

ANCLAJES Y EMPALMES POR ADHERENCIA

9.A.- ANCLAJES

9.A.1.- Anclaje de barras y alambres rectos traccionados

9.A.1.1.- Expresión general

El CIRSOC 201-2005, artículo 12.2.3, indica la siguiente expresión general:

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9}{10} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s \cdot \lambda}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)}$$

con los límites: $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right) \leq 2,50$; $\sqrt{f'_c} \leq 8,3$ MPa y un mínimo aplicable de:
 $\ell_d = 300$ mm (artículo 12.2.1).

con

ℓ_d : Longitud de anclaje de barras y alambres conformados en tracción [mm]

d_b : Diámetro nominal de una barra o alambre [mm]

f'_c : Resistencia especificada a la compresión del hormigón en [MPa]

f_y : Tensión de fluencia especificada para la armadura no tesa [MPa]

ψ_t : Factor por ubicación de la armadura

Para barras horizontales con 300 mm o más de hormigón por debajo del anclaje o empalme de las mismas, vale $\psi_t = 1,3$ (zona de mala adherencia)

Para cualquier otro caso, $\psi_t = 1,0$ (zona de buena adherencia)

ψ_e : Factor relativo al revestimiento de las barras o alambres de la armadura

A los fines del Reglamento CIRSOC 201-2005, artículo 12.2.4, $\psi_e = 1,0$ porque se considera la armadura sin revestir.

ψ_s : Factor por diámetro de la armadura

Si $d_b \leq 16$ mm $\psi_s = 0,80$

Si $d_b > 16$ mm $\psi_s = 1,00$

λ : Factor por uso de hormigón liviano

Permite efectuar las correcciones necesarias cuando se utiliza hormigón con agregado liviano. Para hormigones de peso normal es $\lambda = 1$. El resto de los valores se muestran en el CIRSOC 201-2005.

c_b : Menor valor entre la distancia desde el eje de la barra o alambre a la superficie de hormigón más próxima, o la mitad de la separación entre las barras o alambres [mm]

K_{tr} : Tiene en cuenta la armadura transversal que envuelve a la barra que se ancla

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} \cdot f_{yt}}{10 \text{ MPa} \cdot s \cdot n}$$

donde:

- A_{tr} / s : Armadura transversal por unidad de longitud, que cose el plano de hendidura potencial debido al anclaje o empalme [mm^2/mm]
- f_{yt} : Tensión de fluencia especificada del acero de la armadura transversal [MPa]
- n : Es el número de barras que se anclan o empalman contenidas en el plano de hendidura cosido por la armadura transversal.

La unidad de longitud resultante para K_{tr} debe ser la misma que para c_b y d_b .

9.A.1.2.- Expresiones simplificadas

El uso de la expresión general vista en el punto anterior puede ser algo complicado dada la cantidad de variables en juego. Para los casos más frecuentes en las estructuras para edificios, el CIRSOC 201-2005, artículo 12.2.2, presenta las siguientes expresiones simplificadas derivadas de la general:

a) Cuando se cumple **al menos uno** de los dos grupos de condiciones siguientes:

- El recubrimiento libre de la barra o alambre a empalmar o anclar es $\geq d_b$, y la separación entre dos barras o alambres contiguos que se empalman o anclan es $\geq d_b$, y toda la longitud de empalme o anclaje está envuelta por un estriado mayor o igual que el mínimo reglamentario.
- El recubrimiento libre de la barra o alambre a empalmar o anclar es $\geq d_b$ y la separación entre dos barras o alambres contiguos que se empalman o anclan es $\geq 2 d_b$.

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12}{25} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \lambda \quad \text{Para barras o alambres con } d_b \leq 16 \text{ mm } (\psi_s = 0,80)$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3}{5} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \lambda \quad \text{Para barras con } d_b > 16 \text{ mm } (\psi_s = 1,00)$$

b) Otros casos

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{18}{25} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \lambda \quad \text{Para barras o alambres con } d_b \leq 16 \text{ mm } (\psi_s = 0,80)$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9}{10} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \lambda \quad \text{Para barras con } d_b > 16 \text{ mm } (\psi_s = 1,00)$$

Las simplificaciones introducidas para ambos casos se basan en el estudio de los límites de variación del factor $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)$; ver el artículo C12.2.

Cuando se cumplen las condiciones del caso a), se encuentra que $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \geq 1,50$, y por lo tanto se toma este valor mínimo, de donde derivan las dos expresiones mostradas.

El caso b) considera que no hay armadura transversal, y que el recubrimiento será cuanto menos igual a d_b . Por lo tanto $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) = 1$.

9.A.1.3.- Tabla de longitudes de anclaje obtenidas mediante las expresiones simplificadas

Es evidente, por lo anteriormente expuesto, que en la mayoría de los casos prácticos que se presentan a diario, serán $\psi_e = \lambda = 1,0$, y ADN 420 ($f_y = 420$ MPa). Esto permite definir, a partir de las expresiones simplificadas, una serie bastante reducida de valores ℓ_d / d_b para su uso práctico.

La tabla que se muestra a continuación será válida, entonces, para:

- Hormigones de peso normal (no livianos)
- Barras conformadas de acero
- Acero de tensión de fluencia especificada $f_y = 420$ MPa. Independiente de esto, los valores para un acero de tensión de fluencia especificada diferente (como ser el uso de malla soldada de alambres conformados AM 500 N) se obtienen multiplicando el valor de tabla por el cociente entre la nueva tensión de fluencia especificada y 420 MPa.
- Las condiciones de aplicación descriptas. Para cualquier caso el recubrimiento libre debe ser mayor que d_b .

Obsérvese que:

- la condición a) corresponde a los casos típicos de vigas, en los que debe estar presente un estriado mínimo, o bien losas, en las que la separación entre barras es siempre mayor que $2 d_b$.
- la condición b), en cambio, solamente requiere que se cumpla el requisito de recubrimiento libre, y por lo tanto es aplicable a una mayor variedad de casos. Sin embargo, ésta mayor libertad de aplicación se penaliza con mayores longitudes ℓ_d (50% por encima del caso a)).

Tabla T1										
Condiciones de aplicación		Zona de adherencia	Diámetro de barras o alambres [mm]	f'_c [MPa]						
				20	25	30	35	40	50	
a)	Recubrimiento $\geq d_b$ y separación $\geq d_b$ y estribado mayor que el mínimo ⁽³⁾ o bien: Recubrimiento $\geq d_b$ y separación $\geq 2 d_b$	Mala ⁽¹⁾	$d_b \leq 16$	59	52	48	44	41	37	l_d/d_b
			$d_b > 16$	73	66	60	55	52	46	
		Buena ⁽²⁾	$d_b \leq 16$	45	40	37	34	32	29	
			$d_b > 16$	56	50	46	43	40	36	
b)	Otros casos	Mala	$d_b \leq 16$	88	79	72	66	62	56	
			$d_b > 16$	110	98	90	83	78	70	
		Buena	$d_b \leq 16$	68	60	55	51	48	43	
			$d_b > 16$	85	76	69	64	60	54	

- (1) Barras o alambres horizontales con **300 mm** o más de hormigón por debajo del anclaje o empalme de las mismas.
- (2) Cualquier otro caso.
- (3) Para chequear si el estribado es mayor que el mínimo, debe ser (artículo 11.5.6.3):
 $A_v / s \geq b_w / C$, donde **C** depende de la resistencia especificada del hormigón y de la tensión especificada de fluencia para la armadura. Para $f_{yt} = 420$ MPa, **C** toma valores 1,26 , 1,26 , 1,23 , 1,14 , 1,06 y 0,95 para $f'_c = 20, 25, 30, 35, 40$ y 50 MPa respectivamente. Con b_w en [mm], se obtiene el estribado mínimo en [mm²/m].

9.A.1.4.- Corrección por exceso de armadura (CIRSOC 201-2005, artículo 12.2.5)

Cuando la armadura realmente dispuesta (A_s adoptada) supera a la necesaria por cálculo (A_s requerida), es posible reducir la longitud de anclaje, pero no la de empalme, en un factor igual a $\frac{A_s \text{ requerida}}{A_s \text{ adoptada}}$.

Obviamente, esta corrección no puede ser realizada si se desea que el acero llegue a la tensión f_y . **No debe ser utilizada en estructura antisísmicas, en las que la ductilidad es fundamental.**

Para cualquier caso, es necesario considerar que si se ha colocado armadura en demasía por alguna razón, la resistencia de la pieza se verá incrementada. Pero si el anclaje se redimensiona corrigiendo por el exceso de armadura, la resistencia de la pieza se verá limitada por la del anclaje, desperdiciando el exceso de resistencia obtenido por la mayor cantidad de acero colocada. Sí es muy útil a la hora de verificar la capacidad de anclajes y/o empalmes ya construidos.

9.A.1.5.- Particularidades para los paquetes de barras (CIRSOC 201-2005, artículo 12.4)

Cuando las armaduras se han dispuesto en paquetes, la longitud de anclaje se determinará para cada barra por separado, sin aplicar el factor de modificación por diámetro de la barra. Esta longitud aumentará un 20% si el paquete es de 3 barras, y un 33% si es de 4 barras. El factor de modificación por diámetro de la barra se determina utilizando el diámetro equivalente del paquete de barras, de acuerdo con la expresión:

$$d_{b\text{-eq.}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum A_s} \quad \text{donde } \sum A_s \text{ es el área total del paquete de barras.}$$

Si se desea utilizar la tabla **T1**, se puede proceder de manera análoga a una barra aislada, pero en el momento de discriminar entre $d_b \leq 16 \text{ mm}$ y $d_b > 16 \text{ mm}$, se debe utilizar el $d_{b\text{-eq.}}$, y luego obtener la longitud de anclaje de cada barra multiplicando el coeficiente de tabla por cada diámetro.

9.A.1.6.- Cálculo utilizando la expresión sin simplificaciones

Si bien la utilización de la tabla **T1** es muy práctica, también es cierto que las simplificaciones introducidas hacen que todos los casos se traten como si las condiciones de aplicación fueran las extremas de cada caso. Esta situación deriva en que, frecuentemente, las longitudes de anclaje resultan mayores que las necesarias.

Cuando el recubrimiento es mayor que d_b , o el estribado es mayor que el mínimo, el beneficio de estas condiciones más favorables solamente puede ser tenido en cuenta mediante el uso de la expresión general.

9.A.2.- Anclaje con ganchos de barras y alambres traccionados

9.A.2.1.- Expresión general

El CIRSOC 201-2005, artículos 12.5.1 y 12.5.2, considera la posibilidad de utilizar un gancho normal, que puede presentar alguna de las dos configuraciones que se muestran en la Figura 9.A.2.1 (gancho a 90° o a 180°)

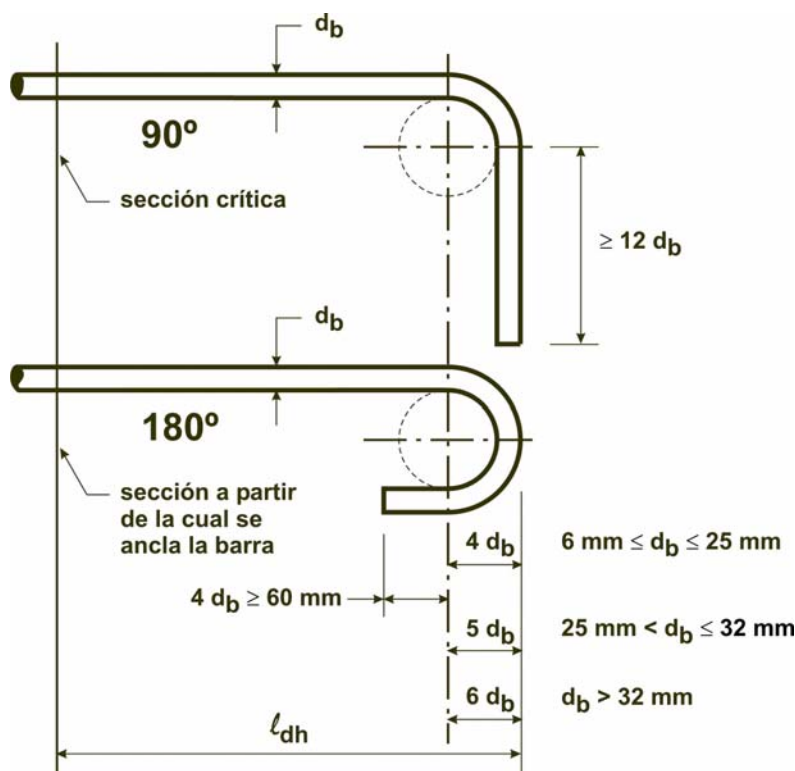


Figura 9.A.2.1

La expresión que permite determinar el valor ℓ_{dh} es:

$$\frac{\ell_{dh}}{d_b} = 0,24 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \cdot \psi_e \cdot \lambda$$

ℓ_{dh} debe adoptarse siempre mayor que el mayor entre $8 d_b$ ó 150 mm .

Los factores ψ_e y λ son los vistos en 9.A.1.1.

En la mayoría de las estructuras de hormigón armado, resulta $\lambda = 1$ por tratarse de casos en los que el hormigón es de peso normal.

La tabla **T2** resume los valores para diferentes calidades del hormigón, y acero ADN 420 ($f_y = 420$ MPa):

Tabla T2						
f'_c [MPa]	20	25	30	35	40	50
$\ell_{dh} / d_b =$	23	20	18	17	16	14

9.A.2.2.- Factores de corrección (CIRSOC 201-2005, artículo 12.5.3)

El valor de ℓ_{dh} se debe corregir en función de diversos factores, aplicables solamente para barras con $d_b \leq 32$ mm:

- Corrección por recubrimiento: Si el recubrimiento medido perpendicularmente al plano del gancho es ≥ 60 mm, y – para ganchos a 90° – el recubrimiento medido según la prolongación de la barra es ≥ 50 mm, **aplicar un factor 0,70**.
- Corrección por estribos para ganchos a 90° : Cuando los mismos están encerrados por estribos cerrados paralelos o perpendiculares a la barra que se ancla, cuya separación sea $\leq 3 d_b$ y cubran todo el rectángulo mínimo que inscribe al gancho, **aplicar un factor 0,80**.
- Corrección por estribos para ganchos a 180° : Cuando los mismos están encerrados por estribos cerrados perpendiculares a la barra que se ancla, cuya separación sea $\leq 3 d_b$ y cubran la longitud ℓ_{dh} , **aplicar un factor 0,80**.
- Corrección por exceso de armadura: Se aplica de igual manera que en el punto 9.A.1.4.

9.A.2.3.- Ganchos en extremos de elementos (CIRSOC 201-2005, artículo 12.5.4)

Cuando el gancho normal se ubica en el extremo libre de un elemento (extremo de una viga en voladizo, por ejemplo), y el recubrimiento en alguno de los lados o en alguno de los bordes superior o inferior es ≤ 60 mm, se deben disponer estribos perpendiculares a la barra en toda la longitud ℓ_{dh} , con una separación $\leq 3 d_b$. El estribo más cercano a la parte doblada del gancho debe estar a una distancia $\leq 2 d_b$ de ésta.

9.A.2.4.- Ganchos en anclajes comprimidos

Los ganchos no se consideran efectivos como anclajes de barras comprimidas (CIRSOC 201-2005, artículo 12.5.5).

9.B.- EMPALMES

9.B.3.- Empalmes de barras y alambres rectos traccionados

9.B.3.1.- Longitud de empalme por yuxtaposición

La longitud de empalme se calcula partiendo de la longitud l_d calculada según lo visto en el punto 9.A.1, con la salvedad de que no se debe aplicar la corrección por exceso de armadura vista en 9.A.1.4 (CIRSOC 201-2005, artículo 12.15.1).

Es necesario considerar la clase del empalme (CIRSOC 201-2005, artículo 12.15.2), la que se define a partir de las siguientes condiciones:

- Si se empalma una sección $\leq 50\%$ de la armadura total **Y** la armadura adoptada es mayor o igual que dos veces la requerida; el empalme es **Clase A**.
- Para cualquier otra combinación de los dos factores mencionados (% de armadura empalmada y relación $A_{s \text{ adoptada}} / A_{s \text{ requerida}}$), el empalme es **Clase B**.

En función de las clases anteriormente definidas, la longitud de empalme vale:

Clase A: $1,0 \cdot l_d$

Clase B: $1,3 \cdot l_d$

$l_{e \text{ mínimo}} = 300 \text{ mm}$ para cualquier caso

9.B.3.2.- No aplicabilidad de los empalmes traccionados por yuxtaposición

Este tipo de empalme no se podrá aplicar en tensores o elementos con tracción predominante (CIRSOC 201-2005, artículo 12.15.5). Siendo necesario en esos casos recurrir a empalmes soldados o mediante dispositivos mecánicos.

9.B.4.- Empalmes de barras rectas comprimidas

9.B.4.1.- Longitud de empalme por yuxtaposición

El CIRSOC 201-2005, artículo 12.16.1, establece las siguientes longitudes de empalme de las barras comprimidas para hormigones H-20 y superiores:

Si $f_y \leq 420 \text{ MPa}$: $0,07 \cdot f_y \cdot d_b$

Si $f_y > 420 \text{ MPa}$: $(0,13 \cdot f_y - 25,2) \cdot d_b$

Con un mínimo absoluto de 300 mm para cualquier situación.

En el caso de un acero ADN 420 ($f_y = 420 \text{ MPa}$), las longitudes de empalme por yuxtaposición de barras comprimidas resultan aproximadamente iguales a $30 d_b$ para hormigones de 20 MPa o más.

9.B.4.2.- Empalmes a tope

El CIRSOC 201-2005, artículo 12.16.4, permite la utilización de empalmes a tope para barras comprimidas, solo en aquellos elementos que tengan estribos cerrados o zunchos, sin la necesidad de recurrir a patentes. Para ello es necesario garantizar un aserrado de las barras de manera tal que el plano de la sección transversal se encuentre normal al eje de la barra, con una tolerancia de $1,5^\circ$, y asegurando la inexistencia de rebarbas. Una vez colocada la pieza, es necesario garantizar el alineamiento con un dispositivo adecuado que permita visualizar el contacto de ambas caras antes del hormigonado.

9.B.4.3.- Factores de corrección

- En elementos comprimidos, con zunchos transversales que contengan a la armadura empalmada, se puede aplicar un factor de corrección igual a **0,75** (artículo 12.17.2.5).
- En elementos comprimidos, en los que existan estribos a lo largo de la longitud de empalme, cuya sección sea $\geq 0,0015 \cdot h \cdot s$, se permite aplicar un factor **0,83** (artículo 12.17.2.4). En la expresión anterior, **h** es la altura total del elemento, y **s** la separación de los estribos (ambas dimensiones en mm).

De cualquier manera, la longitud de empalme final no debe ser menor que 300 mm. Inmediatamente se deduce que, para acero ADN 420 ($f_y = 420$ MPa) y hormigones con $f'_c \geq 20$ MPa, el factor de corrección **0,75** solamente se puede aplicar para barras $d_b 16$ y mayores, mientras que el factor **0,83** puede ser utilizado para $d_b 12$ y mayores. Diámetros menores conducirían a una longitud de empalme inferior a 300 mm.

9.B.4.4.- Empalme de barras de diferentes diámetros

En este caso de acuerdo con el CIRSOC 201-2005, artículo 12.16.2, la longitud de empalme será la mayor entre la longitud de anclaje de la barra de mayor d_b , y la longitud de empalme de la de menor d_b .

9.B.5.- Anclaje de armadura transversal (estribos)

Los estribos pueden anclarse de alguna de las maneras que se muestran en la Figura 9.B.5.1. Las reglas generales que se deben cumplir son las usuales: Para los casos de corte sin torsión, los estribos deben envolver todas las barras, traccionadas o comprimidas. Cuando además de corte la sección esté solicitada por torsión, los estribos deben ser cerrados y continuos desde el punto de vista resistente.

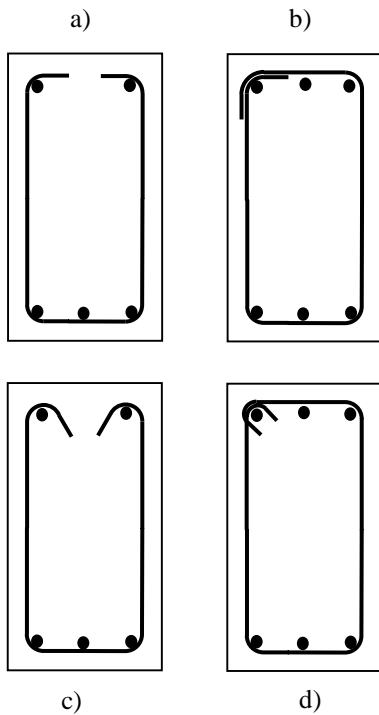
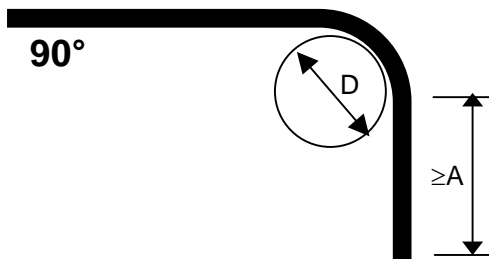


Figura 9.B.5.1

Por lo tanto, las variantes a) y c) (que por otra parte no son los más frecuentes en nuestro medio), se encuentran limitadas a casos de corte exclusivamente, y cuando se tienen solamente dos barras longitudinales en la cara superior. Esta configuración es, por lo tanto, poco práctica para vigas continuas ya que en los apoyos se tienen normalmente más de dos barras para resistir los momentos negativos.

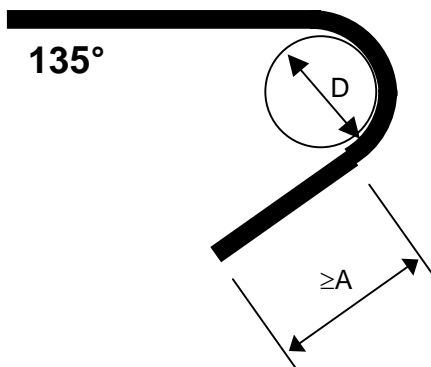
En cualquier caso, el anclaje del estribo debe realizarse mediante un gancho normal que envuelva una barra longitudinal, el cual puede ser a 90° (casos a) y b)), o bien a 135° (casos c) y d)).

Las dimensiones mínimas requeridas para los ganchos de anclaje (CIRSOC 201-2005, artículo 7.1.3) son las siguientes:



Ganchos a 90°:

- $d_{be} \leq 16 \text{ mm}$ → $A = 6 d_{be}$
- $16 \text{ mm} < d_{be} \leq 25 \text{ mm}$ → $A = 12 d_{be}$



Ganchos a 135°:

- $d_{be} \leq 25 \text{ mm}$ → $A = 6 d_{be}$

Figura 9.B.5.2

El diámetro del mandril de doblado de los ganchos para estribos difiere del general para cualquier otro doblado (CIRSOC 201-2005, artículo 7.2.2) siendo de aplicación la tabla **T3**, adoptada de la tabla 7.2.3 del CIRSOC 201-2005.

Tabla T3	
Diámetro de la barra o alambre [mm]	D
$d_{be} \leq 16$	$4 d_{be}$
$16 < d_{be} \leq 25$	$6 d_{be}$
$25 < d_{be} \leq 32$	$8 d_{be}$
$32 < d_{be}$	$10 d_{be}$

El CIRSOC 201-2005, artículo 7.11.3, prevé otra forma algo más indirecta de anclar los estribos que puede ser de utilidad cuando las vigas o elementos a estribar son muy altos o cuando se presentan situaciones complejas de armaduras longitudinales. La disposición puede verse en la Figura 9.B.5.3 y, como puede apreciarse, se trata de una solución obtenida a base de empalmes y no de anclajes que, obviamente, requerirá una mayor cantidad de acero.

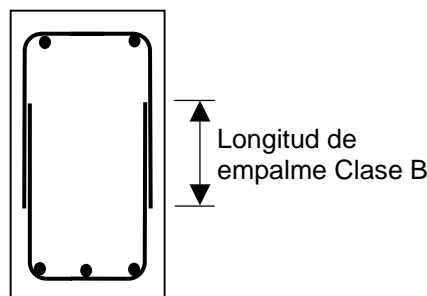


Figura 9.B.5.3

De acuerdo con el CIRSOC 201-2005, artículo 12.13.2.2, si el diámetro de la barra que constituye el estribo está comprendido entre:

$$16 \text{ mm} < d_{be} \leq 25 \text{ mm}$$

se debe comprobar que la longitud embebida entre la altura media de la sección y el gancho normal de anclaje (de acuerdo con lo visto anteriormente) resulte mayor o igual a (Figura 9.B.5.4):

$$l_d \geq \frac{0,17 \cdot d_{be} \cdot f_{yt}}{\sqrt{f'_c}}$$

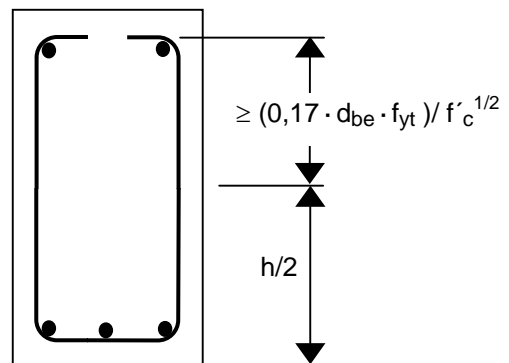
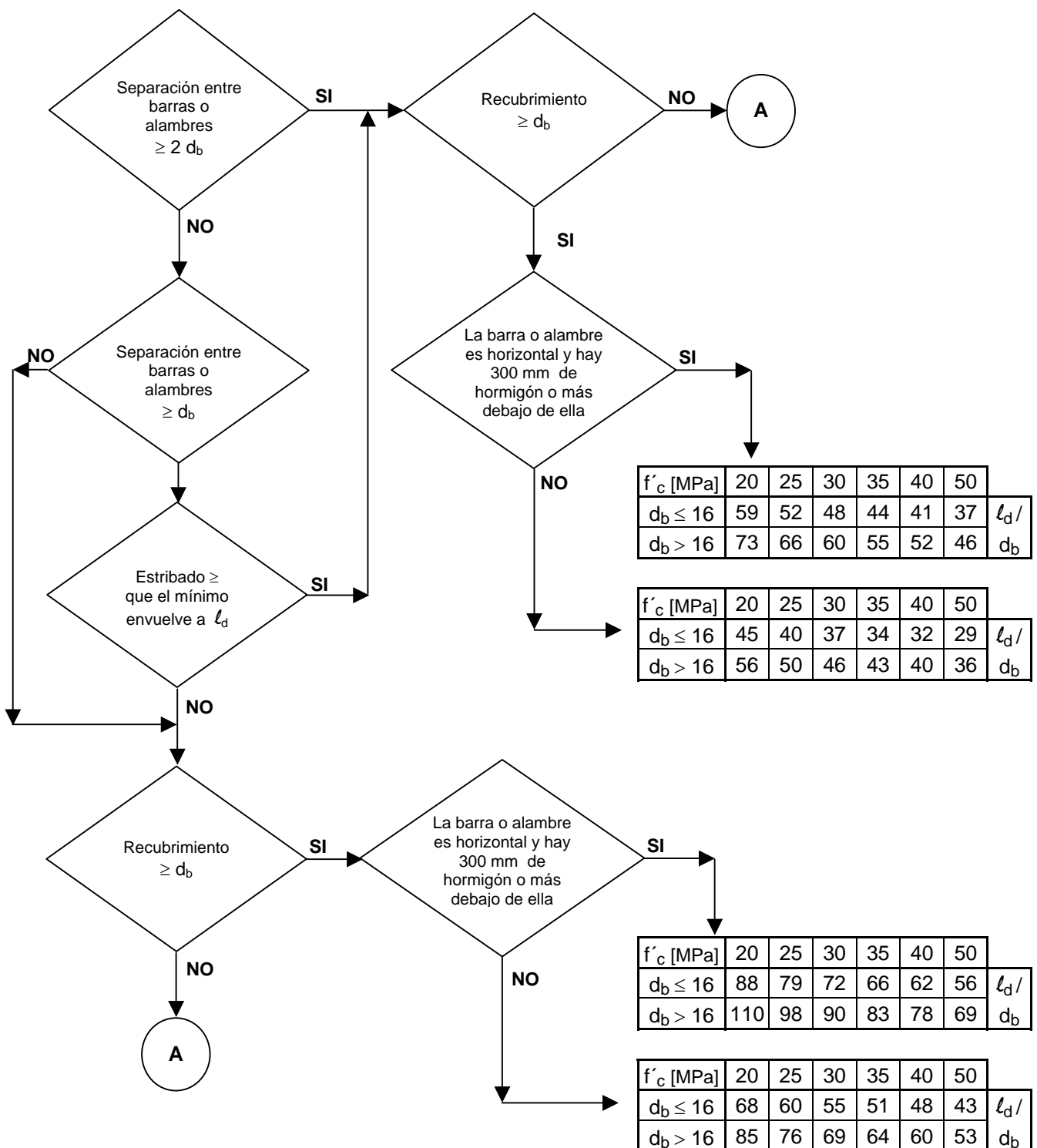


Figura 9.B.5.4

DF 9.I.- Anclaje de barras y alambres traccionados – Expresiones simplificadas

Diagrama de flujo para un acero ADN 420* ($f_y = 420$ MPa) y hormigón de peso normal ($\lambda = 1$)

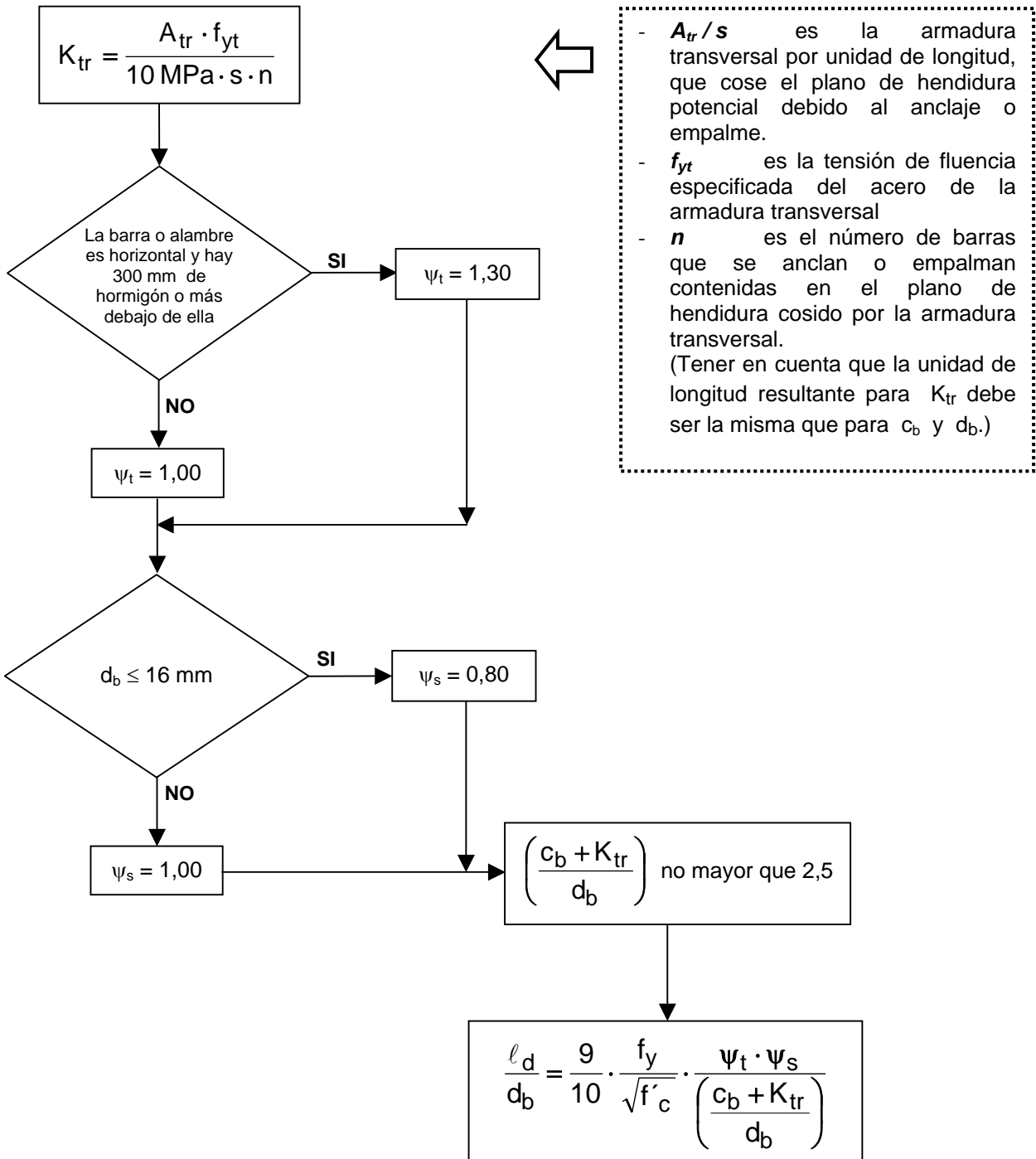


NOTAS:

- 1) **A:** Se debe usar la expresión completa. Chequear los requerimientos de recubrimiento, ya que para la gran mayoría de los casos, el recubrimiento deber ser $\geq d_b$.
- 2) En cualquier caso, l_d debe ser mayor o igual que 300 mm.
- 3) Si corresponde, aplicar la corrección por exceso de armadura a los valores finales.
- *) Para aceros diferentes al ADN 420 multiplicar los valores de tabla por el cociente entre la nueva tensión de fluencia especificada y 420 MPa.

DF 9.II.- Anclaje de barras y alambres traccionados – Expresión general

Diagrama de flujo para hormigón de peso normal ($\lambda=1$)

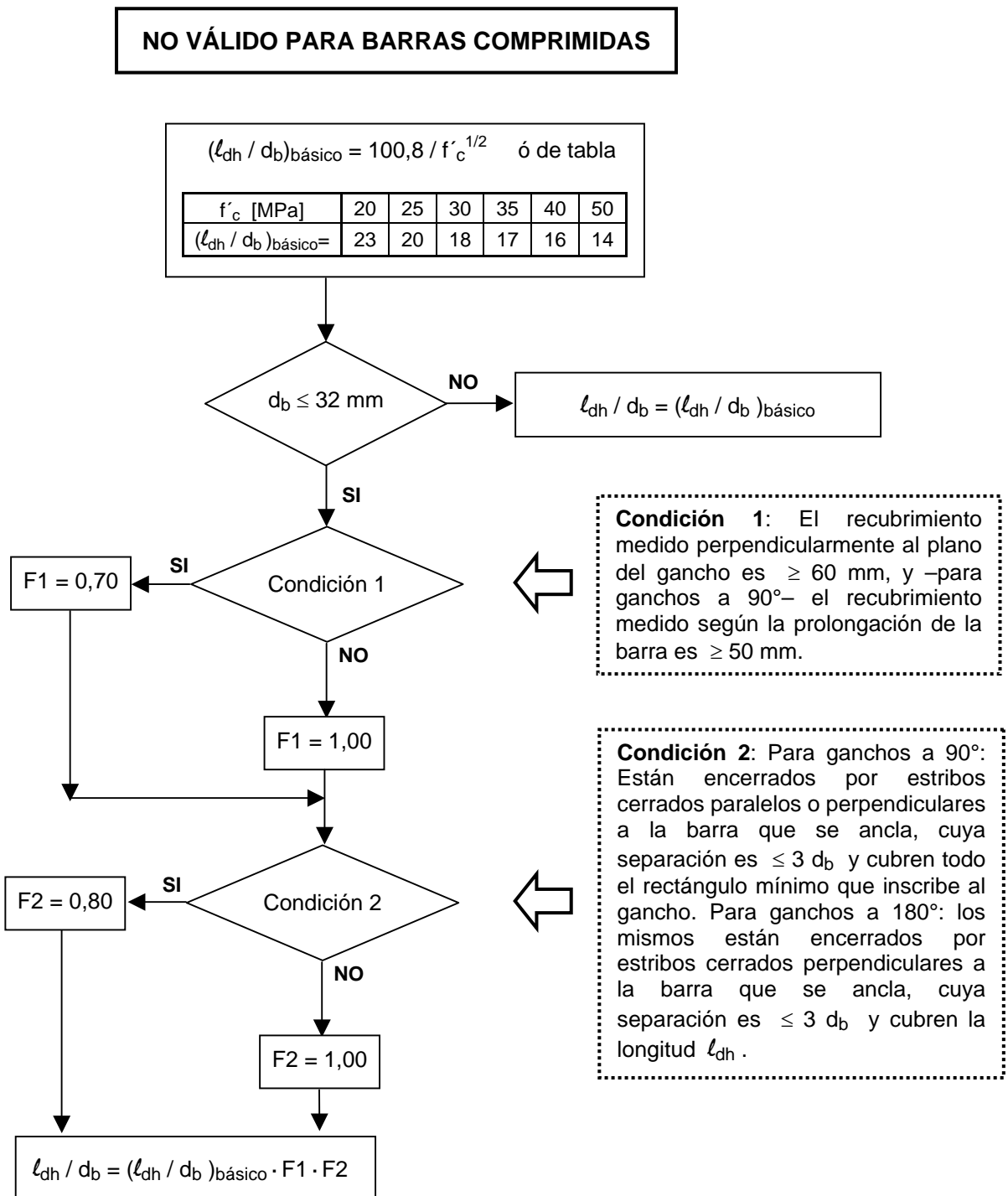


NOTAS:

- 1) En cualquier caso, l_d debe ser mayor o igual que 300 mm.
- 2) Si corresponde, aplicar la corrección por exceso de armadura a los valores finales.

DF 9.III.- Anclaje de barras y alambres traccionados con ganchos normales

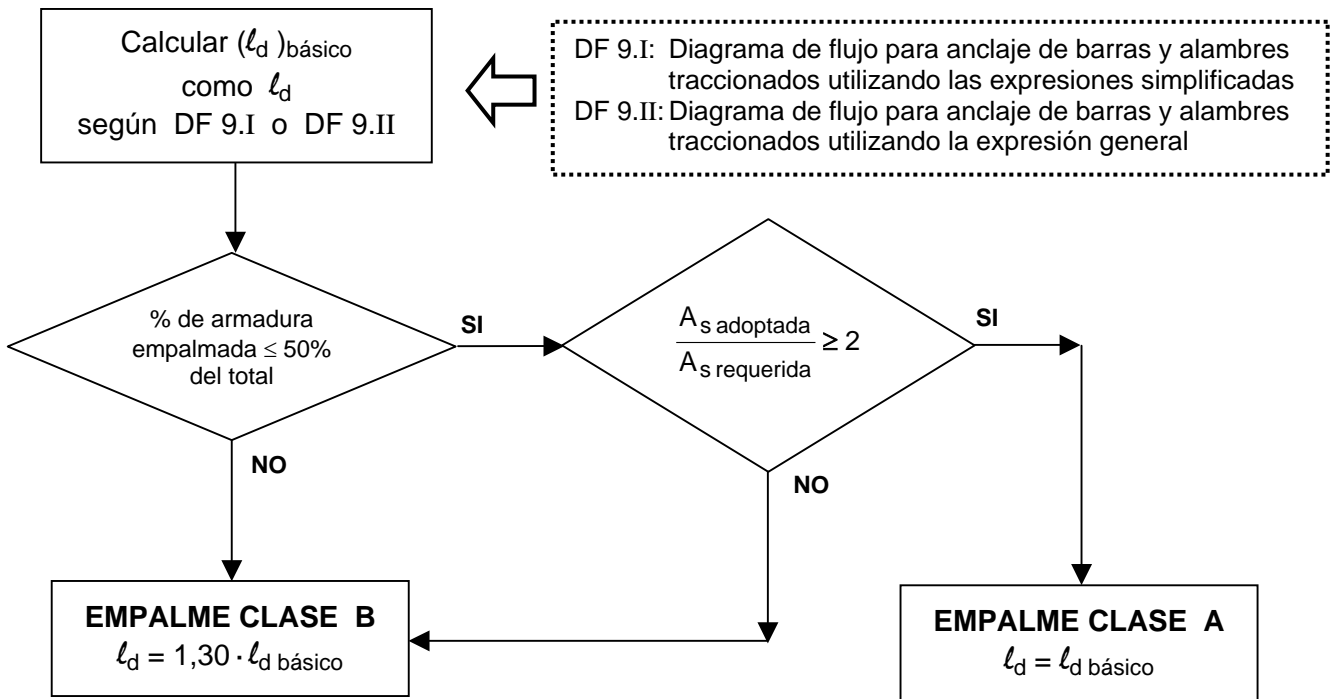
Diagrama de flujo para un acero ADN 420* ($f_y = 420$ MPa) y hormigón de peso normal ($\lambda=1$)



NOTAS:

- 1) En cualquier caso, ℓ_{dh} debe ser mayor que $8 d_b$ o 150 mm.
- 2) Si corresponde, aplicar la corrección por exceso de armadura a los valores finales.
- *) Para aceros diferentes al ADN 420 multiplicar los valores de tabla por el cociente entre la nueva tensión de fluencia especificada y 420 MPa.

DF 9.IV.- Empalme de barras y alambres rectos traccionados

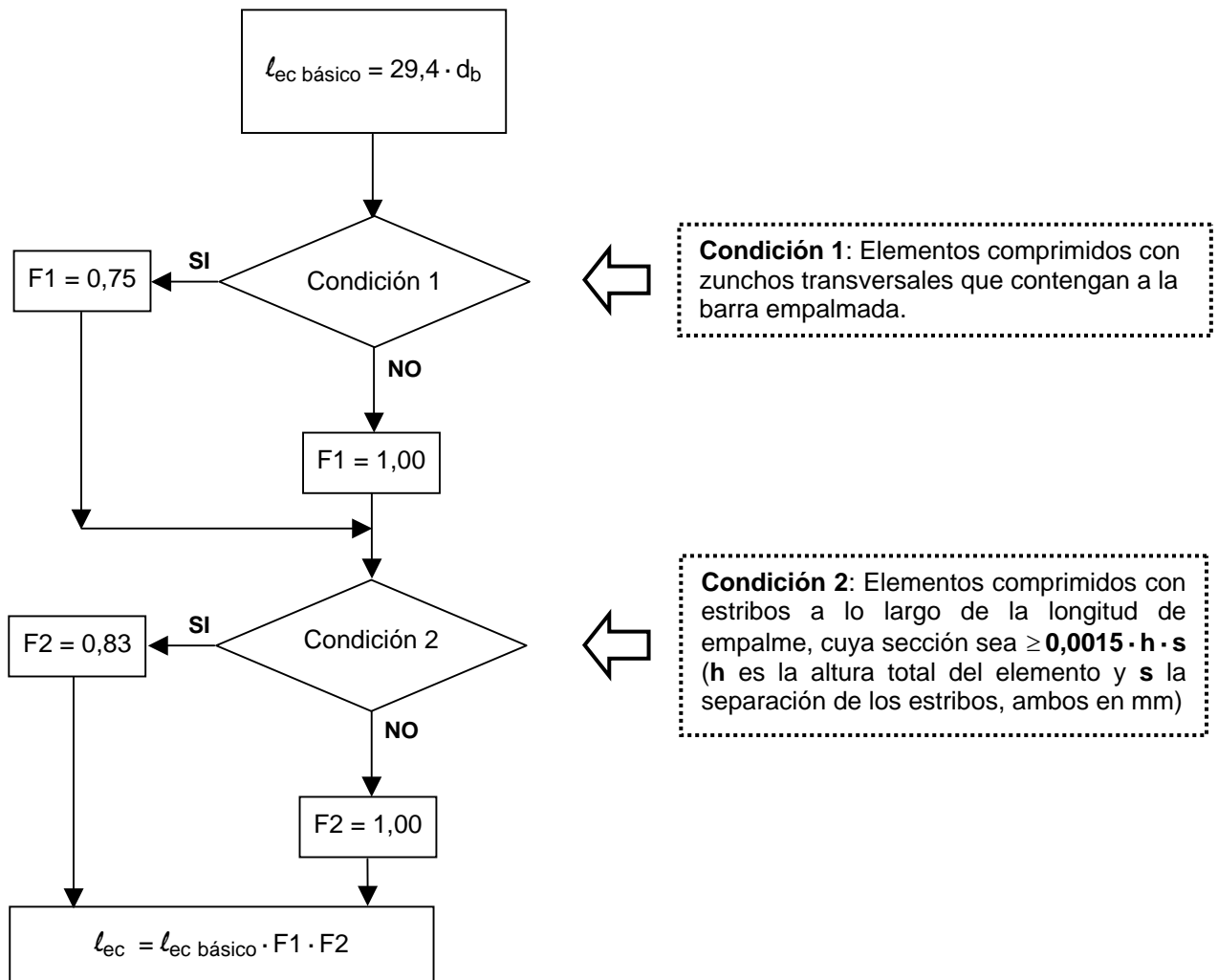


NOTAS:

- 1) En cualquier caso, l_{dh} debe ser mayor o igual que 300 mm.
- 2) NO aplicar la corrección por exceso de armadura a los valores finales.
- 3) **NO aplicar en elementos predominantemente traccionados. En esos casos utilizar soldadura o empalmes mecánicos.**

DF 9.V.- Empalme de barras rectas comprimidas

Diagrama de flujo para hormigones H-20 y superiores, y aceros ADN 420 ($f_y = 420$ MPa).



NOTAS:

- 1) En cualquier caso, l_{ec} debe ser mayor o igual que 300 mm.
- 2) En este tipo de empalme l_{ec} NO varía linealmente con f_y . Para f_y distinto a 420 MPa, ver el Reglamento.

