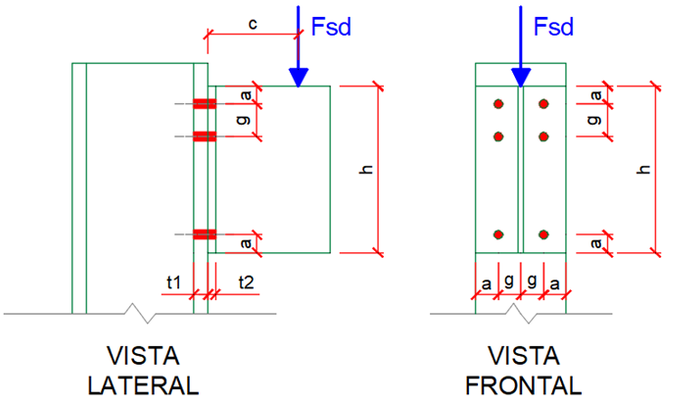
B2T5MA0619A

Calcular qual a máxima excentricidade "c" possível de ser aplicada na ligação tipo contato indicada ao lado, de modo que ainda sejam atendidas as verificações de :

- tração nos parafusos;
- tração e corte simutâneos nos parafusos;

Em seguida proceder a verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio calculando a relação resistência / solicitação para o furo mais desfavorável da ligação.

Dados:
- Furos padrão;
- Parafusos A325 com d = 3/4';
- Aço A36 (MR250);
- Ovalização dos furos é uma limitação de projeto;



$a := 40\ mm$ $g := 50\ mm$ $h := 420\ mm$

$t1 := 12,5\ mm$ $t2 := 12,5\ mm$

$d := \frac{3}{4} \cdot 25,4\ mm = 19,050\ mm$ $Fsd := 300\ kN$

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

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

Q01 - Qual a máxima excentricidade "c" possível de ser adotada de modo que a ligação ainda atenda a verificação de tração nos parafusos? [em mm]
Q02 - Qual a máxima excentricidade "c" possível de ser adotada de modo que a ligação ainda atenda a verificação de tração e corte simultâneos nos parafusos? [em mm]
Q03 - Qual a relação resistência / solicitação na verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio em termos do furo mais desfavorável? [adim.]

Verificação de Corte em Parafuso:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

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

$fub := 825\ MPa$

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.

Força resistente de corte por plano de corte nos parafusos:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 69,672\ kN$

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

Quantidade de parafusos: $n_paraf := 6$

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

$Fv_Sd_por_paraf := \frac{Fsd}{n_paraf} = 50\ kN$

Verificação de Tração em Parafuso:

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

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

Cálculo do esforço de tração no parafuso mais solicitado:

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

$d1 := h - a = 38\ cm$

$d2 := h - a - g = 33\ cm$

$b := 2 \cdot g + 2 \cdot a = 18\ cm$

$yc_calc := solve\left(\frac{b \cdot (yc\ cm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot (d1 + d2 - 2 \cdot yc\ cm);\ yc\right)$

$yc_calc = \begin{bmatrix} 6,1024 \\ 6,1024 \end{bmatrix}$

$yc := \max(yc_calc)\ cm = 6,1024\ cm$

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

$I := \frac{b \cdot yc^3}{3} + 2 \cdot Ab \cdot \left((d1 - yc)^2 + (d2 - yc)^2\right) = 11288\ cm^4$

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

$y1 := d1 - yc = 31,90\ cm$

$F1 := \frac{M}{I} \cdot y1 \cdot Ab \qquad F1 := \frac{Fsd \cdot c}{I} \cdot y1 \cdot Ab$

Igualando F1 com Ft_Rd_por_paraf e isolando Fsd: $c_trac := \frac{Ft_Rd_por_paraf \cdot I}{y1 \cdot Ab \cdot Fsd} = 540,64\ mm$

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)

$Fv_Rd_por_paraf := Fv_Rd_por_plano \cdot n_planos = 69,6723\ kN$

$Ft_Rd_por_paraf = 130,64\ kN$

$Verif_sim := \left(\frac{\frac{Fsd \cdot c_sim}{I} \cdot y1 \cdot Ab}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 \le 1$

$c_sim := \sqrt{\left(1 - \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2\right) \cdot \left(\frac{Ft_Rd_por_paraf \cdot I}{Fsd \cdot y1 \cdot Ab}\right)^2} = 376,50\ mm$

Ou ainda:

$$c_sim := \max\left(\text{solve}\left(\left(\frac{\frac{Fsd \cdot c_sim\ \text{mm}}{I} \cdot y1 \cdot Ab}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{Fv_Sd_por_paraf}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 - 1;\ c_sim\right)\right)\text{mm} = 376{,}5\ \text{mm}$$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

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

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

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$$l_bf_a_bf := g - \frac{\left(d_b + 1{,}5\ \text{mm}\right)}{2} - \frac{\left(d_b + 1{,}5\ \text{mm}\right)}{2} = 29{,}45\ \text{mm}$$

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

$lf := \min\left(\left[\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ \right]\right) = 29{,}45\ \text{mm}$

$t := \min\left(\left[\ t1\ \ t2\ \right]\right) = 12{,}5\ \text{mm}$

$Fc_Rd1 := \frac{1{,}2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 130{,}89\ \text{kN}$ * Resistência ao rasgamento de chapa no furo mais desfavorável da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd2 := \frac{2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 169{,}33\ \text{kN}$ * Resistência de pressão de apoio por furo da chapa de menor espessura.

$Fc_Rd_por_paraf := \min\left(\left[\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ \right]\right) = 130{,}89\ \text{kN}$ * Resistência aos dois fenômenos por furo.

$relacao := \frac{Fc_Rd_por_paraf}{Fv_Sd_por_paraf} = 2{,}6178$

$Q01 := c_trac = 540{,}64\ \text{mm}$

$Q02 := c_sim = 376{,}5\ \text{mm}$

$Q03 := relacao = 2{,}6178$
