

4.1 Resolvidos

Ex. 4.1.1 Chapa simples tracionada Calcular a espessura necessária de uma chapa de 100 mm de largura, sujeita a um esforço axial de 100 kN (10 tf) de cálculo, figura 4.1. Resolver o problema para o aço MR250.



Figura 4.1: Chapa submetida à tração

Solução:

Para aço MR250, tem-se:

$$f_y = 250 \text{ MPa} = 25 \text{ kN/cm}^2$$

A área bruta necessária pode ser determinada através do escoamento da seção bruta:

$$N_{t,rd}^{ESB} = N_{t,sd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\therefore A_g = \frac{N_{t,sd} \gamma_{a1}}{f_y} = \frac{100 \times 1,1}{25} = 4,40 \text{ cm}^2$$

Desta forma, a espessura necessária (t) é:

$$t = \frac{A_g}{B} = \frac{4,4}{10} = 0,44 \text{ cm} = 4,40 \text{ mm}$$

Deve-se procurar a espessura comercial acima do mínimo definido mas o mais perto possível deste, sendo então sugerido adotar uma chapa de 3/16" (equivalente a aproximadamente 4,75 mm).

Ex. 4.1.2 Chapa simples tracionada com Estados Limites Repetir o 4.1.1 considerando que o valor de 100 kN é o valor característico de uma carga variável de uso e ocupação.

Solução:

A solicitação de cálculo vale:

$$N_{t,Sd} = \gamma_q N_k = 1,5 \times 100 = 150 \text{ kN}$$

A área bruta necessária será obtida através de:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = N_{t,Sd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$A_g = \frac{N_{t,Sd} \gamma_{a1}}{f_y} = \frac{150 \times 1,1}{25} = 6,60 \text{ cm}^2$$

Desta forma, a espessura necessária é:

$$t = \frac{6,60}{10} = 0,66 \text{ cm} = 6,60 \text{ mm}$$

Podendo-se adotar a chapa de 5/16" (equivalente a aproximadamente 8,0 mm), mais espessa que a chapa do exercício anterior função da necessidade de majoração do tipo do carregamento.

Ex. 4.1.3 Chapa simples Parafusada Uma chapa de $\frac{1}{2} \times 5"$ (1,27x12,7cm) de aço A36 (MR250) é solicitada à tração conforme indicado na figura 4.2. Ela está conectada à uma chapa gusset por quatro parafusos de diâmetro $\frac{5}{8}"$ (15,875mm). Determine o esforço de tração resistente pelo método dos estados limites.

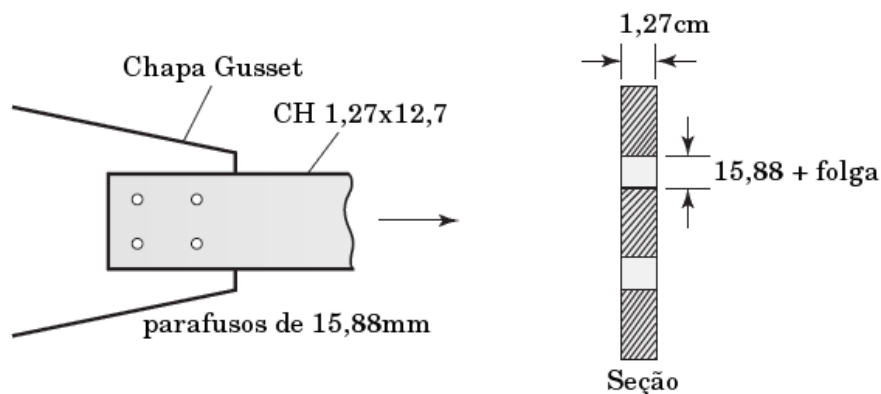


Figura 4.2: Extremidade da Chapa.

Solução:

a) Primeiro calculam-se os parâmetros necessários:

$$A_g = B \times t = 12,7 \times 1,27 = 16,13 \text{ cm}^2$$

$$d_f = d_b + 1,5 \text{ mm} = 15,88 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} = 17,38 \text{ mm}$$

$$d_{fe} = d_f + 2 \text{ mm} = 17,38 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 19,38 \text{ mm}$$

$$A_e = l_{r,cr} t = (B - 2 \times d_{fe}) \times t = [12,7 - (2 \times 1,94)] \times 1,27 = 11,20 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1,0 \quad (\text{Transmissão de esforços por todos os elementos da seção transversal})$$

b) Cálculos dos esforços de tração resistentes de cálculo utilizando o método dos Estados Limites:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{16,13 \times 25}{1,1} = 366,59 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,0 \times 11,20 \times 40}{1,35} = 331,85 \text{ kN}$$

Como o menor valor é o referente à $N_{t,Rd}^{RSL} = 331,85 \text{ kN}$, esse é o limitador da resistência do elemento.

Ex. 4.1.4 Tirante Rosqueado Calcular o diâmetro do tirante capaz de suportar uma carga permanente especial axial de 150 kN de um equipamento, sabendo-se que a transmissão de carga será feita por um sistema de roscas e porcas. Admitindo-se aço MR250 (ASTM A36).

Solução:

Primeiro será determinado a força de tração solicitante de cálculo:

$$N_{t, Sd} = \gamma_g N_k = 1,4 \times 150 = 210 \text{ kN}$$

O dimensionamento de barras rosqueadas é feito através das equações a seguir para os casos ESB e RSL:

$$N_{t, Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$A_g = \frac{N_{t, Rd}^{ESB} \gamma_{a1}}{f_y} = \frac{210 \times 1,1}{25} = 9,24 \text{ cm}^2$$

$$N_{t, Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{C_t 0,75 A_g f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$A_g = \frac{N_{t, Rd}^{RSL} \gamma_{a2}}{1,0 \times 0,75 f_u} = \frac{210 \times 1,35}{0,75 \times 40} = 9,45 \text{ cm}^2$$

Como o caso crítico é o RSL (necessita de área maior que o caso ESB para ter a força de tração resistente mínima necessária), tem-se:

$$A_g = \pi \times r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A_g}{\pi}} = \sqrt{\frac{9,45}{\pi}} = 1,73 \text{ cm}$$

$$d = 2r = 2 \times 1,73 \text{ cm} = 3,47 \text{ cm}$$

Sendo assim, a barra deve ter um diâmetro maior ou igual à 3,47 cm. Comparando-se com os diâmetros comerciais disponíveis sugere-se adotar a barra com diâmetro 3/8" (equivalente à 3,49 cm).

Ex. 4.1.5 Emenda de Chapas Parafusadas Duas chapas de 22x300 mm são emendadas por meio de talas, também de 22x300 mm, com 2x8 parafusos de diâmetro 7/8" (aproximadamente 22,2 mm), figura 4.3. Verificar se as dimensões das chapas são satisfatórias, admitindo-se aço MR250 (ASTM A36), força permanente de 300 kN (equipamentos) tracionando as chapas e $B = 300$ mm.

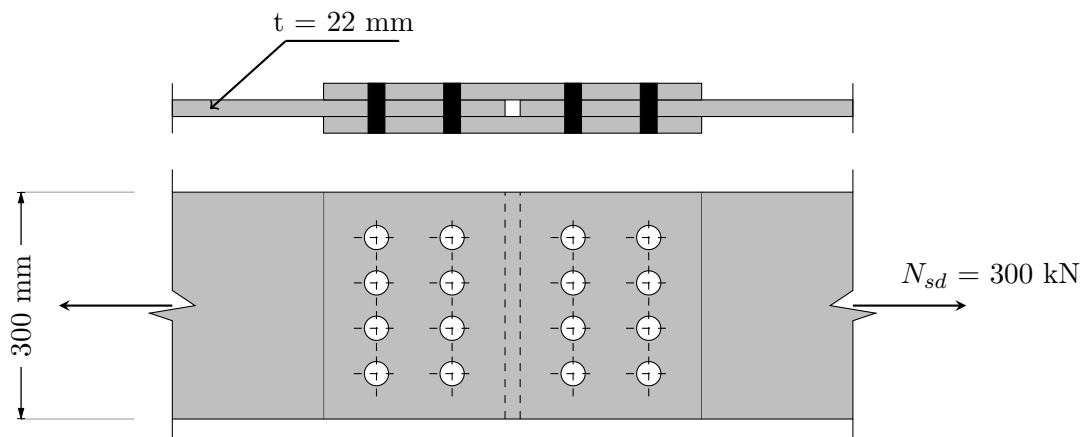


Figura 4.3: Ligação entre as chapas.

Solução:

O esforço solicitante de cálculo será:

$$N_{t,Sd} = \gamma_q N_k = 1,5 \times 300 = 450kN$$

Há duas checagem que teoricamente seriam necessárias a partir daqui: a conferência das chapas com a força de tração solicitante de cálculo atuando igual à 450kN e a conferência das talas (chapas curtas superior e inferior de ligação) com uma força de tração solicitante de cálculo de $450/2=225kN$ atuando em cada uma. Entretanto, é fácil observar que o caso crítico é para as **chapas** ao se saber que ambas chapas e talas possuem a mesma espessura. Sendo assim, apenas esse caso será verificado.

Define-se então as áreas bruta e líquida:

$$\begin{aligned} A_g &= B \times t = 30 \times 2,22 = 66,6cm^2 \\ d_f &= d_b + 1,5mm = 22,2mm + 1,5mm = 23,7mm \\ d_{fe} &= d_f + 2mm = 23,7mm + 2mm = 25,7mm \\ A_e &= l_{r,crt} t = (B - 4 \times d_{fe}) \times t = (30 - 4 \times 2,57) \times 2,22 = 43,78cm^2 \end{aligned}$$

Como a força de tração é transmitida diretamente por todos os elementos da seção transversal das chapas por furos, tem-se:

$$C_t = 1,0$$

São então calculados os valores dos esforços resistentes de cálculo para as situações ESB e RSL:

$$\begin{aligned} N_{t,Rd}^{ESB} &= \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{66,6 \times 25}{1,1} = 1513,64kN \\ N_{t,Rd}^{RSL} &= \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,0 \times 43,78 \times 40}{1,35} = 1297,19kN \end{aligned}$$

Como os esforços resistentes de cálculo para os casos ESB e ESL, respectivamente 1513,64kN e 1297,19kN, são maiores que os esforços solicitantes de cálculo, 450kN, conclui-se que as dimensões das chapas são satisfatórias, com fator de segurança $FS = N_{t,Sd}/N_{t,Rd} = 0,347 < 1,0$, ou seja, está sendo utilizada apenas 34,7 % da resistência total de cálculo das chapas.

Ex. 4.1.6 Chapa com múltiplos furos Determinar a menor área líquida efetiva A_e para a chapa representada a seguir. Os furos são para parafusos de diâmetro 1" (2,54cm), as dimensões verticais entre furos são 3", 5", 5" e 3" (7,62cm; 12,7cm; 12,7cm e 7,62cm), totalizando 16" (40,64cm), as dimensões horizontais são sempre iguais à 3" (7,62cm) e a espessura vale $t = (3/4)"$ (1,905cm).

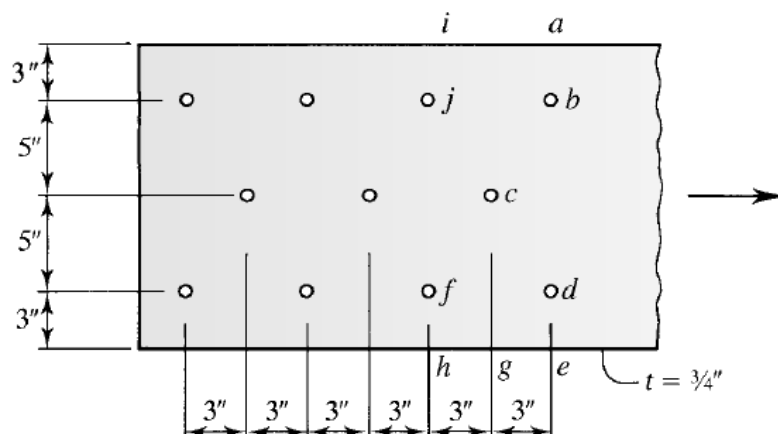


Figura 4.4: Ligação múltiplos furos.

Solução:

Primeiro deve-se determinar o valor de d_{ef} :

$$d_f = d_b + 1,5mm = 25,4mm + 1,5mm = 26,9mm$$

$$d_{ef} = d_f + 2mm = 26,9mm + 2mm = 28,9mm$$

Na sequência, é necessário avaliar quais são os percursos possíveis de ruptura. Ao analisar o padrão de furação percebe-se que há duas possibilidades básicas: $abde$ ou $abcde$ (porque não $ibcdh$, ou $ijcfh$, ou $ijcde?$). Sendo assim, testam-se ambas para descobrir qual é a crítica:

Linha de ruptura $abde$:

$$l_{r,abde} = B - 2d_{ef} = 40,64 - 2 \times 2,89 = 34,86cm$$

Linha de ruptura $abcde$:

$$l_{r,abcde} = B - 3d_{ef} + 2 \times \frac{s^2}{4g} = 40,64 - 3 \times 2,89 + 2 \times \frac{7,62^2}{4 \times 12,7} = 40,64 - 8,67 + 2 \times 1,14 = 34,26cm$$

Como o menor valor é referente ao percurso $abcde$ este é o comprimento crítico, $l_{r,cr} = 34,26cm$. Sendo assim, calcula-se A_e como sendo:

$$A_e = l_{r,cr} \times t = 34,26 \times 1,91 = 65,26cm^2$$

Ex. 4.1.7 Emenda de Chapas Parafusadas por transpasse Duas chapas de 280x20 mm de aço MR250 (ASTM A36) são emendadas por transpasse, com parafusos de diâmetro 20 mm e com os furos sendo realizados por punção, figura 4.5. Calcular o esforço resistente de projeto das chapas, admitindo-as submetidas à tração axial.

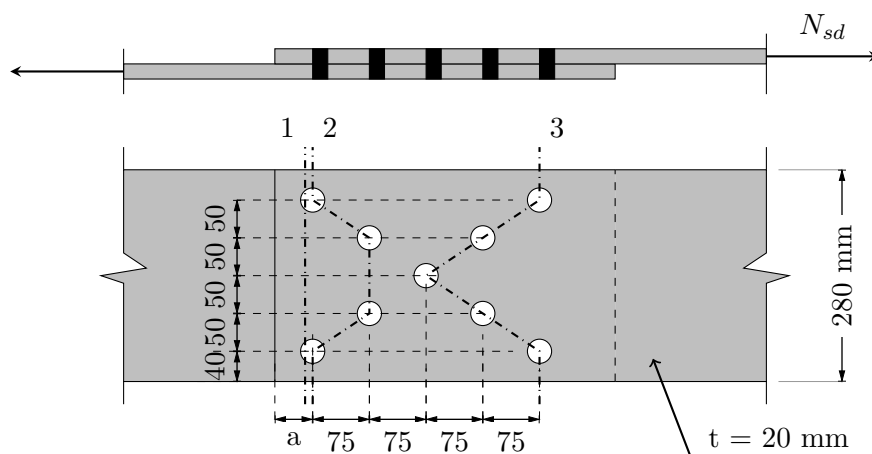


Figura 4.5: Ligação e Linhas de Ruptura.

Solução:

A ligação por transpasse introduz excentricidades no esforço de tração, mas esse efeito será desprezado, admitindo-se as chapas sujeitas à tração axial. Primeiro será calculado o diâmetro teórico do furo:

$$d_f = d_b + 1,5mm = 20mm + 1,5mm = 21,5mm$$

$$d_{ef} = d_f + 2mm = 21,5mm + 2mm = 23,5mm$$

O esforço resistente de cálculo poderá ser determinado pela seção bruta (ESB) ou pela seção líquida (RSL) da chapa, sendo que a menor seção líquida deverá ser determinada ao se definir qual dos percursos (1, 2, 3 ou algum outro) é o percurso crítico. Sendo assim, calcula-se a seguir as áreas bruta e líquida:

$$A_g = B \times t = 28 \times 2 = 56cm^2$$

Ruptura pela linha 1

$$A_e^{(1)} = (B - 2 \times d_{ef}) \times t = (28 - 2 \times 23,5) \times 2 = 23,3 \times 2 = 46,6cm^2$$

Ruptura pela linha 2

$$A_e^{(2)} = (B + 2 \times \frac{s^2}{4g} - 4 \times d_{ef}) \times t = (28 + 2 \times \frac{7,5^2}{4 \times 5} - 4 \times 23,5) \times 2 = 24,225 \times 2 = 48,45cm^2$$

Ruptura pela linha 3

$$A_e^{(3)} = (B + 4 \times \frac{s^2}{4g} - 5 \times d_{ef}) \times t = (28 + 4 \times \frac{7,5^2}{4 \times 5} - 5 \times 23,5) \times 2 = 27,5 \times 2 = 55cm^2$$

Ainda, como a força de tração é transmitida diretamente por todos os elementos da seção transversal das chapas por furos, tem-se:

$$C_t = 1,0$$

Sendo assim, a situação crítica, correspondente à menor área líquida efetiva, é dada pela linha de ruptura 1 (se as chapas tivessem espessuras diferentes, a linha 1 e 2 corresponderia a chapa inferior e a linha 3 a chapa superior). Calcula-se então o valor dos esforços resistentes de projeto como segue:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{56 \times 25}{1,1} = 1272,73kN$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e^{(1)} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,0 \times 46,6 \times 40}{1,35} = 1380,74kN$$

Como o valor da força resistente de cálculo para ESB (1272,73kN) é inferior ao valor para RSL (1380,74kN), portanto a força resistente de cálculo global é determinada pelo valor do caso ESB (1272,73kN).

Ex. 4.1.8 Cantoneira com abas desiguais parafusada em aba única Uma cantoneira L 3(1/2)x(3/8)" (22,58x0,953cm) está conectada à uma chapa Gusset por parafusos de 22,22mm como mostra a figura 4.6. Sendo o tipo do aço A36 (MR250), a carga permanente de equipamentos aplicada de 115,69kN e a carga variável de uso de 66,72kN, determine se o elemento é capaz de resistir às solicitações impostas. Assumir que $C_t = 0,85$ e $A_g = 16,13cm^2$.

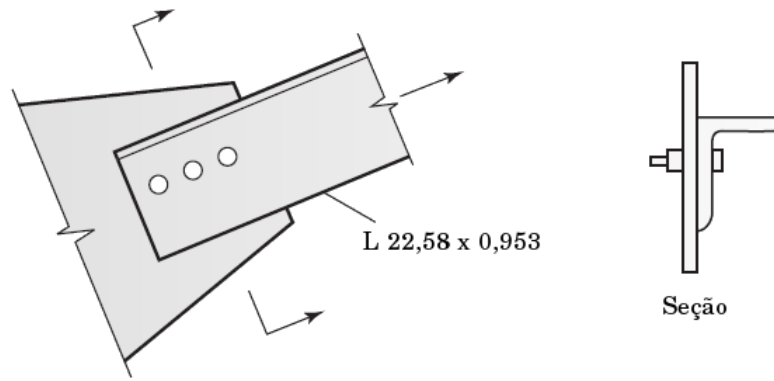


Figura 4.6: Extremidade da cantoneira simples com chapa Gusset.

Solução:

Pelo método dos Estados Limites, no caso Último (dimensionamento), combinações normais:

$$N_{t,Sd} = \gamma_g F_{gk} + \gamma_q F_{qk} = 1,5 \times 115,69 + 1,5 \times 66,72 = 273,62 \text{ kN}$$

Em seguida, a área líquida efetiva é determinada:

$$d_f = d_b + 1,5 \text{ mm} = 22,225 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} = 23,725 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_f + 2 \text{ mm} = 23,7 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 25,725 \text{ mm}$$

Neste caso para essa cantoneira ligada por uma aba apenas, é mais simples calcular A_e usando a área bruta A_g :

$$A_e = A_g - d_{ef} \times t = 16,13 - 2,57 \times 0,953 = 16,13 - 2,45 = 13,68 \text{ cm}^2$$

Calcula-se então o esforço de tração resistente de cálculo para ESB e RSL:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{16,13 \times 25}{1,1} = 366,57 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,85 \times 13,68 \times 40}{1,35} = 344,51 \text{ kN}$$

Como $N_{t,Rd,min} = 344,51 \text{ kN} > N_{t,Sd} = 273,61 \text{ kN}$, o elemento resiste à solicitação imposta.

Ex. 4.1.9 Barra composta com cantoneiras parafusadas Um perfil formado por duas cantoneiras L 5x3x5/16" LLBB (long-legs back-to-back) de aço A36 (MR250) está sujeito à esforços de tração. Determinar a força axial de tração resistente de cálculo assumindo-se $C_t = 0,75$, área da cantoneira de $15,55 \text{ cm}^2$ e furos para parafusos de 1/2" (1,27 cm). Observar ainda que uma cantoneira L 5x3x5/16" é aproximadamente equivalente à L 12,7x7,62x0,794 cm.

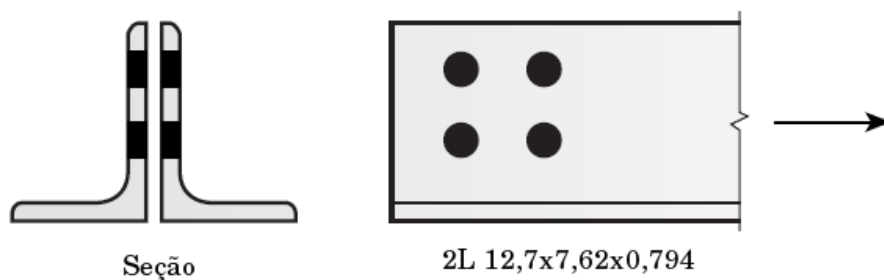


Figura 4.7: Dupla cantoneira.

Solução:

Há duas abordagens possíveis para perfis compostos, pode-se considerar o perfil como uma peça composta (no caso ambos os perfis formando uma seção única resistente) e calcular sua resistência, ou considerar cada perfil separadamente (apenas uma única cantoneira no caso) e dobrar (no caso de perfil composto duplo) os valores de resistência calculados. Nesse exemplo será adotada a segunda abordagem.

Como já tem-se o valor de A_g , deve-se calcular A_e como segue:

$$d_f = d_b + 1,5mm = 12,7mm + 1,5mm = 14,2mm$$

$$d_{ef} = d_f + 2mm = 14,2mm + 2mm = 16,2mm$$

$$A_e = A_g - 2 \times d_{ef} \times t = 15,55 - 2 \times 1,62 \times 0,794 = 12,98cm^2$$

Na sequência, calculam-se as forças axiais de tração solicitante de cálculo de apenas uma cantoneira:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{15,55 \times 25}{1,1} = 353,37kN$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,75 \times 12,98 \times 40}{1,35} = 288,37kN$$

Sendo assim, o valor resistente mínimo é para o caso RSL e vale $N_{t,Rd}^{RSL} = 288,37kN$. Entretanto, o valor resistente encontrado é apenas uma das cantoneiras, ou seja, o valor da força axial de tração resistente de cálculo para ambos os perfis unidos é:

$$N_{t,Rd-final}^{RSL} = 2 \times N_{t,Rd}^{RSL} = 2 \times 288,37 = 576,74kN$$

Ex. 4.1.10 Cantoneira simples parafusada chapa Gusset Determinar o valor de C_t do elemento sujeito à esforços de tração representado na figura abaixo, sendo a cantoneira tipo L 6x1/2" (15,24x1,27cm), a distância entre furos igual à 3" (7,62cm) e $e_c = 4,24cm$.

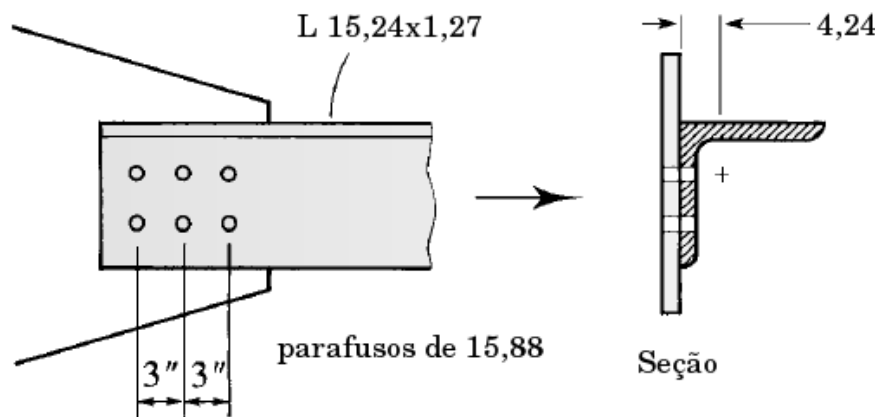


Figura 4.8: Ligação Cantoneira simples.

Solução:

Seção transversal aberta, com a força de tração sendo transmitida somente por parafusos em apenas um dos dois elementos AL da seção transversal, utiliza-se a fórmula para seções transversais abertas:

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{4,24}{(2 \times 7,62)} = 1 - 0,278 = 0,72$$

Ex. 4.1.11 Cantoneira simples com ambas as abas conectadas Para a cantoneira L178x102x12,7 (7" x 4" x 1/2"), com valor de raio de giração mínimo $r_{min} = 2,21cm$, indicada na figura (a) e (b) abaixo, determinar:

- a) a área líquida efetiva, sendo os conectores de diâmetro igual a 7/8" (aproximadamente 22,2mm);
- b) o maior comprimento admissível, para esbeltez máxima igual a 300.

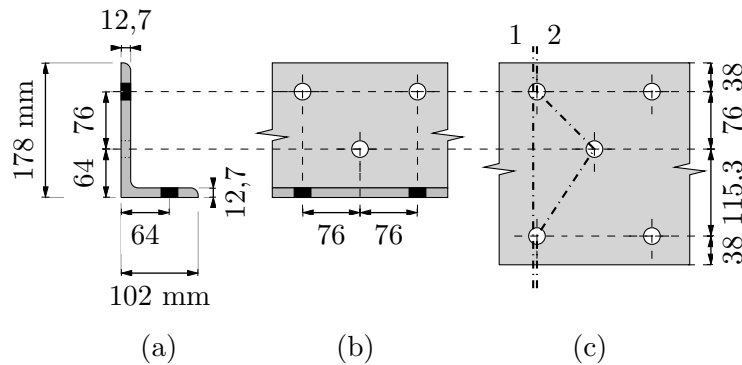


Figura 4.9: Seção transversal da cantoneira (a), vista lateral (b) e cantoneira idealmente aberta (c).

Solução:

a) Uma maneira fácil de visualizar o problema é ao rebater a cantoneira (imaginá-la plana) segundo seu eixo como mostrado na figura (c).

Primeiro, determina-se o diâmetro teórico dos furos:

$$d_f = d_b + 1,5mm = 22,2mm + 1,5mm = 23,7mm$$

$$d_{ef} = d_f + 2mm = 23,7mm + 2mm = 25,7mm$$

Em seguida, determina-se qual dos percursos é o crítico:

Adotando uma variável auxiliar B, definida pelo comprimento total da cantoneira aberta:

$$B = 17,8 + 10,2 - 1,27 = 26,73mm$$

Caminho 1:

$$A_e = (B - 2 \times d_f^{An}) \times t = (26,73 - 2 \times 2,57) \times 1,27 = 21,59 \times 1,27 = 27,42cm^2$$

Caminho 2:

$$A_e = (B + \frac{s_1^2}{4g_1} + \frac{s_2^2}{4g_2} - 3 \times d_f^{An}) \times t$$

$$\therefore A_e = (26,73 + \frac{7,6^2}{4 \times 7,6} + \frac{7,6^2}{4 \times 11,5} - 3 \times 2,57) \times 1,27 = 22,18 \times 1,27 = 28,16cm^2$$

Portanto, a área líquida efetiva dada pelo caminho crítico, o 1 ($27,42cm^2$), uma vez que este representa o menor comprimento de ruptura.

b) Sendo o limite de esbeltez $\lambda \leq 300$, tem-se:

$$\lambda = \frac{L_{max}}{r_{min}} \rightarrow L_{max} = \lambda \times r_{min} = 300 \times 2,21 = 663cm \text{ ou } 6,63m$$

Note que, para cantoneiras, o valor de r_{min} é diferente de r_x e de r_y , sendo este valor mínimo referente ao menor momento de inércia da seção. Para cantoneira em questão, por exemplo, tem-se $r_{min} = 2,21$ cm, $r_x = 5,73$ cm e $r_y = 2,83$ cm.

Ex. 4.1.12 Cantoneira simples conectada por ambas as abas com múltiplos furos Uma cantoneira com furos para parafusos de 22,23mm (7/8") em ambas as pernas é representada a seguir. Sendo esta de aço MR250 (ASTM A36), $A_g = 43,87\text{cm}^2$, a cantoneira tipo L20,32x15,24x1,27cm (L8x6x1/2") e as dimensões equivalentes 2,25" = 5,72cm; 2,5" = 6,35cm; 3" = 7,62cm; 1,5" = 3,81cm e 4,75" = 12,07cm, determinar a força axial de tração resistente de cálculo.

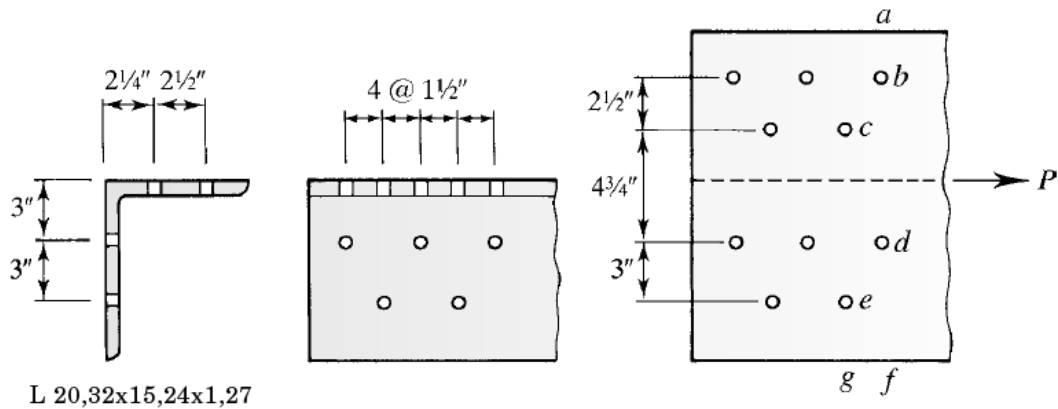


Figura 4.10: Ligação múltiplos furos cantoneira.

Solução:

Primeiro deve-se determinar o valor de d_{ef} :

$$d_f = d_b + 1,5\text{mm} = 22,23 + 1,5 = 23,73\text{mm}$$

$$d_{ef} = d_f + 2\text{mm} = 23,38 + 2 = 25,73\text{mm}$$

O próximo passo é determinar o comprimento crítico $l_{r,cr}$ para poder determinar A_e . Há quatro possíveis percursos críticos: **abdf**, **abcdef**, **abcdf** ou **abdeg**. Cada um será calculado a seguir:

abdf

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - (2d_{ef} \times t)$$

$$A_e = 43,87 - (2 \times 2,54 \times 1,27) = 43,87 - 6,45 = 37,42\text{cm}^2$$

abcdef

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - [(4d_{ef} \times t) + \left(\sum_{i=1}^3 \frac{s_i^2}{4g_i}\right) \times t]$$

$$A_e = 43,87 - [(4 \times 2,54 \times 1,27) + \left(\frac{3,81^2}{4 \times 6,35} + \frac{3,81^2}{4 \times 12,07} + \frac{3,81^2}{4 \times 7,62}\right) \times 1,27] = 43,87 - 12,90 + 1,71 = 32,68\text{cm}^2$$

abcdf

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - [(3d_{ef} \times t) + \left(\sum_{i=1}^2 \frac{s_i^2}{4g_i}\right) \times t]$$

$$A_e = 43,87 - [(3 \times 2,54 \times 1,27) + \left(\frac{3,81^2}{4 \times 6,35} + \frac{3,81^2}{4 \times 12,07}\right) \times 1,27] = 43,87 - 9,68 + 1,11 = 35,31\text{cm}^2$$

abdeg

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - [(3d_{ef} \times t) + \left(\sum_{i=1}^1 \frac{s_i^2}{4g_i}\right) \times t]$$

$$A_e = 43,87 - [(3 \times 2,54 \times 1,27) + \left(\frac{3,81^2}{4 \times 7,62}\right) \times 1,27] = 43,87 - 9,68 + 0,60 = 34,80\text{cm}^2$$

Como a força de tração é transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal das chapas por furos, tem-se:

$$C_t = 1,0$$

Sendo assim, o caminho crítico para este caso é o percurso **abcdef** com $A_e = 32,68\text{cm}^2$. Sendo assim, parte-se para o cálculo da força axial de tração resistente de cálculo para o caso ESB e RSL:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{43,87 \times 25}{1,1} = 997,05\text{kN}$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,0 \times 32,68 \times 40}{1,35} = 968,30\text{kN}$$

Portanto, o caso crítico é para RSL com $N_{t,Rd} = 968,30\text{kN}$.

Ex. 4.1.13 Perfil U conectado pela alma por parafusos Para o perfil U 381(15")x50,4 kg/m, de aço MR250 (ASTM A36), indicado na figura 4.11, calcular o esforço de tração resistente de cálculo. Assumir que os conectores possuem um diâmetro de 22 mm e $A_g = 64,2\text{cm}^2$.

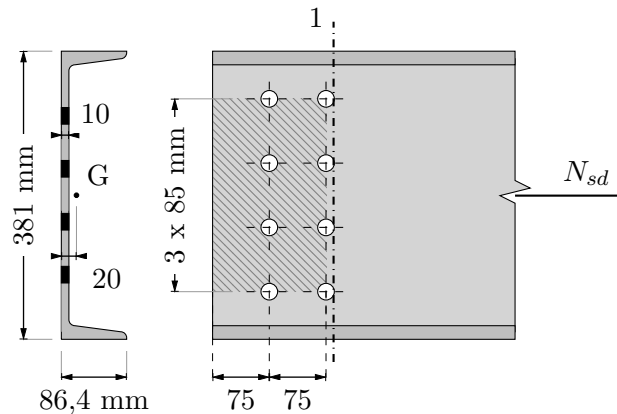


Figura 4.11: Extremidade do perfil C.

Solução:

Primeiro será analisado ESB:

$$N_{t,Rd}^{ESB} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{64,2 \times 25}{1,1} = 1459,09\text{kN}$$

Em seguida, será analisado RSL:

$$d_f = d_b + 1,5\text{mm} = 22 + 1,5 = 23,5\text{mm}$$

$$d_{ef} = d_f + 2\text{mm} = 23,5 + 2 = 25,5\text{mm}$$

Como a força de tração é transmitida diretamente para alguns (não todos) os elementos da seção transversal das chapas por furos, considera-se o caso "Seções Transversais Abertas", então tem-se:

$$C_t = 1,0 - \frac{e_c}{l_c} = 1,0 - \frac{2}{7,5} = 0,73$$

Área líquida efetiva

$$A_e = A_g - (4 \times d_{ef} \times t) = 64,2 - (4 \times 25,5 \times 1,0) = 64,2 - 102 = -37,8\text{cm}^2$$

Observar que desta vez a área líquida efetiva foi calculada subtraindo-se a área dos furos da área bruta ao invés de determinar o comprimento crítico e multiplicá-lo pela espessura.

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,73 \times 54,0 \times 40}{1,35} = 1168,0 \text{ kN}$$

Ex. 4.1.14 Cantoneira simples soldada em todos os bordos em uma aba Determinar o valor de C_t do elemento sujeito à esforços de tração representado na figura 4.12 (o mesmo do exercício anterior), sendo a cantoneira tipo L6x6x(1/2)" (15,24x15,24x1,27cm), o comprimento horizontal de solda de $l_w = 13,97\text{cm}$ e $e_c = 4,24\text{cm}$.

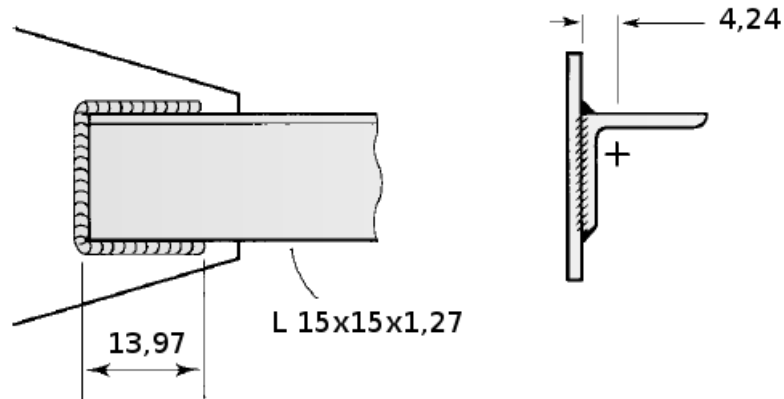


Figura 4.12: Ligação Cantoneira simples com solda.

Solução:

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{4,24}{13,97} = 1 - 0,30 = 0,70$$

Ex. 4.1.15 Perfil U com soldas longitudinais nas mesas Calcular o esforço de tração resistente de cálculo do perfil representado na figura 4.13, o mesmo do exercício 4.1.13 mas agora com ligação por solda.

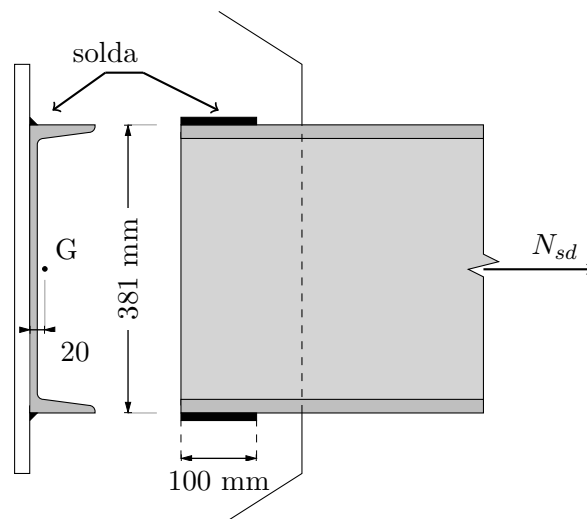


Figura 4.13: Extremidade do perfil C com solda.

Solução:

O cálculo para o ESB é exatamente o mesmo do exercício anterior, com valor $N_{t,Rd}^{ESB} = 1459,09kN$.

Já o cálculo para o RSL não é igual. O valor de C_t deverá ser recalculado (ainda para o caso "Seções Transversais Abertas") pois a ligação agora é outra e também a área líquida efetiva é igual à área bruta por não haver furos no elemento, ou seja, $A_g = A_e$. Sendo assim, tem-se:

$$C_t = 1,0 - \frac{e_c}{l_c} = 1,0 - \frac{2}{10} = 0,8$$

$$N_{t,Rd}^{RSL} = \frac{C_t A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,8 \times 64,2 \times 40}{1,35} = 1521,78kN$$

Ex. 4.1.16 Perfil U parafusado em zig-zag pela alma Determine a menor área líquida efetiva A_e para o perfil C6x13 (15,24x33,02cm) mostrado na figura 4.14, sendo os parafusos de 15,88mm (5/8)", $A_g = 24,65cm^2$, espessura $t = 1,11cm$ e as dimensões 1,5" = 3,81cm; 3" = 7,62cm e 2" = 5,08cm.

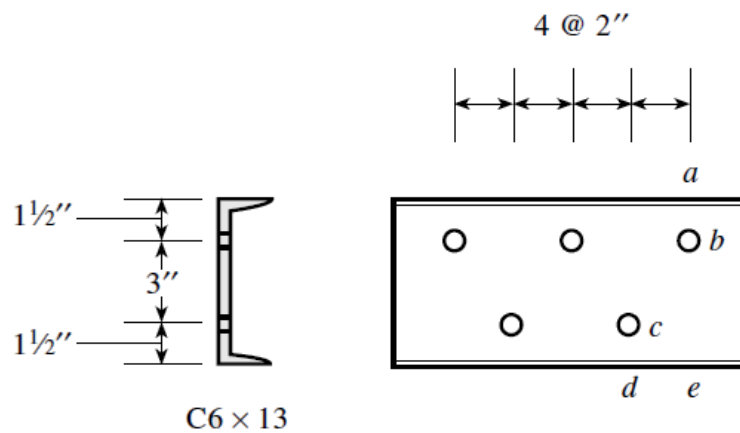


Figura 4.14: Ligação múltiplos furos perfil C.

Solução:

Primeiro deve-se determinar o valor de d_{ef} :

$$d_f = d_b + 1,5mm = 15,88 + 1,5 = 17,38mm$$

$$d_{ef} = d_f + 2mm = 17,38 + 2 = 19,38mm$$

Há dois percursos de ruptura possível: **abe** ou **abcd**. Ambos serão analisados a seguir:

abe

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - (d_{ef} \times t) = 24,65 - (1,94 \times 1,11) = 24,65 - 2,15 = 22,50cm^2$$

abcd

$$A_e = A_g - (l_{r,cr} \times t) = A_g - (2d_{ef} \times t) + \left(\frac{s^2}{4g} \times t \right)$$

$$A_e = 24,65 - (2 \times 1,94 \times 1,11) + \left(\frac{5,08^2}{4 \times 7,62} \times 1,11 \right) = 24,65 - 4,31 + 0,94 = 21,28cm^2$$

Portanto, a menor área líquida efetiva é referente ao percurso **abcd** e é igual à $A_e = 21,28cm^2$.

4.2 Propostos, nível iniciante

Ex. 4.2.1 Chapa tracionada Uma CH 9,5 x 177,8mm tracionada está conectada com três parafusos em linha de 25,4mm de diâmetro, conforme figura 4.15. Sendo o aço da chapa o MR-250, determine a resistência máxima de cálculo.

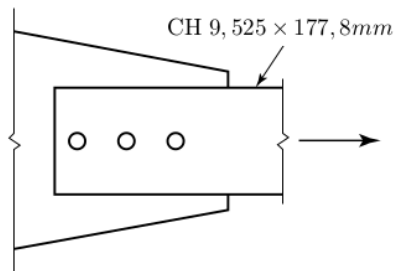


Figura 4.15: Chapa simples tracionada conectada com parafusos em linha.

Ex. 4.2.2 Chapa tracionada múltiplos parafusos Uma CH 12,7x203,2mm está solicitada a tração e é conectada a uma chapa gusset por 6 parafusos de 22,2mm de diâmetro, conforme figura 4.16. Sendo o aço da chapa o A-242-C, determine a resistência máxima de cálculo.

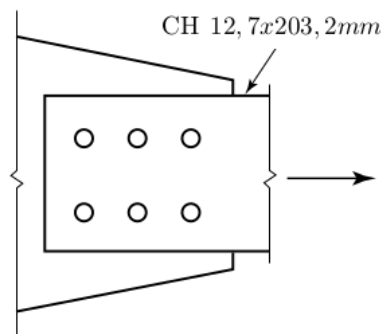


Figura 4.16: Chapa simples tracionada conectada com parafusos em dupla camada.

Ex. 4.2.3 Chapa simples soldada Uma CH 9,5x152,4mm está solicitada a tração e é conectada a uma chapa gusset por dois filetes de solda longitudinais de 250mm, conforme figura 4.17. Sendo o aço da chapa o A-36, determine a resistência máxima de cálculo.

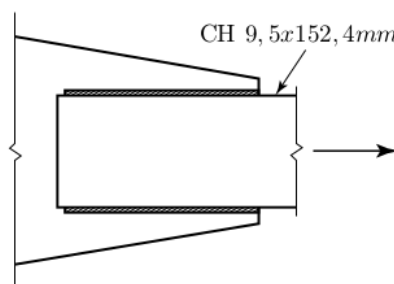


Figura 4.17: Chapa simples tracionada soldada.

Ex. 4.2.4 Área Efetiva Determine o produto de C_t pela área líquida efetiva para cada um dos casos mostrados na figura 4.18 (unidades em milímetros).

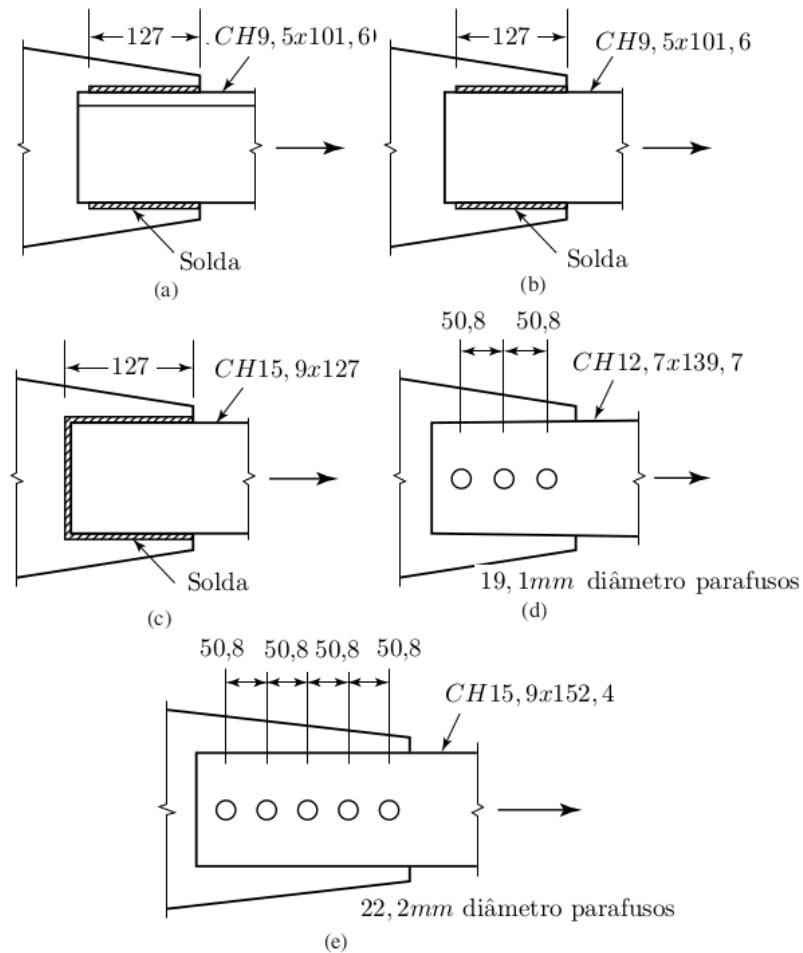


Figura 4.18: Chapa simples tracionada soldada.

Ex. 4.2.5 Dimensionamento simples Selecione uma cantoneira de aço A-36 para resistir aos carregamento de tração permanente de $g_k = 222,411kN$, acidental de $q_k = 444,822kN$ e de vento de $v_k = 200,17kN$. A cantoneira está conectada apenas por uma aba com parafusos de $25,4mm$ de diâmetro dispostos em duas linhas de 4 parafusos cada, esquema na 4.19.

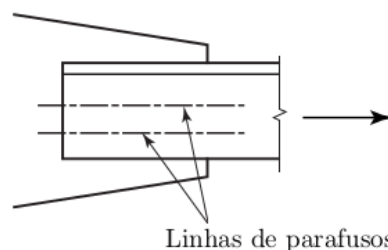


Figura 4.19: Dimensionamento simples de uma cantoneira.

4.3 Propostos, nível intermediário

Ex. 4.3.1 Perfil C conectado pelas mesas Um perfil $C305x44,7$ é conectado por 6 parafusos de $25,4mm$ de diâmetro em cada mesa, espaçados por $100mm$, conforme mostra a figura 4.20. Sendo o aço do perfil C o AR-350, determine a máxima resistência de cálculo à tração.

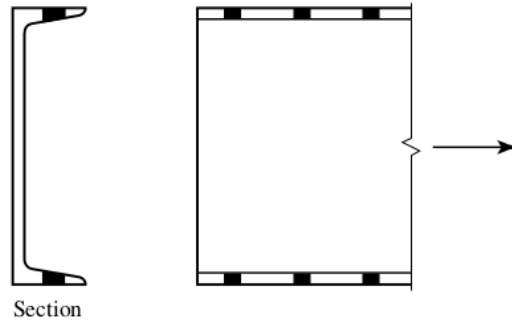


Figura 4.20: Perfil C tracionado conectado pelas mesas.

Ex. 4.3.2 Resistência dupla cantoneira Uma barra composta por duas cantoneiras de abas desiguais $2L89x64x6,3mm$, de aço MR-250, está submetida a uma carga permanente de tração de $53,4kN$ e a uma carga acidental de tração de $160,14kN$. A barra composta é conectada a uma chapa gusset por parafusos de $19,1mm$ de diâmetro pelas abas maiores, espaçados de $100mm$. A barra resiste ao carregamento?

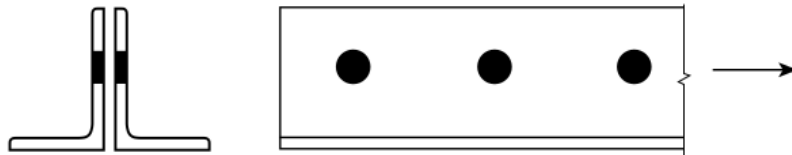


Figura 4.21: Esquema da barra composta por cantoneiras de abas desiguais.

Ex. 4.3.3 Perfil W conectado pelas mesas Um perfil $W410x67$ de aço A-992-P é conectado a placas em cada mesa por parafusos de $22,22mm$ de diâmetro, conforme ilustra a figura 4.22. Determine a máxima força resistente de cálculo de tração.

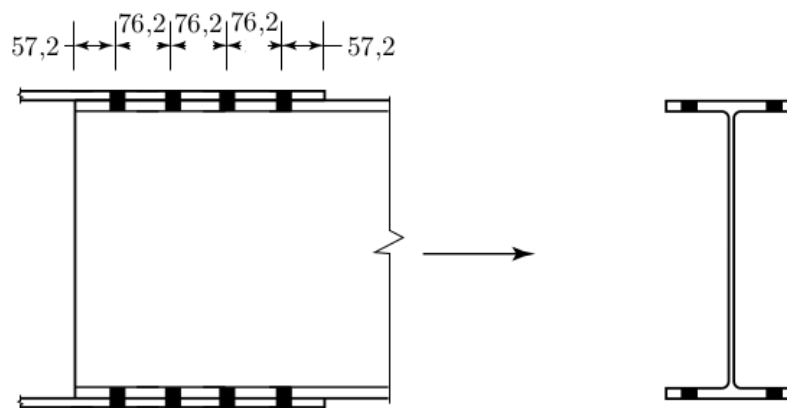


Figura 4.22: Perfil W conectado pelas mesas, esquema de furação.

Ex. 4.3.4 Perfil C parafusos distribuídos Um perfil $C254x22,7$ de aço A-500 é conectado pela alma por parafusos de $19,1mm$ de diâmetro, conforme ilustra a figura 4.23. Determine a máxima força resistente de cálculo de tração.

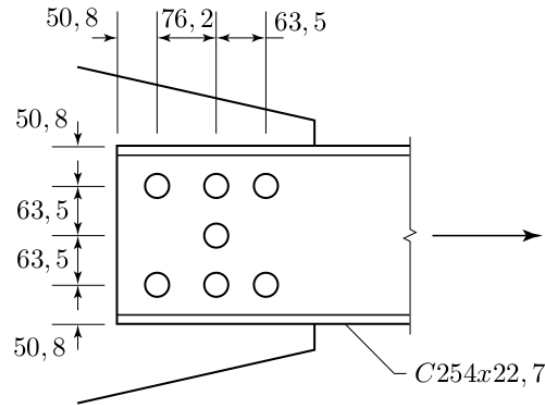


Figura 4.23: Perfil C com o esquema dos parafusos distribuídos (em milímetros).

Ex. 4.3.5 Cantoneira furos em ambas as abas Um perfil $L152x102x9,5mm$ de aço MR-250 é conectado em ambas as abas por parafusos de $19,1mm$ de diâmetro, conforme ilustra a figura 4.24. O perfil é adequado para solicitações de tração de $138kN$ permanente e $138kN$ acidental?

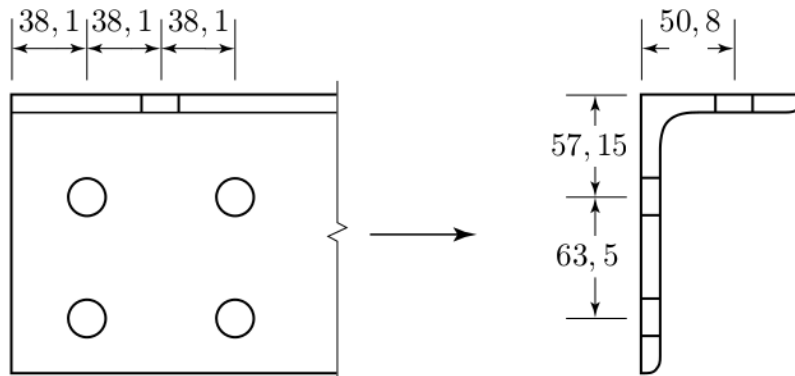


Figura 4.24: Perfil L (cantoneira) conectado em ambas as abas com esquema de furação (em milímetros).

Ex. 4.3.6 Dimensionamento perfil I Determine qual perfil metálico do tipo I extrudado de aço A-36 deve ser usado para resistir a solicitações de tração de $960kN$ permanente e $111kN$ acidental. O perfil deve ser conectado pela alma por parafusos de $22,22mm$ de diâmetro, conforme figura 4.25.

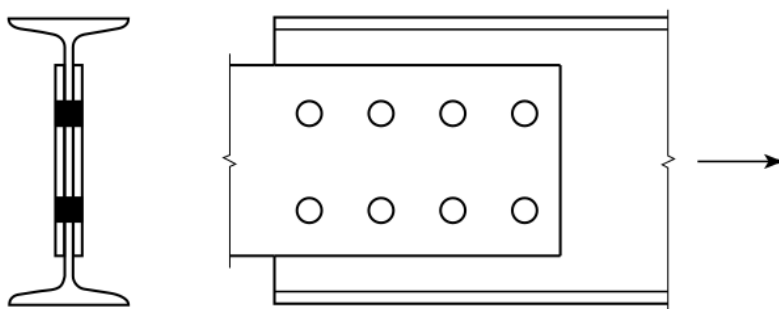


Figura 4.25: Perfil I conectado pela alma (em milímetros).

4.4 Propostos, nível graduado

Ex. 4.4.1 Perfil W suspenso por barras O perfil $W410x75$ está suspenso por duas barras de seção circular maciça AB e CD, conforme ilustra a figura 4.26. No centro do perfil está aplicada uma carga de $133kN$ acidental. Determine o diâmetro necessário para as barras e determine a bitola efetiva sabendo-se que serão utilizadas barras usadas em armaduras de concreto armado de CA-50.

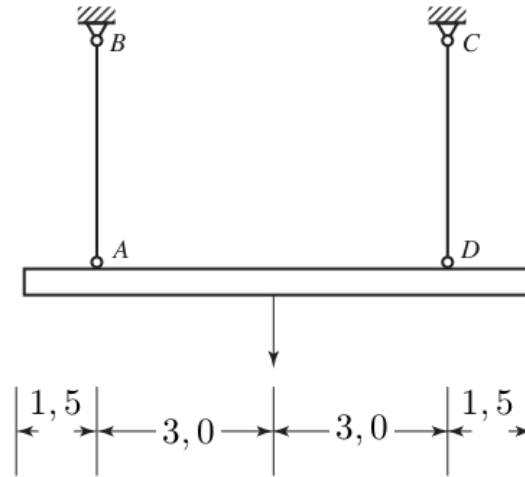


Figura 4.26: Perfil W suspenso por barras circulares maciças (em metros).

Ex. 4.4.2 Dimensionamento de barras tracionadas de treliça Dimensione as barras que estão tracionadas da treliça da figura 4.27. Devem ser usadas barras compostas por cantoneiras duplas de aço MR-250, soldadas nas extremidades (duplo cordão de solda longitudinal em cada cantoneira) em chapa gusset posicionada entre as cantoneiras, com espessura de $9,5\text{mm}$. As telhas sobre a treliça pesam 650Pa e são assentadas em uma base que pesa 350Pa , o peso da treliça é estimado inicialmente em 240Pa (deve ser corrigido). A parcela perpendicular ao telhado da carga de vento seja de 1000Pa , e da pressão negativa na água conseguinte de 200Pa .



Figura 4.27: Treliça plana de cobertura (em metros).