

CLASE 7 - ELU Agotamiento por esfuerzo Rasante

En esta clase veremos, a modo de resumen, algunos de los conceptos mostrados en el Capítulo 6 de UNE EN 1992-1-1, ya tratados en las clases teóricas y que adoptaremos para el desarrollo del trabajo práctico. En particular el Capítulo 6.2.4 en lo referido a Cortante entre alma y alas y el Capítulo 6.2.5 en lo referido a Rasante en la junta entre hormigones de diferentes edades.

1. Cortante entre alma y alas

1.1. Marco normativo

En el capítulo 6.2.4 (3) se expresa la tensión de corte longitudinal debida al cambio de esfuerzos normales en al ala que se produce entre el alma y ala según la ecuación (19):

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta x} \quad (19)$$

Donde:

- h_f es el espesor del ala
- Δx es la longitud considerada, con un valor máximo de la mitad de la distancia entre la sección de momento nulo y la sección de momento máximo.
- ΔF_d es la variación del esfuerzo normal sobre el ala en la longitud Δx .

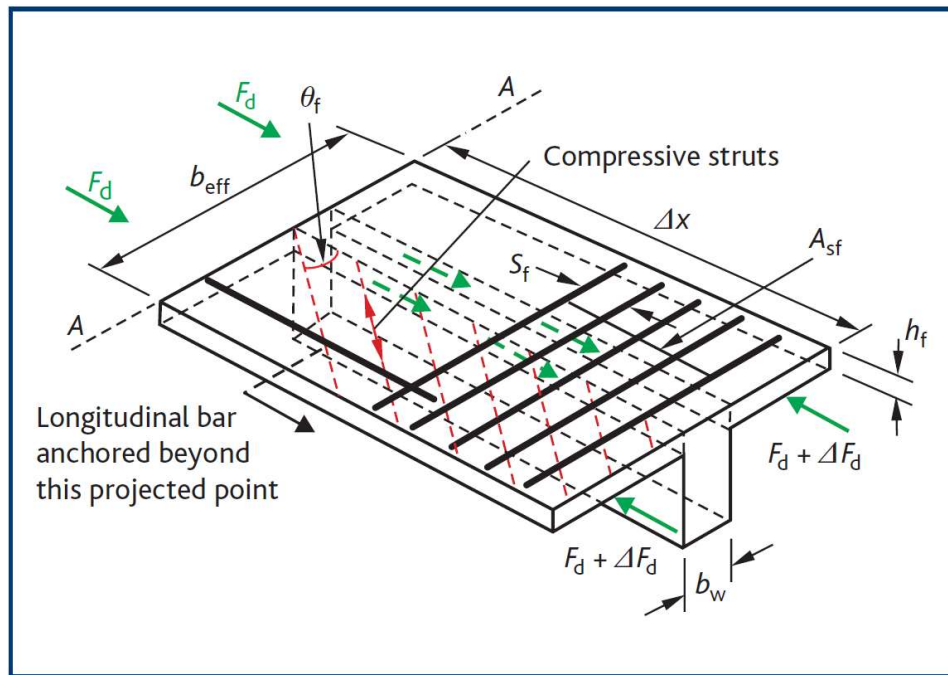


Figura 48: Esquema de esfuerzos

De acuerdo al capítulo 6.2.4 (4), se deberá comprobar que no se supera la capacidad resistente de las bielas comprimidas en el ala mediante la ecuación (20):

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \text{sen}(\theta_f) \cdot \text{cos}(\theta_f) \quad (20)$$

Donde:

- θ_f es el ángulo de inclinación de las bielas y que cumple:

$$1,0 \leq \text{cotg}(\theta_f) \leq 2 \quad \text{para alas comprimidas}$$

$$1,0 \leq \text{cotg}(\theta_f) \leq 1,25 \quad \text{para alas traccionadas}$$

- v de acuerdo al capítulo 6.2.2 (6), ecuación (6.6N) vale:

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

Adicionalmente, se deberá disponer una armadura transversal por unidad de longitud que cumpla la ecuación (21):

$$\frac{A_{sf} \cdot f_{yd}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{\text{cotg}(\theta_f)} \quad (21)$$

En el caso de vigas cuyo ancho efectivo sea por la existencia de una losa (ancho efectivo o colaborante de la carpeta de compresión), se podrá colocar armadura aparte de la armadura de flexión de la losa si se cumple la ecuación (22):

$$v_{Ed} \leq 0,4 \cdot f_{ctd} \quad (22)$$

Donde,

- Resistencia de cálculo a tracción, $f_{ctd} = f_{ctk,0,05}/\gamma_c$
- Resistencia característica a tracción, $f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$

Por último se admitirá simplificadamente el uso de la siguiente expresión (ecuación (23)) para determinar la variación del esfuerzo normal ΔF_d sobre el ala comprimida:

$$\Delta F_d = \frac{\Delta M_d}{z} \cdot \frac{(b_{ef} - b_w)/2}{b_{ef}} \quad (23)$$

Donde,

- ΔM_d es la variación del momento flector en la longitud Δx .
- z , brazo mecánico, puede adoptarse el valor aproximado de $z = 0,9d$.
- b_{ef} es el ancho efectivo de la cabeza de compresión.
- b_w es el ancho del alma de la viga.

Observar que el primer término de la ecuación representa la variación del esfuerzo normal de la compresión total que tenemos en nuestro elemento y que el segundo término realiza una especie de ponderación para obtener el esfuerzo normal sobre ala. Para alas traccionadas se aplican los mismos conceptos, realizando la ponderación entre la sección total de acero y la sección de acero presente en el ala.

1.2. Ejemplo

Retomaremos el ejemplo que hemos utilizado desde la [CLASE 3 - Ejemplo](#). Por lo tanto teníamos una sobrecarga de diseño de $q_d = 55,17 \text{ kN/m}$ aplicada sobre una viga simplemente apoyada de 20m de luz, con lo que obtenemos el siguiente diagrama de momentos.

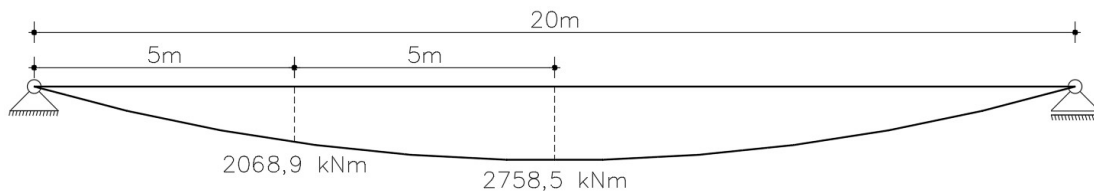


Figura 49: Diagrama de momentos

Tomando $\Delta_x = 5 \text{ m}$, determinamos la variación del esfuerzo normal ΔF_d sobre el ala comprimida y para el primer tramo a partir de la ecuación (23),

$$\Delta F_d = \frac{\Delta M_d}{z} \cdot \frac{(b_{ef} - b_w)/2}{b_{ef}} = \frac{206890 - 0}{0,9 \cdot 115} \cdot \frac{(50 - 21)/2}{50} = 579,7 \text{ kN}$$

Observar que para este caso en particular en que la cabeza de compresión esta parte en el alma y parte en el ala superior la expresión anterior puede sobreestimar el esfuerzo de cortante, pero para muchos casos usuales, incluido el trabajo práctico, la expresión anterior es una buena aproximación.

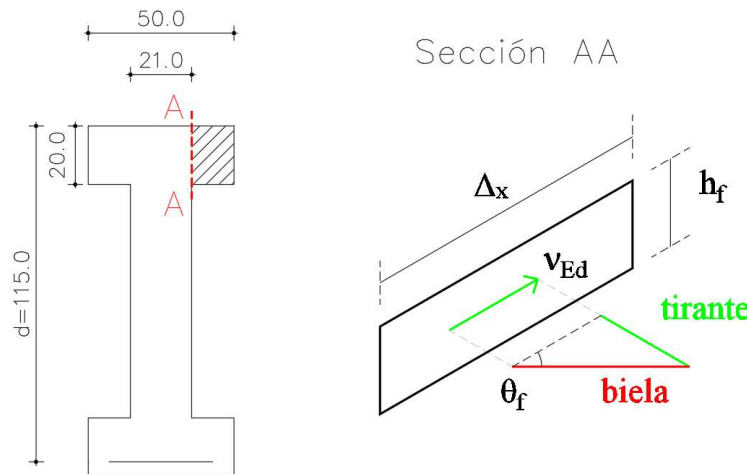


Figura 50: Esquema de esfuerzos [cm]

A partir de la ecuación (19) se obtiene:

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \cdot \Delta_x} = \frac{579,7 \times 10^3}{200 \cdot 5000} = 0,58 \text{ MPa}$$

Tomando $\cotg(\theta_f) = 1$ y aplicando la ecuación (20) se tiene que:

$$v_{Ed} = 0,58 \text{ MPa} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \text{sen}(\theta_f) \cdot \text{cos}(\theta_f) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) \cdot \frac{35}{1,5} \cdot \frac{1}{2} = 6,02 \text{ MPa}$$

Por lo que se verifica que no se supere la capacidad resistente de las bielas comprimidas.

Por otra parte, utilizando la ecuación (21) tenemos que:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{\cotg(\theta_f) \cdot f_{yd}} = \frac{0,58 \cdot 200}{1 \cdot 400} = 0,29 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Por lo que tomando varillas $\Phi 8$ y colocando estribos de dos ramas tenemos que:

$$A_{sf} = 2 \times A(\Phi 8) = 100,5 \text{ mm}^2 \rightarrow s_f \leq 346 \text{ mm} \rightarrow 2R \Phi 8/300$$

Para el ala traccionada el razonamiento y las comprobaciones a realizar son similares a las mostradas para el ala comprimida, pero con esfuerzos bastante menores por tener la mayoría del área de acero concentrada en el alma. Como complemento de las clases teóricas y de estas notas se recomienda el capítulo 39.2.9 del libro “Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón - Tomo 2” de J. Calavera.

2. Rasante en la junta entre hormigones de diferentes edades

2.1. Marco normativo

En el capítulo 6.2.5 (1) se pide que la tensión rasante en la junta entre hormigones de diferentes edades cumpla con la inecuación (24):

$$v_{Edi} \leq v_{Rdi} \quad (24)$$

Donde el valor de diseño de la tensión rasante en la junta se obtiene según la ecuación (25):

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z \cdot b_i} \quad (25)$$

Donde,

- β es la relación entre la fuerza longitudinal en el área de hormigón nuevo y la fuerza longitudinal total existente (compresión o tracción).
- V_{Ed} es el cortante en la sección.
- z es el brazo mecánico, puede adoptarse el valor aproximado de $z = 0,9d$.

- b_i es el ancho del perímetro de contacto.

Por otra parte la resistencia a rasante de la junta se determina según la ecuación (26):

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \text{sen}(\alpha) + \cos(\alpha)) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad (26)$$

Donde,

- c y μ , coeficientes que dependen de la rugosidad de la superficie según capítulo 6.2.5 (2).
- Resistencia de cálculo a tracción, $f_{ctd} = f_{ctk,0,05}/\gamma_c$ (igual que para ecuación (22)).
- σ_n , tensión normal actuando en la junta.
- $\rho = A_s/A_i$, cuantía de armadura que atraviesa la junta.
- α , ángulo de inclinación de la armadura de cosido con la junta ($45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$).
- v de acuerdo al capítulo 6.2.2 (6), ecuación (6.6N) vale,

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

Las superficies de contacto se clasifican como:

- Muy lisa, una superficie encofrada con moldes de acero, plástico o madera. $c = 0,025$ a $0,1$ y $\mu = 0,5$.
- Lisa, encofrado deslizante o superficie extruida o superficie libre sin más tratamiento después de la vibración. $c = 0,2$ y $\mu = 0,6$.
- Rugosa, una superficie con al menos 3mm de rugosidad a intervalos aproximados de 40mm, obtenida mediante rastrillado, exposición de áridos u otros métodos con un comportamiento parecido. $c = 0,4$ y $\mu = 0,7$.
- Dentada, una superficie con relieves conforme a la Figura 51, $c = 0,5$ y $\mu = 0,9$.

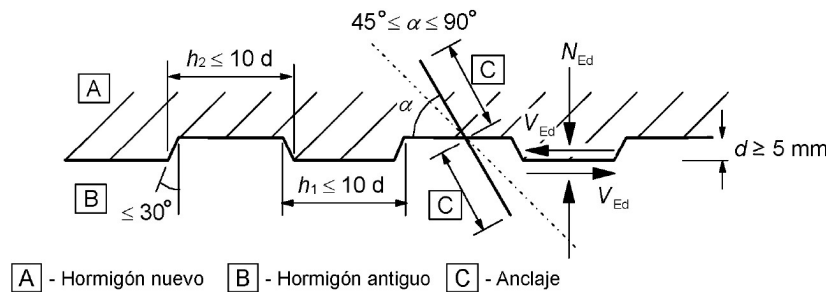


Figura 51: Junta de construcción dentada

2.2. Ejemplo

Para poder aplicar lo explicado en el apartado anterior introduciremos un breve ejemplo de una viga con carpeta de compresión. Tenemos entonces una viga prefabricada rectangular de ancho $b = 30\text{cm}$ y alto $h = 70\text{cm}$ de largo $L = 17,2\text{m}$ y que esta simplemente apoyada en sus extremos. A la misma se

Hormigón Estructural 3

le realiza una losa en segunda etapa de espesor $e = 20\text{cm}$ con un ancho efectivo $b_{ef} = 100\text{cm}$. La carga de diseño aplicada es $q_d = 42,5\text{ kN/m}$. Los demás datos se muestran a continuación,

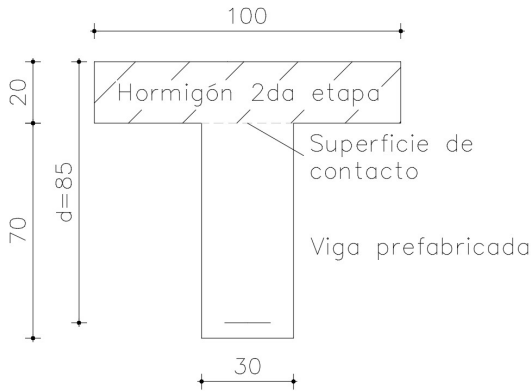


Figura 52: Esquema de sección

- Recubrimiento mecánico 5cm.
- Hormigón de losa y viga,
 - $f_{ck} = 25\text{ MPa}$.
 - $f_{ctd} = 1,20\text{ MPa}$
- Acero pasivo, $f_{yk} = 500\text{ MPa}$.
- Superficie de contacto rugosa
 - $c = 0,4$
 - $\mu = 0,7$

Tenemos entonces que el cortante máximo sobre los apoyos es:

$$V_{Ed} = \frac{q_d \cdot L_{cal}}{2} = \frac{42,5 \cdot 17,2}{2} = 365,5\text{ kN}$$

El valor de diseño de la tensión rasante en la junta lo obtenemos mediante la ecuación (25):

$$v_{Edi} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{z \cdot b_i} = \frac{1,0 \cdot 365,5 \times 10^3}{0,9 \cdot 850 \cdot 300} = 1,59\text{ MPa}$$

Se tiene que $\beta = 1$, debido a que toda la fuerza de compresión a transmitir se encuentra en la losa que se realiza en segunda etapa.

Por lo que en una primera instancia se cumple que:

$$v_{Edi} = 1,59\text{ MPa} \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) \cdot \frac{25}{1,5} = 4,50\text{ MPa}$$

Considerando $\alpha = 90^\circ$ y a partir de la ecuación (26) obtendremos la cantidad de armadura por unidad de longitud necesaria para soportar la rasante en el extremo:

$$v_{Rdi} = 0,4 \cdot 1,20 + 0,7 \cdot 0 + \frac{A_s}{300} \cdot \frac{500}{1,15} \cdot (0,7 \cdot \text{sen}(90) + \text{cos}(90)) \geq v_{Edi} = 1,59\text{ MPa}$$

Por lo que despejando se obtiene que la armadura necesaria para llevar los esfuerzos rasantes en la junta es:

$$A_s \geq \frac{(1,59 - 0,4 \cdot 1,20) \cdot 300}{0,7 \cdot 435} = 1,09\text{ mm}^2/\text{mm}$$

Por lo que tomando varillas $\Phi 12$ y colocando estribos de dos ramas tenemos:

$$A_s = 2 \times A(\Phi 12) = 226,2 \text{ mm}^2 \rightarrow s \leq 208 \text{ mm} \rightarrow 2R \Phi 12/200$$

Adicionalmente se podría discretizar la viga en varios tramos y realizar un armado escalonado para el rasante de la junta.

Como complemento de las clases teóricas y de estas notas se recomienda el capítulo 40 del libro “Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón - Tomo 2” de J. Calavera.