16 em Donadon (2015b), que a largura efetiva de uma placa na falha é:

$$b_e = b \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{cy}}} \left(1 - 0,25 \sqrt{\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{cy}}} \right) \quad (1.23)$$

Com base no valor encontrado em (1.8) e nos valores fornecidos na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} b_e &= b \sqrt{\frac{11,98}{67}} \left(1 - 0,25 \sqrt{\frac{11,98}{67}} \right) \\ b_e &= 0,38 \times b \\ b_{e,Winter} &= 1,13'' \end{aligned} \quad (1.24)$$

Logo a tensão média de falha será:

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_{f,Winter} &= \frac{b_e \sigma_{cy}}{b} \\ \bar{\sigma}_{f,Winter} &= \frac{1,13 \times 67}{3} \\ \bar{\sigma}_{f,Winter} &= 25,33 \text{ ksi}\end{aligned}\tag{1.25}$$

3 - Método de Gerard

Sabe-se, com base em eq. 1.15 em Donadon (2015b), que a tensão média de falha é dada por:

$$\frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} = \begin{cases} \alpha \left(\frac{\sigma_{cy}}{\sigma_{cr}} \right)^n, & \sigma_{cr} \leq \alpha^{1/n} \sigma_{cy} \\ 1, & \sigma_{cr} > \alpha^{1/n} \sigma_{cy} \end{cases}\tag{1.26}$$

Com base na Tabela 1-1 e nos dados fornecidos, tem-se:

$$\frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} = \begin{cases} 0,80 \left(\frac{\sigma_{cy}}{\sigma_{cr}} \right)^{0,58}, & \sigma_{cr} \leq 0,80^{1/0,58} \times 67 \\ 1, & \sigma_{cr} > 0,80^{1/0,58} \times 67 \end{cases}\tag{1.27}$$

Logo,

$$\frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} = \begin{cases} 0,80 \left(\frac{\sigma_{cy}}{\sigma_{cr}} \right)^{0,58}, & \sigma_{cr} \leq 45,60 \\ 1, & \sigma_{cr} > 45,60 \end{cases}\tag{1.28}$$

Com base no valor encontrado em (1.8), tem-se:

$$\begin{aligned}\frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} &= 0,80 \left(\frac{\sigma_{cy}}{\sigma_{cr}} \right)^{0,58} \\ \frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} &= 0,80 \left(\frac{67}{11,98} \right)^{0,58} \\ \frac{\bar{\sigma}_f}{\sigma_{cr}} &= 2,17\end{aligned}\tag{1.29}$$

Logo a tensão média de falha será:

$$\bar{\sigma}_{f, Gerard} = 26,01 \text{ ksi}\tag{1.30}$$

Resultado

A fim de verificarmos a variação dos valores de $\bar{\sigma}_f$ obtidos por cada método, construímos as tabelas abaixo.

Tabela 2 – Valores de $\bar{\sigma}_f$ obtidos por cada método.

Método	von Karman	Winter	Gerard	Média
Valor	28,33 ksi	25,33 ksi	26,01 ksi	26,56 ksi
Diferença	6,67%	-4,61%	-2,06%	

Note que, conforme esperado, a diferença de valores de $\bar{\sigma}_f$ está abaixo de 10% quando comparado a média.

Solução

Solução a)

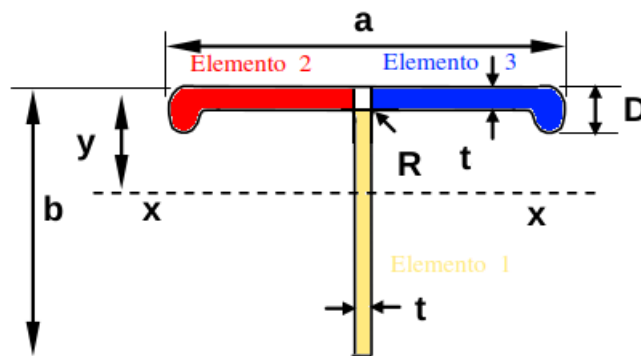
Para o cálculo da tensão de flambagem, deve-se seguir as seguintes etapas abaixo:

1 - Análise dos gráficos fornecidos

Com base nas Fig. 2-4 à Fig. 2-7, verificamos que nenhuma delas fornece uma estrutura com a mesma seção apresentada na questão. Logo, devemos analisar cada elemento constituinte da seção.

2 - Análise dos elementos constituintes da seção

Com base na seção apresentada, observamos que a mesma é constituída de 3 elementos conforme apresentado na figura abaixo.



Assim, analisaremos cada elemento separadamente.

É importante salientar que como os elementos são diferentes entre si, é extremamente provável que os mesmos não flambem ao mesmo tempo. Dessa forma, aquele elemento que flambar primeiro “enxergará” o elemento adjacente como uma restrição elástica.

Apesar de tal restrição poder ser estimada por métodos complexos, adotaremos um caminho mais simples assumindo que todo elemento apenas prover condição de apoio simples para os elementos adjacentes. Como tal caminho é mais conservativo, podemos adotá-lo sem preocupações.

2.1 - Análise do primeiro elemento

Com base nos dados fornecidos, temos que o elemento 1 caracteriza-se por uma flange longo cuja seção tem as seguintes dimensões:

$$\begin{cases} t_f = 1/16 \text{ in} \\ b_f = b - t = 10/16 \text{ in} \\ A_f = b_f t_f = 0,039 \text{ in}^2 \end{cases} \quad (1.31)$$

Logo, com base em eq. 3.32 em Donadon (2015a), tem-se:

$$\sigma_{cr,e} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \nu_e^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (1.32)$$

Dessa forma, com base nas propriedades fornecidas na questão, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,e} &= k \frac{\pi^2 \times 10.500}{12(1 - 0,3^2)} \left(\frac{1}{10}\right)^2 \\ \sigma_{cr,e} &= 94,9 \times k \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.33)$$

Com base em eq. 3-45 em Donadon (2015a), tem-se $k = 0,43$, logo;

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,e} &= 94,9 \times 0,43 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,e} &= 40,38 \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Após a obtenção de $\sigma_{cr,e}$, fazemos a correção de plasticidade.

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,p} &= \eta_p \times \sigma_{cr,e} \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,p} &= 40,38 \times \eta_p \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.35)$$

Para isso, utilizamos o caso A na tabela 5-1 em Donadon (2015a). Logo, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_{cr,p} &= 40,38 \times 1,0 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,p} &= 40,38 \text{ ksi} \end{aligned} \quad (1.36)$$

Como não há alumínio puro, não se faz necessário a correção de Clad. Logo:

$$\sigma_{cr} = 40,38 \text{ ksi} \quad (1.37)$$

2.2 - Análise do segundo elemento

Com base na simetria da seção, temos que o elemento 2 é igual ao elemento 3, logo analisaremos apenas um deles.

Com base nos dados fornecidos, temos que o elemento 2 caracteriza-se por uma flange longo com bulbo cuja seção tem as seguintes dimensões:

$$\begin{cases} t_f = 1/16 \text{ in} \\ b_f = \left(\frac{a}{2} - \frac{t}{2}\right) - \frac{D}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{2t}{D} - \frac{t^2}{D^2}}\right) = 19/32 \text{ in} \\ A_f = 0,046 \text{ in}^2 \end{cases} \quad (1.38)$$

onde

$$\begin{aligned} A_f = & \frac{1}{4}\pi D^2 + t_f b_f + \frac{1}{2}t_f D \left[\sqrt{\frac{2t_f}{D} - \left(\frac{t_f}{D}\right)^2} - 2\sqrt{\frac{t_f}{D} - \left(\frac{t_f}{D}\right)^2} \right] \\ & + \frac{1}{8}D^2 \left[2\left(1 + \frac{2t_f}{D}\right) \sqrt{\frac{t_f}{D} - \left(\frac{t_f}{D}\right)^2} - \arccos\left(1 - \frac{2t_f}{D}\right) \right] \end{aligned} \quad (1.39)$$

Para melhor entender a definição de b_f , observe a Fig. 2-9 em (DONADON, 2015b).

Agora, antes de analisarmos a seção, devemos verificar se o bulbo fornece resistência suficiente fazendo o flange comportar como uma alma.

Logo, com base na Fig 2-11 em (DONADON, 2015b), tem-se que:

$$\begin{aligned} \frac{b_f}{t_f} = \frac{19}{2} = 9,5 \rightarrow \left(\frac{D}{t}\right)_{min} = 4,06 \rightarrow D_{min} \geq 0,25375'' \\ D_{min} > D \end{aligned} \quad (1.40)$$

Logo, o bulbo não provê condição de apoio simples para o flange.

Dessa forma, com base na Fig. 2-13, tem-se:

$$\frac{D}{t_f} = 2 \rightarrow \epsilon_{cr} = 6,08 \times 10^{-3} \quad (1.41)$$

Sabe-se que:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \left[1 + \frac{3}{7} \left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.7}} \right)^{n-1} \right] \quad (1.42)$$

Dessa forma, tem-se:

$$\sigma_{cr} = 61,55 \text{ ksi} \quad (1.43)$$

2.3 - Análise final

Com base nos resultados obtidos tem-se:

$$\begin{cases} \sigma_{cr,elem1} = 40,38 \text{ ksi} \\ \sigma_{cr,elem2} = 61,55 \text{ ksi} \end{cases} \quad (1.44)$$

Logo, tem-se que:

$$\sigma_{cr} = \frac{40,38 \times 0,039 + 2 \times 61,55 \times 0,046}{0,132} = 54,82 \text{ ksi} \quad (1.45)$$

Resultado

Com base, no resultado obtido após analisar os elementos constituintes da seção, tem-se que a tensão de flambagem local é:

$$\sigma_{cr} = 54,82 \text{ ksi} \quad (1.46)$$

Solução b)

Como caráter didático, iremos encontrar a largura efetiva através dos vários métodos presentes em Donadon (2015b). Contudo, cabe ao engenheiro, em uma situação real, decidir qual o melhor método a ser utilizado com base no seu julgamento de engenharia.

1 - Método de Needham

Como a estrutura foi obtida a partir de um processo de extrusão, o método de Needham não pode ser aplicado.

2 - Método Boeing

Fazendo-se uso da divisão em 3 componentes que constituem a seção, podemos avaliar a resistência a falha de cada elemento para poder descobrir a resistência a falha da seção completa.

2.1 - Análise do primeiro elemento

Com base nos dados fornecidos, temos que o elemento 1 caracteriza-se por um elemento com uma borda livre cuja seção tem as seguintes dimensões:

$$\begin{cases} t_f = 1/16 \text{ in} \\ b_f = 10/16 \text{ in} \\ A_f = 0,039 \text{ in}^2 \end{cases} \quad (1.47)$$

Note que a referência de medida para a largura para o cálculo de carga de falha local não é a mesma do cálculo de flambagem local, conforme demonstrado em Fig 2-19 de Donadon (2015b).

Logo, com base em eq. 2.13 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} = B_{10} \left(\frac{10g_f t}{b} \right)^m \quad (1.48)$$

Com base na Tabela 2.1 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} &= 0,063 \left(\frac{10 \times 1,0 \times 1/16}{10/16} \right)^{0,75} \\ \frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} &= 0,063 \\ F_{cc,1} &= 54,01 \text{ in} \end{aligned} \quad (1.49)$$

2.2 - Análise do segundo elemento

Com base nos dados fornecidos, temos que o elemento 2 caracteriza-se por um elemento com um bulbo que não fornece condição de apoio simples ao flange.

$$\begin{cases} t_f = 1/16 \text{ in} \\ b_f = 19/32 \text{ in} \\ A_f = 0,046 \text{ in}^2 \end{cases} \quad (1.50)$$

Conforme avaliado previamente, o bulbo não fornece condição de apoio simples ao flange, logo o segundo elemento será vista como uma estrutura única com as seguintes propriedades:

$$\begin{cases} b_{f,eff} = b_f + D = 23/32 \text{ in} \\ A_{f,eff} = 0,046 \text{ in}^2 \\ t_{f,eff} = \frac{A_{f,eff}}{b_{f,eff}} = 0,064 \text{ in} \end{cases} \quad (1.51)$$

Logo, com base em eq. 2.13 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} = B_{10} \left(\frac{10g_ft}{b} \right)^m \quad (1.52)$$

Com base na Tabela 2.1 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} &= 0,063 \left(\frac{10 \times 1,0 \times 0,064}{23/32} \right)^{0,75} \\ \frac{F_{cc}}{\sqrt{F_{cy}E}} &= 0,058 \\ F_{cc,2} &= 49,51 \text{ in} \end{aligned} \quad (1.53)$$

Como o elemento 2 é igual ao elemento 3, tem-se:

$$F_{cc,3} = 49,51 \text{ in} \quad (1.54)$$

2.3 - Resultado Final

De posse dos valores de F_{cc} para cada elemento, tem-se:

$$F_{cc} = \frac{\sum F_{cc,i} b_i t_i}{\sum b_i t_i} = \frac{\sum F_{cc,i} A_i}{\sum A_i} \quad (1.55)$$

Logo,

$$\begin{aligned} F_{cc} &= \frac{54,01 \times 0,039 + 2(49,51 \times 0,046)}{0,132} \\ F_{cc} &= 50,46 \text{ in} \end{aligned} \quad (1.56)$$

3 - Método de Gerard

Conforme já observamos previamente, os bulbos não fornecem condição de apoio simples para os flanges adjacentes. Dessa forma, a região flange-bulbo não precisa ser considerado como uma região de canto.

Contudo, existe um aumento da rigidez que deve ser considerado.

Com base na eq. 2.15 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{F_{cc}}{F_{cy}} = \beta_g \left[\left(\frac{gt^2}{A} \right) \sqrt{\frac{E}{F_{cy}}} \right]^m \quad (1.57)$$

Devido a variação de espessura provocada pelo bulbo tem-se com base na eq 2.17 em Donadon (2015b):

$$t = \frac{\sum b_i t_i}{\sum b_i} = \frac{A}{\sum b_i} = \frac{0,137}{\sum b_i} = \frac{0,137}{a + (b + t/2)} = \frac{0,137}{11/8 + (11/16 + 1/32)} \\ t = 0,065 \text{ in} \quad (1.58)$$

Com base na Tabela 2.2 em Donadon (2015b), tem-se:

$$\frac{F_{cc}}{F_{cy}} = \beta_g \left[\left(\frac{gt^2}{A} \right) \sqrt{\frac{E}{F_{cy}}} \right]^m \\ \frac{F_{cc}}{F_{cy}} = 0,67 \left[\left(\frac{3 \times 0,065^2}{0,137} \right) \sqrt{\frac{10500}{70}} \right]^{0,40} \\ \frac{F_{cc}}{F_{cy}} = 0,704 < 0,8 \quad (1.59)$$

Assim, pode-se concluir que:

$$F_{cc} = 49,30 \text{ in} \quad (1.60)$$

Resultado

A fim de verificarmos a variação dos valores de F_{cc} obtidos por cada método, construímos as tabelas abaixo.

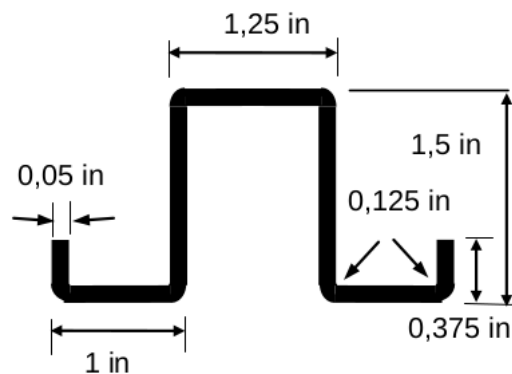
Tabela 3 – Valores de F_{cc} obtidos por cada método.

Método	Boeing	Gerard	Média
Valor	50,46 ksi	49,30 ksi	49,88 ksi
Diferença	1,16%	-1,16%	

Note que, conforme esperado, a diferença de valores de F_{cc} está abaixo de 10% quando comparado a média.

2 Exercícios Propostos

1. Um painel de 9 in de comprimento e 3 in de largura, manufaturado em liga Al 2024-T3 ($E = 10.700$ ksi, $\nu_e = 0,3$, $F_{0.7} = 39$ ksi, $F_{cy} = 40$ ksi, $n = 11,5$) está sujeito à compressão uniaxial. A placa, de espessura 0,070 in, está simplesmente apoiada nos bordos carregados e fixa a reforçadores tipo chapéu nos bordos descarregados. Estes podem mover livremente na direção transversal. Nestas condições, pede-se:
 - a) Qual é a tensão de flambagem da placa?
 - b) Qual é a carga total (kips) que a placa carrega quando a tensão nos reforçadores chapéu, manufaturados do mesmo material, for 50 ksi?
2. Considere o perfil conformado em liga Al 2024-T4 apresentado ($E = 10.700$ ksi, $\nu_e = 0,3$, $F_{0.7} = 36,7$ ksi, $F_{cy} = 38$ ksi, $n = 15,6$).
 - a) Calcule a tensão média de falha local pelo método de Needham.
 - b) Calcule a tensão média de falha local pelo método Boeing.
 - c) Calcule a tensão média de falha local pelo método de Gerard.



Referências

DONADON, M. V. *Estruturas Aeroespaciais I*. São José dos Campos, São Paulo, 2015.
Citado 2 vezes nas páginas 2 e 12.

DONADON, M. V. *Estruturas Aeroespaciais II*. São José dos Campos, São Paulo, 2015.
Citado 8 vezes nas páginas 4, 5, 7, 8, 13, 15, 16 e 17.