

HORMIGÓN I (74.01 y 94.01)

ANCLAJES Y EMPALMES

El objetivo de esta clase es aprender a dimensionar los anclajes y empalmes de las barras de armadura.

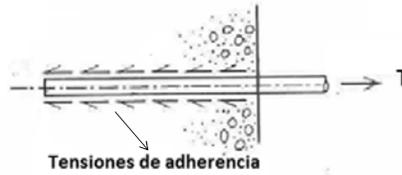
ADHERENCIA:

ES LA UNIÓN RESISTENTE AL RESBALAMIENTO ENTRE EL ACERO Y EL HORMIGÓN



ASEGURA QUE LAS BARRAS DE ACERO EXPERIMENTEN LAS MISMAS DEFORMACIONES ESPECÍFICAS ϵ QUE LAS FIBRAS VECINAS DE HORMIGÓN

Las fuerzas que actúan en una barra de armadura traccionada son:



Estas fuerzas se encuentran en equilibrio.

Las tensiones de adherencia deben estar presentes, cuando la tensión ó la fuerza varíen de un punto al otro a lo largo de la longitud de la barra.

ANCLAJES

ANCLAR UNA BARRA EN EL HORMIGÓN ES TRANSFERIR EL ESFUERZO DE LA BARRA AL HORMIGÓN

LONGITUD DE ANCLAJE

Las barras necesitan, a partir de la sección donde se produce la tensión máxima, una cierta longitud a través de la cual transmitir al hormigón los esfuerzos a los que está solicitada.



longitud de anclaje

LONGITUD DE ANCLAJE

La longitud de anclaje es la menor longitud de la barra en la cual la tensión puede incrementarse desde cero a f_y .

Las longitudes de anclaje son distintas en tracción y en compresión.

Barra traccionada - Falla por arrancamiento

Planteando equilibrio:

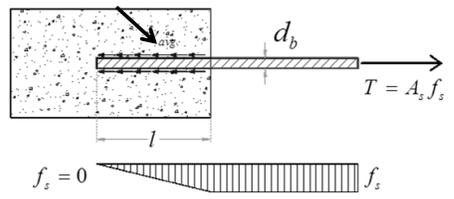
$$(\pi d_b) l v_{avg} = \frac{\pi d_b^2}{4} f_s$$

$$ELU \begin{cases} f_s = f_y \\ v_{avg} = v_{avg,u} \end{cases}$$

$$(\pi d_b) l_u v_{avg,u} = \frac{\pi d_b^2}{4} f_y$$

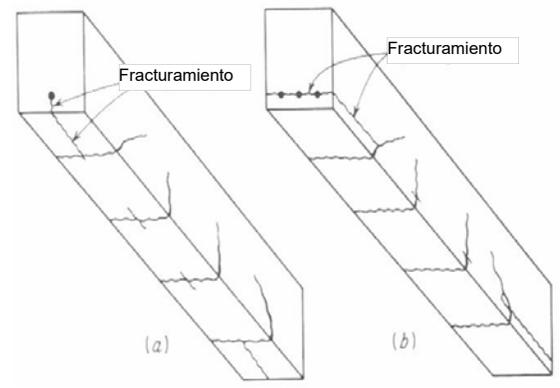
$$(\pi d_b) \phi l_d v_{avg,u} = \frac{\pi d_b^2}{4} f_y$$

U_{avg} Tensión de adherencia media



$$l_d = \frac{f_y}{4\phi v_{avg,u}} d_b$$

La proximidad a los bordes o a otras barras puede modificar el tipo de falla



Referencia Nilson&Winter,
 "Diseño de Estructuras de
 Concreto", 11a.E,
 McGraw Hill, 1993

Longitud de anclaje en tracción especificada en el Reglamento:

$$l_d = \frac{1}{4\phi v_{avg,u}} f_y d_b$$

Es introducido mediante una serie de coeficientes
 ACI COMMITTEE 408
 Desde 1990 cuenta con una base de datos de resultados de los ensayos

$$l_d = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}} d_b \geq 30\text{cm}$$

Ya incluye el coef. de minoración de resistencia ϕ

- $v_{avg,u}$
- La calidad del hormigón $\rightarrow \sqrt{f'_c}$
 - El tipo de hormigón (normal o liviano) $\rightarrow \lambda$
 - La ubicación de la barra $\rightarrow \psi_t$
 - Las condiciones de la superficie de la barra $\rightarrow \psi_e$
 - El recubrimiento de la barra
 - La proximidad a otras barras tensionadas
 - La presencia de armadura transversal
- } $\rightarrow \left[\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right]$
- Se agrega un factor según sea el diámetro de la barra $\rightarrow \psi_s$

ANCLAJES DE BARRAS SOLICITADAS A TRACCIÓN

Id: Longitud de anclaje

$$l_d = \left[\frac{9}{10} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s \cdot \lambda}{\left(\frac{c_b + k_{tr}}{db} \right)} \right] \cdot db$$

Id en mm
 y siempre $l_d \geq 300\text{mm}$

Factores:

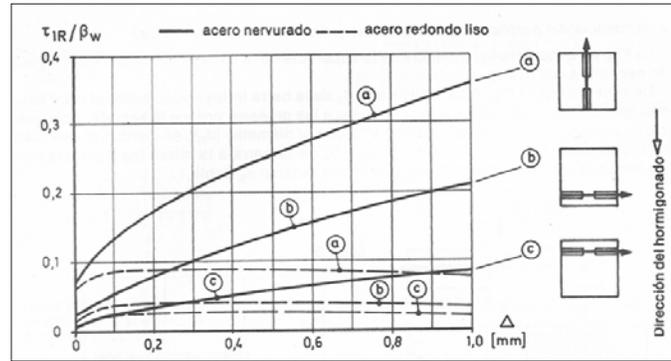
ψ_t : factor de ubicación de la armadura

ψ_e : factor por revestimiento (superficie de la barra)

ψ_s : factor por diámetro de la armadura

λ : factor por densidad del hormigón (agregado liviano)

Resultados de ensayos de arrancamiento en barras rectas, con distinta posición durante el hormigonado.



ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina <Nº>

$$l_d = \left[\frac{9}{10} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s \cdot \lambda}{\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right)} \right] \cdot d_b$$

Factor por ubicación de la armadura	ψ _t
• Armadura horizontal ubicada de tal manera que se disponga, como mínimo, de 300 mm de hormigón debajo del empalme o anclaje de la barra o alambre	1,3
• Otras situaciones	1,0

Factor por revestimiento	ψ _e
• Armadura sin revestir	1,0

Este Reglamento no contempla la utilización de barras, alambres y mallas soldadas de acero para armaduras, revestidos con epoxi, los que serán objeto de un documento CIRSOC específico

Factor por diámetro de la armadura	ψ _s
• Barras y alambres conformados con d _b ≤ 16 mm	0,8
• Barras conformadas con d _b > 16 mm	1,0

Factor por hormigón con agregado liviano	λ
• Cuando se utilice hormigón de densidad normal	1,0
• Cuando se utilice hormigón con agregado liviano	1,3
• Cuando se especifique el valor de f _{cr} , se permite adoptar λ = √(f _{cr} / 1,8 f _{cr}), pero siempre igual o mayor que	1,0

ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina <Nº>

Término de confinamiento

En la fórmula se debe adoptar:

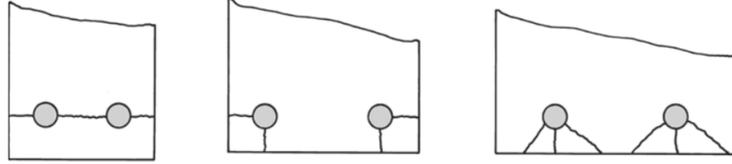
$$\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right) \leq 2,5$$

ya que si se adopta > 2,5 se puede presentar una falla por arrancamiento.

ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina <Nº>

C_b : menor valor entre la distancia desde el eje de una barra, a la superficie de hormigón más próxima, ó la mitad de la separación entre los ejes de las barras que se están anclando, en mm.



a) El recubrimiento lateral y la mitad de la separación entre barras es menor que el recubrimiento inferior.

b) El recubrimiento lateral es igual al recubrimiento inferior y ambos menores que la mitad de la separación entre barras.

c) El recubrimiento inferior es menor que el recubrimiento lateral y la mitad de la separación entre barras.

Wight&MacGregor, "Reinforced Concrete Mechanics and Design", 6thE, Pearson, 2012

k_{tr} : índice de la armadura transversal.

$$k_{tr} = \frac{A_{tr} \cdot f_{yt}}{10 \cdot s \cdot n}$$

El valor de k_{tr} se puede adoptar igual a cero como una simplificación, aunque haya armadura transversal.

A_{tr}/s : área de la armadura transversal por unidad de longitud que cose el plano de falla potencial debido al anclaje o empalme

s : separación máx. de la armadura transversal en l_d .

f_{yt} : tensión de fluencia de la armadura longitudinal.

n : nº de barras ancladas a lo largo del plano de fisuración.

10 es una constante que tiene dimensiones de Mpa.

NOTA:

f'_c es la resistencia a compresión del hormigón en MPa.

De acuerdo al Reglamento Cirsoc 201 (ACI) 2005, los valores de $\sqrt{f'_c}$ a utilizar para el cálculo de longitudes de anclaje, deben ser iguales o menores que 8,3 MPa.

Expresiones simplificadas:

Tabla 12.2.2 – Reglamento Cirsoc 201 - 2005

	Barras o alambres conformados con $d_b \leq 16 \text{ mm}$	Barras conformadas con $d_b > 16 \text{ mm}$
<ul style="list-style-type: none"> Separación libre entre barras o alambres que se empalman o se anclan $\geq d_b$ recubrimiento libre $\geq d_b$, y estribos abiertos y estribos cerrados a lo largo de $\ell_d \geq$ que el valor mínimo indicado en este Reglamento 	$\ell_d = \left(\frac{12 f_y \psi_t \psi_o \lambda}{25 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\ell_d = \left(\frac{3 f_y \psi_t \psi_o \lambda}{5 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
<ul style="list-style-type: none"> Separación libre entre barras o alambres que se empalman o anclan $\geq 2 d_b$, y recubrimiento libre $\geq d_b$ 		
<ul style="list-style-type: none"> Otros casos 	$\ell_d = \left(\frac{18 f_y \psi_t \psi_o \lambda}{25 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\ell_d = \left(\frac{9 f_y \psi_t \psi_o \lambda}{10 \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina (Nº)

La longitud de anclaje ℓ_d se puede reducir afectándola de un factor:

$$\frac{A_{Sreq}}{A_{Sadopt.}}$$

cuando la armadura que se dispone en un elemento solicitado a flexión, exceda el valor de la armadura requerida determinada por cálculo.



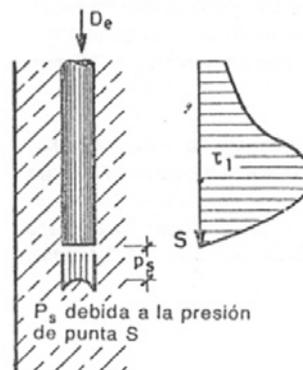
ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina (Nº)

ANCLAJES DE BARRAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN

ℓ_{dc} : Longitud de anclaje en compresión.

La longitud de anclaje en compresión es menor que la longitud de anclaje en tracción, porque parte de la fuerza de la barra se transfiere al Hº a través del extremo de la misma.



Referencia Leonhardt,
 "Estructuras de Hormigón
 Armado", Tomo III,
 Ed. El Ateneo, 1985

ℓ_{dc} en mm y siempre $\ell_{dc} \geq 200 \text{ mm}$

ANCLAJES Y EMPALMES

Lámina (Nº)

La longitud de anclaje será la mayor de:

$$l_{dc} = \left(0,24 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) \cdot d_b$$

$$\text{ó } l_{dc} = (0,04 \cdot f_y) \cdot d_b$$

donde 0,04 esta en $\left[\frac{\text{mm}^2}{\text{N}} \right]$

$$\text{ó } l_{dc} = 200\text{mm}$$

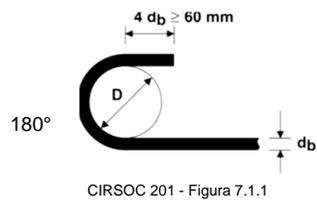
l_{dc} se puede reducir en el caso de colocar armadura en exceso con el factor: $\frac{A_{sreq}}{A_{sadopt.}}$

GANCHOS

Los ganchos a 90° ó a 180°, se usan para proveer de anclaje adicional cuando no hay lugar suficiente para lograr un anclaje recto de una barra.

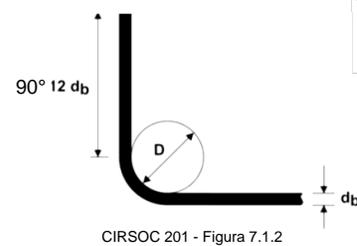
Los ganchos no se consideran efectivos para anclar barras comprimidas.

GANCHOS PARA BARRAS



D: Diámetro del mandril de doblado
(Art. 7.2.1 → Art. 7.2.1.1)

$$D \geq \begin{cases} d_b \leq 25 \rightarrow 6 d_b \\ 25 < d_b \leq 32 \rightarrow 8 d_b \\ d_b > 32 \rightarrow 10 d_b \end{cases}$$

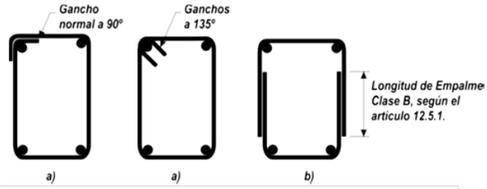


Barras dobladas y nudos de pórticos

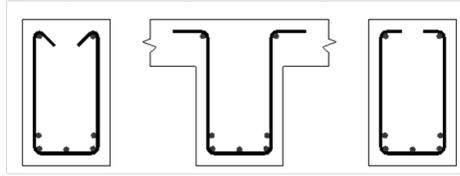
$$D \geq \begin{cases} d_b \leq 25 \rightarrow 9 d_b \\ 25 < d_b \leq 32 \rightarrow 12 d_b \\ d_b > 32 \rightarrow 15 d_b \end{cases}$$

GANCHOS PARA ESTRIBOS

1- Estribos cerrados



2- Estribos abiertos (o estribo en U)

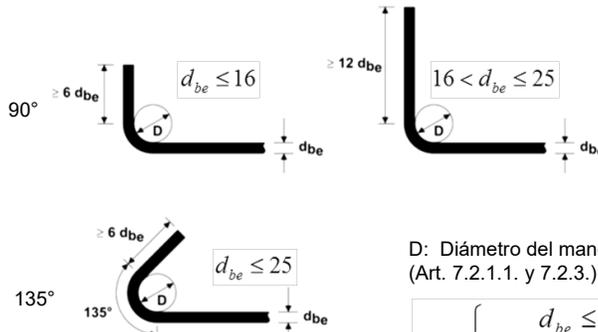


Los estribos de los elementos solicitados a compresión deben ser siempre cerrados. (arriostran barras y confinan el H^o)

Los estribos de los elementos solicitados a flexión pueden ser abiertos ó cerrados. (abiertos: toman corte, cerrados: absorben torsión)

GANCHOS PARA ESTRIBOS

Estribos abiertos o cerrados

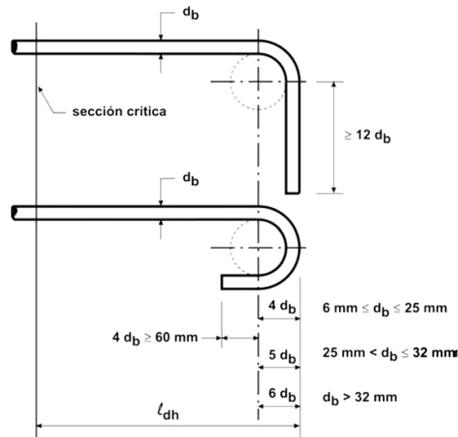


D: Diámetro del mandril de doblado
(Art. 7.2.1.1. y 7.2.3.)

$$D \geq \begin{cases} d_{be} \leq 16 \rightarrow 4 d_{be} \\ 16 < d_{be} \leq 25 \rightarrow 6 d_{be} \\ 25 < d_{be} \leq 32 \rightarrow 8 d_{be} \\ d_{be} > 32 \rightarrow 10 d_{be} \end{cases}$$

CIRSOC 201 - Figura 7.1.3

ANCLAJES DE BARRAS TRACCIONADAS CON GANCHOS NORMALES



l_{dh} : longitud medida desde la sección crítica hasta el extremo exterior del gancho

CIRSOC 201 - Figura 12.5.1



La longitud de anclaje l_{dh} en mm, para las barras solicitadas a tracción, que terminan con un gancho normal se determina con:

$$l_{dh} = \left(0,24 \cdot \psi_e \cdot \lambda \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'c}} \right) \cdot d_b$$

pero siempre: $l_{dh} \geq 8 \cdot d_b$

$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$

en la cual:

$\psi_e = 1,0$ para armadura sin revestir

$\lambda = 1,0$ para hormigón de densidad normal

$\lambda = 1,3$ para hormigón con agregados livianos



El valor de la longitud de anclaje l_{dh} , determinada anteriormente, se puede multiplicar por los factores de modificación aplicables en los casos que se detallan en la siguiente tabla (Tabla 12.5.3. – Cirsoc 201 / 2005)

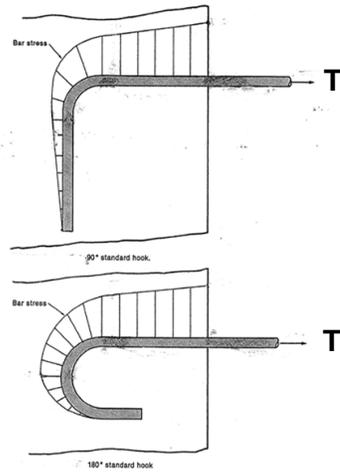


Tabla 12.5.3. Factores de modificación aplicables a la longitud de anclaje l_{dh}

Condiciones de la armadura	Factor
a) para los ganchos de las barras con $d_b \leq 32 \text{ mm}$, y en los alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$, con un recubrimiento lateral, perpendicular al plano del gancho $c \geq 60 \text{ mm}$ y para los ganchos con un ángulo de 90° , con un recubrimiento sobre la prolongación de la barra o alambre más allá del gancho, $c \geq 50 \text{ mm}$.	0,70
b) para los ganchos con ángulo de 90° , en las barras con $d_b \leq 32 \text{ mm}$ y en los alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$, que están encerrados por estribos abiertos o cerrados, <i>perpendiculares</i> a la barra o alambre que se debe anclar, ubicados con una separación $s \leq 3 d_b$ a lo largo de la longitud de anclaje l_{dh} del gancho, (ver la Figura 12.5.3.a). para los ganchos con un ángulo de 90° , en barras con $d_b \leq 32 \text{ mm}$ y en alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$, que están encerrados ya sea por estribos abiertos o cerrados, <i>paralelos</i> a la barra o alambre que se debe anclar, ubicados con una separación $s \leq 3 d_b$ a lo largo de la longitud de prolongación del gancho incluyendo la curvatura del mismo, (ver la Figura 12.5.3.b).	0,80
c) para los ganchos con un ángulo de 180° , en barras con $d_b \leq 32 \text{ mm}$ y en alambres con $d_b \leq 16 \text{ mm}$ que están encerrados ya sea por estribos abiertos o cerrados, <i>perpendiculares</i> a la barra o alambre que se debe anclar, ubicados con una separación $s \leq 3 d_b$, a lo largo de la longitud de anclaje l_{dh} del gancho.	0,80
d) cuando no se indique en forma específica la <i>longitud de anclaje</i> para la tensión f_p , y se disponga de armadura en exceso con respecto a la armadura requerida por cálculo.	$\frac{A_s \text{ requerida}}{A_s \text{ adoptada}}$

En los casos b) y c), d_b es el diámetro de la barra o alambre que termina en gancho, y el primer estribo abierto o cerrado debe contener la parte curva del gancho, a una distancia $s \leq 2 d_b$ desde la parte exterior de la curvatura del gancho.

BARRA DOBLADA SOLICITADA



Wight&MacGregor, "Reinforced Concrete Mechanics and Design", 6thE, Pearson, 2012

EMPALMES

EMPALMAR UNA BARRA ES TRANSFERIR EL ESFUERZO DE UNA BARRA DE ARMADURA A OTRA.

EMPALMES

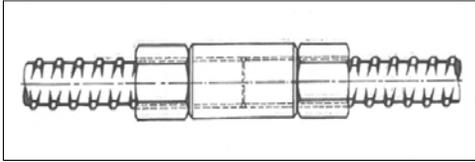


DIRECTOS: El hormigón no participa en la transmisión de los esfuerzos. Pueden ser empalmes soldados o mecánicos.

INDIRECTOS: Es necesario que el hormigón participe en la transmisión del esfuerzo de una barra a la otra.

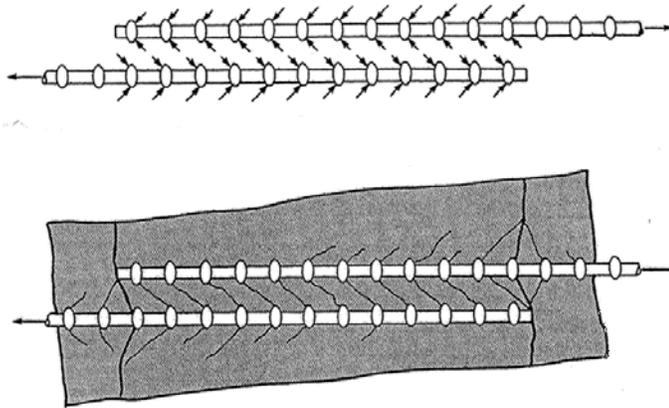
EMPALMES MECÁNICOS Ó SOLDADOS

Estos empalmes deben poder transferir el esfuerzo a que estén solicitados, como mínimo, con un 125% de la tensión de fluencia especificada f_y de la barra.



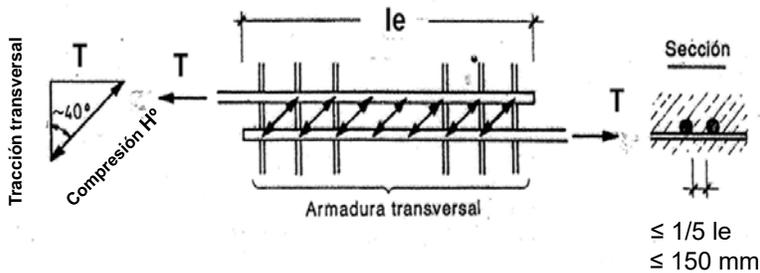
Los esfuerzos se transmiten de una barra a la otra a través del manguito roscado.

EMPALMES INDIRECTOS



Wight&MacGregor, "Reinforced Concrete Mechanics and Design", 6thE, Pearson, 2012

EMPALMES POR YUXTAPOSICIÓN

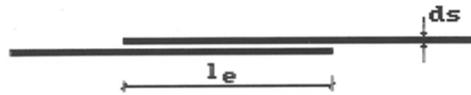


Transmisión de esfuerzos en un empalme indirecto: el esfuerzo T se transmite por compresión oblicua, lo que origina una tracción transversal.

Referencia Leonhardt, "Estructuras de Hormigón Armado", Tomo III, Ed. El Ateneo, 1985

EMPALME POR YUXTAPOSICIÓN

Sólo se deben usar para empalmar barras con $db \leq 32\text{mm}$



En los elementos solicitados a flexión, las barras empalmadas por yuxtaposición que no queden en contacto entre sí, se pueden distanciar como máximo $1/5$ de la longitud de empalme requerida, ó 150 mm

EMPALMES DE BARRAS SOLICITADAS A TRACCIÓN

La longitud de los empalmes en tracción por yuxtaposición debe ser la requerida para empalmes clase A ó B, pero como mínimo 300 mm

Empalme Clase A.....	1,0 l_d
Empalme Clase B.....	1,3 l_d

siendo l_d la longitud de anclaje correspondiente a la tensión de fluencia especificada fy sin factor de reducción por mayor armadura disponible que la requerida.

Los empalmes por yuxtaposición de barras solicitadas a tracción, son Clase A si:

- El área de la armadura adoptada a lo largo de todo el empalme es como mínimo el doble de la requerida por cálculo.
- Y está empalmada la mitad ó menos de la armadura total dentro de la longitud de empalme requerida.

Todos los demás casos son empalme Clase B.

EMPALMES DE BARRAS SOLICITADAS A TRACCIÓN

Tabla 12.15.2. Empalmes de las barras

$\frac{A_s \text{ adoptada}}{A_s \text{ requerida}}$ (*)	Porcentaje máximo de la armadura total A_s , empalmado en la longitud requerida para dicho empalme	
	50 %	100 %
≥ 2	Clase A	Clase B
< 2	Clase B	Clase B

(*) relación entre el área de la armadura adoptada y el área de la armadura requerida por cálculo

EMPALMES DE BARRAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN



La longitud de empalme por yuxtaposición de las barras comprimidas para $f'c \geq 20$ Mpa debe ser:

$$\geq 300 \text{ mm}$$

para $f_y \leq 420$ MPa $0,07 \cdot f_y \cdot db$

para $f_y > 420$ MPa..... $(0,13 f_y - 24) \cdot db$

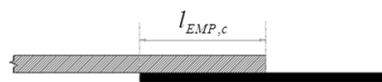
donde la unidad de las constantes es: [1/MPa]

Referencia Leonhardt, "Estructuras de Hormigón Armado", Tomo III, Ed. El Ateneo, 1985

CUANDO SE EMPALMAN POR YUXTAPOSICIÓN BARRAS COMPRIMIDAS DE DIFERENTE DIÁMETRO, LA LONGITUD DE EMPALME DEBE SER LA MAYOR QUE SE OBTENGA ENTRE:

❖ LA LONGITUD DE ANCLAJE DE LA BARRA DE MAYOR DIÁMETRO.

❖ LA LONGITUD DE EMPALME DE LA BARRA DE MENOR DIÁMETRO.





NO SE RECOMIENDA EJECUTAR EMPALMES EN ZONAS DE SOLICITACIONES ELEVADAS.

NO CONVIENE EMPALMAR MAS DEL 50% DE LAS BARRAS DE UNA SECCIÓN.

SE RECOMIENDA DESFASAR LOS EMPALMES UNOS CON RESPECTO A LOS OTROS.

(Estas recomendaciones no se cumplen en el caso de empalmes en columnas)



FIN –
ANCLAJES Y EMPALMES.

GRACIAS POR SU ATENCION !!!