

Distribución de la armadura de flexión

ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

En la edición 1999 del Código se introdujo un cambio significativo en 10.6.4 que afectó la distribución de la armadura de flexión para limitar la fisuración. El nuevo método apunta directamente a limitar la separación de la armadura más próxima a la cara traccionada. Anteriormente, se asumía que se limitaba la fisuración limitando los factores z , los cuales indirectamente limitaban la separación de la armadura (ver Apéndice 9A). El nuevo método reemplaza la Ecuación (10-5) con que se calculaba el factor z por una ecuación con la cual se obtiene la separación máxima de la armadura, s . Esta separación máxima de la armadura depende solamente de la tensión en el acero f_s bajo cargas de servicio, y del recubrimiento libre c_c de la armadura de flexión a partir de la superficie traccionada más próxima.

CONSIDERACIONES GENERALES

Los requisitos de 10.6 exigen una correcta distribución de la armadura de tracción en vigas y losas armadas en una dirección a fin de controlar la fisuración por flexión. Las estructuras construidas en el pasado, usando métodos de Diseño por Tensiones de Trabajo y armadura con tensión de fluencia menor o igual que 40.000 psi, tenían bajas tensiones de tracción en las armaduras bajo cargas de servicio. Por lo tanto, en presencia de bajas tensiones de tracción en la armadura bajo cargas de servicio, estas estructuras no evidenciaban mayores problemas de fisuración por flexión.

Con la aparición de aceros de alta resistencia con tensiones de fluencia mayores o iguales que 60.000 psi, y con el uso de métodos de Diseño por Resistencia que permiten mayores tensiones en la armadura, el control de la fisuración por flexión ha cobrado mayor importancia. Por ejemplo, si una viga se diseñara usando el Método de Diseño por Tensiones de Trabajo y una tensión de fluencia de 40.000 psi, la tensión en la armadura bajo cargas de servicio sería de alrededor de 20.000 psi. Usando el Método de Diseño por Resistencia y una tensión de fluencia de 60.000 psi, la tensión bajo cargas de servicio podría ser de hasta 36.000 psi. Si de hecho la fisuración por flexión es proporcional a la tensión de tracción en el acero, es evidente que el proceso de diseño debe incluir criterios para controlar la fisuración.

Las primeras investigaciones del ancho de las fisuras en vigas y elementos solicitados a tracción axial indicaron que el ancho de las fisuras era proporcional a la tensión en el acero y al diámetro de las barras, pero inversamente proporcional a la cuantía de armadura. Investigaciones más recientes, realizadas usando barras conformadas, han confirmado que el ancho de las fisuras es

proporcional a la tensión en el acero. Sin embargo, se ha comprobado que hay otras variables importantes tales como la calidad del hormigón y el recubrimiento sobre las barras. Se debe recordar que el ancho de las fisuras es muy variable, aún en trabajos realizados en laboratorio bajo condiciones estrictamente controladas. Por este motivo, en el código sólo se presenta una expresión sencilla para controlar la fisuración, diseñada para obtener detalles de armado razonables que concuerden con estudios experimentales y experiencias anteriores.

EFEECTO DE LOS NUEVOS FACTORES DE CARGA

El factor más importante en la determinación del ancho de las fisuras es la tensión en el acero bajo cargas de servicio. Como resultado de los nuevos factores de carga especificados en 9.2.1, el requisito de resistencia para los elementos controlados por tracción solicitados a flexión se reduce en aproximadamente 10 por ciento, como se ilustra en la Figura 6-16. Esto aumenta la tensión en el acero bajo cargas de servicio.

Para un elemento con una sobrecarga igual a un medio de la carga permanente, el factor de seguridad global utilizando ACI 318-99 es de 1,67; esto implica una tensión en el acero de $1/1,67 = 0,6 f_y$ bajo cargas de servicio. En base a estas consideraciones es que se permite adoptar f_s bajo cargas de servicio igual al 60 por ciento de f_y (10.6.4).

Usando el nuevo código, para la misma relación entre sobrecarga y carga permanente, el factor de seguridad global es 1,48, lo cual implica una tensión en el acero bajo cargas de servicio de $1/1,48 = 0,67 f_y$. Sin embargo, la sección 10.6.4 aún permite utilizar $f_s = 0,6f_y$ para controlar la fisuración. El resultado es que, usando el nuevo código, el ancho de las fisuras puede ser entre 12 y 13 por ciento mayor para los elementos controlados por tracción.

El ancho de las fisuras no se puede predecir con un margen de precisión de 12 a 13 por ciento, y el código 2002 permite ignorar este aumento. Es importante observar que usando el nuevo código (en promedio) las fisuras serán entre 12 y 13 por ciento más anchas.

Es posible que el diseñador desee limitar el ancho de las fisuras a los valores obtenidos usando el código anterior. Esto se puede lograr usando un valor "por defecto" para la tensión del acero de $0,67f_y$ ó 40 ksi, en lugar de $0,6f_y$. Esta es una decisión personal del diseñador; no constituye un requisito del código.

10.6 VIGAS Y LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN

10.6.4 Distribución de la armadura de tracción

Desde el inicio se identificaron tres motivos por los cuales es necesario limitar el ancho de las fisuras en el hormigón. Estos son la apariencia (estética), la corrosión y la impermeabilidad. Rara vez los tres motivos son relevantes para una misma estructura. La apariencia es importante en el caso del hormigón a la vista, tal como los paneles de los tabiques. La corrosión es importante en el caso del hormigón expuesto a ambientes agresivos. La impermeabilidad puede ser necesaria para las estructuras marítimas o sanitarias. La apariencia exige limitar el ancho de las fisuras en la superficie. Esto se puede asegurar ubicando la armadura tan cerca de la superficie como sea posible (usando poco recubrimiento) para impedir que las fisuras se ensanchen. Por el contrario, el control de la corrosión se obtiene usando hormigón de mejor calidad y aumentando el espesor del recubrimiento de hormigón. La impermeabilidad requiere una severa limitación del ancho de las fisuras, aplicable solamente a estructuras especializadas. Por lo tanto, se debería reconocer que es posible que un único requisito, tal como la Ecuación (10-4) de este código, puede no ser suficiente para cubrir los tres motivos mencionados, es decir, apariencia, corrosión e impermeabilidad.

Existe una fuerte correlación entre el ancho de las fisuras superficiales y el recubrimiento de hormigón, d_c , como se ilustra en la Figura 9-1. Para una determinada deformación específica del acero, cuanto mayor sea el recubrimiento mayor será el ancho de las fisuras y mayor será la influencia sobre la apariencia. Entre 1971 y 1995, el código especificaba factores z limitantes en base al concepto de que era necesario limitar el ancho de las fisuras superficiales. Los valores especificados de $z = 175$ y 145 kips/in., para exposiciones interiores y exteriores, respectivamente, correspondían a fisuras de 0,016 y 0,013 in. de ancho (ver Apéndice 9A). Se asumía que limitando el ancho de las fisuras a estos valores se lograría protección contra la corrosión. Pero, para poder satisfacer los valores límites de z especificados, el método básicamente alentaba la reducción del recubrimiento de hormigón, lo cual potencialmente podía perjudicar la protección contra la corrosión. Lo que es más, el método penalizaba fuertemente las estructuras con recubrimientos de más de 2 in. ya sea reduciendo la separación o las tensiones bajo cargas de servicio de la armadura.

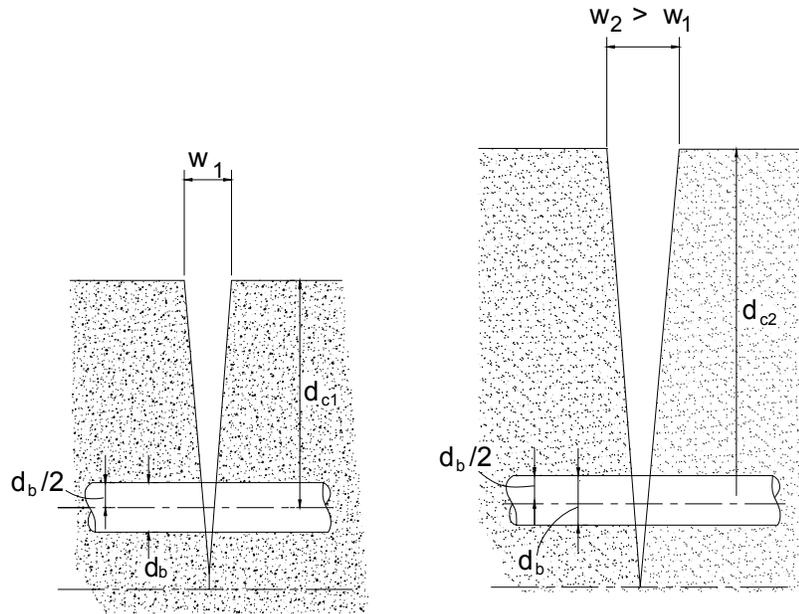


Figura 9-1 – Ancho de las fisuras para recubrimientos de diferentes espesores

La influencia de la fisuración en el proceso de corrosión de las armaduras es un tema controvertido. Las investigaciones [9.1 y 9.2] muestran que la corrosión no tiene una correlación clara con el ancho de las fisuras superficiales en el rango de tensiones que normalmente aparecen en la armadura bajo cargas de servicio. De hecho, está ligeramente relacionada con los límites para el ancho de las fisuras superficiales de 0,013 a 0,016 in. de los códigos anteriores. Además, se ha descubierto que el ancho real de las fisuras en las estructuras es altamente variable. Se ha observado una dispersión del orden de $\pm 50\%$. Esto llevó a investigar alternativas para reemplazar los factores z límites para exposición exterior e interior, como figuraban en la edición anterior del código (ver Apéndice 9A).

Intentando salvar algunas de las limitaciones del enfoque anterior, a partir del Código 1999 se ha adoptado una ecuación sencilla y más práctica, la cual limita la máxima separación de las armaduras de forma directa. El nuevo método intenta controlar la fisuración superficial a un ancho que, en forma general, sea aceptable en la práctica, pero que puede variar ampliamente dentro de una estructura dada. Por este motivo, el nuevo método no pretende predecir el ancho que tendrán las fisuras en la obra. De acuerdo con el nuevo método, la separación de la armadura más cercana a una superficie en tracción no deberá ser mayor que el valor dado por

$$s = (540 / f_s) - 2,5c_c \quad \text{Ec. (10-4)}$$

pero no mayor que $12(36 / f_s)$

donde s = separación entre los centros de las barras de la armadura traccionada por flexión más cercana a la cara más traccionada, in. (si hay una única barra o alambre más cercano a la cara más traccionada, s es el ancho de la cara más traccionada).

f_s = tensión en la armadura calculada para las cargas de servicio (ksi), determinada como el momento no mayorado dividido por el producto del área de acero por el brazo de palanca interno. Se permite adoptar f_s igual a 60 por ciento de la tensión de fluencia especificada de la armadura no pretensada.

c_c = espesor del recubrimiento libre, medido desde la superficie traccionada más cercana hasta la superficie de la armadura traccionada por flexión, in.

La Figura 9-2 compara la máxima separación de la armadura según la edición 1999 del Código con la de la edición de 1995 para losas con una sola capa de armadura. Observar que los requisitos de la edición 1999 relajan considerablemente el requisito de separación para el caso de grandes recubrimientos, de entre 2 in. y 4 in. Observar también que, al contrario del requisito de 1995, esta separación es independiente de las condiciones de exposición.

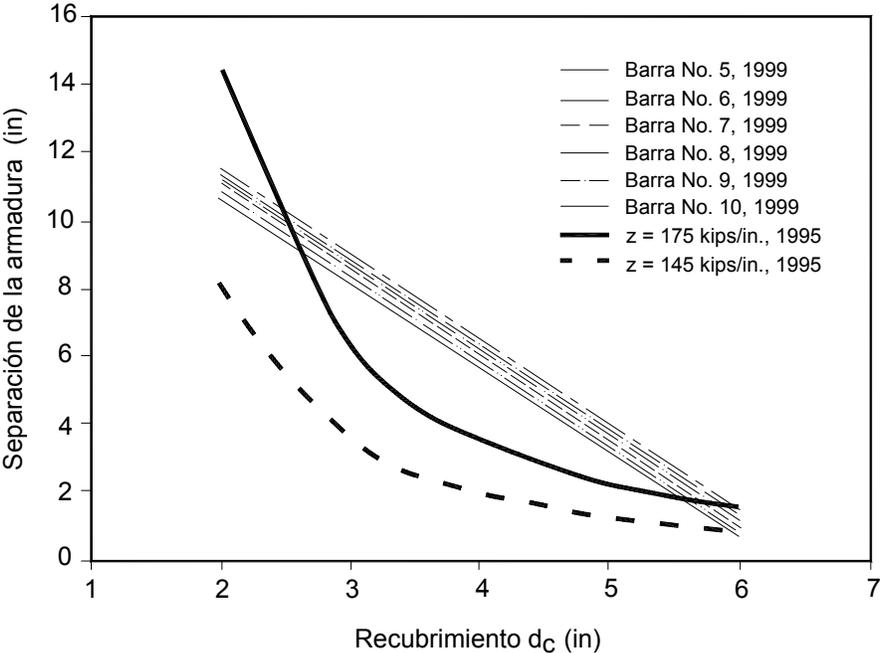


Figura 9-2 – Comparación de la máxima separación de la armadura para losas de acuerdo con ACI 10.6.4 1995 y 1999

Para el caso habitual de vigas con armadura Grado 60 y un recubrimiento libre de 2 in. hasta la cara traccionada, y suponiendo $f_s = 0,6 \times 60 = 36$ ksi, la máxima separación de las barras es de 10 in. Usando el límite superior de la Ecuación (10-4), la máxima separación admisible, independientemente del recubrimiento, es de 12 in. para $f_s = 36$ ksi. El límite de la separación no depende del tamaño de barra utilizado. Por lo tanto, para una determinada cantidad de armadura de flexión requerida, este enfoque alentará el uso de barras más pequeñas a fin de satisfacer el criterio de la Ecuación (10-4).

Aunque la Ecuación (10-4) se puede resolver de manera sencilla, igualmente resulta conveniente tener una tabla que ilustre la máxima separación de la armadura para diferentes espesores de recubrimiento libre (ver Tabla 9-1 a continuación).

Tabla 9-1 – Máxima separación de la armadura

Tensión en el acero	Recubrimiento libre (in.)							
	3/4	1	1-1/4	1-1/2	1-3/4	2	2-1/2	3
$f_s = 36$ ksi	12	12	11,88	11,25	10,38	10	8,75	7,5
$f_s = 40$ ksi	10,8	10,8	10,38	9,75	9,18	8,5	7,25	6

10.6.5 Ambientes corrosivos

Como se mencionó en 10.6.4, no hay datos disponibles sobre el ancho de fisura a partir del cual existe peligro de corrosión. Los ensayos de exposición indican que la calidad del hormigón, una adecuada compactación y un buen recubrimiento de hormigón pueden ser más importantes para la protección contra la corrosión que el ancho de las fisuras en la superficie del hormigón. Los requisitos de 10.6.4 no se aplican a las estructuras sujetas a condiciones de exposición muy agresivas ni a aquellas diseñadas para ser impermeables. En estos casos se deben adoptar medidas o precauciones especiales.

10.6.6 Distribución de la armadura de tracción en las alas de las vigas T

Para controlar la fisuración por flexión en las alas de las vigas T, la armadura de tracción por flexión se debe distribuir sobre un ancho de ala no mayor que el ancho efectivo del ala (8.10) ó 1/10 de la luz, cualquiera sea el valor que resulte menor. Si el ancho efectivo del ala es mayor que 1/10 de la luz, se debe disponer alguna armadura longitudinal adicional en las zonas externas del ala, como se ilustra en la Figura 9-3 (ver Ejemplo 9.2).

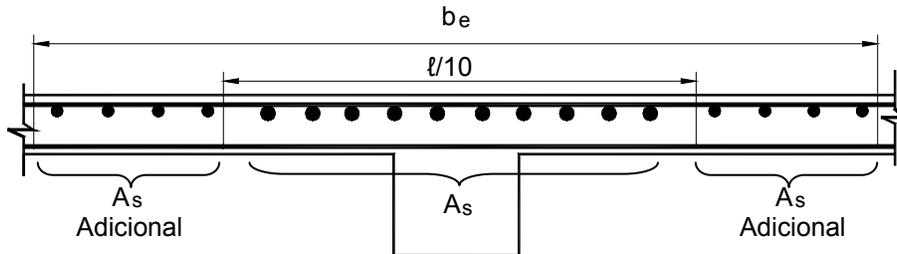


Figura 9-3 – Armadura de momento negativo para vigas con alas

10.6.7 Armadura para controlar la fisuración en elementos de gran altura solicitados a flexión

En el pasado se han observado varios casos en los cuales se han desarrollado fisuras anchas en las caras laterales de las vigas de gran altura, entre la armadura principal y el eje neutro [Figura 9-4(a)]. Estas fisuras se atribuyen a la ausencia de armadura superficial, en consecuencia de lo cual las fisuras se abren más en el alma que al nivel de la armadura de tracción por flexión [Figura 9-4(a)]. Para los elementos de gran altura solicitados a flexión en los cuales la profundidad efectiva, d , es mayor que 36 in., a lo largo de ambas caras laterales, en la totalidad de la zona traccionada por flexión, se debe distribuir una armadura longitudinal adicional para limitar la fisuración [ver Figura 9-4(b)].

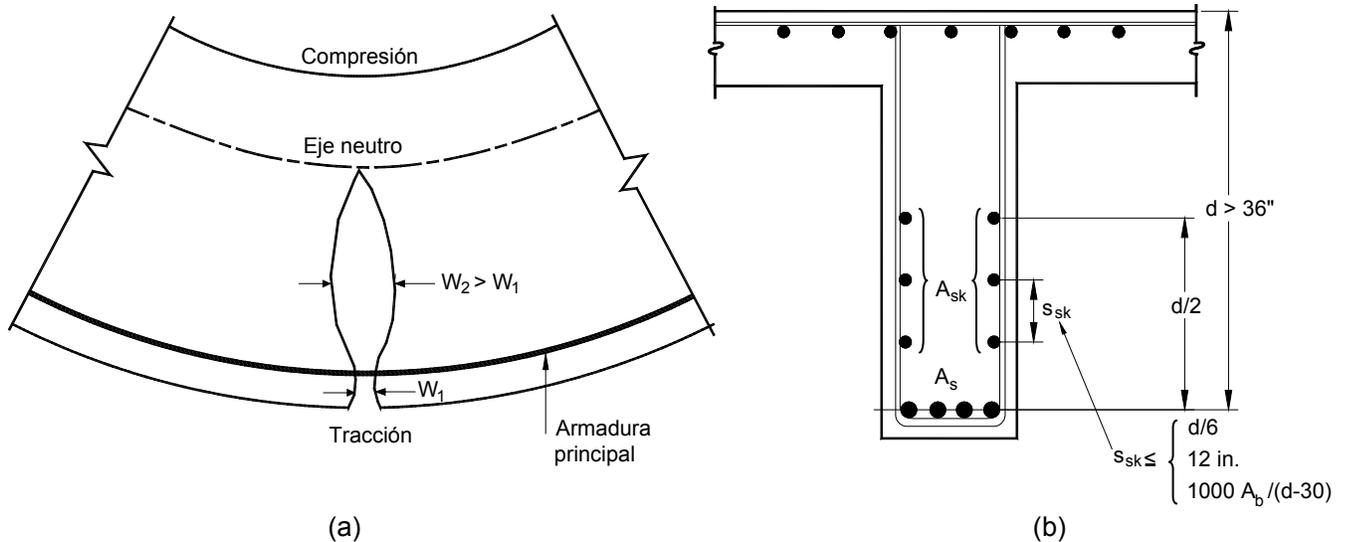


Figura 9-4 – (a) Fisuración de las caras laterales y (b) Armadura "superficial" para controlar la fisuración en vigas de gran altura

La armadura superficial requerida [ver Figura 9-4(b)] se debe distribuir uniformemente en ambas caras laterales del elemento dentro de la zona traccionada por flexión, que se considera que se extiende en una distancia $d/2$ a partir de la armadura principal de tracción por flexión. La separación no debe ser mayor que el menor valor entre $d/6$, 12 in. y $1000 A_b/(d-30)$. El requisito de $1000 A_b/(d-30)$, siendo A_b el área de una barra o alambre individual, se agregó en el Código 2002, en reemplazo de una fórmula anterior que se usaba para determinar la armadura superficial. La Tabla 9-2 indica la separación máxima y el área mínima de una barra individual para dicha separación.

Tabla 9-2 – Separación y tamaño de las barras para la armadura superficial

Altura, d in.	Separación máxima, s_{sk} in.	Área mínima de una barra A_b para la separación máxima, in. ²
36	6	0,036
42	7	0,084
48	8	0,144
60	10	0,300
72	12	0,504
84	12	0,648

El área total de armadura superficial provista en ambas caras no necesita ser mayor que la mitad del área total de la armadura principal de tracción.

Observar que los requisitos de 10.6 no se pueden aplicar directamente a los elementos de hormigón pretensado, ya que el comportamiento de los elementos pretensados difiere considerablemente del de los elementos no pretensados. El Capítulo 18 del Código y la Parte 24 de esta publicación contienen requisitos para la correcta distribución de la armadura en los elementos pretensados.

13.4 LOSAS ARMADAS EN DOS DIRECCIONES

El control de la fisuración en las losas armadas en dos direcciones, incluyendo las placas planas y las losas planas reforzadas, habitualmente no constituye un problema, y por lo tanto el Código no lo trata específicamente. Sin embargo, la sección 13.3.2 restringe la separación de la armadura de las losas en las secciones de momento crítico a dos veces el espesor de la losa, y en los sistemas de losa armados en dos direcciones el área de armadura en cada dirección no debe ser menor que la requerida por contracción y temperatura (7.12). Además, los requisitos sobre espesor mínimo de los elementos armados en dos direcciones para limitar las flechas sirven de forma indirecta como una manera de limitar la fisuración excesiva.

REFERENCIAS

- 9.1 Darwin, David et al, "Debate: Crack Width, Cover and Corrosion," *Concrete International*, Vol. 7, No. 5, Mayo 1985, American Concrete Institute, Detroit, MI, pp. 20-35.
- 9.2 Oesterle, R. G., "The Role of Concrete Cover in Crack Control Criteria and Corrosion Protection," RD Serial No. 2054, Portland Cement Association, Skokie, IL, 1997.

Apéndice 9A

Distribución de la armadura de tracción de acuerdo con el Código 1995

La edición 1995 del Código exigía que, cuando la tensión de fluencia de la armadura era mayor que 40.000 psi, la armadura de tracción por flexión se debía detallar de manera de satisfacer la siguiente ecuación:

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \leq 175 \text{ kip/in. para exposiciones interiores} \quad \text{Ec. (10-5)}$$

$$\leq 145 \text{ kip/in. para exposiciones exteriores}$$

siendo f_s = tensión en la armadura calculada para cargas de servicio (ksi). De acuerdo con 10.6.4, se puede tomar como $0,6f_y$

d_c = espesor del recubrimiento de hormigón, medido desde la fibra traccionada extrema hasta el centro de la barra o alambre más próximo a la misma (in.)

A = área traccionada efectiva de hormigón alrededor de la armadura de tracción por flexión que tiene el mismo baricentro que dicha armadura, dividida por el número de barras o alambres (in.²)

En la Figura 9A-1 se grafica z en función de $d_c A$. Si la armadura de flexión consiste en barras o alambres de diferentes tamaños, el número de barras o alambres se calcula como el área total de armadura dividida por el área de la barra o alambre de mayor tamaño utilizado (Figura 9A-2). Esta definición es satisfactoria para todos los detalles de las armaduras, a excepción de los paquetes de barras. La Referencia 9A.1 contiene lineamientos para determinar el número de barras equivalente a utilizar para calcular A en el caso de paquetes de barras.

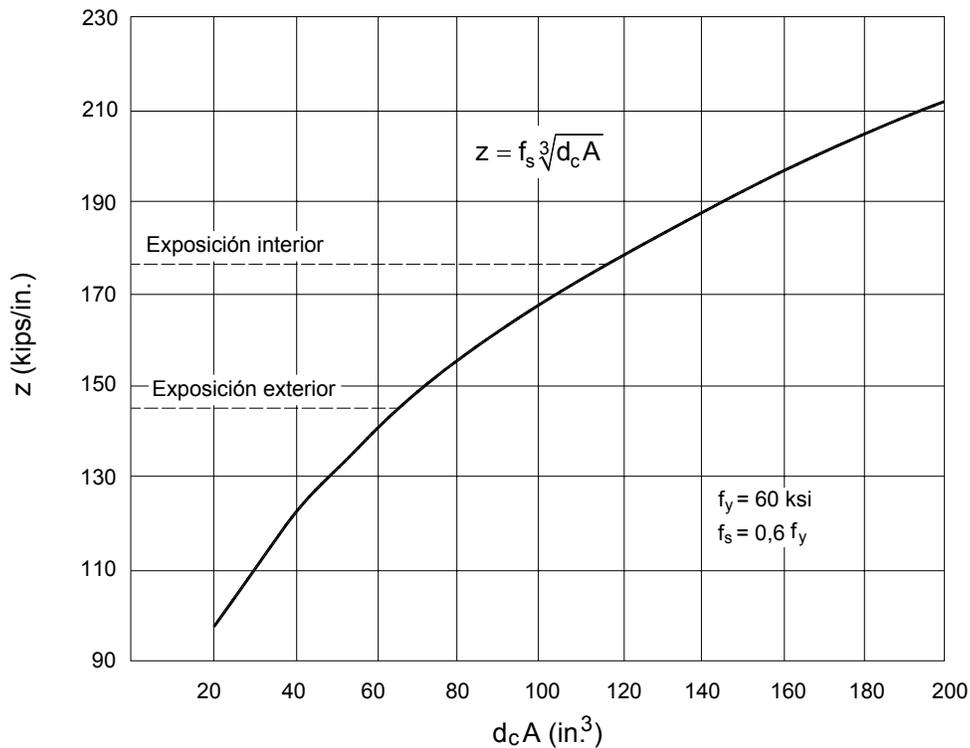
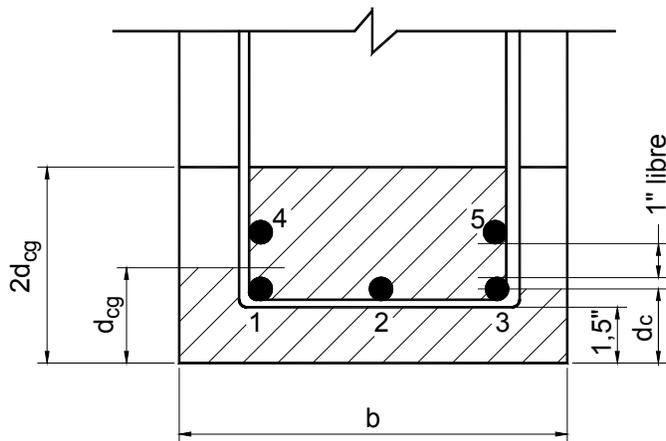


Figura 9A-1 · Curva de diseño para z , para la distribución de la armadura de flexión



Ejemplos para determinar A

- Las barras 1, 2 y 3 son No. 10 (área = 1,27 in.²)
Las barras 4 y 5 son No. 9 (área = 1,00 in.²)
No. equivalente de barras No. 10
= (3 × 1,27 + 2 × 1,00) / 1,27 = 4,57
 $A = 2d_{cg} \times b/4,57$
 d_{cg} = centro de gravedad del acero
- Las barras 1, 3, 4 y 5 son No. 8 (área = 0,79 in.²)
La barra 2 es No. 9 (área = 1,00 in.²)
No. equivalente de barras No. 9
= (4 × 0,79 + 1,00) / 1,00 = 4,16
 $A = 2d_{cg} \times b/4,16$
 d_{cg} = centro de gravedad del acero

Figura 9A-2 – Área efectiva traccionada, A, cuando se utilizan barras de diferentes tamaños

La Ecuación (10-5) está escrita de una forma que enfatiza los detalles de armado, antes que el propio ancho de fisura. Con esta ecuación se obtendrá una distribución de la armadura de flexión que debería asegurar un control razonable de la fisuración por flexión – una gran cantidad de barras de pequeño diámetro poco separadas. La Ecuación (10-5) se derivó a partir de la expresión de Gergely-Lutz, $w/0,076\beta = f_s \sqrt[3]{d_c A}$, donde w es el ancho de fisura en unidades de 0,001 in., y β es la relación entre las distancias al eje neutro a partir de la fibra traccionada extrema y del baricentro de la armadura. Para simplificar en la práctica el diseño de las vigas, en la Ecuación (10-5) se utilizó un valor aproximado de $\beta = 1,2$. Las limitaciones numéricas de $z = 175$ y 145 kips/in. para exposición interior y exterior, respectivamente, corresponden a anchos de fisura de 0,016 y 0,013. Desde el desarrollo de la ecuación original se han realizado ensayos adicionales que indican que la expresión para el ancho de fisura también es aplicable a losas armadas en una dirección, con un valor de β de aproximadamente 1,35. En consecuencia, R10.6.4 sugiere que el máximo valor de z para losas armadas en una dirección se reduzca aplicando la relación 1,2/1,35; con esto se obtiene $z = 156$ kips/in. para exposiciones interiores y 129 kips/in. para exposiciones exteriores. Es posible que en otros casos donde el valor de β es mayor que 1,2 también se requieran ajustes similares.

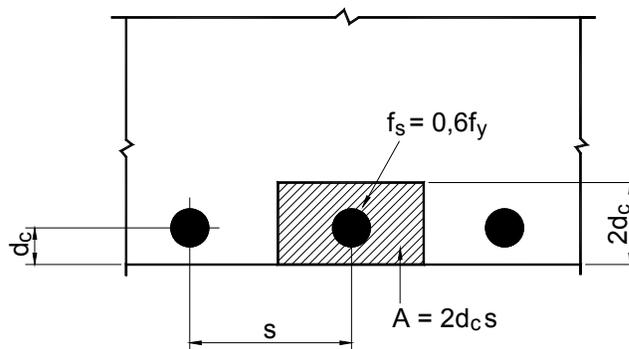


Figura 9A-3 – Criterios usados para desarrollar las Tablas 9A-1 y 9A-2 para una sola capa de armadura

Para una sola capa de armadura, la separación máxima requerida para controlar la fisuración se determina de la siguiente manera (ver Figura 9A-3):

$$z = f_s \sqrt[3]{d_c A} = f_s \sqrt[3]{d_c (2d_c s)}$$

o bien
$$s = \frac{z^3}{2 f_s^3 d_c^2}$$

donde d_c = recubrimiento libre + 1/2 (diámetro de barra). La ecuación anterior se utilizó para generar los valores para la máxima separación de las barras indicados en las Tablas 9A-1 y 9A-2 para armadura Grado 60. Las tablas se basan en una tensión bajo cargas de servicio $f_s = 0,6f_y$, según lo permitido por 10.6.4. Los cálculos para f_s darían por resultado alrededor de $0,56f_y$ para una relación entre sobrecarga y carga permanente igual a 0,5, y $0,60f_y$ para una relación entre sobrecarga y carga permanente igual a 2.

Tabla 9A-1 – Máxima separación de las barras para controlar la fisuración en vigas * (Armadura Grado 60)

Tamaño de las barras	Exposición exterior z = 145 kips/in.			Exposición interior z = 175 kips/in.		
	Recubrimiento libre (in.)			Recubrimiento libre (in.)		
	1,5	2*	3	1,5	2	3
No. 4	10,7	6,5	3,1	18,8	11,3	5,4
No. 5	9,9	6,1	3,0	17,5	10,7	5,2
No. 6	9,3	5,8	2,9	16,3	10,2	5,0
No. 7	8,7	5,5	2,8	15,3	9,7	4,9
No. 8	8,2	5,2	2,7	14,4	9,2	4,7
No. 9	7,7	5,0	2,6	13,5	8,7	4,5
No. 10	7,2	4,7	2,5**	12,6	8,3	4,3
No. 11	6,7	4,5	2,4**	11,8	7,8	4,2

* Valores expresados en pulgadas, $f_s = 0,6f_y = 36$ ksi, una sola capa de armadura.

** Separación menor que la permitida por 7.6.1

Tabla 9A-2 – Máxima separación de las barras para controlar la fisuración en losas armadas en una sola dirección * (Armadura Grado 60)

Tamaño de las barras	Exposición exterior z = 129 kips/in.				Exposición interior z = 156 kips/in.			
	Recubrimiento libre (in.)				Recubrimiento libre (in.)			
	0,75	1	1,5	2	0,75	1	1,5	2
No. 4	–	14,7	7,5	4,5	–	–	13,3	8,0
No. 5	–	13,4	7,0	4,3	–	–	12,4	7,6
No. 6	–	12,2	6,5	4,1	–	–	11,6	7,2
No. 7	16,3	11,1	6,1	3,9	–	–	10,8	6,8
No. 8	14,7	10,2	5,8	3,7	–	–	10,2	6,5
No. 9	13,3	9,4	5,4	3,5	–	16,6	9,6	6,2
No. 10	12,0	8,6	5,0	3,3	–	15,2	8,9	5,9
No. 11	10,9	7,9	4,7	3,1	–	14,0	8,4	5,6

* Valores expresados en pulgadas, $f_s = 0,6f_y = 36$ ksi, una sola capa de armadura. La separación no debe ser mayor que tres veces el espesor de la losa ni 18 in. (7.6.5). Ningún valor indica una separación mayor que 18 in.

REFERENCIA

9A.1 Lutz, L. A., "Crack Control Factor for Bundled Bars and for Bars of Different Sizes," *ACI Journal, Proceedings* Vol. 71, Enero 1974, pp. 9-10.

Ejemplo 9.1 – Distribución de la armadura para un control efectivo de la fisuración

Suponer una viga de 16 in. de ancho con A_s (requerida) = 3,00 in.² y $f_y = 60.000$ psi. Seleccionar diferentes disposiciones de barras para satisfacer la Ecuación (10-5) para controlar la fisuración por flexión.

Cálculos y discusión

Referencia
del Código

1. Para 2 barras No 11 ($A_s = 3,12$ in.²)

$$c_c = 1,5 + 0,5 = 2,0 \text{ in. (estribo No. 4)}$$

$$\text{usar } f_s = 0,6 f_y = 36 \text{ ksi}$$

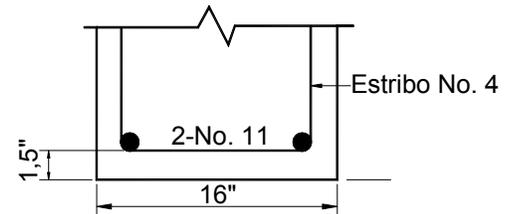
Máxima separación permitida,

$$s = \frac{540}{36} - (2,5 \times 2,0) = 10 \text{ in.} \quad \text{Ec. (10-4)}$$

$$12 \left(\frac{36}{f_s} \right) = 12 \text{ in.} > 10 \text{ in.}$$

$$\text{separación provista} = 16 - 2 \left(1,5 + 0,5 + \frac{1,41}{2} \right)$$

$$= 10,6 \text{ in.} > 10 \text{ in.} \quad \text{NO VERIFICA}$$



2. Para 4 barras No. 8 ($A_s = 3,16$ in.²)

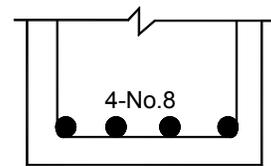
$$c_c = 2,0 \text{ in. (estribo No. 4)}$$

Máxima separación permitida,

$$s = 10 \text{ in} \quad \text{Ec. (10-4)}$$

$$\text{separación provista} = \frac{1}{3} \left[16 - 2 \left(1,5 + 0,5 + \frac{1,0}{2} \right) \right]$$

$$= 3,7 \text{ in.} < 10 \text{ in.} \quad \text{VERIFICA}$$



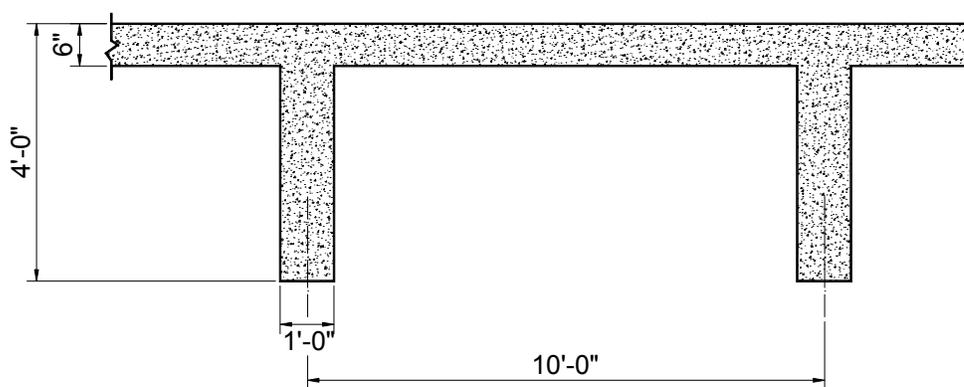
Ejemplo 9.2 – Distribución de la armadura en una sección Te de gran altura solicitada a flexión

Seleccionar la armadura para la sección Te ilustrada a continuación.

Tramo: Continuo de 50 ft $f'_c = 4000$ psi
 $f_y = 60.000$ psi

Momentos bajo carga de servicio:

<u>Momento positivo</u>	<u>Momento negativo</u>
$M_d = + 265$ ft-kips	$M_d = - 280$ ft-kips
$M_\ell = + 680$ ft-kips	$M_\ell = - 750$ ft-kips



Cálculos y discusión

Referencia del Código

1. Distribución de la armadura de momento positivo:

a. $M_u = 1,2 (265) + 1,6 (680) = 1406$ ft-kips

Ec. (9-2)

Suponiendo 2 capas de barras No. 11 con un recubrimiento libre de 1,5 in. y estribos No. 4,

$$d_{cg} = \frac{(3 \times 1,56)(2,71) + (2 \times 1,56)(5,12)}{(5 \times 1,56)} = 3,67 \text{ in.}$$

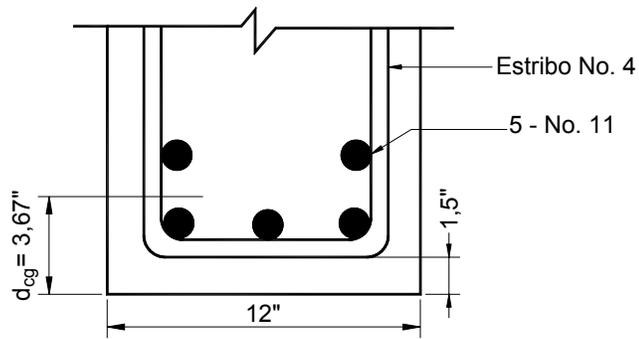
$$d = 48 - 3,67 = 44,3 \text{ in.}$$

Ancho efectivo = 108 in.

8.10.2

$$A_s \text{ requerida} = 7,18 \text{ in.}^2$$

Intentar con 5 barras No. 11 ($A_s = 7,80 \text{ in.}^2$)



b. Recubrimiento libre hasta la armadura de tracción:

$$c_c = 1,5 + 0,5 = 2,0 \text{ in.} \quad 10.0$$

Tensión en la armadura bajo cargas de servicio: 10.6.4

$$f_s = \frac{+M}{jdA_s} = \frac{(265 + 680)12}{0,87 \times 44,3 \times 7,80} = 37,7 \text{ in.}$$

$$s = \left(\frac{540}{f_s} \right) - 2,5 c_c \quad \text{Ec. (10-4)}$$

$$= \frac{540}{37,7} - (2,5 \times 2) = 9,3 \text{ in.}$$

$$12 \left(\frac{36}{f_s} \right) = 12 \left(\frac{36}{37,7} \right)$$

$$= 11,5 \text{ in.} > 9,3 \text{ in.} \quad \text{VERIFICA}$$

$$\text{separación provista} = \frac{1}{2} \left[12 - 2 \left(1,5 + 0,5 + \frac{1,41}{2} \right) \right]$$

$$= 3,3 \text{ in.} < 9,3 \text{ in.} \quad \text{VERIFICA}$$

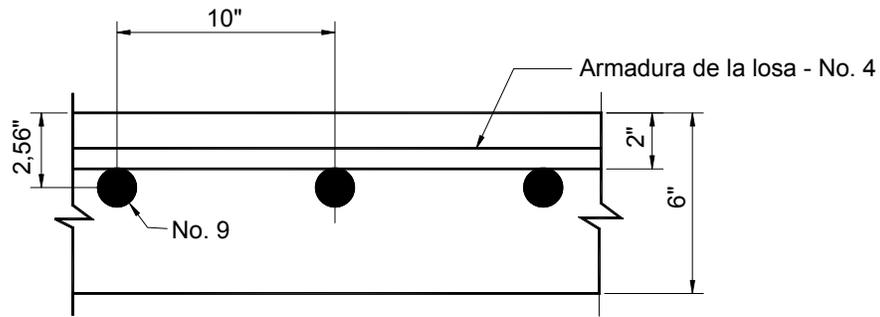
2. Distribución de la armadura de momento negativo

a. $M_u = 1,2 (280) + 1,6 (750) = 1536 \text{ ft-kips}$

$$A_s \text{ requerida} = 8,76 \text{ in.}^2$$

$$\text{Ancho efectivo para la armadura de tracción} = 1/10 \times 50 \times 12 = 60 \text{ in.} < 108 \text{ in.} \quad 10.6.6$$

Intentar con 9 barras No. 9 con una separación $\approx 10 \text{ in.}$ ($A_s = 9,0 \text{ in.}^2$)



b. $c_c = 2,0$ in.

En lugar de calcular usando f_s correspondiente a cargas de servicio, usar $f_s = 0,6 f_y$ según lo permitido por 10.6.4

Máxima separación permitida,

$$s = \frac{540}{36} - (2,5 \times 2,0) = 10 \text{ in.} \quad \text{VERIFICA} \quad \text{Ec. (10-4)}$$

c. Armadura longitudinal en la losa fuera del ancho de 60 in.: 10.6.6

Para controlar la fisuración fuera del ancho de 60 in., usar armadura de contracción y temperatura según 7.12. 7.12

Para armadura Grado 60: $A_s = 0,0018 \times 12 \times 6 = 0,130 \text{ in.}^2/\text{ft}$

Usar barras No. 4 con una separación de 18 in. ($A_s = 0,133 \text{ in.}^2/\text{ft}$)

3. Armadura para control de la fisuración en las caras laterales ($d > 36$ in.): 10.6.7

$$s_{\max} = \frac{d}{6} = \frac{44,3}{6} = 7,4 \text{ in.} \quad (\text{valor determinante})$$

$$= 12 \text{ in.}$$

$$= 1000 A_b / (d - 30) = 1000 \times 0,11 / (44,3 - 30) = 7,7 \text{ in.}$$

Usar barras No. 3 con una separación de 6 in.

Usar barras No. 4 separadas uniformemente a lo largo de cada cara de la viga, que se extiendan una distancia mayor que $d/2$ a partir del baricentro de la armadura de tracción.

El área total de armadura superficial es 8 barras No. 3

$$8 \times 0,11 = 0,88 \text{ in.}^2 < A_s/2 = 3,9 \text{ in.}^2 \quad \text{VERIFICA}$$

Proveer armadura similar (barras No. 3 con una separación de 6 in.) en la mitad superior de la altura en la región de momento negativo.

4. En la siguiente figura se ilustran los detalles de armado.

