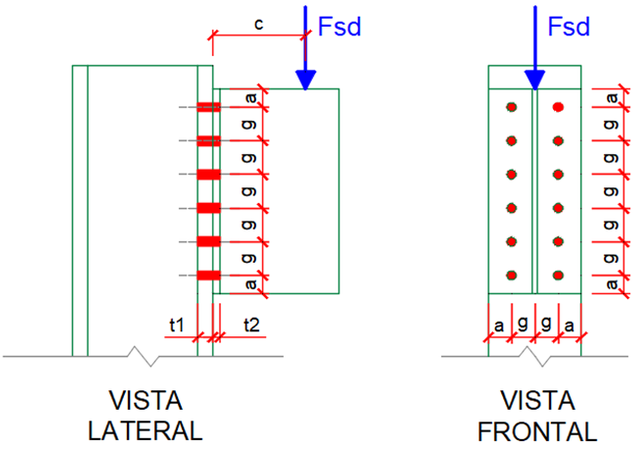
B2T5NA0616A

Calcular qual a máxima solicitação Fsd possível de ser aplicada na ligação tipo contato indicada ao lado, de modo que sejam atendidas as verificações de :

a) corte dos parafusos;
b) tração nos parafusos;
c) tração e corte simutâneos nos parafusos;
d) rasgamento de chapa e pressão de apoio;



Dados:
- Furos padrão;
- Parafusos A490 com d = 3/4";
- Aço A36 (MR250);
- Ovalização dos furos é uma limitação de projeto;

$a := 40\ mm$ $g := 60\ mm$ $c := 180\ mm$

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

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

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

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

OBS: nos procedimentos de cálculo determinar a altura da LN por meio da expressão proposta na bibliografia Pfeil; Pfeil 2008

Q01 - Qual o máximo valor de Fsd (em valor de cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de corte de parfusos ainda seja atendida ? [kN]
Q02 - Qual o máximo valor de Fsd (em valor de cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de tração nos parafusos ainda seja atendida ? [kN]
Q03 - Qual o máximo valor de Fsd (em valor de cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de tração e corte simultâneos dos parausos ainda seja atendida ? [kN]
Q04 - Qual o máximo valor de Fsd (em valor de cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de rasgamento de chapa e pressão de apoio ainda seja atendida ? [kN]

Verificação de Corte em Parafuso:

*Considerando uso de parafusos de rosca inteira.

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

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

$fub := 1035\ MPa$

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:

$Fv_Rd_por_plano := \frac{0,4 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 87,407\ kN$

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

Número de parafusos: $n_paraf := 12$

$Fv_Rd_total := n_planos \cdot n_paraf \cdot Fv_Rd_por_plano = 1048,9\ kN$

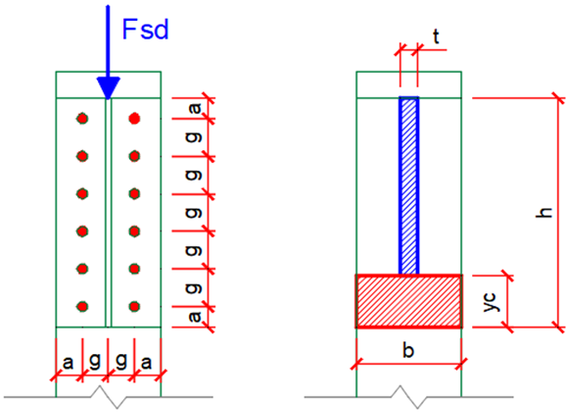
$Fsd_corte := Fv_Rd_total$

Verificação de Tração em Parafuso:

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

$Ft_Rd_por_paraf := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 163,89\ kN$

Aplicação das expressões para cálculo do esforço de tração conforme Pfeil; Pfeil 2008:



$h := 2 \cdot a + 5 \cdot g = 38\ cm$

$b := 2 \cdot a + 2 \cdot g = 20\ cm$ $\quad n := 2$

$$t = \frac{A_i}{a} n$$

$t := \frac{Ab \cdot n}{g} = 0,95008\ cm$

$$b\,\frac{y_c^{\,2}}{2} = t\,\frac{(h - y_c)^2}{2}$$

$yc_calc := \text{solve}\left(\frac{b \cdot (yc\ cm)^2}{2} - \frac{t \cdot (h - yc\ cm)^2}{2};\ yc\right)$

$yc_calc = \begin{bmatrix} -10,59 \\ 6,8001 \end{bmatrix}$ $\quad yc := \max(yc_calc)\ cm = 6,8001\ cm$

$$I = \frac{b\, y_c^{\,3}}{3} + \frac{t\,(h - y_c)^3}{3}$$

$I := \frac{b \cdot yc^{\,3}}{3} + \frac{t \cdot (h - yc)^3}{3} = 11715\ cm^4$

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

$d1 := a + 5 \cdot g = 34\ cm$ $\quad y1 := d1 - yc = 27,2\ cm$

$F1 := \frac{M}{I} \cdot y1 \cdot Ab$ $\quad F1 := \frac{Fsd_trac \cdot c}{I} \cdot y1 \cdot Ab$

Igualando F1 com Ft_Rd_por_paraf e isolando Fsd: $\quad Fsd_trac := \frac{Ft_Rd_por_paraf \cdot I}{c \cdot y1 \cdot Ab} = 1375,8\ kN$

Cálculo alternativo sem a utilização das expressões de Pfeil; Pfeil 2008:

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

$d1 := a + 5 \cdot g = 34\ cm$

$d2 := a + 4 \cdot g = 28\ cm$

$d3 := a + 3 \cdot g = 22\ cm$

$d4 := a + 2 \cdot g = 16\ cm$

$d5 := a + 1 \cdot g = 10\ cm$

$yc_calc2 := \text{solve}\left(\frac{b \cdot (yc\ cm)^2}{2} - 2 \cdot Ab \cdot (d1 + d2 + d3 + d4 + d5 - 5 \cdot yc\ cm);\ yc\right)$

$yc_calc2 = \begin{bmatrix} 6,6208 \\ 6,6208 \end{bmatrix}$ $\quad yc2 := \max(yc_calc2)\ cm = 6,6208\ cm$

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

$I2 := \frac{b \cdot yc2^{\,3}}{3} + 2 \cdot Ab \cdot \left((d1 - yc2)^2 + (d2 - yc2)^2 + (d3 - yc2)^2 + (d4 - yc2)^2 + (d5 - yc2)^2\right) = 10728\ cm^4$

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

$y12 := d1 - yc2 = 27,38\ cm$

$F1 := \frac{M}{I2} \cdot y12 \cdot Ab \qquad F1 := \frac{Fsd_trac2 \cdot c}{I2} \cdot y12 \cdot Ab$

Igualando F1 com Ft_Rd_por_paraf e isolando Fsd: $Fsd_trac2 := \frac{Ft_Rd_por_paraf \cdot I2}{c \cdot y12 \cdot Ab} = 1251,7\ kN$

* CONCLUSÃO: o procedimento sem a utilização das expressões de Pfeil; Pfeil 2008 leva a resultados mais conservadores.

Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

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

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

$Fv_Rd_por_paraf := Fv_Rd_por_plano \cdot n_planos = 87,407\ kN$

$Ft_Rd_por_paraf = 163,89\ kN$

$$Verif_sim := \left(\frac{\frac{Fsd_sim \cdot c}{I} \cdot y1 \cdot Ab}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{\frac{Fsd_sim}{n_paraf}}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2 \leq 1$$

$$Fsd_sim := \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\frac{c \cdot y1 \cdot Ab}{I}}{Ft_Rd_por_paraf}\right)^2 + \left(\frac{\frac{1}{n_paraf}}{Fv_Rd_por_paraf}\right)^2}} = 834,12\ kN$$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio :

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

$d_b := d = 19,05\ mm$

bf : borda de furo bc : borda de chapa

$$l_bf_a_bf := g - \frac{\left(d_b + 1,5\ mm\right)}{2} - \frac{\left(d_b + 1,5\ mm\right)}{2} = 39,45\ mm$$

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

$lf := \min\left(\left[\ l_bf_a_bf\ \ l_bf_a_bc\ \right]\right) = 29,725\ mm$

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

$Fc_Rd1 := \frac{1,2 \cdot lf \cdot t \cdot fu}{\gamma a2} = 132,11\ kN$ * Resistência ao rasgamento de chapa no furo mais desfavorável da chapa de menor espessura.

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

$Fc_Rd := \min\left(\left[\ Fc_Rd1\ \ Fc_Rd2\ \right]\right) = 132,11\ kN$ * Resistência aos dois fenômenos por furo.

$Fsd_rasg_press := Fc_Rd \cdot n_paraf = 1585,3\ kN$

$Q01 := Fsd_corte = 1048,9\ kN$

$Q02 := Fsd_trac = 1375,8\ kN$

$Q03 := Fsd_sim = 834,12\ kN$

$Q03 := Fsd_rasg_press = 1585,3\ kN$
