

## 8.5 Resistencia de los medios de unión. Uniones atornilladas.

### 8.5.1 Disposiciones constructivas

- 1 La situación de los tornillos en la unión debe contribuir a reducir la posibilidad de corrosión y pandeo local de las chapas, así como contemplar las necesidades de montaje e inspecciones futuras.
- 2 Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son (figura 8.2):
  - a) distancias mínimas:
    - i) en la dirección de la fuerza que se transmite:
      - $e_1 \geq 1,2 d_0$  del eje del agujero al borde de la pieza;
      - $p_1 \geq 2,2 d_0$  entre ejes de agujeros;
    - ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:
      - $e_2 \geq 1,5 d_0$  del eje del agujero al borde de la pieza;
      - $p_2 \geq 3,0 d_0$  entre ejes de agujeros;

siendo  $d_0$  el diámetro del agujero.
  - b) distancias máximas:
    - i) al borde de la pieza:
      - Para  $e_1$  y  $e_2$   $\begin{cases} \leq 40\text{mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150\text{mm} \end{cases}$
    - ii) entre tornillos:
      - en elementos a compresión será  $p \leq 14 t$  y  $p \leq 200$  mm; siendo  $t$  el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen;
      - en elementos a tracción:
        - filas exteriores  $p_e \leq 14 t$  y  $p_e \leq 200$  mm;
        - filas interiores  $p_i \leq 28 t$  y  $p_i \leq 400$  mm.
- 3 En el caso de agujeros rasgados rigen los siguientes límites:
  - a) la distancia entre el eje de rasgado y cualquier borde no será inferior a  $1,5 d_0$ ;
  - b) la distancia entre el centro del radio extremo al borde adyacente no será inferior a  $1,5 d_0$ .
- 4 En el caso de agujeros al tresbolillo en uniones en tracción podrá reducirse  $p_2$  hasta no menos de  $1,2 d_0$  siempre que la distancia entre agujeros  $L$  sea mayor a  $2,4 d_0$ .
- 5 En el caso de esfuerzos de dirección oblicua en relación a los bordes y las alineaciones de los tornillos se emplearán valores prudentes interpolados entre los definidos para cada dirección.
- 6 Todas las distancias indicadas en este apartado deben modificarse si son insuficientes para obtener una adecuada resistencia al aplastamiento, al desgarro o al punzonamiento (véase apartado 8.5.2).

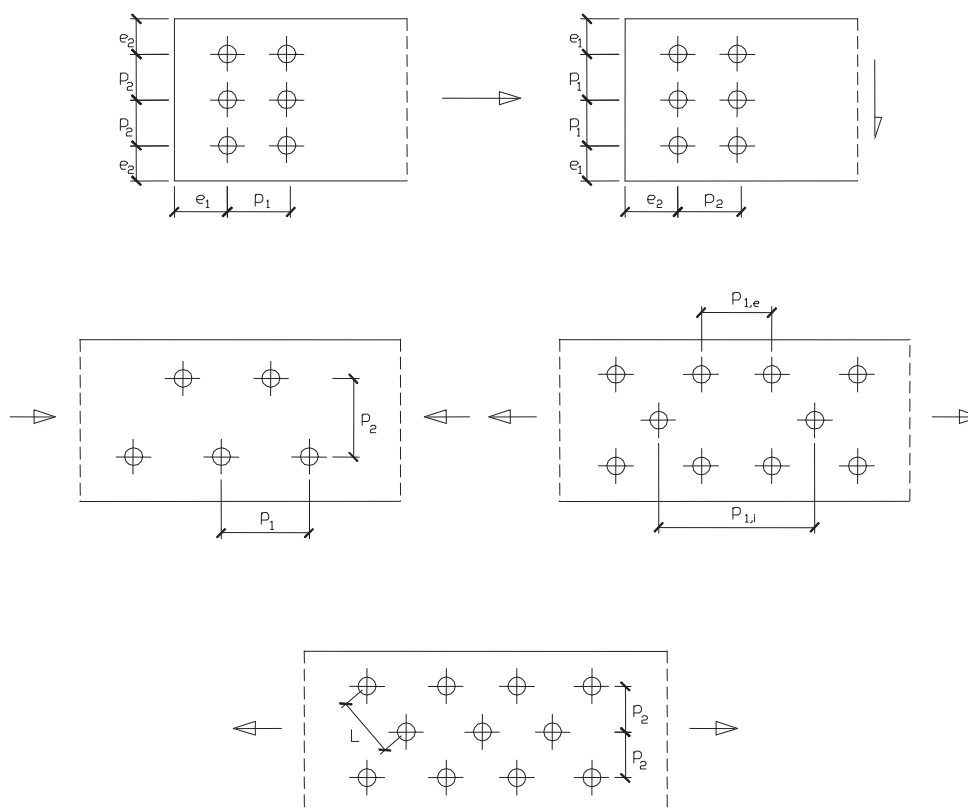


Figura 8.2 Disposiciones constructivas

### 8.5.2 Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar

- 1 Se obtendrá a partir de la distribución de esfuerzos entre tornillos y de las resistencias de cada uno de éstos según su esfuerzo, sea en cortante, tracción, o tensión combinada.
- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:
  - a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n número de planos de corte;

$f_{ub}$  resistencia última del acero del tornillo;

A área de la caña del tornillo  $A_d$  o el área resistente del tornillo  $A_s$ , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o la parte roscada del tornillo respectivamente.

- b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d diámetro del vástago del tornillo;

t menor espesor de las chapas que se unen;

$f_u$  resistencia última del acero de las chapas que se unen;

$\alpha$  es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \quad (8.9)$$

donde

$e_1$  distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite;

$p_1$  separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite;

$d_o$  diámetro del agujero;

c) Resistencia a desgarro del alma:

Corresponde a la menor resistencia a rotura del bloque material que remata cualquiera de las líneas entre agujeros extendida a los bordes más cercanos. Se contabilizarán las resistencias en tracción o cortadura de las áreas netas de chapa que correspondan a cada tipo de desgarro. En el caso de extremos de vigas con unión en cortante (figura 8.3) se adoptará para dicha resistencia el menor valor de:

$$F_{v,Rd} = \frac{f_y A}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{f_u A_{net}}{\sqrt{3}\gamma_{M2}} \quad (8.10)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{f_y A_{ef}}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

siendo

$A$  área bruta de la sección a cortante:  $A = t(L_v + L_1 + L_3)$ ;

$A_{net}$  área neta de la sección:  $A_{net} = t(L_v + L_1 + L_3 - n d_{o,1})$ ;

$A_{ef}$  área eficaz de la sección:  $A_{ef} = t(L_v + L_1 + L_2)$ .

donde

$$L_2 = (a_2 - k d_{o,2}) \frac{f_u}{f_y} \quad (8.11)$$

$t$  espesor de la chapa;

$L_v$  distancia entre ejes de agujeros extremos en la dirección del esfuerzo;

$L_1$  distancia del último agujero, en el sentido del esfuerzo, al borde de la chapa.  $L_1 \leq 5d$ , siendo  $d$  el diámetro nominal de los tornillos de la unión;

$L_3$  distancia del eje del primer agujero, en el sentido del esfuerzo, al borde de la chapa;

$n$  número de agujeros a lo largo de la línea sometida a cortadura;

$d_{o,2}$  dimensión de los agujeros en dirección perpendicular al esfuerzo cortante;

$d_{o,1}$  dimensión de los agujeros en la dirección paralela al esfuerzo cortante;

$a_2$  distancia del borde a la fila de agujeros más alejada;

$k$  coeficiente de valor:

$k = 0,5$  si hay una fila de agujeros;

$k = 2,5$  si hay dos filas de agujeros.

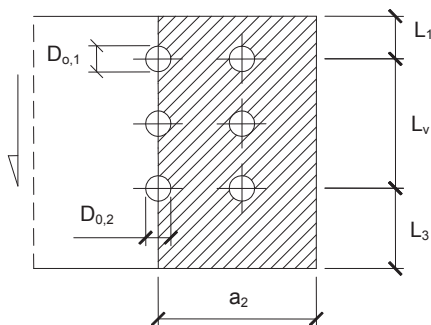


Figura 8.3 Desgarro del alma

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción  $F_{t,Rd}$ , por tornillo será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

$A_s$  área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca,  $F_{p,Rd}$ , dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

$t_p$  espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca;

$d_m$  menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

siendo

$F_{v,Ed}$  esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo;

$F_{t,Ed}$  esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca;

$F_{v,Rd}$  resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago;

$F_{t,Rd}$  resistencia de cálculo en tracción.

### 8.5.3 Uniones con tornillos pretensados

1 Aunque el deslizamiento de la unión con tornillos pretensados se considera en general un estado límite de servicio, en aquellas situaciones específicas en que se deba garantizar que no habrá deslizamiento en una unión antes de rotura, y así se prescriba para ésta, como por ejemplo en las uniones híbridas, cuando se pretende contar simultáneamente con las resistencias de la soldadura y de los tornillos, se considerará un estado límite último de deslizamiento.

- 2 Resistencia a cortante. La resistencia de cálculo a deslizamiento de un tornillo pretensado, será:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M2}} F_{p,Cd} \quad (8.15)$$

con los mismos criterios establecidos en 7.2.3 para las condiciones de servicio, pero tomando como coeficiente parcial de seguridad el siguiente:

$\gamma_{M2} = 1,25$  en uniones con agujeros con medidas nominales

$\gamma_{M2} = 1,40$  en uniones con agujeros con sobremedida en dirección paralela a la del esfuerzo.

- 3 Resistencia a tracción. El esfuerzo de cálculo de tracción, al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca, debe ser menor o igual que la fuerza de pretensado,  $F_{p,Cd}$ .

- 4 Sollicitación combinada. En el caso de que actúen simultáneamente sobre el tornillo esfuerzos de tracción y cortante, la resistencia de cálculo al deslizamiento correspondiente al estado límite último se tomará de la siguiente expresión:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,Cd} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M2}} \quad (8.16)$$

siendo

$F_{t,Ed}$  esfuerzo axial de cálculo del tornillo, al que en su caso, se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

No se reducirá la resistencia de cálculo al deslizamiento de la unión cuando las tracciones, por proceder de un momento en la unión, estén equilibradas por una fuerza de contacto igual en la zona comprimida.

### 8.5.4 Pasadores

- 1 Son articulaciones a las que se requiere libertad de giro y están formadas por un pasador que atraviesa chapas agujereadas dispuestas en los elementos a unir.
- 2 En el caso en que no se requiera libertad de giro y la longitud del pasador sea menor de tres veces su diámetro, podrá comprobarse como si fuese una unión atornillada de un solo tornillo.
- 3 Las chapas de la unión, se dispondrán de forma que se eviten excentricidades y se produzcan las mínimas distorsiones en las líneas de fuerza. Sus características geométricas deben cumplir con las limitaciones establecidas en una de las versiones descritas en la figura 8.4., siendo  $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$  la resistencia de cálculo del acero de la chapa empleada.

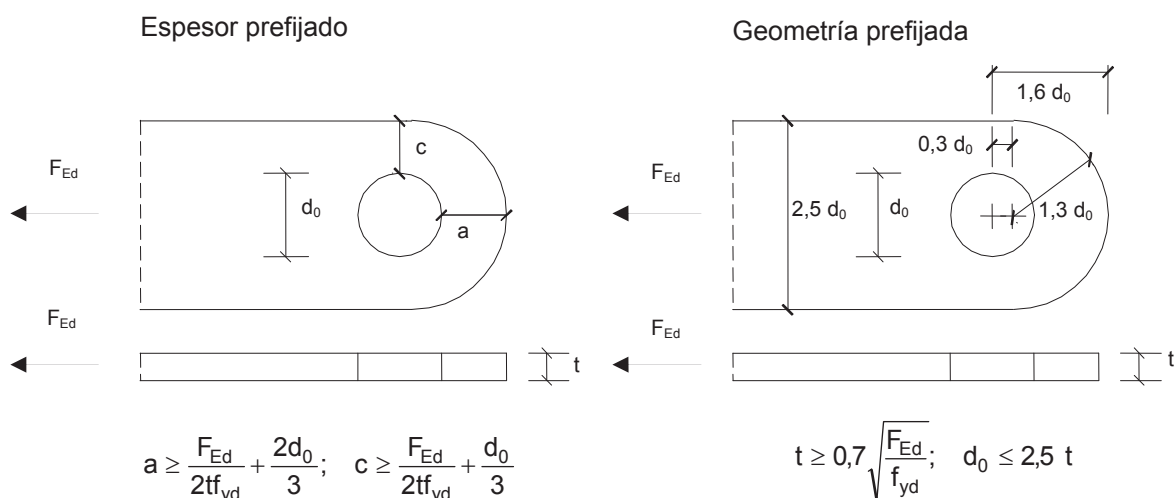


Figura 8.4 Condiciones geométricas para las chapas de las uniones con pasadores

4 Se verificarán:

a) la resistencia a cortante del pasador:

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd} = 0,6 \frac{\pi \phi^2 f_{ub}}{4 \gamma_{M2}} \quad (8.17)$$

siendo

$f_{ub}$  resistencia última del acero del pasador.

$\phi$  diámetro del pasador.

b) la resistencia a flexión del pasador

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = 0,8 \frac{\pi \phi^3 f_{yb}}{32 \gamma_{M2}} \quad (8.18)$$

c) la resistencia al esfuerzo combinado de cortante y flexión en el pasador:

$$\left( \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (8.19)$$

$M_{Ed}$  y  $F_{V,Ed}$  son el momento y el esfuerzo cortante de cálculo de la sección considerada:

d) la resistencia a aplastamiento de la chapa

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{1,5 t d f_y}{\gamma_{M2}} \quad (8.20)$$

siendo

$F_{b,Ed}$  el esfuerzo transmitido por la chapa considerada al pasador:

Los esfuerzos en el pasador y en cada una de las chapas se calcularán a partir de las distribuciones de tensión indicadas en la figura 8.5.

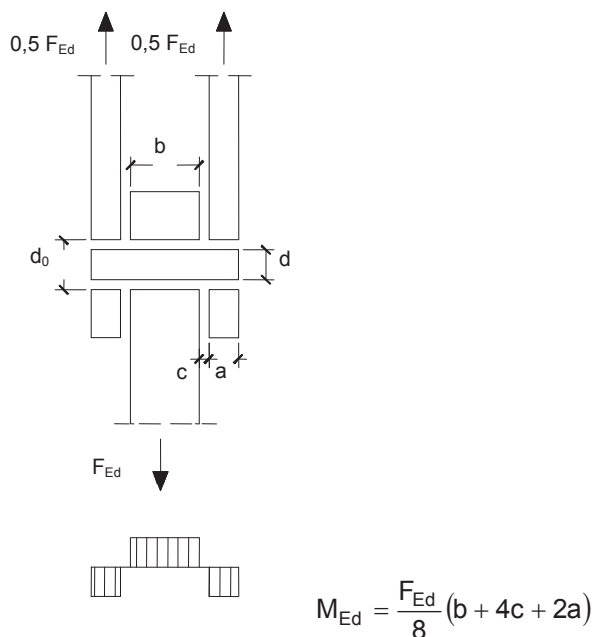


Figura 8.5 Momento flector en el pasador