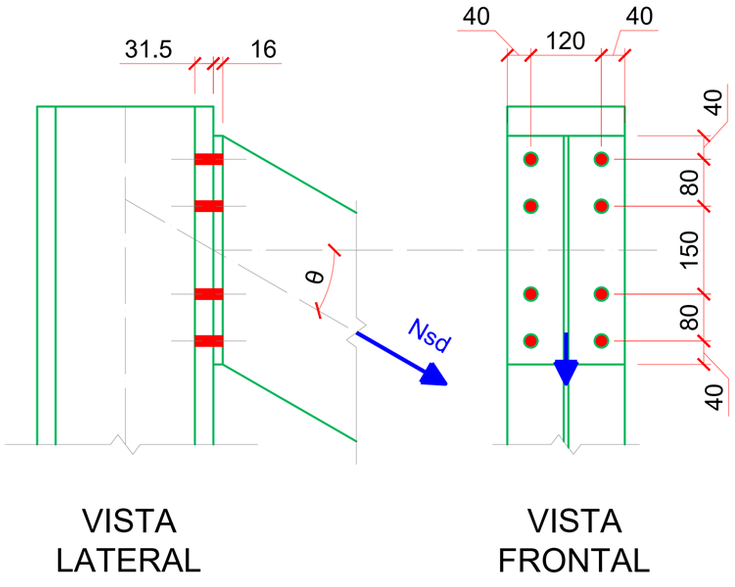
# B2T5MA0529A

Para a ligação por atrito detalhada, calcular qual a máxima solicitação Nsd (em valor de cálculo) possível de ser aplicada de modo que a verificação de deslizamento entre chapas ainda seja atentida.

Em seguida, prevendo falha no mecanismo de atrito, a ligação também deve ser verificada como trabalhando por mecanismo de contato. Para tanto, proceder as verificações de
- corte de parafuso;
- tração de parafuso;
- tração e corte simultâneos em parafuso;

calculando as relações resistência / solicitação para cada uma destas verificações utilizando como solicitação o valor de cálculo de Nsd obtido na verificação de deslizamento de chapa.




VISTA LATERAL

VISTA FRONTAL

- Furos padrão;
- Superfícies jateadas sem pintura;
- Parafusos A325 com d = 7/8";
- Aço A36 (MR250);
- Ângulo θ = 30°;
- Força Nsd passa no centróide da ligação;

$d := \frac{7}{8} \cdot 25,4\ mm = 22,225\ mm$

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

$\theta := 30\ °$ $\quad fub := 825\ MPa$

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

Q01 - Qual o máximo valor de Nsd (em valor da cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de deslizamento de chapa ainda seja atendida ? [kN]
Q02 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de corte de parafuso assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]
Q03 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de tração de parafuso assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]
Q04 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de tração e corte simultâneos nos parafusos assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]

## Verificação de Deslizamento de Chapa:

Relação entre esforço de tração e esforço de corte na ligação:

Vsd = Nsd . sen θ $\quad \sin(\theta) = 0,5$

Tsd = Nsd . cos θ $\quad \cos(\theta) = 0,86603$

Como os furos na ligação são furos padrão, conforme a prescrição da norma NBR800:2008 a verificação de deslizamento de chapa passa a ser uma verificação ELS (estado limite de serviço), para tanto é necessário converter as ações aplicadas de valor de cálculo para valor de serviço. Como não há referência quanto aos conficientes aplicados e o tipo de combinação feita, é possível usar o procedimento simplificado elencado pela norma e explicado na apresentação de slides da disciplina (e reproduzido a seguir).

## Resistência ao Deslizamento (4)

$F_{Tb}$ : força de protensão mínima por parafuso;

$F_{t,Sk}$ : força de tração solicitante característica no parafuso que reduz a força de protensão, calculada com as combinações últimas ou simplificadamente tomada igual a 70% da força de tração solicitante de cálculo;

$F_{t,Sd}$ : força de tração solicitante de cálculo no parafuso que reduz a força de protensão, calculada com as combinações últimas de ações;

$n_s$ : número de planos de deslizamento;

$\gamma_e$ : coeficiente de ponderação de resistência igual a:

- 1,20 para combinações normais, especiais ou de construção;
- 1,00 para combinações excepcionais;

45

$\mu$ : coeficiente médio de atrito dado por:

- **0,35** para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxa, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada por meio de escova de aço;
- **0,50** superfícies jateadas sem pintura;
- **0,20** superfícies galvanizadas a quente;

$C_h$ : é um fator de furo igual a:

- **1,00** para furos padrão;
- **0,85** para furos alargados ou pouco alongados;
- **0,70** para furos muito alongados;

$$F_{f,Rk} = 0,80\,\mu\,C_h\,F_{Tb}\,n_s\left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{0,80F_{Tb}}\right)$$

$n_paraf := 8$

Assim sendo:

Ft_sk_total = 0,70.Tsd = 0,70.cos(θ).Nsd

Fv_sk_total = 0,70.Vsd = 0,70.senθ).Nsd

| Diâmetro $d_b$ | | $F_{Tb}$ kN | |
|---|---|---|---|
| pol | mm | ASTM A325 | ASTM A490 |
| 1/2 | | 53 | 66 |
| 5/8 | | 85 | 106 |
| | 16 | 91 | 114 |
| 3/4 | | 125 | 156 |
| | 20 | 142 | 179 |
| | 22 | 176 | 221 |
| 7/8 | | 173 | 216 |
| | 24 | 205 | 257 |
| 1 | | 227 | 283 |
| | 27 | 267 | 334 |
| 1 1/8 | | 250 | 357 |
| | 30 | 326 | 408 |
| 1 1/4 | | 317 | 453 |
| | 36 | 475 | 595 |
| 1 1/2 | | 460 | 659 |

$F_{Tb} := 173\ kN$

$n_s := 1$

$\mu := 0,50$

$C_h := 1,00$

Obs: a expressão ao lado é para verificação de um único parafuso, logo, para obtenção do Nsd total é necessário multiplicar o resultado pela quantidade de parafusos da ligação (n_paraf) ou alterar a expressão multiplicando FTb pelo mesmo número de parafusos obtendo o resultado já para a ligação como um todo. Em ambos os casos é necessário atentar para a relação entre valores de cálculo (ELU) e valores ELS.

Ff_rk_total = 0,80 . μ . Ch. FTb . ns . ( 1 - Ft_sk_total / (0,80 . FTb) )

* Como o esforço cortante em relação ao parafusos é que provoca o deslizamento entre as chapas
Ff_rk_total = Fv_sk_total

assim sendo:

Fv_sk_total = 0,80 . μ . Ch. n_paraf . FTb . ns . ( 1 - Ft_sk_total / (0,80 . n_paraf . FTb) ) ou ainda, em função de Nsd :
0,70.sen(θ).Nsd = 0,80 . μ . Ch. n_paraf . FTb . ns . ( 1 - 0,70.cos(θ).Nsd/ (0,80 . n_paraf.FTb) )

Resolvendo a expressão para "Nsd":

$$Nsd := \text{solve}\left(0,70\cdot\sin(\theta)\cdot Nsd\ kN - 0,80\cdot\mu\cdot C_h\cdot n_paraf\cdot F_{Tb}\cdot n_s\cdot\left(1 - \frac{0,70\cdot\cos(\theta)\cdot Nsd\ kN}{0,8\cdot n_paraf\cdot F_{Tb}}\right);\ Nsd\right)\ kN$$

$Nsd = 847,64\ kN$

---

Verificação de Corte em Parafuso:

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

$$Ab := \frac{\pi\cdot d^2}{4} = 3,8795\ cm^2 \qquad Fv_Rd := \frac{0,4\cdot Ab\cdot fub}{\gamma a2} = 94,832\ kN$$

$Vrd_total := n_paraf\cdot Fv_Rd = 758,65\ kN$

$Vsd_total := Nsd\cdot\sin(\theta) = 423,82\ kN$

$$razaoV := \frac{Vrd_total}{Vsd_total} = 1,79$$

---

## Verificação de Tração em Parafuso:

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

$Ft_Rd := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 177,8\ kN$

$Trd_total := n_paraf \cdot Ft_Rd = 1422\ kN$

$Tsd_total := Nsd \cdot \cos(\theta) = 734,1\ kN$

$razaoT := \frac{Trd_total}{Tsd_total} = 1,9378$

---

## Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

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

*OBS: em tese esta é uma verificação feita por parafuso e destinada à conferir se o(s) parafuso(s) mais solicitado(s) atendem à condição de solicitação simultânea de tração e corte. Porém, como no caso do presente problema todos os parafusos sofrem a mesma solicitação em termos de corte e tração, usar os valores por parafuso ou para o conjunto de parafusos da ligação não alterará o resultado dado que a diferença entre ambos será somente a quantidade de elementos, que é alterada igualmente no cálculo da resistência e da solicitação.

$Tsd_total := Nsd \cdot \cos(\theta) = 734,1\ kN$

$Vsd_total := Nsd \cdot \sin(\theta) = 423,8\ kN$

$Trd_total = 1422\ kN$

$Vrd_total = 758,7\ kN$

$S_por_R := \left(\frac{Tsd_total}{Trd_total}\right)^2 + \left(\frac{Vsd_total}{Vrd_total}\right)^2 = 0,5784$

Como a questão Q04 exige um relação ao inverso, ou seja, resistência por solicitação, é necessário inverter o valor acima calculado.

$razaoS := S_por_R^{-1} = 1,7289$

---

Q01 - Qual o máximo valor de Nsd (em valor da cálculo) possível de ser aplicado de modo que a verificação de deslizamento de chapa ainda seja atendida ? [kN]
Q02 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de corte de parafuso assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]
Q03 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de tração de parafuso assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]
Q04 - Qual a relação resistência / solicitação para a ligação em termos da verificiação de tração e corte simultâneos nos parafusos assumindo como solicitação o valor calculado em Q01? [adim.]

$Q01 := Nsd = 847,64\ kN$

$Q02 := razaoV = 1,7900$

$Q03 := razaoT = 1,9378$

$Q04 := razaoS = 1,7289$

---