

Curso: HORMIGÓN ESTRUCTURAL 1

MÓDULO 6: ANCLAJE DE ARMADURAS

Agustin Spalvier (aspalvier@fing.edu.uy)

1^{er} Semestre – 2023

Universidad de la República - Uruguay



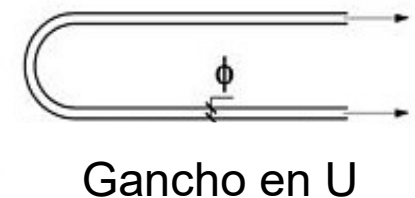
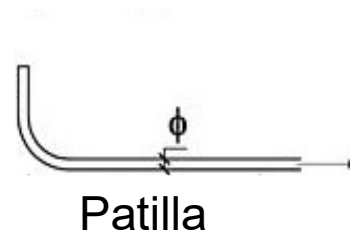
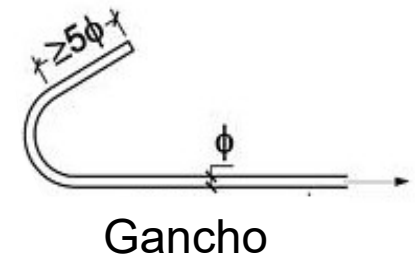
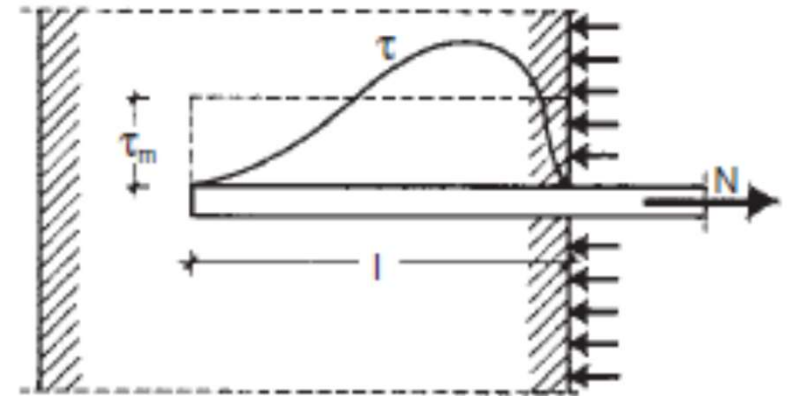
- **Adherencia hormigón - acero**
- **Conceptos generales de anclaje**
- **Análisis teórico**
- **Zonas de adherencia: posiciones I y II**
- **Definiciones importantes**
 - Longitud básica de anclaje
 - Longitud neta de anclaje
- **Diseño de anclaje de barras**
 - Procedimiento general
 - Cálculo de longitud básica y neta de anclaje
 - Factor $A_s/A_{s,real}$
 - Dispositivos de terminación de anclaje
 - ¿Dónde comienza la longitud de anclaje?

ACLARACIÓN: Estas transparencias se preparan únicamente como una guía para las clases, las cuales cumplen la función de ser una presentación de los temas que el estudiante debe aprender para aprobar el curso, indicados en la bibliografía.

Bibliografía: Cap. 9 del Jiménez Montoya – 15^a Ed., Art. 69.5 de la EHE 2008.

Anclaje - Generalidades

- Los anclajes extremos de las barras deben asegurar la transmisión mutua de esfuerzos entre el hormigón y el acero, con el fin de garantizar la movilización de toda la capacidad mecánica de la pieza.
- Un anclaje adecuado es fundamental para el buen comportamiento frente a rotura de los elementos de hormigón armado. Por ello el anclaje se considera un ELU.
- El anclaje de las barras de hormigón armado se consigue mediante el mecanismo de la adherencia, utilizando varios tipos de dispositivos de terminación de anclaje:



Adherencia hormigón - acero

- **Es el fenómeno básico del funcionamiento del hormigón armado**
- **La adherencia permite que las armaduras trabajen al transferirse las tensiones del hormigón hacia el acero**

- **FUNCIONES PRINCIPALES:**
 - Transmitir la tensiones tangenciales periféricas que aparecen en las armaduras como consecuencia de variaciones de tensión longitudinal.
 - Asegurar el ANCLAJE de las barras.

- **Origen**
 - De naturaleza físico-química: adhesión a través de fuerzas capilares y moleculares en la interfaz
 - De naturaleza mecánica (más importantes que las físico-químicas):
 - Rozamiento: principal causa en barras lisas
 - Acuñamiento: principal causa en barras corrugadas

Adherencia hormigón – acero (cont.)

- Adhesión se anula cuando la barra comienza a desplazarse
- Rozamiento y acuñaamiento actúan acopladas, no siendo posible separar sus efectos.

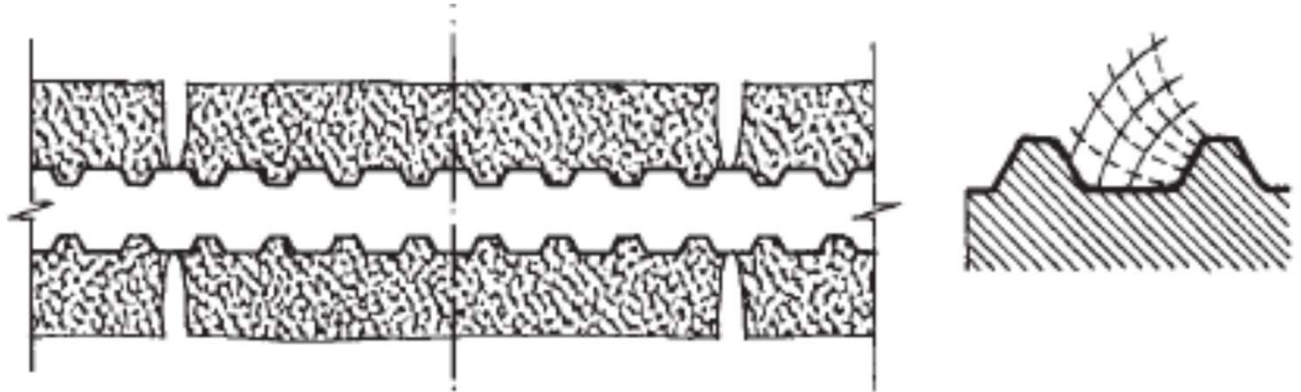


Figura 9.1 Efecto de acuñaamiento del hormigón entre corrugas

- Ensayo de arrancamiento para la determinación de la tensión media de adherencia: τ_m

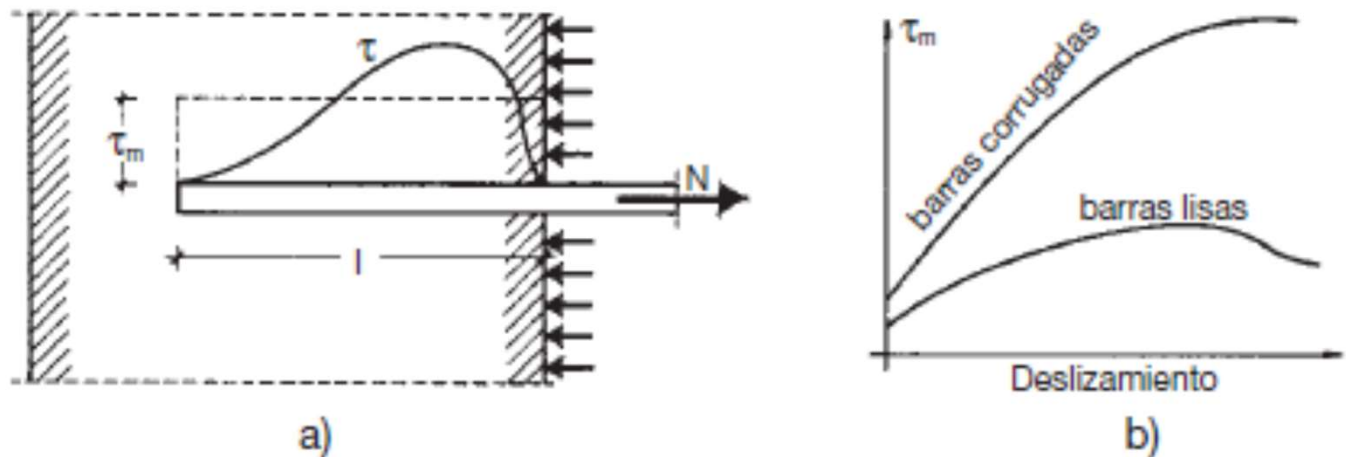
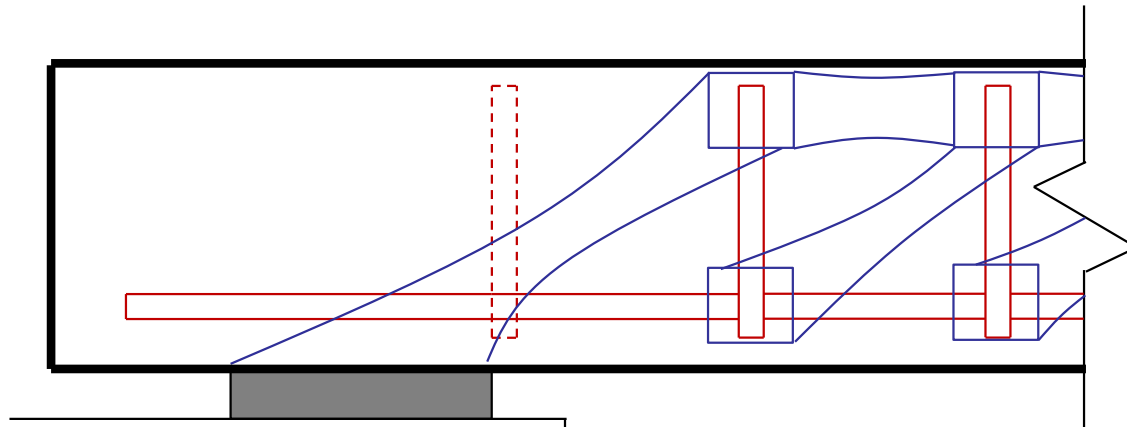


Figura 9.2 Ensayo de arrancamiento (*pull out test*)

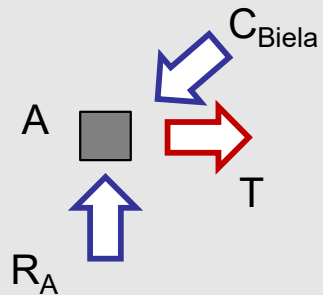
• ¿Por qué necesitamos [longitudes de] anclaje?



Apoyo A

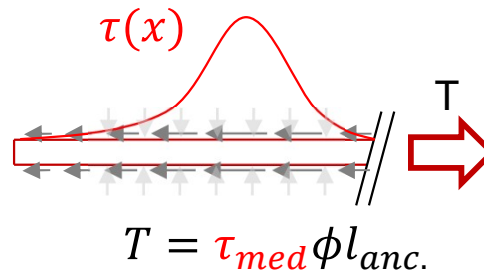


Equilibrio de nodo A



Fuerzas internas C_{Biela} y T , en equilibrio con R_A , pero las tensiones deben pasar del apoyo a la biela y de la biela al tirante (armadura) ...

Diagrama de cuerpo libre de armadura

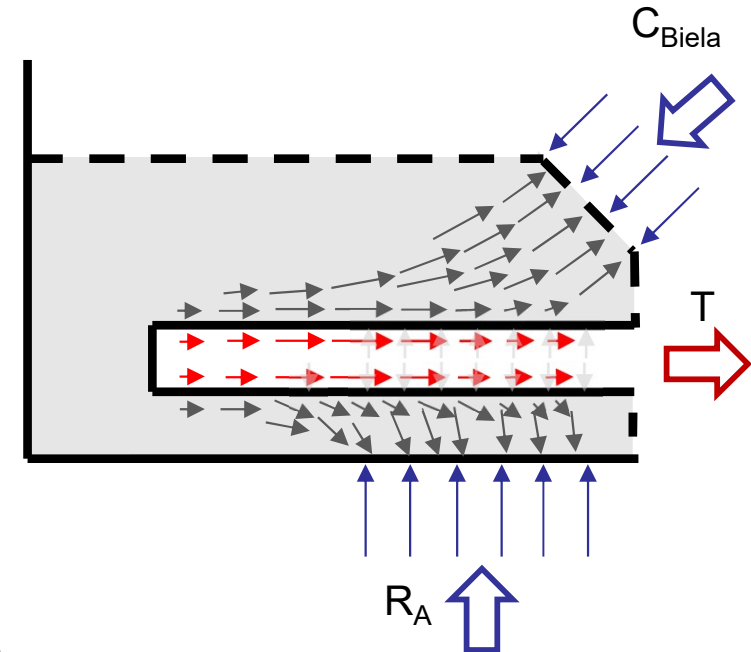


Necesito que se desarrolle una ley de tensiones $\tau(x)$ capaz de transmitir T del acero al hormigón circundante, es decir, necesito una longitud $l_{anc.}$.

— Armadura estructural (tirantes traccionados)

— Bielas comprimidas

Diagrama de cuerpo libre de hormigón circundante



Cálculo teórico de longitud básica

- Podemos calcular la longitud de anclaje en prolongación recta l_b necesaria para anclar por adherencia la máxima fuerza capaz de ejercer la barra ($A_s f_{yd}$).

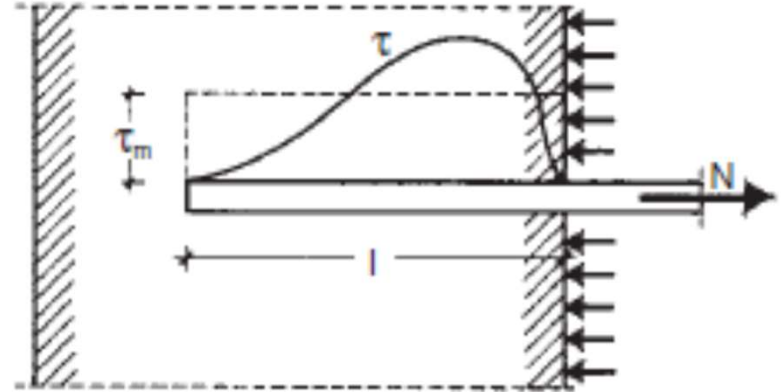
Utilizamos la resistencia de adherencia f_{bd} :

(no es lo que hacemos en la práctica)

$$R \geq S \Rightarrow f_{bd} A_{adh} \geq A_s f_{yd} \Rightarrow$$

$$f_{bd} \phi \pi l \geq \frac{\phi^2}{4} \pi f_{yd} \Rightarrow$$

$$l \geq \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} = l_b$$



Pensar por qué!

Observemos que:

- l_b es directamente proporcional a ϕ y a f_{yd} .

- l_b es inversamente proporcional a f_{bd} , siendo $f_{bd} = C \cdot f_{ck}^{2/3}$. (J-M cap. 9.2.2)

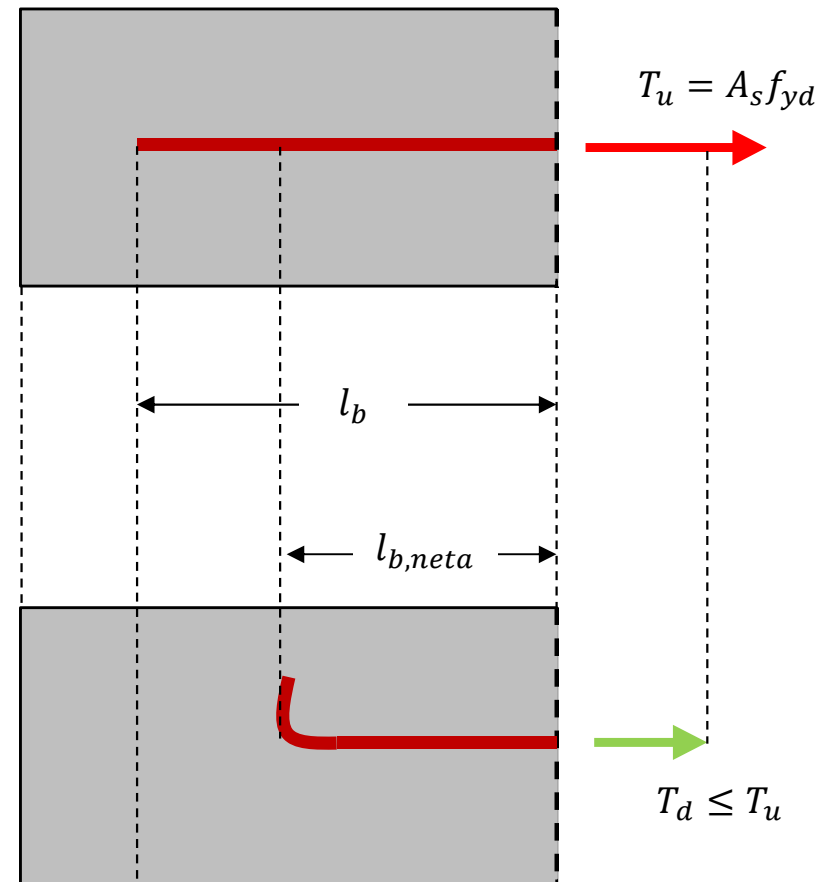
- “**Anclar**” una barra de acero es transferir la fuerza que ella soporta a el hormigón circundante.

- **Longitud básica de anclaje (l_b):**

La longitud básica de anclaje es la longitud necesaria para anclar una barra aislada de acero por prolongación recta trabajando a su máxima capacidad mecánica, es decir, sometida a una fuerza última $A_s f_{yd}$.

- **Longitud neta de anclaje ($l_{b,neta}$):**

La longitud neta de anclaje es la longitud necesaria para anclar una barra trabajando a una fuerza de diseño -menor o igual que la fuerza última-, y teniendo en cuenta los efectos provocados por el dispositivo final de anclaje.



Conceptos importantes

- La **capacidad resistente de anclaje** es proporcional a la **longitud de anclaje**. Por ello calcularemos las longitudes de anclaje mínimas para garantizar la resistencia de anclaje.
- La longitud de anclaje depende de:
 - Características geométricas de adherencia
 - Resistencia del hormigón
 - Posición de la barra respecto a dirección de hormigonado
 - Esfuerzo en la armadura
 - Forma del dispositivo de anclaje
- Calcular la longitud de anclaje se vuelve complicado, por lo que se utilizan fórmulas sencillas contrastadas empíricamente, en lugar de un desarrollo semiprobabilista como correspondería para un ELU.
- Norma general: disponer los anclajes en zonas en las que el hormigón esté sometido a compresiones transversales al anclaje y, en todo caso, deben evitarse las zonas de fuertes tracciones.



Procedimiento gral. de diseño (EHE 2008)

- Dadas las complicaciones para desarrollar un análisis semi-probabilístico que contemple todos los factores, utilizamos fórmulas cotejadas empíricamente.
- El procedimiento se basa en:

1: Calcular **longitud básica de anclaje** l_b

• Posición de barra en elemento

• Diámetro

• f_{ck} , f_{yk}

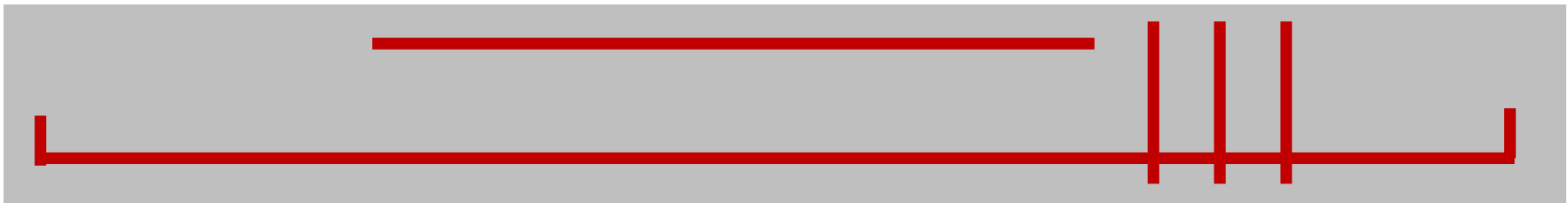
• Barra aislada o en grupo

2: Calcular **longitud neta de anclaje** $l_{b,neto}$ aplicándole factores de reducción a l_b , que dependen del dispositivo de anclaje (prolongacion recta, patilla, etc) y las áreas de acero real y necesaria de la armadura a anclar.

3: Ubicar punto de anclaje y verificar la correcta disposición geométrica en el elemento (recordar el decalaje de la envolvente del diagrama de momentos)

4: Es posible aumentar la longitud de anclaje por facilidad constructiva.

- En los elementos de hormigón se distinguen dos zonas de adherencia, que afectan las verificaciones y diseños de los anclajes de armaduras.
- Las barras superiores están en peores condiciones de adherencia que las inferiores, debido a que el hormigón que las circunda es generalmente de calidad algo mas baja, a causa del efecto de refluxión de aire y lechada hacia lo alto durante la compactación.
- Para tener en cuenta este factor definimos 2 posiciones:
 - **Posición I: Buena adherencia**
Barras que, durante el hormigonado, forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 90° y 45° ; y barras que, formando un ángulo menor de 45° , están situadas en la mitad inferior de la pieza o a una distancia igual o mayor que 30 cm de la cara superior de una capa de hormigonado.
 - **Posición II: Adherencia deficiente**
Barras no incluidas en el caso anterior.



Cálculo de longitud básica (cont.)

- Para barras en posición I:

$$l_{bl} = m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} \phi$$

- Para barras en posición II:

$$l_{bl} = 1,4 m \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{14} \phi$$

- ϕ diámetro en mm, f_{yk} en N/mm², y m se obtiene de la siguiente table:

(= MPa)

Resistencia característica del hormigón (N/mm ²)	m	
	B 400 S B 400 SD	B 500 S B 500 SD
Aumenta ↓ 25	Disminuye ↓ 1,2	1,5
30		1,3
35		1,2
40		1,1
45		1,0
≥ 50		1,0

(recordar la fórmula teórica)

- Longitud neta de anclaje se define:

$$l_{b,neta} = l_b \beta \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} \cong l_b \beta \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

Factor de reducción por tipo de dispositivo

Usamos esta igualdad

- A_s Armadura necesaria por cálculo en la sección a partir de la cual se ancla la armadura.
- $A_{s,real}$ Armadura realmente existente en la sección a partir de la cual se ancla la armadura.

Valores de β

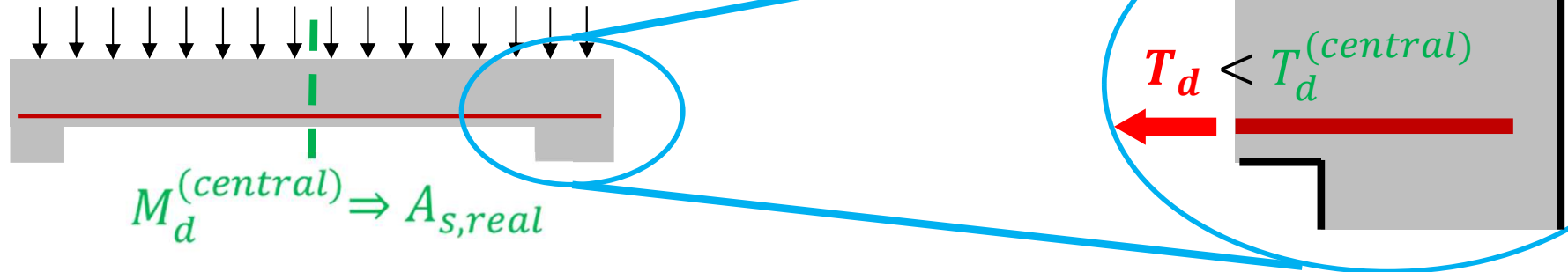
Tipo de anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	-1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7 (*)	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

(*) Si el recubrimiento de hormigón perpendicular al plano de doblado es superior a 3ϕ . En caso contrario $\beta = 1$.

- Limitaciones: $l_{b,neta} \leq \left\{ \begin{array}{l} \bullet 10\phi \\ \bullet 15 \text{ cm} \\ \bullet \frac{l_b}{3} \text{ en barras traccionadas o } \frac{2l_b}{3} \text{ en barras comprimidas} \end{array} \right.$

Justificación teórica del factor $A_s/A_{s,real}$

- Tenemos una viga en flexión pura y se diseña su armadura de tracción A_s que colocamos en todo el largo, le llamaremos $A_{s,real}$.



- Cortando en la sección en la cual queremos calcular el anclaje, tenemos que anclar la fuerza T_d (en el apoyo t.q. $T_d < T_d^{(central)}$). Necesitamos satisfacer el equilibrio:

$$l_{b,neta} \phi \pi f_{bd} = T_d = \sigma_{sd} A_{s,real} \cong f_{yd} A_{s,nec} \quad (\text{"nec"} = \text{necesaria por cálculo})$$

- Por otro lado sabemos que la tracción última **que soporta la barra** se ancla debidamente usando una long. de anclaje l_b , satisfaciendo la ecuación de equilibrio:

$$l_b \phi \pi f_{bd} = T_u = f_{yd} A_{s,real} \Rightarrow \frac{l_{b,neta}}{l_b} = \frac{T_d}{T_u} \cong \frac{f_{yd} A_{s,nec}}{f_{yd} A_{s,real}} = \frac{A_{s,nec}}{A_{s,real}}$$

(esta aproximación es válida en aquellas piezas en las cuales la tensión de la armadura se mantiene aproximadamente proporcional al momento flector)

Dispositivos de terminación de anclaje



Cualquier anclaje con pequeño radio de curvatura conlleva problemas. Como norma general, si es posible, resulta preferible para barras corrugadas el anclaje por prolongación recta.

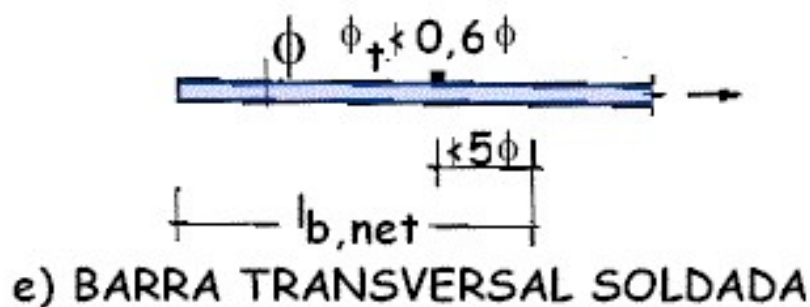
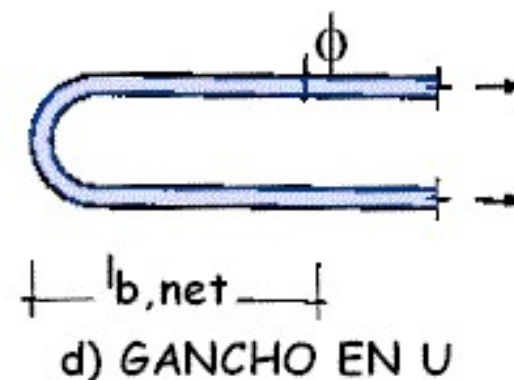
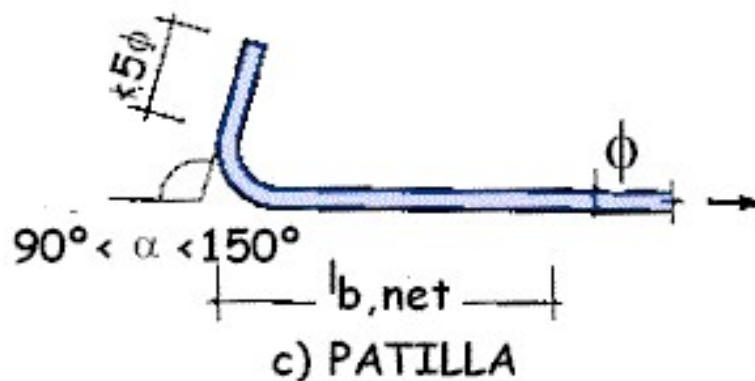
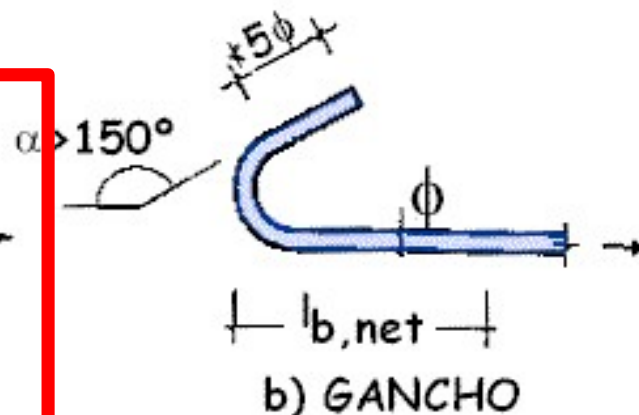
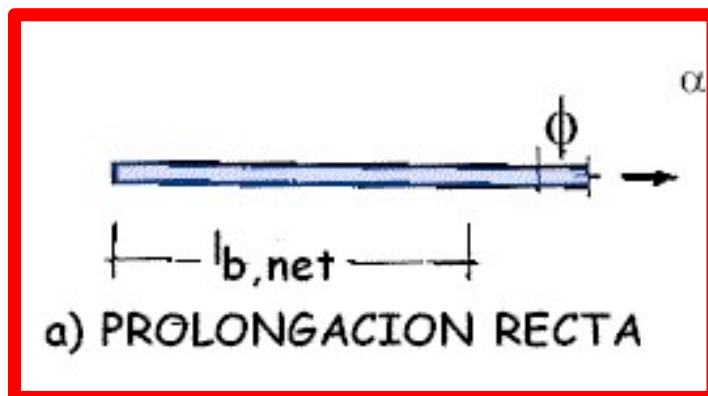


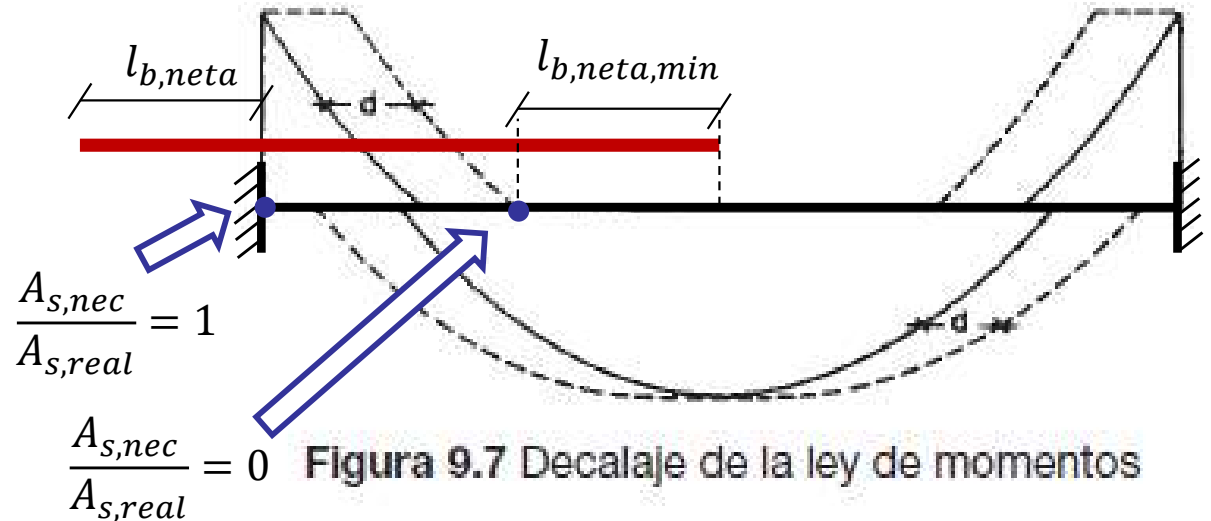
Tabla 69.3.4

Diámetro mínimo de los mandriles

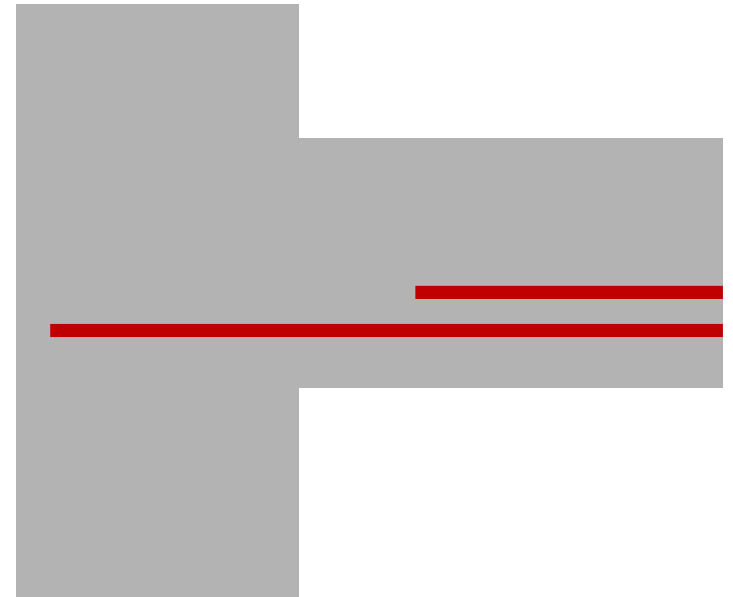
Acero	Ganchos, patillas y gancho en U (ver figura 69.5.1.1)		Barras dobladas y otras barras curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
	$s < 20$	$s \geq 20$	$s \leq 25$	$s > 25$
B 400 S B 400 SD	4 σ	7 σ	10 σ	12 σ
B 500 S B 500 SD	4 σ	7 σ	12 σ	14 σ

¿Dónde comienza la longitud de anclaje?

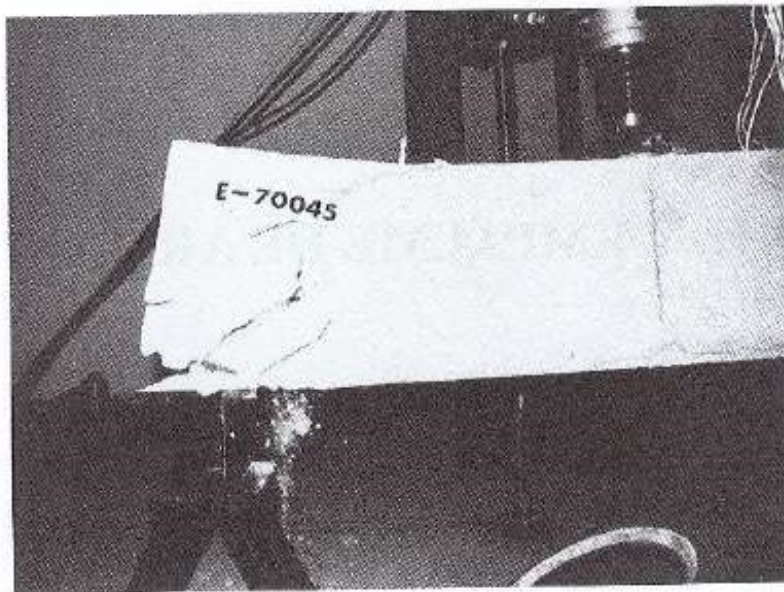
- A efectos de anclaje de barras a tracción, para tener en cuenta el efecto de la fisuración oblicua debida al esfuerzo cortante, debe suponerse la envolvente de momentos **decalado**. Esto incide en el factor $A_s/A_{s,real}$.



En el caso de vigas, debe llevarse hasta los apoyos extremos al menos un tercio de la armadura necesaria para resistir el máximo momento positivo; y debe haber al menos un cuarto en los apoyos intermedios. Esta armadura mínima se prolongará a lo ancho de todo el apoyo.



Fallo de anclaje



Fallo repentino de un anclaje de viga, sin fisuración de aviso
(Cortesía de INTEMAC)

Figura 44-2

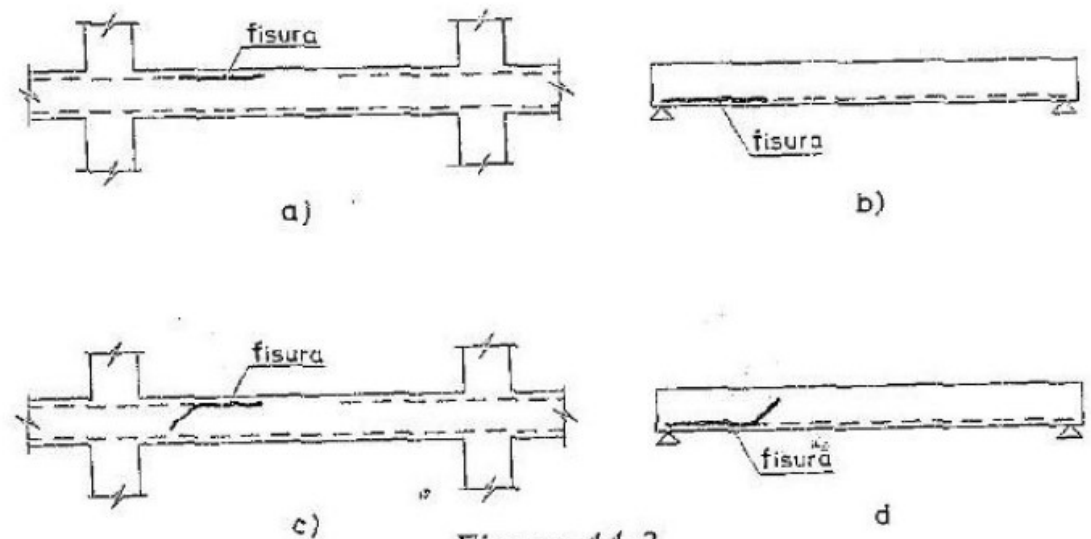
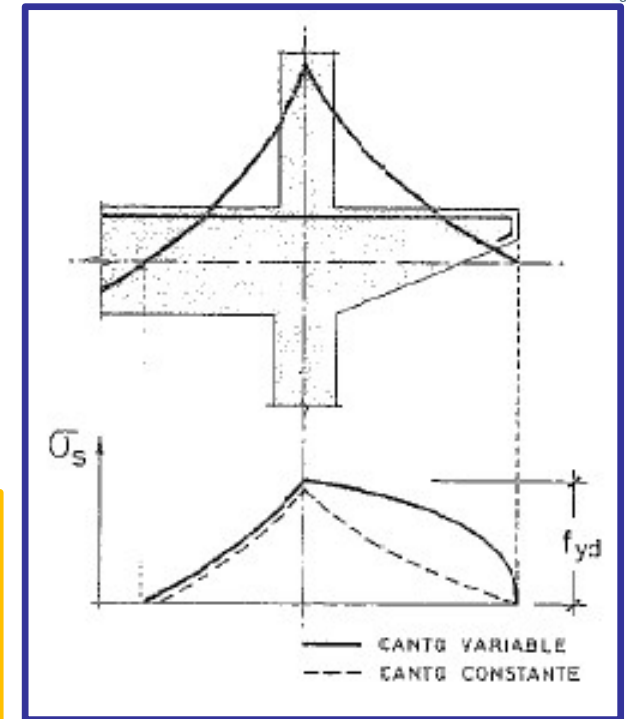


Figura 44-3

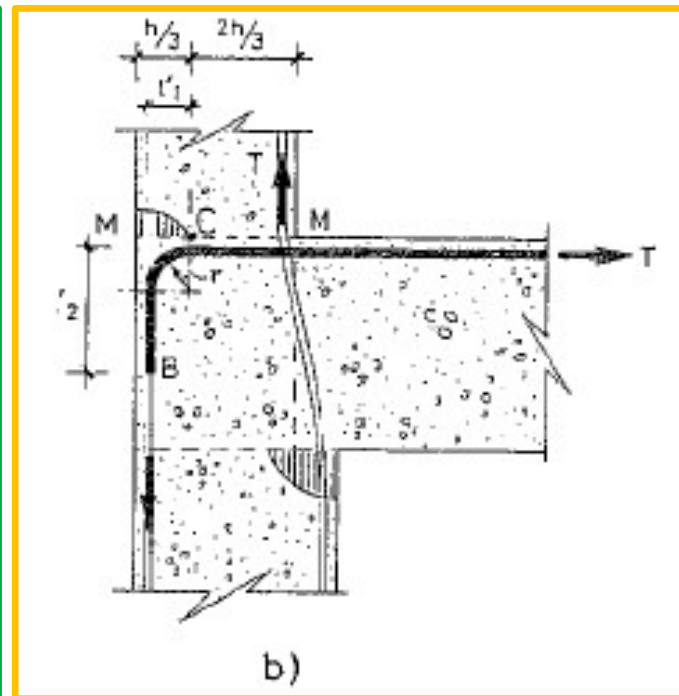
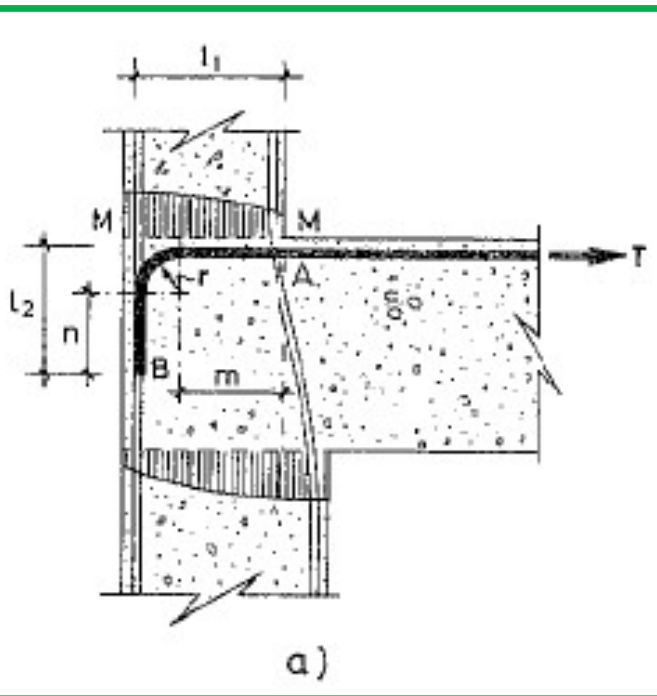
Dos fallos típicos de anclaje se indican en las figuras 44-3 a) y b), aunque más frecuentemente el fallo del anclaje se mezcla con un fallo a esfuerzo cortante (fig. 44-3 c) y d).

Debe prestarse atención especial a aquellas piezas en las cuales la tensión de la armadura no es sensiblemente proporcional al momento, como por ejemplo el caso indicado en la figura 44-18. Debido a la fuerte variación de canto, la tensión del acero es muy próxima a f_{yd} hasta casi la punta del voladizo (línea continua del gráfico de σ_s), mientras que con canto constante decrecería muy rápidamente (línea de trazos del citado gráfico). En el primer caso, a poca distancia del apoyo, $\frac{A_{s,rec}}{A_{s,real}} \cong 1$, mientras que, en el segundo, $\frac{A_{s,rec}}{A_{s,real}} \cong 0$ con



a) Pilar con toda su sección comprimida \Rightarrow long. de anclaje = AB.

b) Pilar no tiene toda su sección comprimida \Rightarrow long. de anclaje = CB.



Resumen de criterios de anclaje

1^{er} Semestre 2023 Agustin Spalvier Curso: Hormigón Estructural 1

19

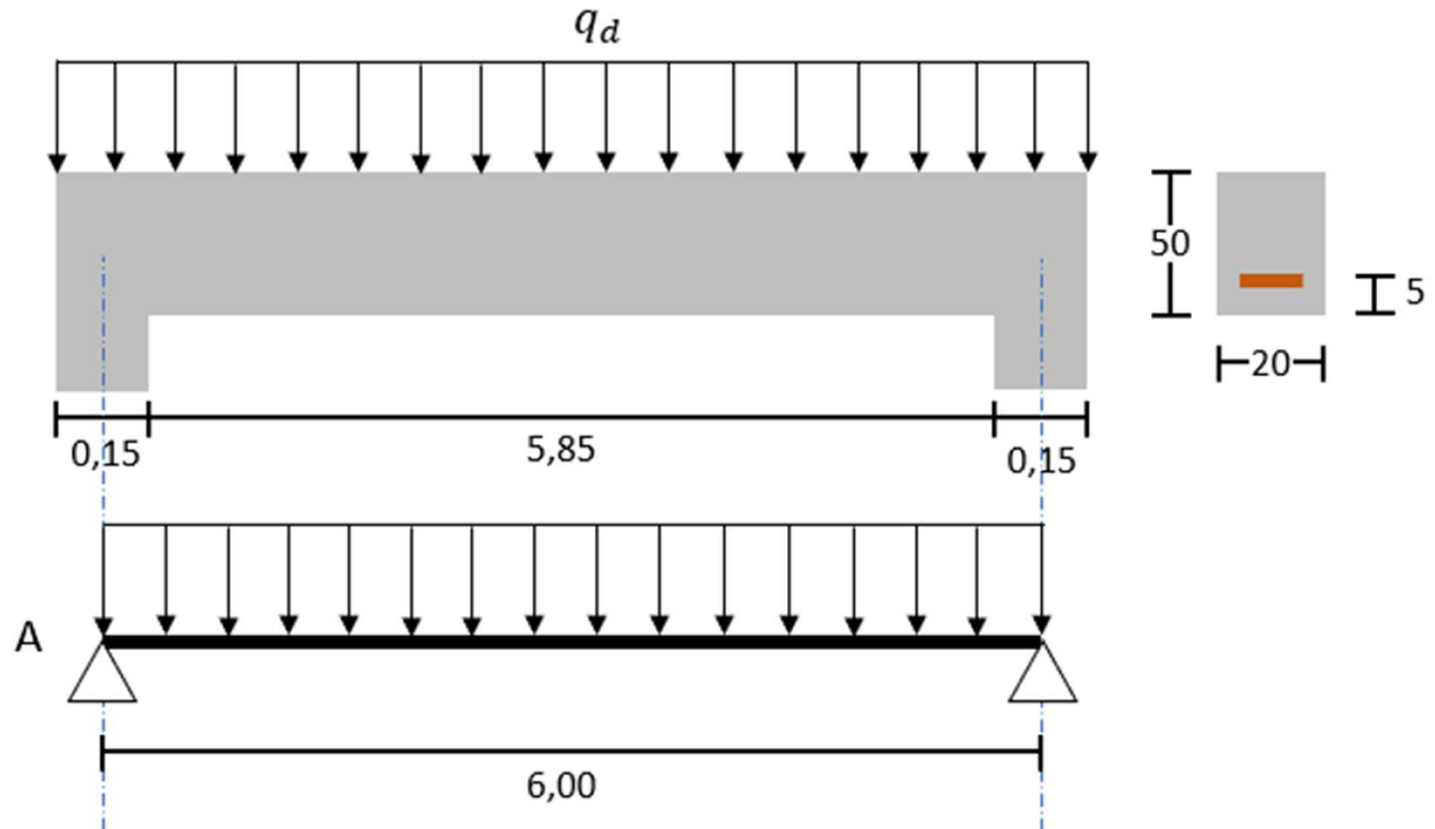


Leer documento en EVA del curso:
Material práctico -> Tablas y ejemplos -> Criterios de anclaje

Ejemplo

Se tiene una viga simplemente apoyada sometida a una carga uniformemente distribuida q_d como se muestra en la Figura 1. Se desea calcular el anclaje de los hierros inferiores.

$$q_d = 45 \text{ kN/m}$$
$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$



Usando ELU de flexión, calculamos primero la armadura de acero a disponer en la cara inferior, a partir del momento máximo positivo en la viga, que se da en el centro de la luz.

$$M_d = \frac{q_d L^2}{8} = 203 \text{ kNm}$$

$$\mu = \frac{M_d}{bd^2 f_{cd}} = 0,251 \Rightarrow \text{VSA}$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 0,294 > 0.045 \Rightarrow \text{OK} \Rightarrow$$

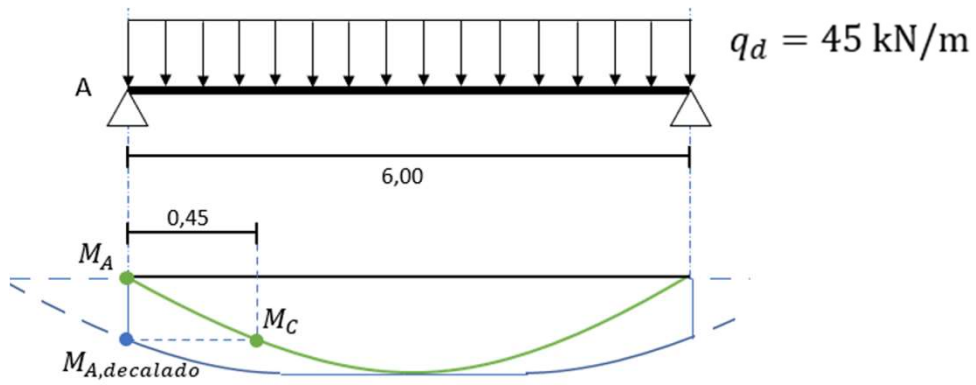
$$A_{s1} = \frac{\omega f_{cd} b d}{f_{yd}} = 12,2 \text{ cm}^2$$

Ejemplo

Calculo la longitud básica de anclaje:

$$l_{b,I} = m\phi^2 = 1,3 \times (20 \text{ mm})^2 = 520 \text{ mm} \not\leq \frac{f_{yk}}{20} = 500 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK}$$

Ejemplo



$$\frac{V_C}{3 - 0,45} = \frac{V_A}{3} \Rightarrow V_C = 114,75 \text{ kN} \Rightarrow$$

$$M_C = 56,2 \text{ kNm} \Rightarrow$$

Para poder materializar el anclaje, debemos ejecutar la prolongación recta, pero doblando las varillas con diámetro de mandril grande, es decir, entrando a la parte derecha de la tabla 69.3.4 de la EHE. La tabla indica diámetro de mandril 12ϕ , que en nuestro caso da 240 mm como mínimo. Ver esquema en figura 2.

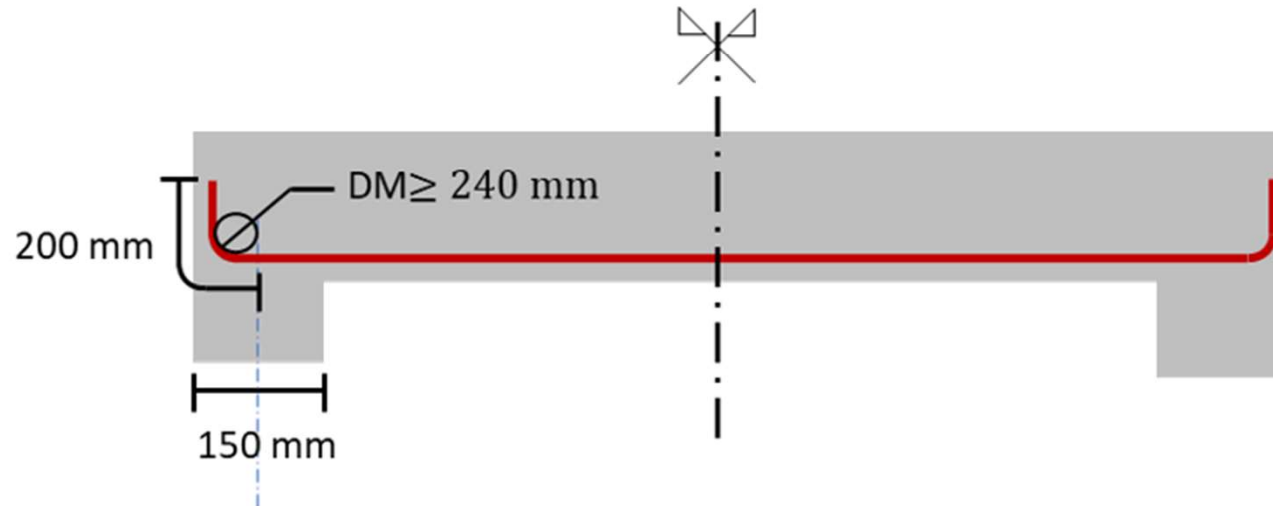


Figura 2: Detalle de anclaje de armadura estructural.