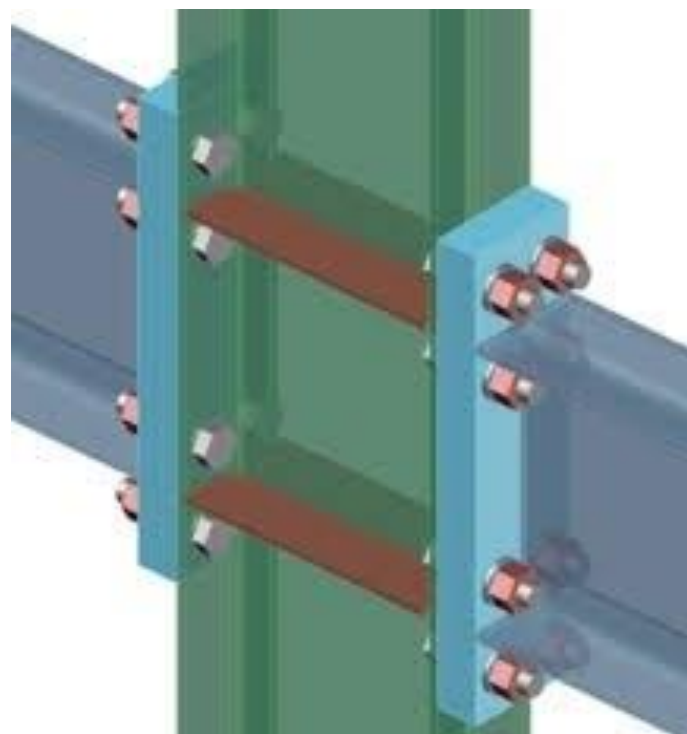
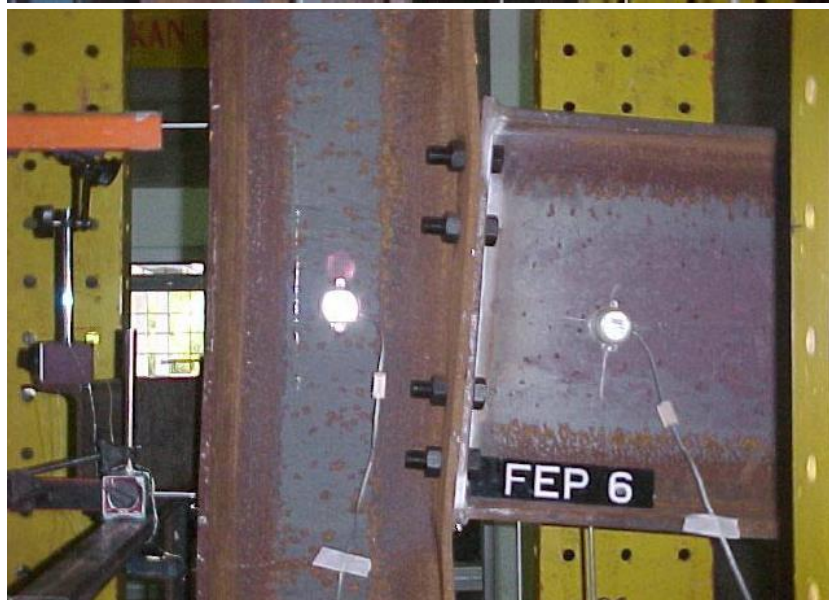


Cálculo de ligação viga-pilar com chapa de cabeça

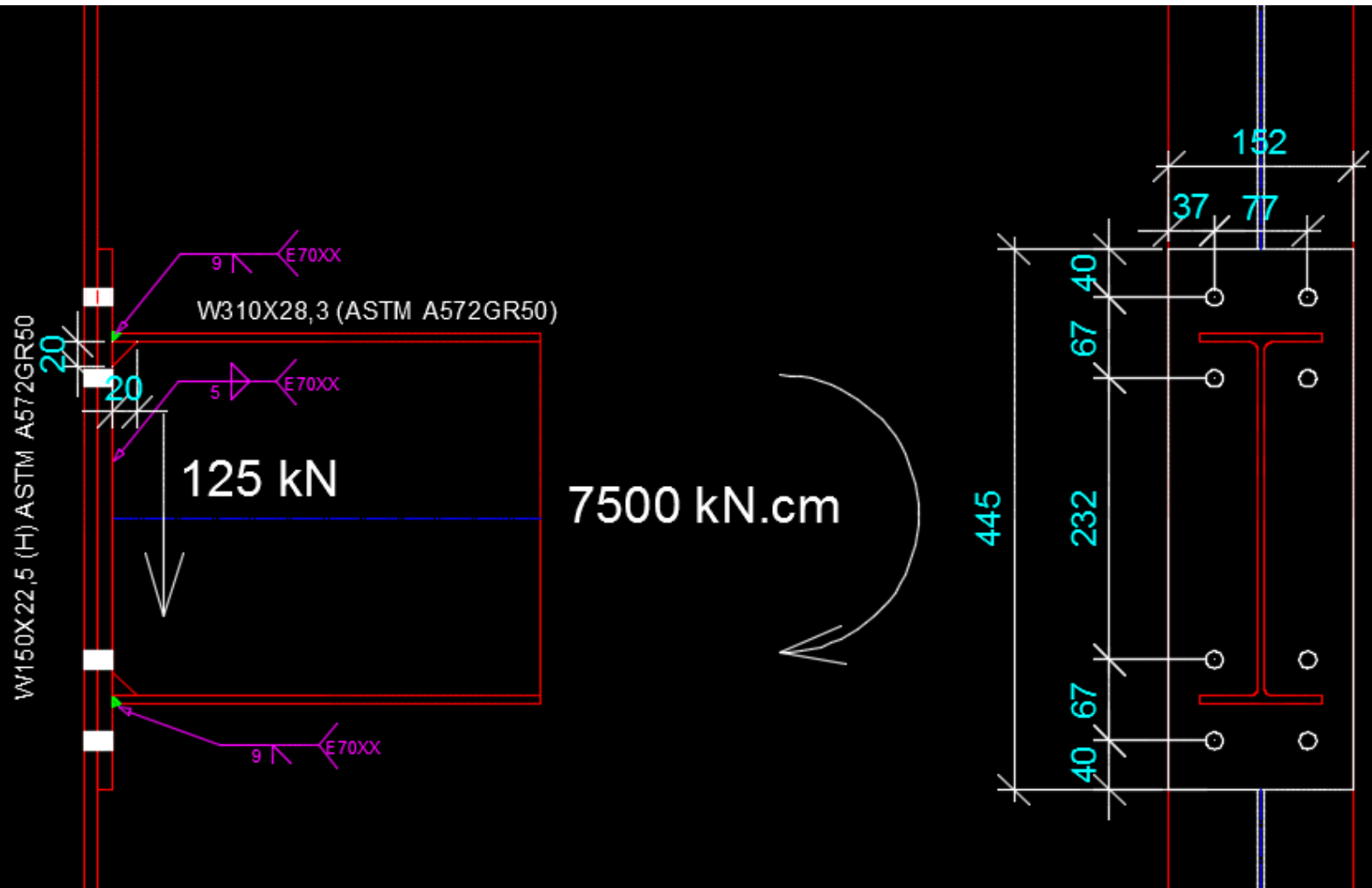


Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Dimensionar



Estados Limites:

- *Ruptura da solda nas mesas*
- *Ruptura da solda na alma*
- *Resistência à flexão da chapa de extremidade*
- *Resistência à cortante da Chapa de extremidade*
- *Resistência dos parafusos à tração e cisalhamento combinados, após aferição do efeito alavanca*
- *Verificação da necessidade de enrijecedores na mesa comprimida da viga*
- *Verificação da necessidade de enrijecedores no pilar*

- *Ruptura da solda nas mesas*

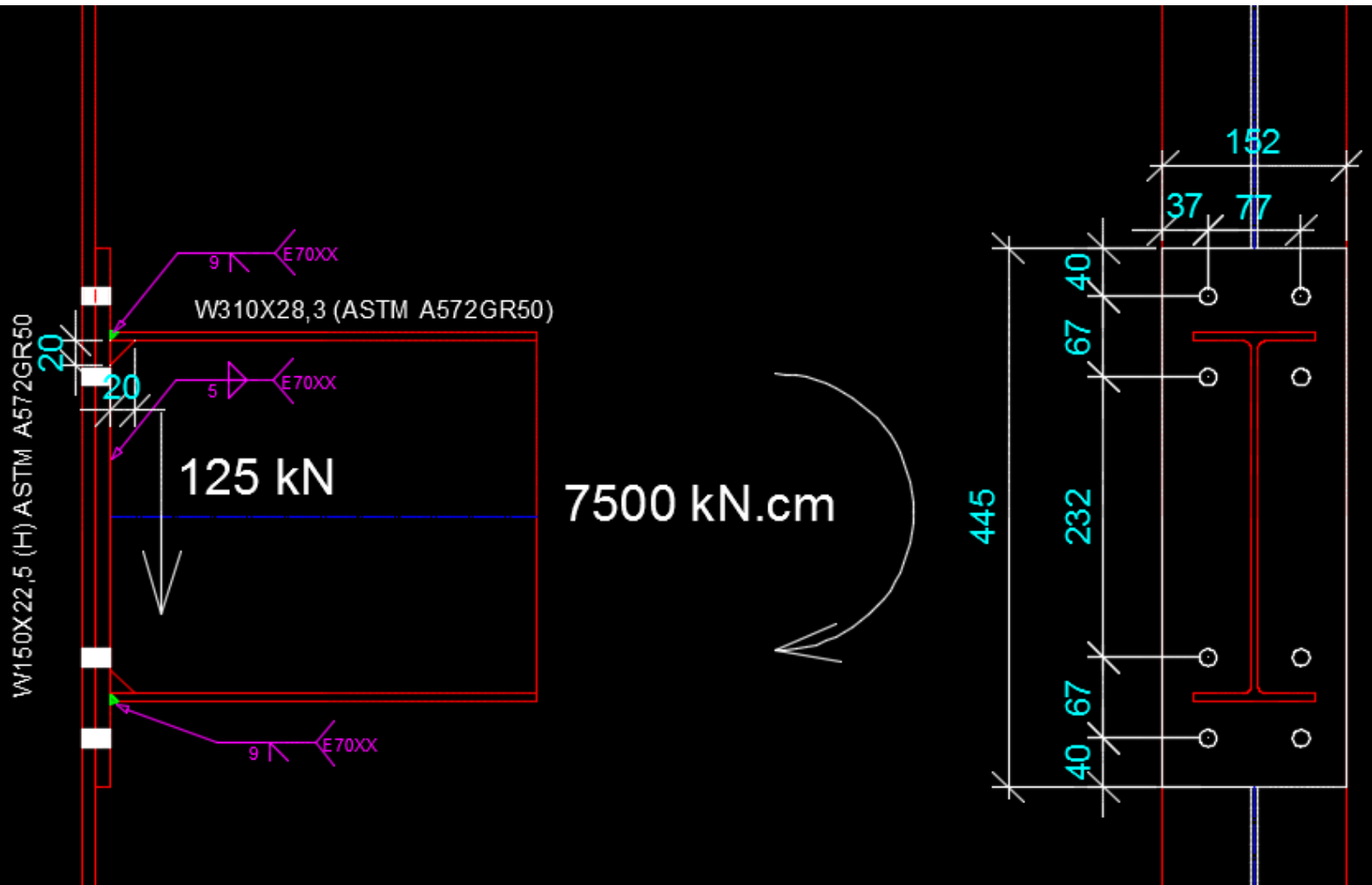


Tabela 8 — Força resistente de cálculo de soldas

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}^{a b d}$
Penetração total ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^{e f 1}$
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal-base: $0,60 A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^i$
Penetração parcial ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB} f_y / \gamma_{a1}^i$ b) Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w1}^{d)}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^k$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^{h k}$
Tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento paralelo às superfícies em contato, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 A_w f_w / \gamma_{w2}^k$

^a Para definição de áreas efetivas de soldas, ver 6.2.2.
^b O metal da solda a ser usado para cada metal-base é dado na Tabela 7.
^c Soldas de filete e soldas de penetração parcial, ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas), podem ser calculadas sem considerar as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo da solda; devem ser consideradas, entretanto, as tensões de cisalhamento causadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.
^d Em soldas sujeitas a tensões não-uniformes, as forças solicitante e resistente de cálculo são determinadas com base em comprimentos efetivos unitários.
^e Nesse caso, quando houver duas classes de resistência de metal da solda na Tabela 7, só pode ser usada a classe de maior resistência.
^f Para juntas de canto e em T, com chapa de espera não retirada do local da solda, o metal da solda deve ter uma tenacidade mínima de 27 J a 4 °C, no ensaio de Charpy com entalhe em V. Pode-se dispensar essa exigência de tenacidade, desde que a junta seja dimensionada usando-se o coeficiente de ponderação da resistência e a resistência nominal de uma solda de penetração parcial. A mesma exigência de tenacidade é aplicável a emendas soldadas de perfis soldados com espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm (nesse caso não há alternativa para dispensar tal exigência).
^g Em emendas soldadas de perfis soldados com espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm, deve ser aplicado um preaquecimento igual ou superior a 175 °C.
^h Ver também 6.2.5.2.
ⁱ O valor de γ_{a1} é dado em 4.8.2.
^j O valor de γ_{w1} é igual a 1,25 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,05 para combinações excepcionais.
^k O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.

$$\sigma_t = \frac{M}{W} \quad \sigma_t = \frac{7500}{356}$$

$$\sigma_t = 21,06 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{w,Rd} = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,1}$$

$$\frac{N_{w,Rd}}{A_{MB}} = \frac{F_y}{1,1}$$

$$\sigma_{MB} = \frac{F_y}{1,1} = \frac{34,5}{1,1}$$

$$\sigma_{MB} = 31,36 \text{ kN/cm}^2$$

- *Ruptura da solda na alma (L=250mm)*

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8
^a Executadas somente com um passe.	

Como a alma do perfil W310X28,3 tem espessura 6mm, adotaremos arbitrariamente filete com perna de 5mm

- *Ruptura da solda na alma (L=250mm)*

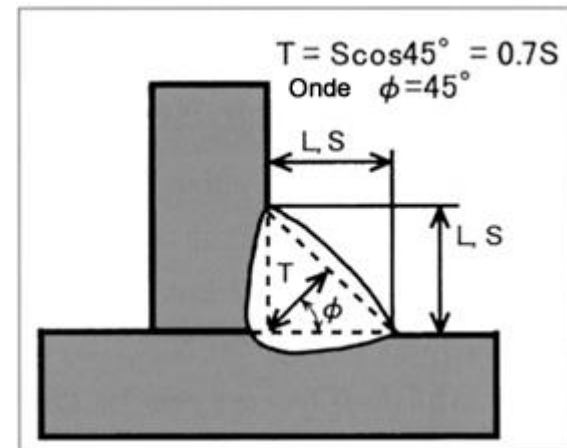
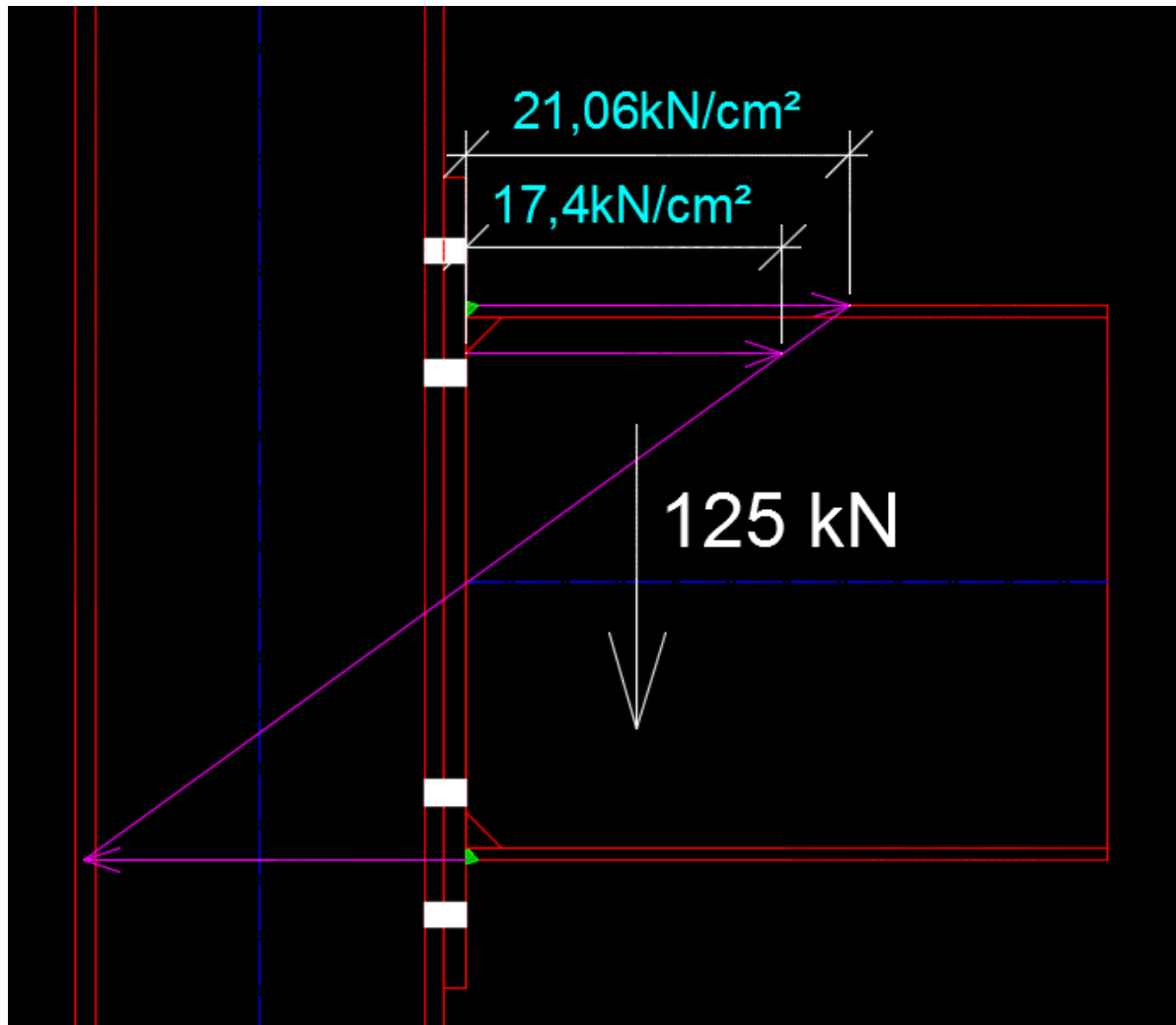


Tabela 8 — Força resistente de cálculo de soldas

Tipo de solda	Tipo de solicitação e orientação	Força resistente de cálculo $F_{w,Rd}^{a b d}$
Penetração total ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	Metal-base: $A_{MB} \cdot f_y / \gamma_{a1}^{e f i}$
	Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva	Metal-base: $0,60 \cdot A_{MB} \cdot f_y / \gamma_{a1}^i$
Penetração parcial ^{g)}	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda	O menor dos dois valores: a) Metal-base: $A_{MB} \cdot f_y / \gamma_{a1}^i$ b) Metal da solda: $0,60 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w1}^{d)}$
	Cisalhamento paralelo ao eixo da solda, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w2}^k$
Filete	Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda ^c	Não precisa ser considerado
	Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas)	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w2}^{h k}$
Tampão em furos ou rasgos	Cisalhamento paralelo às superfícies em contato, na seção efetiva	Metal-base deve atender a 6.5 Metal da solda: $0,60 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w2}^k$

^a Para definição de áreas efetivas de soldas, ver 6.2.2.
^b O metal da solda a ser usado para cada metal-base é dado na Tabela 7.
^c Soldas de filete e soldas de penetração parcial, ligando os elementos componentes de perfis soldados (mesas e almas), podem ser calculadas sem considerar as tensões de tração ou de compressão nesses elementos, paralelas ao eixo da solda; devem ser consideradas, entretanto, as tensões de cisalhamento causadas pelas forças cortantes e os efeitos locais.
^d Em soldas sujeitas a tensões não-uniformes, as forças solicitante e resistente de cálculo são determinadas com base em comprimentos efetivos unitários.
^e Nesse caso, quando houver duas classes de resistência de metal da solda na Tabela 7, só pode ser usada a classe de maior resistência.
^f Para juntas de canto e em T, com chapa de espera não retirada do local da solda, o metal da solda deve ter uma tenacidade mínima de 27 J a 4 °C, no ensaio de Charpy com entalhe em V. Pode-se dispensar essa exigência de tenacidade, desde que a junta seja dimensionada usando-se o coeficiente de ponderação da resistência e a resistência nominal de uma solda de penetração parcial. A mesma exigência de tenacidade é aplicável a emendas soldadas de perfis soldados com espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm (nesse caso não há alternativa para dispensar tal exigência).
^g Em emendas soldadas de perfis soldados com espessura de mesa ou alma superior a 50 mm e de perfis laminados com mesas de espessura superior a 44 mm, deve ser aplicado um preaquecimento igual ou superior a 175 °C.
^h Ver também 6.2.5.2.
ⁱ O valor de γ_{a1} é dado em 4.8.2.
^j O valor de γ_{w1} é igual a 1,25 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,05 para combinações excepcionais.
^k O valor de γ_{w2} é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais.

$$V_{wSd} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ kN}$$

$$V_{wSd} = \frac{62,5}{25} = 2,5 \text{ kN/cm}$$

$$N_{tw} = \frac{0,6 \cdot 17,4}{2}$$

$$N_{tw} = 5,22 \text{ kN/cm}$$

$$N_{Vw} = \sqrt{2,5^2 + 5,22^2}$$

$$N_{Vw} = 5,78 \text{ kN/cm}$$

$$N_w, Rd = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35}$$

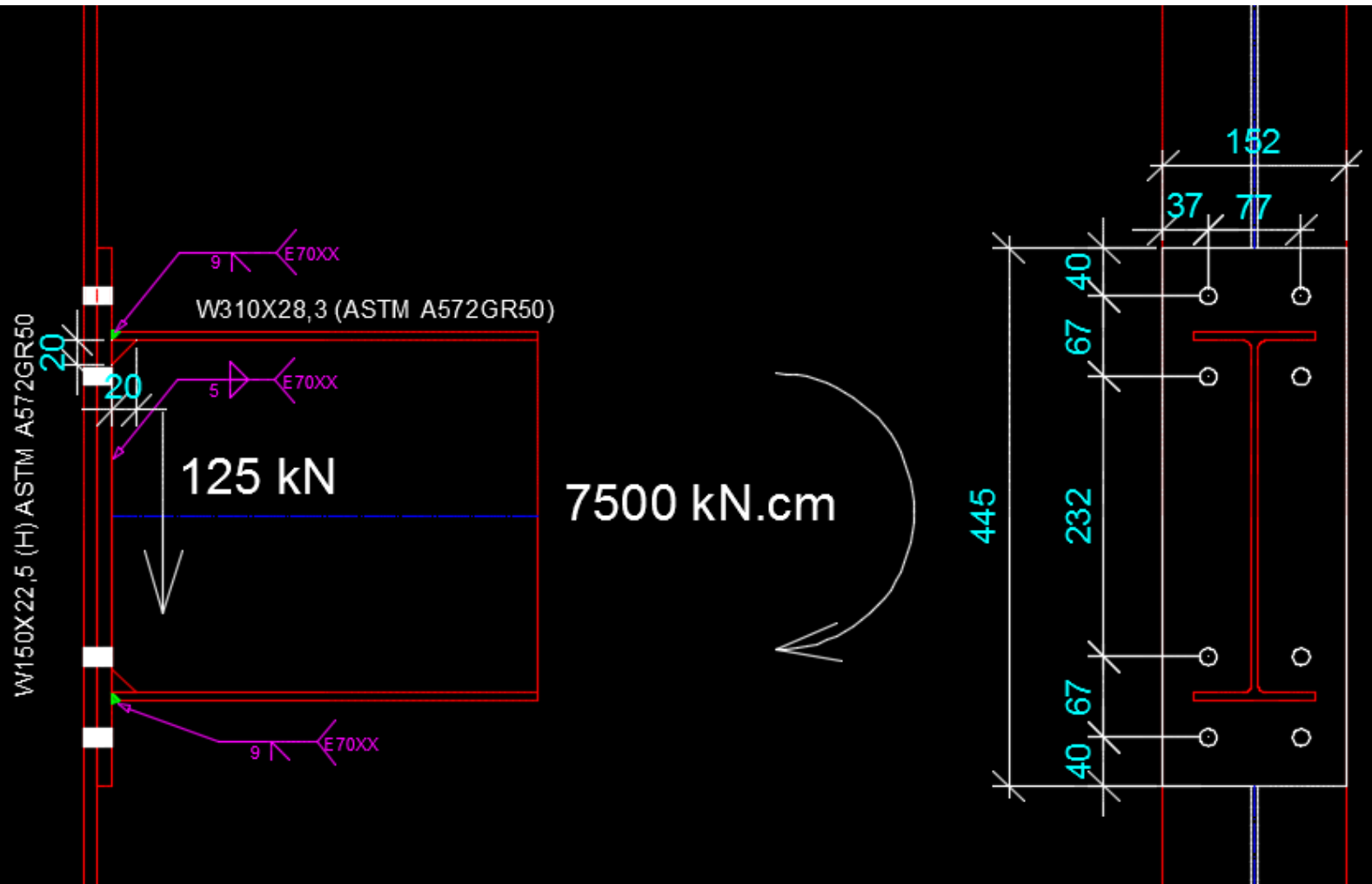
$$N_w, Rd = \frac{0,6 \cdot 0,5 \cdot \text{sen}45 \cdot 1.48,5}{1,35}$$

$$N_w, Rd = 7,61 > 5,78 \text{ OK!}$$

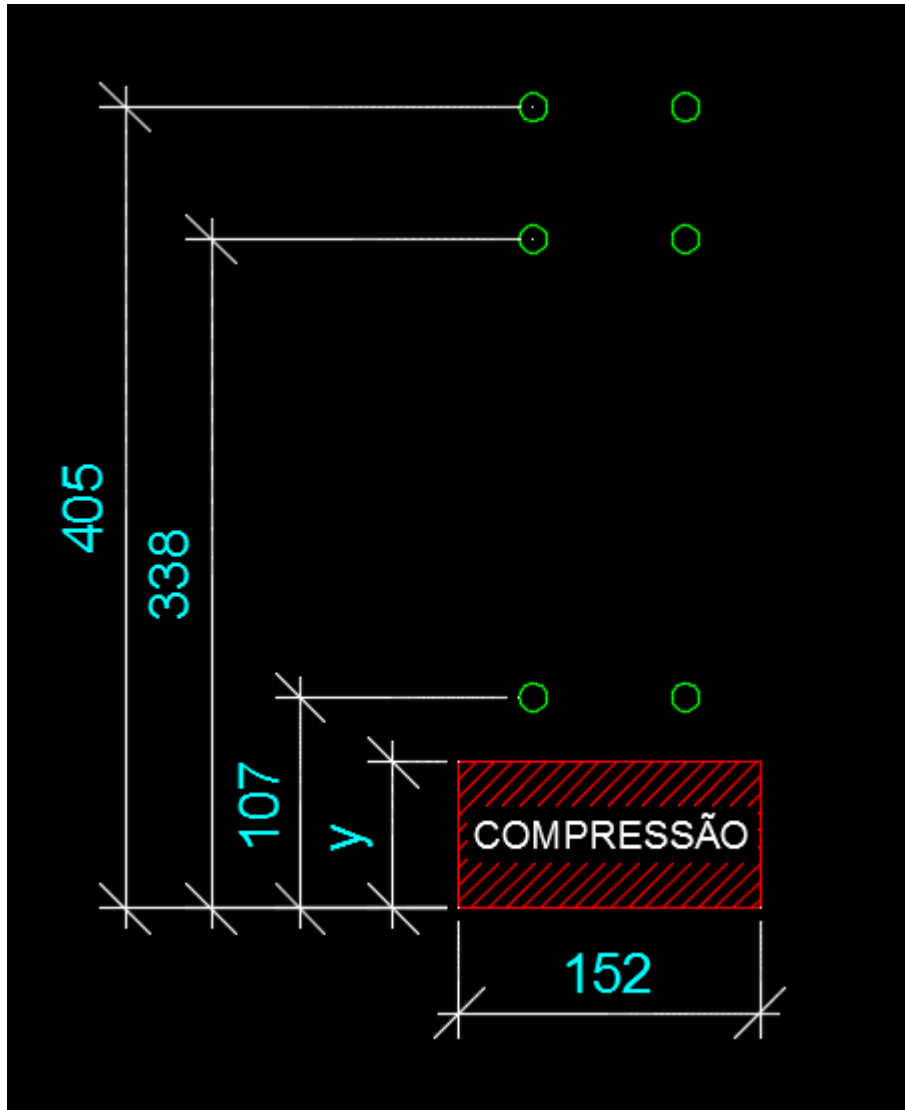
$$N_w, Rd = \frac{A_{MB} \cdot F_y}{1,1}$$

$$N_w, Rd = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 34,5}{1,1} = 627 \text{ kN}$$

- Resistência dos Parafusos



- Resistência dos Parafusos



Soma dos momentos estáticos acima da linha neutra devem ser iguais aos momentos estáticos abaixo da linha neutra para que haja equilíbrio

Seções	Momento estático	Seções	Momento estático
1. Rectângulo 	$S_x = \frac{bh^2}{2}$ $S_y = \frac{b^2h}{2}$	4. Meio-círculo 	$S_x = \frac{r^3}{1,5}$ $S_y = -\frac{\pi r^2}{2}(a + 0,57759r)$
2. Triângulo 	$S_x = \frac{bh^2}{6}$ $S_y = -\frac{bh^2}{3}$	5. Quarto de círculo 	$S_x = -\frac{r^3}{3}$ $S_y = 0,45232 r^3$
3. Círculo 	$S_x = \frac{\pi d^3}{8}$ $S_y = -\frac{\pi d^2}{4}(a + \frac{d}{2})$	6. Parábola 	$S_x = \frac{bh^2}{2,5}$ $S_y = -\frac{bh}{3}(a + \frac{h}{2,5})$

$$b \cdot \frac{y^2}{2} = \sum A_i (d_i - y)$$

- *Resistência dos Parafusos*

$$A_i = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotando } D=12\text{mm}$$

$$15,2 \cdot \frac{y^2}{2} = 2 * 1,13 \cdot (10,7 - y) + 2 * 1,13(33,4 - y) + 2 * 1,13 \cdot (40,6 - y)$$

$$7,6y^2 = 2,26 \cdot [(10,7 - y) + (33,4 - y) + (40,6 - y)]$$

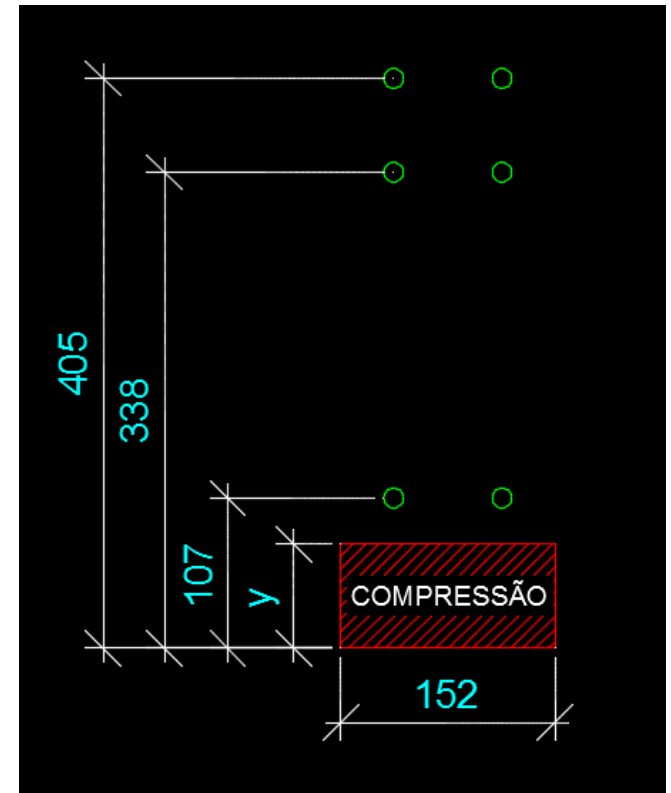
$$7,6y^2 = 191,42 - 6,78y$$

$$7,6y^2 + 6,78y - 191,42 = 0$$

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-6,78 \pm \sqrt{6,78^2 - 4 \cdot 7,6 \cdot (-191,42)}}{2 \cdot 7,6}$$

$$y = 4,60 \text{ cm}$$



- Resistência dos Parafusos

$$I = b \cdot \frac{y^3}{3} + \sum Ai \cdot (di - y)^2$$

$$I = 15,2 \cdot \frac{4,60^3}{3} + 2 \cdot 1,13 \cdot [(10,7 - 4,6)^2 + (33,8 - 4,6)^2 + (40,5 - 4,6)^2]$$

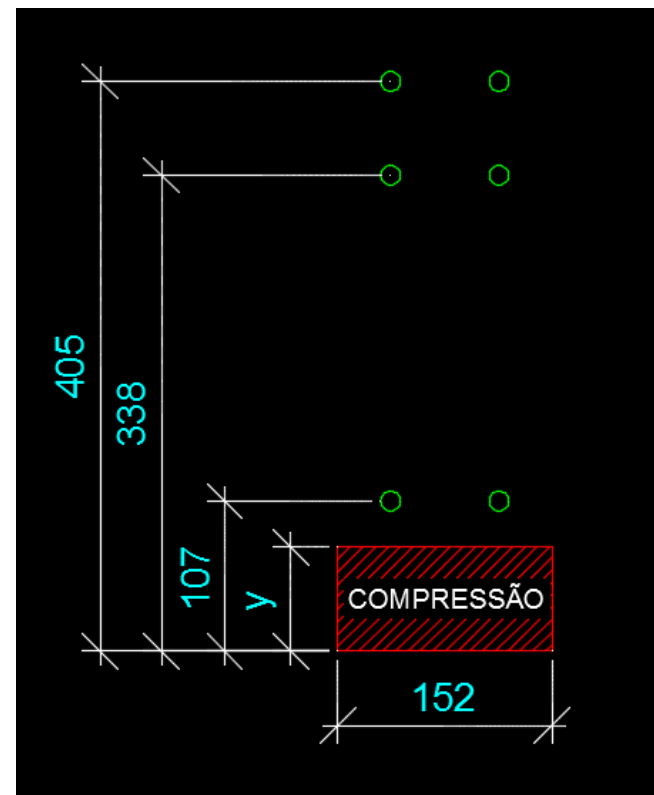
$$I = 5417 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad W = \frac{I}{d} \quad \sigma = \frac{M \cdot d}{I}$$

$$\sigma_1 = \frac{7500 \cdot (40,5 - 4,6)}{5417} = 49,70 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 1,13 \text{ cm}^2 = 56,16 \text{ kN}$$

$$\sigma_2 = \frac{7500 \cdot (33,8 - 4,6)}{5417} = 40,42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 1,13 \text{ cm}^2 = 45,68 \text{ kN}$$

$$\sigma_2 = \frac{7500 \cdot (10,7 - 4,6)}{5417} = 8,44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 1,13 \text{ cm}^2 = 9,54 \text{ kN}$$



- Resistência dos Parafusos à tração e cortante combinados (Tentativa parafusos 12mm ASTM A325)

$$N_{tRd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,75 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 0,25 \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,75 \cdot \pi \cdot 1,2^2 \cdot 0,25 \cdot 82,5}{1,35} = 51,83 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 0,25 \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 1,2^2 \cdot 0,25 \cdot 82,5}{1,35} = 27,64 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad \left(\frac{56,16}{51,83} \right)^2 + \left(\frac{\frac{125}{8}}{27,64} \right)^2 \leq 1,49 \text{ Não Passa!!!}$$

- *Resistência dos Parafusos*

$$A_i = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2 \quad \text{Adotando } D=16 \text{ mm}$$

$$15,2 \cdot \frac{y^2}{2} = 2 * 2,01 \cdot (10,7 - y) + 2 * 2,01(33,4 - y) + 2 * 2,01 \cdot (40,6 - y)$$

$$7,6y^2 = 4,02 \cdot [(10,7 - y) + (33,4 - y) + (40,6 - y)]$$

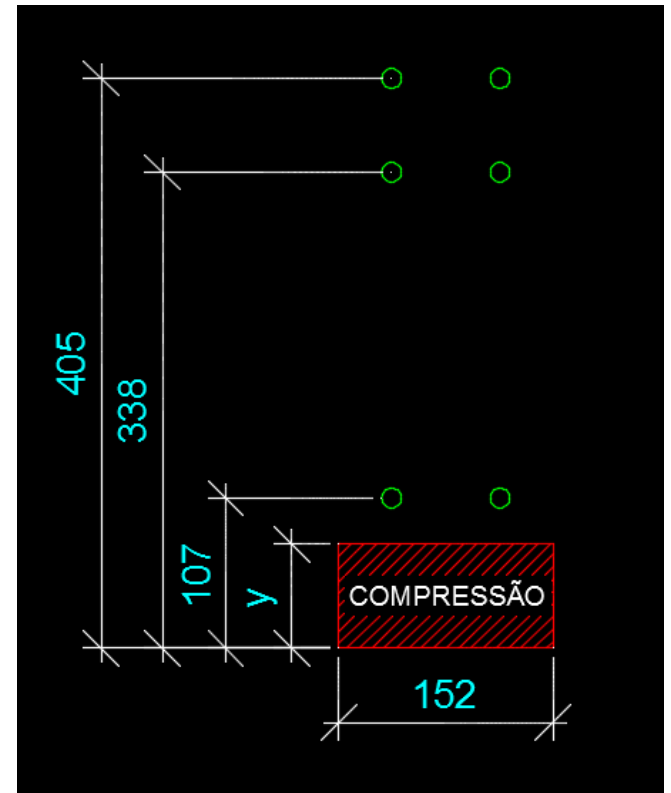
$$7,6y^2 = 340,5 - 12,06y$$

$$7,6y^2 + 12,06y - 340,5 = 0$$

$$y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-12,06 \pm \sqrt{12,06^2 - 4 \cdot 7,6 \cdot (-340,5)}}{2 \cdot 7,6}$$

$$y = 5,94 \text{ cm}$$



- Resistência dos Parafusos

$$I = b \cdot \frac{y^3}{3} + \sum A_i \cdot (d_i - y)^2$$

$$I = 15,2 \cdot \frac{5,94^3}{3} + 2 \cdot 2,01 \cdot [(10,7 - 5,94)^2 + (33,8 - 5,94)^2 + (40,5 - 5,94)^2]$$

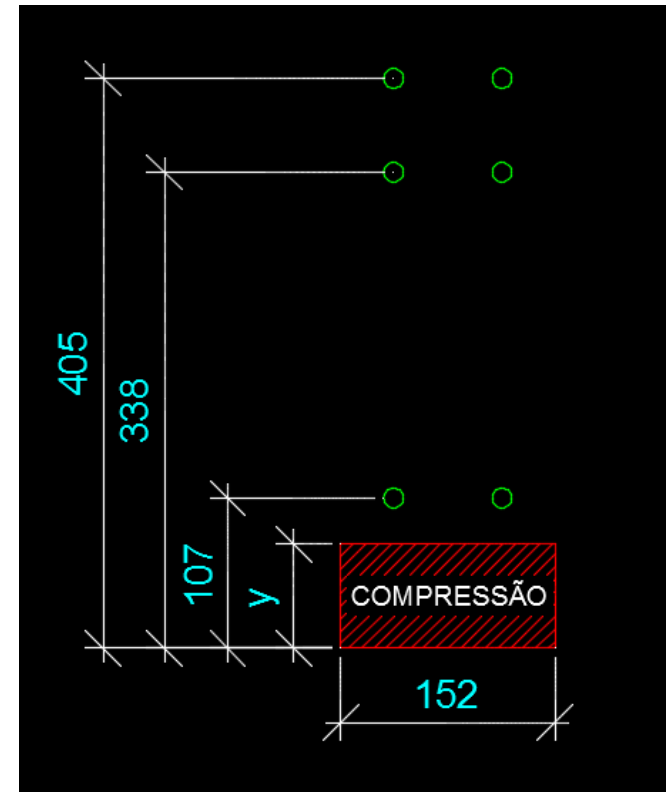
$$I = 9074,7 \text{ cm}^4$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad W = \frac{I}{d} \quad \sigma = \frac{M \cdot d}{I}$$

$$\sigma_1 = \frac{7500 \cdot (40,5 - 5,94)}{9074,7} = 28,56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 2,01 \text{ cm}^2 = 57,41 \text{ kN}$$

$$\sigma_2 = \frac{7500 \cdot (33,8 - 5,94)}{9074,7} = 23,02 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 2,01 \text{ cm}^2 = 46,28 \text{ kN}$$

$$\sigma_2 = \frac{7500 \cdot (10,7 - 5,94)}{9074,7} = 3,93 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \dots \times 2,01 \text{ cm}^2 = 7,90 \text{ kN}$$



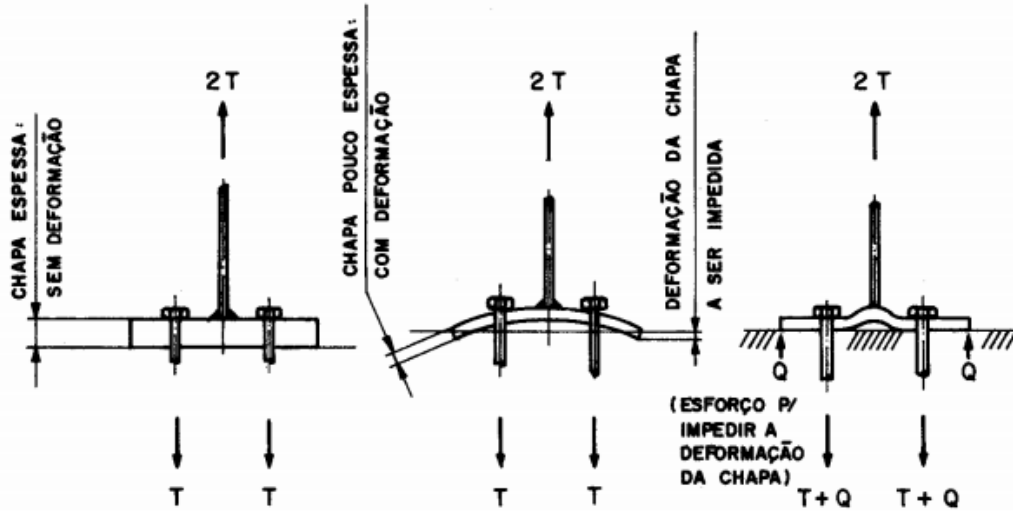
- Resistência dos Parafusos à tração e cortante combinados (Tentativa parafusos 16mm ASTM A325)

$$N_{tRd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,75 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 0,25 \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,75 \cdot \pi \cdot 1,6^2 \cdot 0,25 \cdot 82,5}{1,35} = 92,15 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot 0,25 \cdot F_{ub}}{1,35} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 1,6^2 \cdot 0,25 \cdot 82,5}{1,35} = 49,14 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{N_{tSd}}{N_{tRd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \right)^2 \leq 1,0 \quad \left(\frac{57,41}{92,15} \right)^2 + \left(\frac{\frac{125}{8}}{49,14} \right)^2 \leq 0,49 \text{ OK!!!}$$

- Resistência à flexão da chapa de extremidade

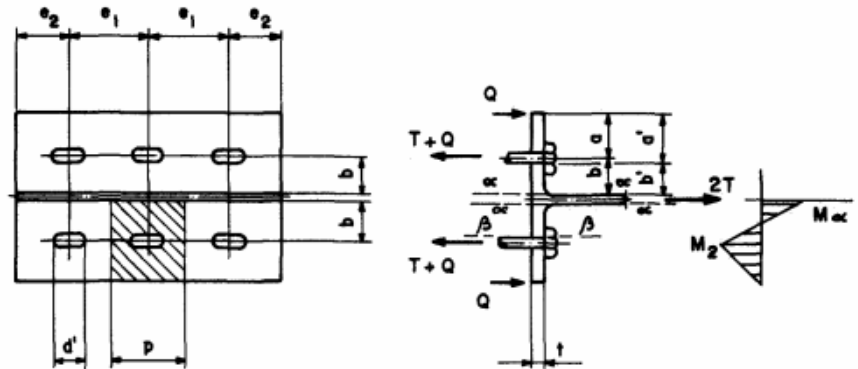


a) CHAPA ESPESSE

b) CHAPA POUQU ESPESSE

c) FIGURA FINAL DA CHAPA

EFEITO ALAVANCA



- Resistência à flexão da chapa de extremidade

Verificação do Efeito Alavanca ($t=16\text{mm}$ parafuso $d=16\text{mm}$)

$$T_{sd} = 62,27 \text{ kN} \quad e_1 = 77\text{mm} \quad e_2 = 37\text{mm} \quad p = \frac{77}{2} + 37 = 75,5\text{mm}$$

$$a = 1,25b = 35\text{mm} \quad a' = a + \frac{d}{2} = 35 + \frac{16}{2} = 43\text{mm}$$

$$b = \frac{445 - 309}{2} - 40 = 28\text{mm} \quad b' = b - \frac{d}{2} = 28 - \frac{16}{2} = 20\text{mm}$$

$$\frac{Tb' - \frac{p \cdot t^2 \cdot fy}{5,33}}{\left(\frac{p - d'}{p}\right) \cdot \left(\frac{p \cdot t^2 \cdot fy}{5,33}\right)} \leq 1,0 \quad \frac{57,41 \cdot 2,0 - \frac{7,55 \cdot 1,6^2 \cdot 25}{5,33}}{\left(\frac{7,55 - 1,8}{7,55}\right) \cdot \left(\frac{7,55 \cdot 1,6^2 \cdot 25}{5,33}\right)} = 0,3499$$

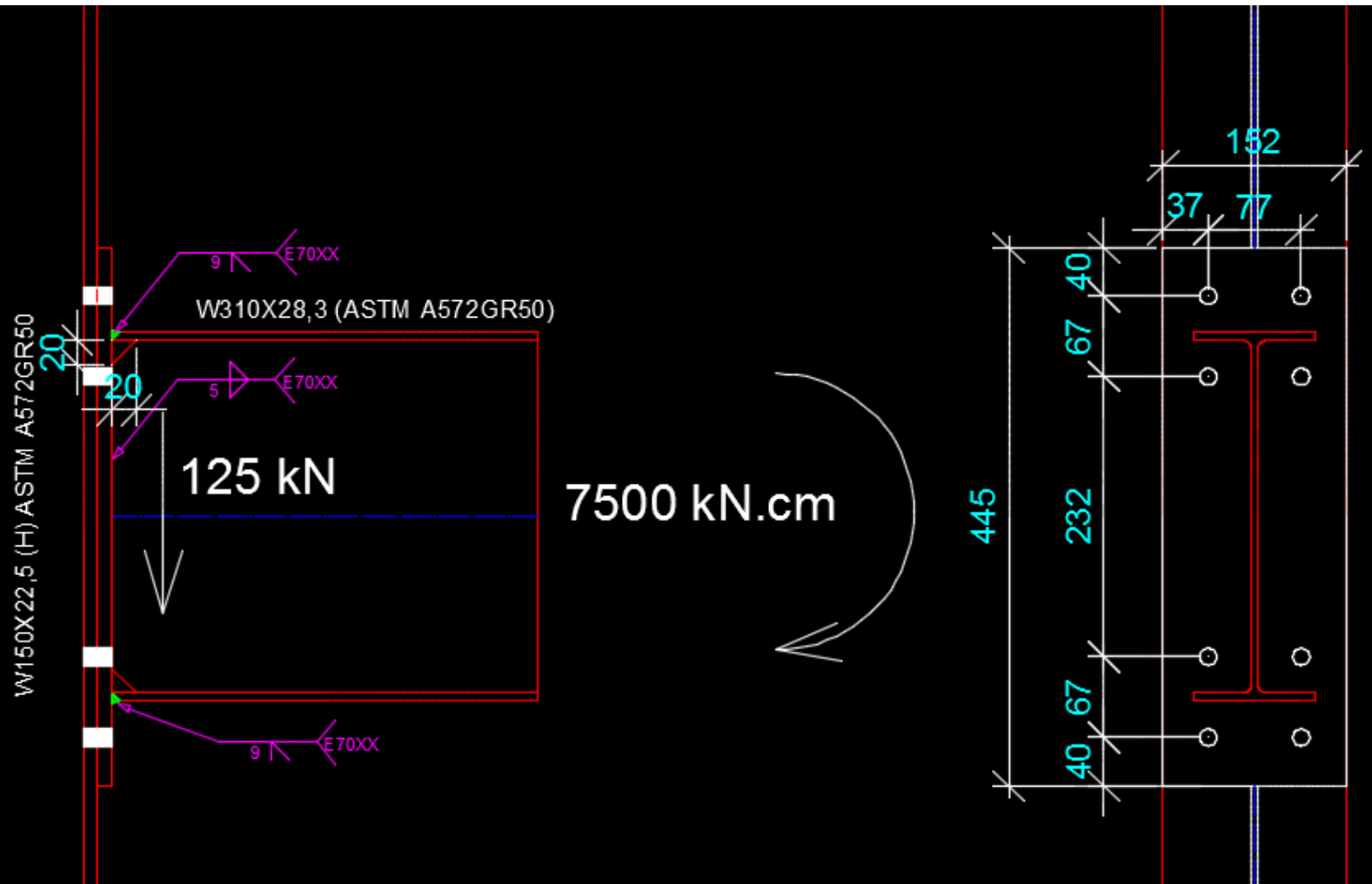
$$Q = \frac{T \cdot b' - \frac{p \cdot t^2 \cdot fy}{5,33}}{a'} \quad Q = \frac{57,41 \cdot 2,2 - \frac{7,55 \cdot 1,6^2 \cdot 25}{5,33}}{4,3} = 8,28 \text{ kN} \quad \left(\frac{57,41 + 8,28}{92,15}\right)^2 + \left(\frac{\frac{125}{8}}{49,14}\right)^2 \leq 0,61 \text{ OK!!!}$$

- Resistência à flexão da chapa de extremidade

$$t = 12m \quad \frac{57,41 \cdot 2,0 - \frac{7,55 \cdot 1,2^2 \cdot 25}{5,33}}{\left(\frac{7,55 - 1,8}{7,55}\right) \cdot \left(\frac{7,55 \cdot 1,2^2 \cdot 25}{5,33}\right)} = 1,64 \quad - \text{Não Passa!!!!}$$

$$t = 19m \quad \frac{57,41 \cdot 2,0 - \frac{7,55 \cdot 1,9^2 \cdot 25}{5,33}}{\left(\frac{7,55 - 1,8}{7,55}\right) \cdot \left(\frac{7,55 \cdot 1,9^2 \cdot 25}{5,33}\right)} = -0,13 \text{ OK!} \quad - \text{Chapa Espessa.}$$

- Verificação da necessidade de enrijecedores



- Necessidade de enrijecedores

Mesa Tracionada

$$F_{Rd} = \frac{6,25 \cdot t_f^2 \cdot F_y}{1,1} \quad F_{Rd} = \frac{6,25 \cdot 0,66^2 \cdot 34,5}{1,1} \quad F_{Rd} = 85,38 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 4 \cdot (57,41 + 8,69) = 264,4 \text{ kN} - \text{SIMPLIFICANDO}$$

Necessário Enrijecedor. Dimensionar a espessura conforme 5.7.9 da NBR8800/08

Regra prática: repetir a espessura da viga : 8,9mm \approx 10mm

$$\text{Mesa Comprimida} \quad F_{Rd} = \frac{1,1 \cdot (5 \cdot k + l) \cdot F_y \cdot t_w}{1,1} \quad F_{Rd} = \frac{1,1 \cdot (5 \cdot 2 \cdot 0,66 + 5,94) \cdot 34,5 \cdot 0,58}{1,1} = 250 \text{ kN}$$

$$\sigma_1 = \frac{7500 \cdot 5,94}{9074,7} = 4,90 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{15,2}{2} = \frac{74,48}{2} = 37,24 \text{ kN OK! Não é necessário Enrijecedor}$$

ℓ_n é o comprimento de atuação da força na direção longitudinal da viga;

K é a espessura da mesa carregada mais o lado do filete de solda paralelo à alma, no caso de perfis soldados, ou a espessura da mesa mais o raio de concordância com a alma, no caso de perfis laminados;

t_w é a espessura da alma.

Matricule-se hoje mesmo

www.calculistadeaco.com.br

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas