

# CAPÍTULO IX

## CAPACIDAD RESISTENTE DE BIELAS, TIRANTES Y NUDOS

### Artículo 40º Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos

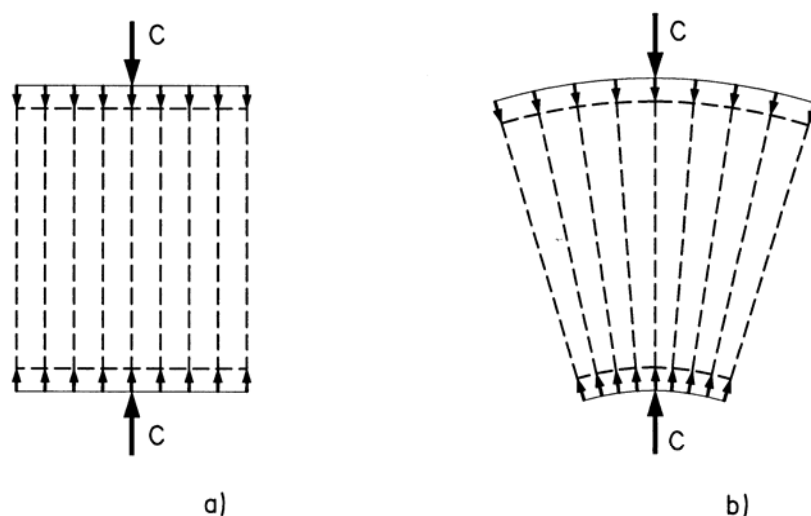
#### 40.1 Generalidades

El modelo de bielas y tirantes constituye un procedimiento adecuado para explicar el comportamiento de elementos de hormigón estructural, tanto en regiones B como en regiones D (Artículo 24º).

Los elementos de un modelo de bielas y tirantes son las bielas, los tirantes y los nudos.

Los tirantes, habitualmente, están constituidos por armaduras activas o pasivas.

Una biela puede representar un campo de compresiones de ancho uniforme, tal y como se muestra en la figura 40.1.a, o un campo de compresiones de anchura variable o con forma de abanico, tal como se muestra en la figura 40.1.b.



Figuras 40.1.a y b

Un nudo es una zona donde los campos de compresiones o las tracciones de los tirantes se intersecan.

En este artículo se exponen los criterios de comprobación de cada uno de estos elementos en Estado Límite Último.

Si bien los criterios expuestos en este Capítulo constituyen comprobaciones en Estado Límite Último que no implican la comprobación automática del Estado Límite de Fisuración, se definen aquí algunas limitaciones que, junto con los principios generales expuestos en el Artículo 24º, conducen en la práctica a un control adecuado de la fisuración.



## 40.2 Capacidad resistente de los tirantes constituidos por armaduras

En Estado Límite Último se supondrá que la armadura alcanza la tensión de cálculo, es decir:

- Para armaduras pasivas  $\sigma_{sd} = f_{yd}$
- Para armaduras activas  $\sigma_{pd} = f_{pd}$

Cuando no se estudien las condiciones de compatibilidad de una forma explícita, será necesario limitar la deformación máxima de los tirantes en Estado Límite Último y, con ello, se limita indirectamente la tensión de la armadura en Estado Límite de Servicio.

La capacidad resistente de un tirante constituido por armaduras puede expresarse:

$$A_s f_{yd} + A_p f_{pd}$$

donde:

- $A_s$  Sección de la armadura pasiva.
- $A_p$  Sección de la armadura activa.

## 40.3 Capacidad resistente de las bielas

La capacidad de una biela comprimida está fuertemente influida por el estado de tensiones y deformaciones transversales al campo de compresiones así como por la fisuración existente.

### 40.3.1 Bielas de hormigón en zonas con estados de compresión uniaxial

Este es el caso del cordón comprimido de una viga, debido a esfuerzos de flexión, y cuya capacidad resistente puede evaluarse de acuerdo con los diagramas tensión-deformación indicados en 39.5, donde la tensión máxima para el hormigón comprimido se limita al valor:

$$f_{1cd} = f_{cd}$$

### 40.3.2 Bielas de hormigón con fisuración oblicua o paralela a la biela

En este caso, el campo de compresiones que constituye una biela de hormigón puede presentar fisuración oblicua o paralela a la dirección de las compresiones. Debido al estado tensional y de fisuración del hormigón, la capacidad resistente a compresión disminuye considerablemente.

De forma simplificada, se puede definir la capacidad resistente del hormigón en estos casos, de la siguiente forma:

- Cuando existen fisuras paralelas a las bielas y armadura transversal suficientemente anclada

$$f_{1cd} = 0,70 f_{cd}$$

- Cuando las bielas transmiten compresiones a través de fisuras de abertura controlada por armadura transversal suficientemente anclada (este es el caso del alma de vigas sometidas a cortante).

$$f_{1cd} = 0,60 f_{cd}$$

- Cuando las bielas comprimidas transfieren compresiones a través de fisuras de gran abertura (este es el caso de elementos sometidos a tracción o el de las alas traccionadas de secciones en T).

$$f_{1cd} = 0,40 f_{cd}$$

### 40.3.3 Bielas de hormigón con armaduras comprimidas

La armadura puede considerarse contribuyendo efectivamente a la capacidad resistente de las bielas cuando se sitúan en el interior del campo y en dirección paralela a las compresiones y existe armadura transversal suficiente para evitar el pandeo de estas barras.

La tensión máxima del acero comprimido podrá considerarse:

$$\sigma_{sd,c} = f_{yd}$$

cuando sea posible establecer las condiciones de compatibilidad que así lo justifiquen, o

$$\sigma_{sd,c} = 400 \text{ N/mm}^2$$

cuando no se establezcan condiciones de compatibilidad explícitas.

En este caso, la capacidad resistente de las bielas puede expresarse como:

$$A_c f_{1cd} + A_{sc} \sigma_{sd,c}$$

siendo  $A_{sc}$  el área de la armadura de la biela.

### 40.3.4 Bielas de hormigón confinado

La capacidad resistente de las bielas puede aumentarse si el hormigón se confina apropiadamente (figura 40.3.4). Para cargas estáticas, la resistencia del hormigón puede aumentarse multiplicando  $f_{1cd}$  por:

$$(1 + 1,5 \alpha \omega_w)$$

donde:

$\omega_w$  Cuantía mecánica volumétrica de confinamiento, definida por (ver figura 40.3.4):

$$\omega_w = \frac{W_{sc} f_{yd}}{W_c f_{cd}} = \frac{\sum A_{si} l_i f_{yd}}{A_{cc} s_t f_{cd}}$$

donde:

$W_{sc}$  Volumen de horquillas y estribos de confinamiento.  
 $A_{sj}$  Área de cada una de las armaduras transversales de confinamiento.  
 $l_j$  Longitud de cada una de las armaduras transversales de confinamiento.  
 $W_c$  Volumen de hormigón confinado.  
 $A_{cc}$  Área del núcleo de hormigón confinado.  
 $s_t$  Separación longitudinal de las armaduras transversales de confinamiento.

$\alpha$  Factor que tiene en cuenta la separación entre cercos, el tipo hormigón y la disposición de la armadura de confinamiento, cuyo valor es  $\alpha = \alpha_c \cdot \alpha_s \cdot \alpha_e$ .

$\alpha_c$  Factor que tiene en cuenta la resistencia del hormigón, de valor:

$\alpha_c = 1,0$  para hormigones convencionales, con  $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ .

$\alpha_c = 1,2 - \frac{f_{ck}}{250}$  para hormigones de alta resistencia, con  $f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$ .

$\alpha_s$  Factor que tiene en cuenta la influencia de la separación longitudinal entre cercos, de valor:

$\alpha_s = \left(1 - \frac{s_t}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s_t}{2h_c}\right)$  si el núcleo es rectangular, de dimensiones  $b_c$ ,

$h_c$  y está confinado por cercos separados longitudinalmente  $s_t$ .

$\alpha_s = \left(1 - \frac{s_t}{2D}\right)^2$  si el núcleo confinado es de sección circular de diámetro  $D$  y está confinado por cercos separados una distancia  $s_t$ .

$\alpha_s = \left(1 - \frac{s_t}{2D}\right)$  si el núcleo confinado es de sección circular de diámetro  $D$  y está confinado por armadura espiral de paso  $s_t$ .

$\alpha_e$  Factor que tiene en cuenta la efectividad de la armadura transversal dispuesta, en el confinamiento de la sección, de valor:

$$\alpha_e = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s_{t,i}^2}{6 \cdot A_{cc}}$$

donde la suma se extiende a todas las armaduras longitudinales eficazmente atadas por la armadura transversal de confinamiento y  $s_i$  es la separación entre armaduras longitudinales.

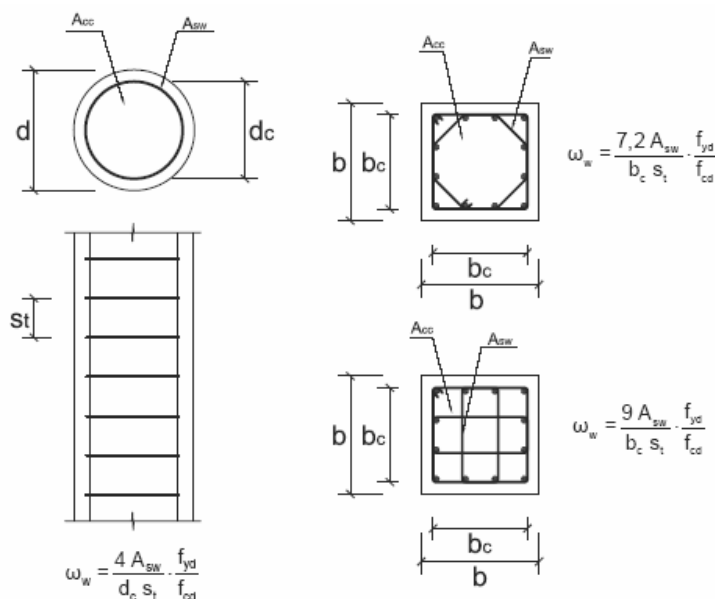
Para secciones rectangulares, en las que las armaduras longitudinales atadas lateralmente están separadas una distancia  $s_b$  a lo largo de la anchura y  $s_h$  a lo largo de la altura de la sección, el factor  $\alpha_e$  se puede expresar por:

$$\alpha_e = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (s_{b,i}^2 + s_{h,i}^2)}{6 \cdot b_c \cdot h_c}$$

Para secciones con cercos circulares,  $\alpha_e = 1,0$ .

En este caso, la capacidad resistente de las bielas puede expresarse como

$$A_{cc} (1 + 1,5 \cdot \alpha \omega_w) f_{lcd}$$



CUNTA MECÁNICA VOLUMÉTRICA DE CONFINAMIENTO

Figura 40.3.4.

### 40.3.5 Bielas con interferencias de vainas con armaduras activas

Si las bielas están atravesadas por vainas de armaduras activas, adherentes o no adherentes, y cuando la suma de los diámetros sea mayor que  $b/6$ , siendo  $b$  el ancho total de la biela, deberá reducirse el ancho a considerar en la comprobación de la capacidad resistente de acuerdo con el siguiente criterio:

$$b_0 = b - \eta \Sigma \phi$$

donde:

- $b_0$  Ancho de la biela a considerar en la comprobación.
- $\Sigma \phi$  Suma de los diámetros de las vainas, al nivel más desfavorable.
- $\eta$  Coeficiente que depende de las características de la armadura.  
 $\eta = 0,5$  para vainas con armadura activa adherente.  
 $\eta = 1,0$  para vainas con armadura activa no adherente.

## 40.4 Capacidad resistente de los nudos

### 40.4.1 Generalidades

Los nudos deben estar concebidos, dimensionados y armados de tal forma que todos los esfuerzos actuantes estén equilibrados y los tirantes convenientemente anclados.

El hormigón de los nudos puede estar sometido a estados multitensionales y esta particularidad debe ser tenida en cuenta ya que supone un aumento o disminución de su capacidad resistente.

En los nudos deben comprobarse los siguientes aspectos:

- Que el anclaje de los tirantes está asegurado (Artículos 69º y 70º).
- Que la tensión máxima del hormigón no supere su máxima capacidad resistente.

### 40.4.2 Nudos multicomprimidos

En nudos que conectan sólo bielas comprimidas (ver figuras 40.4.2.a y 40.4.2.b) se presenta normalmente un estado tensional multicomprimido que permite aumentar la capacidad resistente a compresión del hormigón de acuerdo con los criterios siguientes:

$$f_{2cd} = f_{cd}$$

para estados biaxiales de compresión y

$$f_{3cd} = 3,30 f_{cd}$$

para estados triaxiales de compresión.

Cuando se consideren estos valores de capacidad resistente a compresión del hormigón del nudo deben tenerse en cuenta las tensiones transversales inducidas, que habitualmente requieren una armadura específica.

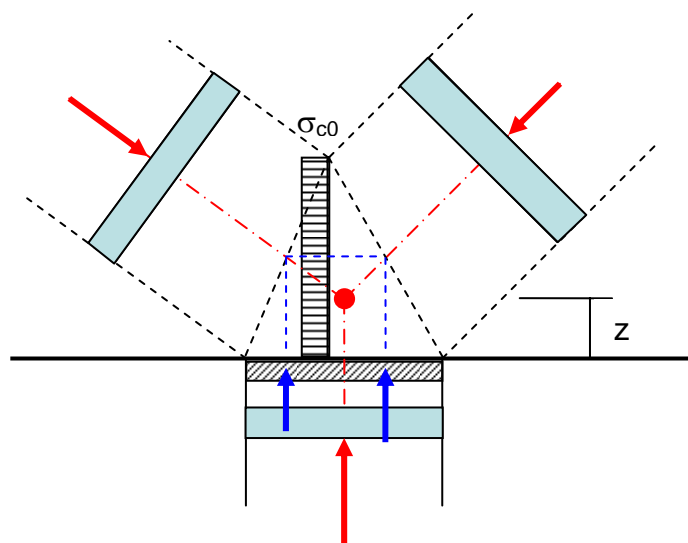


Figura 40.4.2.a

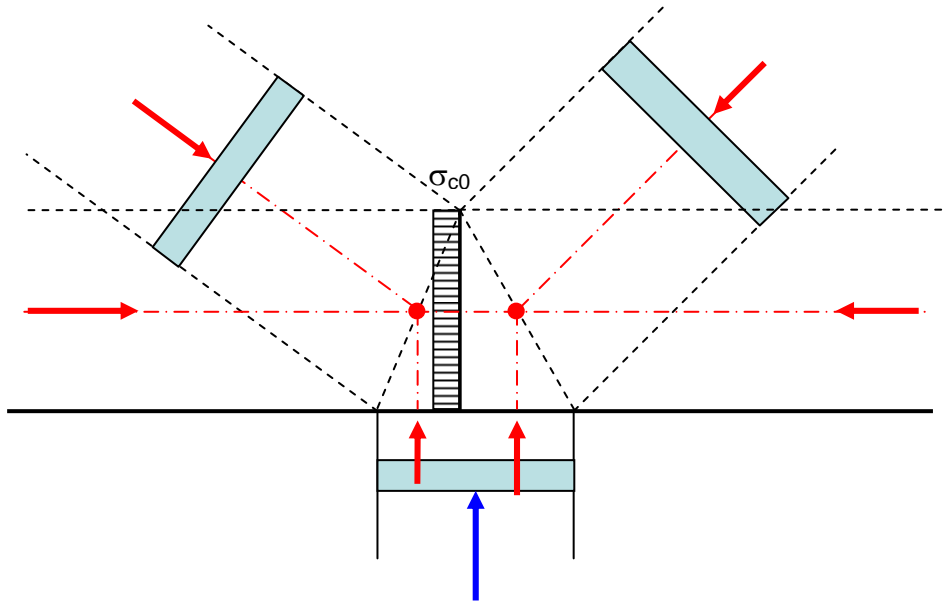


Figura 40.4.2.b

#### 40.4.3 Nudos con tirantes anclados

La capacidad resistente a compresión en este tipo de nudos es:

$$f_{2cd} = 0,70 f_{cd}$$