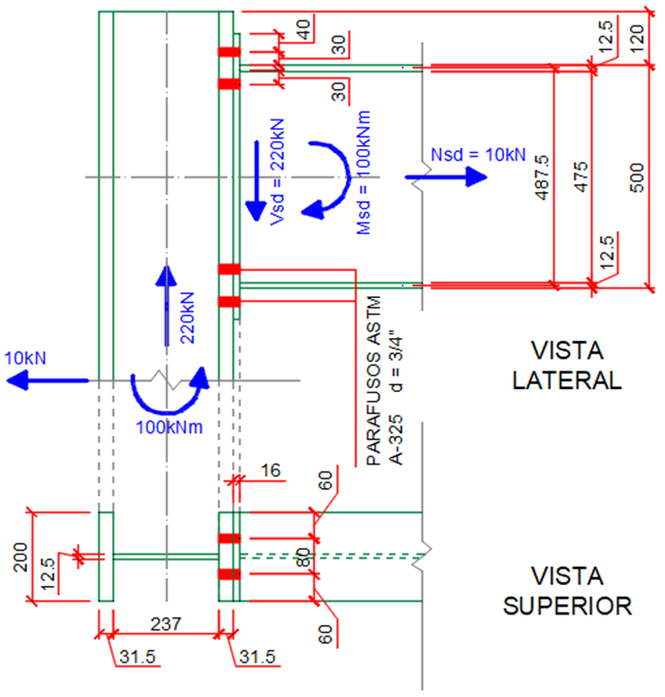
AM1_E09-03

Para a mesma ligação do exercício anterior (AM1_E09-02), porém, admitindo ligação do tipo contato, efetuar as verificações cabíveis aos parafusos da ligação desprezando o efeito alavanca.



Dados:
- Aço ASTM A36;
- Parafusos ASTM A325 d=3/4";
- furo padrão;
- a deformação do furo é uma limitação de projeto;

$E := 200\ GPa$ $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$ $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$

$Vsd := 220\ kN$ $Msd := 100\ kN\ m$

$Nsd := 10\ kN$

$\gamma a1 := 1,1$ $\gamma a2 := 1,35$

Quais verificações são necessárias?

SIM 1) Corte do Parafuso;
SIM 2) Comprimento da Ligação;
SIM 3) Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio;
SIM 4) Tração no Parafuso;
SIM 5) Tração e Corte Simultâneos;
JÁ FEITA NO EXERCÍCIO ANTERIOR 6) Deslizamento entre as chapas;
SIM 7) Pega Longa (para ligações muito espessas – parafusos muito longos)
EXCETUAR NESTE EXERCÍCIO 8) * Verificações de tração, compressão e cisalhamento nos elementos de ligação (chapas, placas e enrijecedores);

Verificação da Pega da Ligação:

p (pega) < 5.d $d := \frac{3}{4} \cdot 25,4\ mm = 19,05\ mm$ $t_chapa_topo := 16\ mm$ $t_mesa := 31,5\ mm$

$p := t_chapa_topo + t_mesa = 47,5\ mm < 5 \cdot d = 95,25\ mm$ Ok! Verifica!

Comprimento da Ligação:

$l_furo_viga := 30\ mm$ $d_viga := 500\ mm$

$Lc := 2 \cdot l_furo_viga + d_viga = 560\ mm < L_limite := 1270\ mm$ Ok! Verifica!

Corte nos Parafusos:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ab := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,8502\ cm^2$

$fub := 825\ MPa$

Força resistente de corte por plano de corte nos parafusos:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 69,67\ kN$

Especificação	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b	
			mm	pol
ASTM A307	-	415	-	$1/2 \le d_b \le 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \le d_b \le 36$	-
ASTM A325 [a]	635 560	825 725	$16 \le d_b \le 24$ $24 < d_b \le 36$	$1/2 \le d_b \le 1$ $1 < d_b \le 1½$
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \le d_b \le 36$	-
ASTM A490	895	1035	$16 \le d_b \le 36$	$1/2 \le d_b \le 1½$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \le d_b \le 36$	-

[a] Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

Planos de corte por parafuso: $n_planos := 1$

Número de parafusos: $n_paraf := 8$

Força resistente de corte total da ligação:

$VRd := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 557,38\ kN$ > $Vsd = 220\ kN$ OK! Verifica! (resistência é maior do que a solicitação)

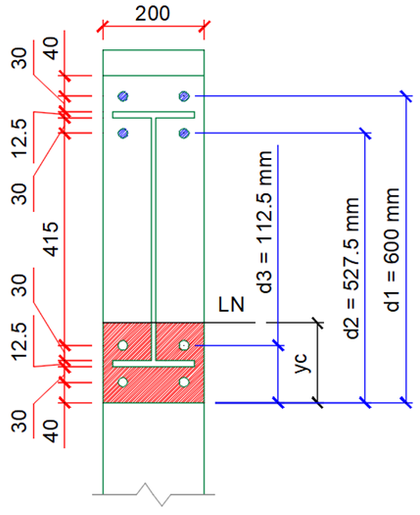
Verificação de Tração nos Parafusos:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,75\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$Ft_Rd_por_paraf := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 130,64\ kN$

Qual o valor da solicitação de tração que ocorre no parafuso mais solicitado?

--> É necessário calcular a posição da LN para a solicitação de momento incidente, dado que a ligação por contato permite que as chapas deslizem e a distribuição de áreas resistentes passa a ser não mais simétrica como antes.



Equilíbrio de Momentos Estáticos

$$b\frac{y_c^2}{2} = \sum A_i\,(d_i - y_c)$$

$b := 200\ mm$ $d1 := 600\ mm$ $d2 := 527,5\ mm$ $d3 := 112,5\ mm$

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 - yc) + 2.Ab.(d2 - yc)

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.((d1 - yc) + (d2 - yc))

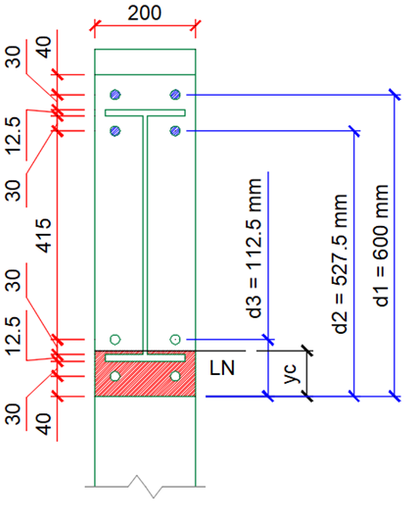
b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 + d2 - 2.yc)

b.yc^2 / 2 - 2.Ab.(d1 + d2 - 2.yc) = 0

b.yc^2 / 2 + 4.Ab.yc - 2.Ab.(d1 + d2) = 0

$\text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} + 4 \cdot Ab \cdot yc\ mm - 2 \cdot Ab \cdot (d1 + d2);\ yc\right) = \begin{bmatrix} -86,073 \\ 74,672 \end{bmatrix}$

$yc1 := 74,67\ mm$ * A altura da linha neutra está abaixo da linha de furação "3" que não foi considerada nos cálculos.



Recalculando a posição da LN considerando mais uma linha de furação:

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 - yc) + 2.Ab.(d2 - yc) + 2.Ab.(d3 - yc)

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.((d1 - yc) + (d2 - yc) + (d3 - yc))

b.yc^2 / 2 = 2.Ab.(d1 + d2 + d3 - 3.yc)

b.yc^2 / 2 - 2.Ab.(d1 + d2 + d3 - 3.yc) = 0

b.yc^2 / 2 + 6.Ab.yc - 2.Ab.(d1 + d2 + d3) = 0

$\text{solve}\left(b \cdot \frac{(yc\ mm)^2}{2} + 6 \cdot Ab \cdot yc\ mm - 2 \cdot Ab \cdot (d1 + d2 + d3);\ yc\right) = \begin{bmatrix} -93,0592 \\ 75,9578 \end{bmatrix}$

$yc2 := 75,956\ mm$

$\frac{yc2}{yc1} = 1,0172$ * Como a diferença percentual entre os dois valores é muito pequena, o erro em não reprocessar o cálculo da posição de LN seria bastante perdoável.

$yc := yc2 = 75,956\ mm$

Momento de Inércia da Seção Composta

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

Para a região comprimida, utilizando o Teorema dos Eixos Paralelos: I_LN = I_CG + A.d^2

I_CG = b . yc^3 / 12 d = yc/2 A = b . yc

I_LN_comp = b . yc^3 / 12 + b . yc . (yc/2)^2

I_LN_comp = b . yc^3 / 12 + b . yc^3 / 4

I_LN_comp = b . yc^3 . (1 / 12 + 1 / 4)

I_LN_comp = b . yc^3 . (1 / 3)

$$I_sec_comp := \frac{b \cdot yc^{\,3}}{3} + 2 \cdot Ab \cdot (d1 - yc)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d2 - yc)^2 + 2 \cdot Ab \cdot (d3 - yc)^2 = 30275\ \text{cm}^4$$

Força de tração solicitante no parafuso mais solicitado (parafusos da linha de furação "1"):

$$F_i = \frac{M}{I} y_i A_i$$

$$Ftm := \frac{Msd}{I_sec_comp} \cdot (d1 - yc) \cdot Ab = 49,336\ \text{kN} \qquad Ftn := \frac{Nsd}{n_paraf} = 1,25\ \text{kN}$$

$$Ft_Sd_por_paraf := Ftm + Ftn = 50,586\ \text{kN}$$

$Ft_Rd_por_paraf = 130,64\ \text{kN}$ > $Ft_Sd_por_paraf = 50,586\ \text{kN}$ OK! Verifica!
(solicitação menor do que a resistência)

Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \le 1,0$$

*Verificação sendo feita somente para o parafuso mais solicitado (linha "1" de furação)

$$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Vsd}{n_paraf} = 27,5\ \text{kN}$$

$$Fv_Rd_por_paraf := Fv_Rd_por_plano \cdot n_planos = 69,672\ \text{kN}$$

$$S_por_R := \left(\frac{Ft_Sd_por_paraf}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 = 0,3057 \quad < 1 \quad \text{OK! Verifica!}$$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2\, l_f\, t f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{2,4\, d_b\, t\, f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$d_b := d = 19,05\ \text{mm}$$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$$l_bf_a_bf := (30\ \text{mm} + 12,5\ \text{mm} + 30\ \text{mm}) - \frac{(d_b + 1,5\ \text{mm})}{2} - \frac{(d_b + 1,5\ \text{mm})}{2} = 51,95\ \text{mm}$$

$$l_bf_a_bc := 40\ \text{mm} - \frac{(d_b + 1,5\ \text{mm})}{2} = 29,725\ \text{mm}$$

$$lf := \min([\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ ]) = 29,725\ \text{mm}$$

$t := t_chapa_topo = 16\ mm$

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 169,10\ kN$ * Resistência ao rasgamento de chapa no furo mais desfavorável da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd2 := \frac{2,4 \cdot d_b \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 216,75\ kN$ * Resistência de pressão de apoio por furo da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd := \min([\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ ]) = 169,10\ kN$ * Resistência aos dois fenômenos por furo.

$Fv_Sd_por_paraf = 27,5\ kN < \quad Fc_Rd = 169,10\ kN$ Ok! Verifica!
