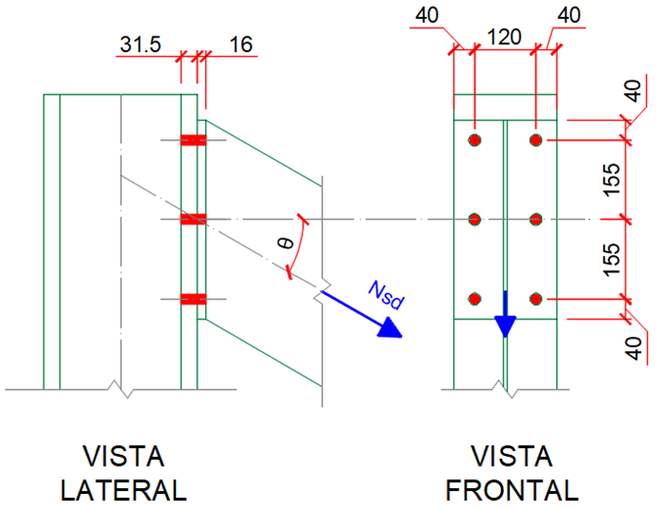
# B2T5NA0602A

Para a ligação por atrito detalhada, verificar se a mesma atende as verificações de :
1) Deslizamento de chapa;
2) Corte de parafusos;
3) Tração nos parafusos;
4) Tração e corte simultâneos nos parafusos;

OBS: a ligação apesar de ser definida como tipo atrito precisa atender as condições relativas ao mecanismo de contato caso os parafusos instalados afrouxem e o atrito não possa mais ser garantido.




- Furos padrão;
- Superfícies jateadas sem pintura;
- Parafusos A325 com d = 5/8';
- Aço AR415;
- Ângulo θ = 35°;
- A força Nsd passa no centróide da ligação e seu valor de cálculo é 450 kN;

$d := \frac{5}{8} \cdot 25,4\ mm = 15,875\ mm$

$E := 200\ GPa$ $\quad fy := 41,5\ \frac{kN}{cm^2}$ $\quad fu := 52\ \frac{kN}{cm^2}$

$\theta := 35\ °$ $\quad fub := 825\ MPa$

$\gamma a1 := 1,1$ $\quad \gamma a2 := 1,35$ $\quad Nsd := 450\ kN$

Q01 - Qual o valor da relação força total resistente / força total solicitante para a verificação de deslizamento de chapa da ligação em questão? [adim.]
Q02 - Qual o valor da relação força total resistente / força total solicitante para a verificação de corte de parafusos da ligação em questão? [adim.]
Q03 - Qual o valor da relação força total resistente / força total solicitante para a verificação de tração nos parafusos da ligação em questão? [adim.]
Q04 - Qual o valor da relação força total resistente / força total solicitante para a verificação de tração e corte simultâneos nos parafusos da ligação em questão? [adim.]
Q05 - Qual das verificações aqui elencadas é determinante da capacidade resistente do meio ligante?
1 - Deslizamento; 2 - Corte; 3 - Tração; 4 - Tração e Corte Simultâneos;

## Verificação de Deslizamento de Chapa:

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

Vsd = Nsd . sen θ $\quad \sin(\theta) = 0,57358$

Tsd = Nsd . cos θ $\quad \cos(\theta) = 0,81915$

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;

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

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 |

$F_{Tb} := 85\ kN$

$n_s := 1$

$\mu := 0{,}50$

$C_h := 1{,}00$

$n_paraf := 6$

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 . n_paraf . FTb . ns . ( 1 - Ft_sk_total / (0,80 . n_paraf . 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 para "Nsd:;

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

$Nrd_des = 296{,}42\ kN$ * Força resistente (ao longo da linha de atuação de Nsd) da ligação quanto à verificação de deslizamento de chapas.

---

Verificação de Corte em Parafuso:

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

$Ab := \frac{\pi\cdot d^2}{4} = 1{,}9793\ cm^2$ $\quad Fv_Rd := \frac{0{,}4\cdot Ab\cdot fub}{\gamma a2} = 48{,}384\ kN$

$Vrd_total := n_paraf\cdot Fv_Rd = 290{,}3\ kN$

Vsd = Nsd . sen θ logo Nsd . sen θ = Vrd_total,
igualando Nsd = Nrd, tem-se que :

$Nrd_cor := \frac{Vrd_total}{\sin(\theta)} = 506{,}12\ kN$

---

## Verificação de Tração em Parafuso:

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

$Ft_Rd := \frac{0,75 \cdot Ab \cdot fub}{\gamma a2} = 90,72\ kN$

$Trd_total := n_paraf \cdot Ft_Rd = 544,3\ kN$

Tsd = Nsd . cos θ  logo  Nsd . cos θ = Trd_total,
igualando Nsd = Nrd, tem-se que :

$Nrd_trac := \frac{Trd_total}{\cos(\theta)} = 664,49\ kN$

## Verificação de Tração e Corte Simultâneos:

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

$Trd_total = 544,31\ kN$

$Vrd_total = 290,3\ kN$

Vsd_total = Nsd . sen θ

Tsd_total = Nsd . cos θ

(Tsd_total / Trd_total)^2 + (Vsd_total / Vrd_total)^2 = 1  ou  ainda:

(Nsd.cosθ / Trd_total)^2 + (Nsd.senθ / Vrd_total)^2 = 1

Isolando Nsd e fazendo Nsd = Nrd:

$$Nrd_sim := \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\cos(\theta)\ kN}{Trd_total}\right)^2 + \left(\frac{\sin(\theta)\ kN}{Vrd_total}\right)^2}}\ kN = 402,63\ kN$$

$Nrd_final := \min([\, Nrd_cor\ Nrd_trac\ Nrd_des\ Nrd_sim \,]) = 296,42\ kN$

```
if Nrd_final = Nrd_des        = 1
  verif := 1
else
  if Nrd_final = Nrd_cor
    2
  else
    if Nrd_final = Nrd_trac
      3
    else
      if Nrd_final = Nrd_sim
        4
      else
        0
```

$Q01 := \frac{Nrd_des}{Nsd} = 0,65872$

$Q02 := \frac{Nrd_cor}{Nsd} = 1,1247$

$Q03 := \frac{Nrd_trac}{Nsd} = 1,4766$

$Q04 := \frac{Nrd_sim}{Nsd} = 0,89474$

$Q05 := verif = 1,0000$