

Detalles de armado

ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

1. Se modificó el artículo 7.5.2.2 para aclarar las tolerancias para la colocación de la armadura requerida en los extremos discontinuos de los elementos y resolver los conflictos que existían entre el Código y la norma ACI 317, *Standard Tolerances for Concrete Construction and Materials*.
2. El artículo 7.7.3.1 se trasladó a la Sección 7.7.2, y se le asignó el título "Hormigón colocado en obra (Pretensado)." Además, la Sección 7.7.2 se renumeró como 7.7.3 y se le asignó el título "Hormigón prefabricado (Elaborado bajo condiciones de control en planta)," y se modificó para que los requisitos de recubrimiento de hormigón también se apliquen a los cables de pretensado y al alambre usado para las armaduras. Estas modificaciones aclaran los requisitos de recubrimiento para los elementos de hormigón colocado en obra y los elementos prefabricados producidos en planta.
3. Se agregó el artículo 7.7.5.1, el cual requiere que el recubrimiento de hormigón se incremente un 50% en el caso de los elementos de hormigón pretensado clasificados como Clase C expuestos a ambientes corrosivos, si se verifica que la zona de tracción precomprimida del elemento no resulta traccionada bajo la acción de las cargas sostenidas o de larga duración.
4. Se agregó el artículo 7.10.5.6, el cual contiene requisitos para el confinamiento de los bulones de anclaje que se colocan en la parte superior de columnas y pedestales para la fijación de otros elementos estructurales.
5. Se modificó la Sección 7.13.2 para permitir el uso de empalmes mecánicos y soldados en la armadura continua usada para proporcionar integridad a las vigas y para mejorar la efectividad de los detalles de la armadura transversal en las vigas perimetrales.

CONSIDERACIONES GENERALES

Detallar correctamente las armaduras es fundamental para que las estructuras de hormigón armado se comporten satisfactoriamente. Los detalles de armado actuales son el resultado de una evolución gradual. El Comité ACI 318 continuamente recibe informes de investigaciones y aplicaciones prácticas relacionadas con el hormigón estructural, sugiere nuevas investigaciones que considera necesarias y traduce los resultados obtenidos en requisitos codificados.

El Manual de Armado de ACI^{3.1} recomienda métodos y estándares para preparar los planos de diseño, detalles típicos y planos de fabricación y colocación de las armaduras que se utilizan en las estructuras de hormigón armado. El manual tiene diferentes secciones en las cuales define las responsabilidades tanto del ingeniero como del armador de las barras. El Manual de Práctica CRSI^{3.2} describe prácticas recomendadas. A modo de ayuda para los diseñadores, la Referencia 3.2 incluye prácticas recomendadas para estimar, detallar, fabricar e instalar las armaduras; el diseñador puede hacer referencia a esta publicación en los planos y especificaciones técnicas. El Manual para el Detallado de las Mallas de Alambre Soldado^{3.3} contiene información referida a los sistema de armado que utilizan mallas de alambre soldadas.

7.1 GANCHOS NORMALES

Las Tablas 3-1 y 3-2 ilustran los requisitos para los ganchos normales usados para anclar las barras de armadura, junto con los diámetros internos de doblado (diámetro del mandril de doblado) correspondientes. Los detalles para los ganchos normales usados para anclar estribos y estribos cerrados solamente son aplicables para barras No. 8 y menores.

Tabla 3-1 – Ganchos normales para la armadura principal

Tamaño de la barra, No.	Diámetro del mandril de doblado, $D^{(a)}$
No. 3 a No. 8	$6d_b$
Nos. 9, No. 10, No. 11	$8d_b$
No. 14 y No. 18	$10d_b$

(a) Medido del lado interno de la barra.

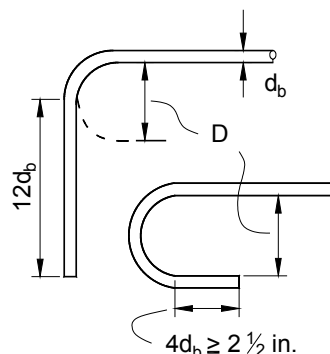
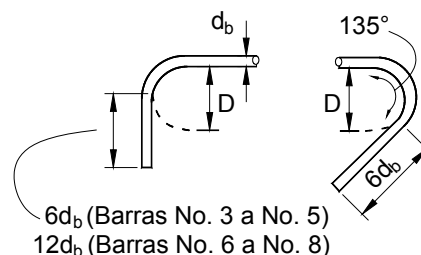


Tabla 3-2 – Ganchos normales para los estribos y estribos cerrados

Tamaño de la barra, No.	Diámetro del mandril de doblado, $D^{(b)}$
No. 3 a No. 5	$4d_b$
No. 6 a No. 8	$6d_b$

(b) Medido del lado interno de la barra.



Los pórticos resistentes a momentos diseñados para resistir esfuerzos sísmicos horizontales que forman parte de una estructura ubicada en una región de elevada peligrosidad sísmica o de una estructura asignada a una categoría de comportamiento o diseño sísmico elevado (ver Tabla 1-1) se deben diseñar como pórticos de momento especiales según lo definido en la Sección 21.1. En los pórticos de momento especiales los detalles de armado de las armaduras transversales de las vigas y columnas deben satisfacer los requisitos establecidos en 21.3.3 y 21.4.4, respectivamente. Excepto para los estribos circulares para los cuales se requiere que tengan ganchos con un ángulo de doblado de 90 grados en sus extremos libres, los extremos de los estribos rectangulares y los estribos transversales suplementarios (caballetes) deben terminar en ganchos con un ángulo de doblado de 135 grados. Estos ganchos son necesarios para anclar los extremos libres dentro de la zona del núcleo confinado, para poder así lograr un comportamiento adecuado en las regiones de los elementos en las cuales se anticipa que puede haber comportamiento inelástico. El Capítulo 29 de esta publicación discute e ilustra este requisito.

7.2 DIÁMETROS MÍNIMOS DE DOBLADO

El diámetro mínimo del mandril de doblado, también llamado simplemente diámetro mínimo de doblado, se define como "el diámetro de doblado medido del lado *interno* de la barra." Los diámetros mínimos de doblado, los cuales se expresan como múltiplos del diámetro de las barras, dependen del tamaño de las barras: para las barras No. 3 a No. 8 el diámetro mínimo de doblado es igual a seis veces el diámetro de la barra; para las barras No. 9 a No. 11 el diámetro mínimo de doblado es igual a

8 veces el diámetro de la barra; y para las barras No. 14 y No. 18 el diámetro mínimo de doblado es igual a 10 veces el diámetro de la barra. Este requisito tiene las siguientes excepciones:

1. Para los estribos y estribos cerrados cuyo tamaño corresponde a barras No. 5 o menores, el diámetro mínimo de doblado es igual a 4 veces el diámetro de la barra. Para los estribos y estribos cerrados No. 6 a No 8 el diámetro mínimo de doblado es igual a 6 veces el diámetro de la barra.
2. Para las mallas de alambre soldadas usadas como estribos o estribos cerrados, el diámetro del mandril de doblado debe ser mayor o igual que cuatro veces el diámetro de los alambres si se trata de mallas de alambres conformados mayores que el alambre D6, o mayor o igual que dos veces el diámetro de los alambres para los demás tipos de alambre. La distancia entre una soldadura de barras que se cruzan y un gancho con un diámetro de doblado menor que ocho veces el diámetro del alambre debe ser como mínimo igual a cuatro veces el diámetro de los alambres.

7.3 DOBLADO DE LA ARMADURA

Toda la armadura debe ser doblada en frío, a menos que el ingeniero autorice otros procedimientos. Para los doblados poco habituales es posible que sea necesario utilizar procesos de fabricación especiales que incluyan el calentamiento de las barras; en este caso el ingeniero deberá aprobar todas las técnicas empleadas.

7.3.2 Doblado de la armadura en obra

Es frecuente que las barras de armadura parcialmente embebidas en hormigón sean dobladas y enderezadas en obra. Muchas veces es necesario doblar la parte de la armadura que queda expuesta para hacer lugar para las operaciones constructivas. También puede ser necesario corregir errores de fabricación o deformaciones accidentales, para lo cual habrá que doblar o enderezar la armadura en obra. De acuerdo con el artículo 7.3.2, las barras parcialmente embebidas en hormigón no se pueden doblar en obra sin la autorización del ingeniero, excepto cuando los planos del proyecto así lo especifiquen. Ensayos recientes^{3,4} han permitido desarrollar lineamientos para el doblado en obra de las barras parcialmente embebidas en hormigón, y para el uso de calor si fuera necesario. Para ayudarle al ingeniero a conocer los procedimientos correctos, a continuación presentamos las recomendaciones de la Referencia 3.4. En los trabajos experimentales que constituyen la base sobre la cual se desarrollaron estas recomendaciones se utilizaron barras conformadas de acero ASTM A 615, Grado 60.

1. No se deben doblar ni enderezar en obra barras de tamaño mayor que una barra No. 11. Para doblar o enderezar barras No. 6 a No. 11 se debería aplicar calor, y también se debería aplicar calor para doblar o enderezar barras No. 5 y menores si estas barras ya han sido dobladas anteriormente. Las barras No. 5 y menores que no han sido dobladas anteriormente se pueden doblar o enderezar sin aplicar calor.
2. Se debe utilizar una herramienta de doblado cuyo diámetro de doblado sea como se indica en la Tabla 3-3(a). Ningún doblado en obra debe ser de más de 90 grados.
3. Cuando para doblar o enderezar las barras en obra se aplica calor, la temperatura del acero al final de la operación de calentamiento debe ser mayor o igual que la temperatura especificada en la Tabla 3-3(b); la temperatura del acero nunca debe ser mayor que la temperatura máxima indicada.
4. Cuando para doblar o enderezar las barras en obra se aplica calor, se debe calentar toda la parte de la barra que se ha de doblar (o toda la parte de la barra que se ha de enderezar), más 2 in. adicionales en cada extremo. Para las barras de tamaño mayor al de una barra No. 9 el calor se debe aplicar simultáneamente desde dos lados opuestos de la barra para asegurar que la temperatura sea uniforme en todo el espesor de la barra.
5. Antes de doblar o enderezar una barra de armadura en obra se debe evaluar la importancia de la posible reducción de las propiedades mecánicas de las barras de acuerdo con lo especificado en la Tabla 3-3(c).

Tabla 3-3 – Doblado de la armadura en obra^{3,4}

(a) Relación entre el diámetro de doblado y el diámetro de la barra

Tamaño de la barra, No.	Diámetro de doblado interno / Diámetro de la barra	
	Con aplicación de calor	Sin aplicación de calor
No. 3, No. 4, No. 5	8	8
No. 6, No. 7, No. 8, No. 9	No se permite	8
No. 10, No. 11	No se permite	10

(b) Temperaturas máximas y mínimas para el calentamiento de las barras

Tamaño de la barra, No.	Temperatura mínima (°F)	Temperatura máxima (°F)
No. 3, No. 4	1200	1250
No. 5, No. 6	1350	1400
No. 7, No. 8, No. 9	1400	1450
No. 10, No. 11	1450	1500

(c) Reducción porcentual de las propiedades mecánicas de las barras dobladas y enderezadas

Doblado	Tamaño de la barra, No.	Reducción de la tensión de fluencia, %	Reducción de la resistencia a tracción, %	Reducción del alargamiento, %
En frío	No. 3, No. 4	---	---	20
En frío	No. 5	5	---	30
En caliente	Todos los tamaños	10	10	20

7.5 COLOCACIÓN DE LA ARMADURA

7.5.1 Soportes para la armadura

Los soportes para la armadura, incluyendo los soportes para los cables y vainas de postesado, son necesarios para asegurar que la armadura no se moverá durante la colocación del hormigón. La Referencia 3.2 contiene una discusión detallada de los tipos y las dimensiones de los soportes típicamente utilizados. En la Tabla 3-4 se ilustran los tipos y las dimensiones típicas de los soportes de alambre. Además de los soportes de alambre también se consiguen soportes de hormigón prefabricado, de materiales cementicios reforzados con fibras y de todo tipo de plásticos. Si durante la vida de servicio de la estructura la superficie de hormigón estará expuesta se deberá considerar la importancia del aspecto de la superficie de hormigón y el ambiente al cual estará expuesta. Por ejemplo, si la superficie de hormigón estará expuesta directamente a los agentes climáticos o a un ambiente húmedo, es probable que eventualmente aparezcan manchas de herrumbre si se utilizan soportes de acero sin ningún tratamiento. Tal como se describe en el Manual CRSI, se pueden conseguir soportes para barras con tres clases de protección diferentes, dependiendo del tipo de condiciones de exposición anticipadas y de la cantidad de protección contra la corrosión requerida. En base a las prácticas habituales de la industria, las clases de protección disponibles son las siguientes:

- Clase 1 Máxima protección
Soportes protegidos con revestimientos plásticos; se utilizan en aplicaciones en las cuales las condiciones de exposición son de moderadas a severas y/o en aquellas en las cuales la superficie de hormigón se ha de someter a un pulido ligero o a un tratamiento con chorro de arena (sandblasting).
- Clase 1A Máxima protección (Para barras con revestimiento de resina epoxi)
Soportes de alambre revestidos con resina epoxi, vinilo o plástico; se utilizan en aplicaciones en las cuales las condiciones de exposición son de moderadas a muy severas en las cuales la superficie de hormigón no se pulirá

ni se tratará con chorro de arena. Generalmente este tipo de protección se utiliza cuando se requieren barras de armadura con revestimiento epoxi.

- Clase 2** **Protección moderada**
Soportes de alambre de acero protegidos con acero inoxidable; se utilizan en aplicaciones en las cuales las condiciones de exposición son moderadas y/o en aquellas en las cuales la superficie de hormigón se ha de someter a un pulido ligero o a un tratamiento con chorro de arena (sandblasting). La parte inferior de cada una de las patas se protege con una pieza o tapón de acero inoxidable.
- Clase 3** **Sin protección**
Soportes de alambre sin ningún tipo de protección contra la corrosión. Este tipo de soporte se utiliza en aplicaciones en las cuales la aparición de manchas superficiales no constituye un problema, o cuando los soportes no están en contacto con una superficie de hormigón que estará expuesta.

El ingeniero debe especificar el tipo de protección requerida en las especificaciones técnicas del proyecto. Se debe observar que el sistema de soportes usado para las armaduras generalmente se detalla en el plano de armaduras preparado por el fabricante de las armaduras. El ingeniero debe revisar el sistema de soportes, incluyendo el tipo de protección especificado, ya que las dimensiones de estos soportes también afectan los requisitos de recubrimiento de hormigón sobre las armaduras.

Cuando se especifican barras con revestimiento epoxi, los soportes de las barras deberán estar fabricados de materiales dieléctricos, o bien los soportes se deberán recubrir con un material dieléctrico tal como la resina epoxi o el vinilo, los cuales son compatibles con el hormigón. Ver la discusión sobre el artículo 3.5.3.7 en el Capítulo 2 de este documento, donde se especifican accesorios y métodos de manipuleo especiales específicamente desarrollados para minimizar los daños del revestimiento epoxi durante el transporte, manipuleo y colocación de las barras revestidas.

El artículo R7.5.1 del Comentario enfatiza la importancia de fijar rígidamente los estribos de las vigas a los encofrados, y no solamente a la armadura principal. Si los estribos no se fijan a los encofrados es posible que el tránsito de los operarios durante la colocación del hormigón pueda hundir la armadura y disminuir el recubrimiento de hormigón con el consecuente aumento del potencial de corrosión. Se debe observar que el Manual CRSI,^{3,2} documento frecuentemente referenciado en la documentación técnica correspondiente a la colocación de la armadura, no se ocupa específicamente de este tema. Los planos de armado, habitualmente preparados por el fabricante de las barras, debe ilustrar secciones típicas o detalles para aclarar este requisito y asegurar que los operarios lo tengan en cuenta.



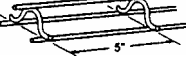












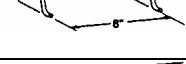

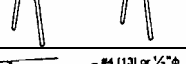
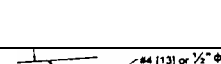


Ahora unas palabras de advertencia referidas a el desplazamiento de las armaduras durante las operaciones de colocación del hormigón. Si el hormigón es bombeado, es fundamental que las tuberías y el sistema de apoyo de las tuberías estén firmemente asegurados a elementos independientes de la armadura. Esto se puede lograr usando silletas u otros medios. No debe haber ningún tipo de contacto directo o indirecto con la armadura colocada en sus soportes, ya que si lo hay las ondas provocadas por las tuberías podrían correr las armaduras y provocar que no queden correctamente ubicadas. Este problema potencial es particularmente grave en los elementos relativamente delgados como las losas, en especial si contienen cables de pretensado, ya que en estos elementos la ubicación vertical de la armadura es especialmente crítica. Las especificaciones técnicas deberían tratar este tema de forma específica.

7.5.2 Tolerancias para la colocación de la armadura

Las tolerancias especificadas en el Código se aplican simultáneamente al recubrimiento de hormigón y a la profundidad efectiva del elemento, *d*. Como la dimensión "*d*" es la más importante desde el punto de vista estructural, cualquier desviación de esta dimensión (especialmente en los elementos de menor profundidad) puede afectar la resistencia de la estructura terminada. La variación permitida respecto de la profundidad efectiva, *d*, toma en cuenta esta reducción de la resistencia, especificando tolerancias más bajas para los elementos de menor profundidad. También se establecen tolerancias admisibles para reflejar las técnicas y prácticas constructivas habituales. Las tolerancias críticas para la ubicación de la armadura longitudinal son las ilustradas en la Tabla 3-5, para las cuales hay dos excepciones:

1. La tolerancia para la distancia libre al intradós de un encofrado no debe ser menor que -1/4 in.
2. Las tolerancias para el recubrimiento de hormigón no deben ser mayores que -1/3 del mínimo recubrimiento libre de hormigón requerido en los planos y especificaciones técnicas. Ver el Ejemplo 3.1.

Tabla 3-4 – Tipos y dimensiones de los soportes para las armaduras^{3,2}

SÍMBOLO	SOportes PARA LAS BARRAS	SOportes CON BAÑO O TAPAS DE PLÁSTICO	TIPO DE SOPORTE	DIMENSIONES TÍPICAS
SB		 TAPONES DE PLÁSTICO	Soporte para losas	Altura: 0,75; 1; 1,5 y 2 in. Longitud: 5 y 10 ft.
SBU*			Soporte superior para losas	Igual que los SB
BB		 TAPONES DE PLÁSTICO	Soporte para vigas	Altura: 1; 1,5; 2 a 5 in. en incrementos de 0,25 in. Longitud : 5 ft
BBU*			Soporte superior para vigas	Igual que los BB
BC		 BAÑO DE PLÁSTICO	Silleta para una barra individual	Altura: 0,75; 1; 1,5 y 1,75 in.
JC		 BAÑO DE PLÁSTICO	Silleta para nudos	Ancho: 4, 5 y 6 in. Altura: 0,75; 1 y 1,5 in.
HC		 TAPONES DE PLÁSTICO	Silleta alta individual	Altura: 2 a 15 in. en incrementos de 0,25 in.
HCM*			Silleta alta para tableros metálicos	Altura: 2 a 15 in. en incrementos de 0,25 in.
CHC		 TAPONES DE PLÁSTICO	Silleta alta continua	Igual que los HC en longitudes de 5 y 10 ft
CHCU*			Silleta alta continua Superior	Igual que los CHC
CHCM*			Silleta alta continua para tableros metálicos	Altura: Hasta 5 in. en incrementos de 0,25 in.
JCU**	 Cara superior de la losa 3/4 in. Altura 14 in.	 Cara superior de la losa 3/4 in. Altura 14 in. BAÑO DE PLÁSTICO	Silleta superior para nudos	Luz: 14 in. Altura: de -1 a +3,5 in. en incrementos de 0,25 in.
CS			Soporte continuo	1-1/2 a 12 in. en incrementos de 1/4 in. Longitud: 6 a 8 ft
SBC			Centrador para una barra individual (Fricción)	Diámetro: 6 a 24 in.

* Generalmente sólo están disponibles en Clase 3, excepto si se fabrican a pedido.

** Generalmente sólo están disponibles en Clase 3, con ramas o apoyos hacia arriba.

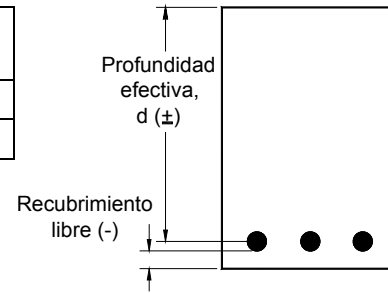
1 in. = 25,4 mm

1 ft = 304,8 mm

Para los extremos de las barras y la ubicación longitudinal de los ganchos la tolerancia es de ± 2 in., excepto en los extremos discontinuos de las ménsulas y cartelas donde la tolerancia es de $\pm 1/2$ in. En los extremos discontinuos de otros elementos se permite una tolerancia de + 1 in. También se aplica la tolerancia para el recubrimiento mínimo de hormigón especificada en el artículo 7.5.2.1. Estas tolerancias se ilustran en la Figura 3-1.

Tabla 3-5 – Tolerancias críticas para la colocación de la armadura

Profundidad efectiva, d	Tolerancia para d	Tolerancia para el recubrimiento mínimo
$d \leq 8$ in.	$\pm 3/8$ in.	- $3/8$ in.
$d > 8$ in.	$\pm 1/2$ in.	- $1/2$ in.



Observar que una tolerancia de signo positivo (+) aumenta la dimensión, mientras que una tolerancia de signo negativo (–) la reduce. Cuando solamente se especifica una tolerancia de signo negativo es porque no hay ninguna limitación en el sentido positivo. El control de calidad durante la etapa constructiva debe considerar la más estricta de las tolerancias aplicables.

Además de las tolerancias para la colocación de la armadura especificadas en el Código, el ingeniero se debería familiarizar con la norma ACI 117.^{3.5} La norma ACI 117 incluye tolerancias para todas las dimensiones, cantidades y propiedades del hormigón que se utilizan en la construcción. La intención es que el documento ACI 117 se adopte por referencia directa en las especificaciones técnicas del proyecto, y por este motivo tiene el formato de una especificación.

El diseñador debe especificar e identificar claramente las tolerancias para el recubrimiento de hormigón de acuerdo con las necesidades del proyecto. Por ejemplo, si el hormigón estará expuesto a un ambiente muy agresivo, como por ejemplo el que provocan las sales anticongelantes, donde el espesor del recubrimiento de hormigón sobre las armaduras puede representar una consideración crítica desde el punto de vista de la durabilidad, el ingeniero puede especificar para este recubrimiento tolerancias menores que las permitidas por el Código o bien, por el contrario, especificar un mayor espesor para el recubrimiento para reconocer la variabilidad que se anticipa en la colocación de la armadura.

7.5.4 Soldaduras de punto

Observar que el Código prohíbe la utilización de soldaduras como método de fijación de las barras de armadura que se cruzan, excepto cuando el ingeniero las autorice específicamente. Por definición, una soldadura de punto es una pequeña soldadura usada para facilitar la fabricación o la instalación de la armadura, y no una soldadura estructural. Las soldaduras de puntos pueden fragilizar localmente el acero, y nunca se debe utilizar este tipo de soldadura en la armadura requerida por el diseño. Como se observa en la sección 3.5.2, todas las soldaduras de las armaduras se deben realizar conforme a los procedimientos de soldadura controlada especificados en AWS D1.4, incluyendo un correcto precalentamiento (si fuera necesario) y el uso de electrodos que satisfagan los requisitos especificados para las soldaduras terminadas.

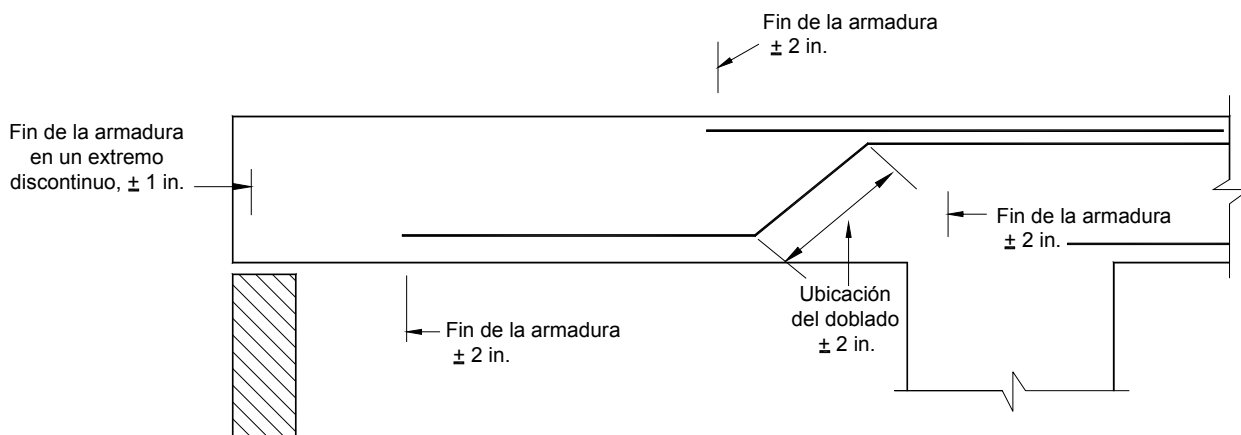


Figura 3-1 – Tolerancias para el doblado de barras y la ubicación de sus extremos

7.6 LÍMITES PARA LA SEPARACIÓN DE LA ARMADURA

La separación (distancia libre) entre las barras debe satisfacer los siguientes requisitos:

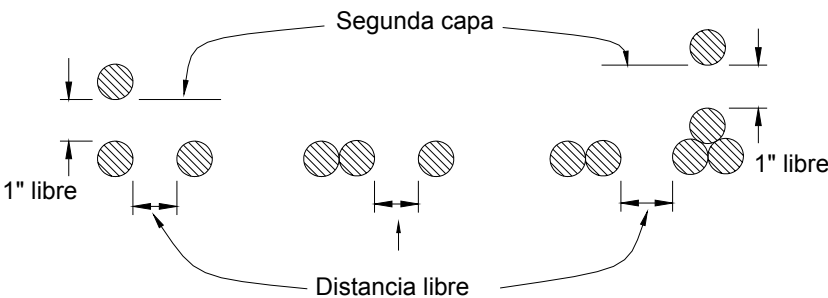
Separación mínima

En los elementos que tienen una sola capa de armadura, la separación libre mínima entre barras paralelas ubicadas debe ser como mínimo igual a un diámetro de barra, pero siempre mayor o igual que 1 in. En los elementos que tienen dos o más capas de de armadura, las barras de la capa superior se deben colocar directamente encima de las barras de la capa inferior; la separación libre vertical mínima entre las diferentes capas debe ser como mínimo igual a 1 in. En los elementos solicitados a compresión armados con estribos cerrados o zunchos, la distancia libre entre las barras longitudinales debe ser como mínimo mayor o igual que 1,5 diámetros de las barras, pero siempre mayor o igual que 1,5 in. Estas separaciones mínimas también se aplican a la separación libre entre un empalme por yuxtaposición de una barra o paquete de barras y las barras o empalmes adyacentes. También pueden ser aplicables los requisitos de la Sección 3.3.2, los cuales se basan en el tamaño máximo de los agregados. La Tabla 3-6 resume las separaciones libres mínimas entre las barras de armadura.

Separación máxima

En las losas y tabiques, exceptuando las losas nervuradas, la separación de la armadura principal de flexión debe ser menor o igual que tres veces el espesor del tabique o de la losa y menor o igual que 18 in.

Tabla 3-6 – Separación mínima entre barras, atados de barras o cables de pretensado



Tipo de armadura	Tipo de elemento	Distancia libre
Barras conformadas	Elementos solicitados a flexión	$d_b \geq 1 \text{ in.}$
	Elementos solicitados a compresión, con estribos cerrados o zunchos	$d_b \geq 1 \text{ in.}$
Cables de pretensado	Alambres	$4d_b$
	Cordones	$3d_b$

7.6.6 Paquetes de barras

Cuando se requiere una gran concentración de armadura el uso de paquetes de barras de tamaños estándares puede ahorrar espacio y reducir la congestión, con lo cual se simplifica la colocación y compactación del hormigón. Para las columnas, la práctica de formar paquetes de barras es una manera de optimizar la ubicación y orientación de la armadura y aumentar su capacidad. Otra ventaja que representa el uso de paquetes de barras es la reducción del número de estribos requeridos.

Los paquetes de barras (barras de armadura paralelas en contacto entre sí, el conjunto de las cuales se supone que actúa como una unidad) están permitidos, siempre y cuando estos paquetes estén contenidos por estribos o estribos cerrados que los envuelvan. El uso de paquetes de barras está sujeto a las siguientes limitaciones:

1. En las vigas no se permite agrupar en paquetes a las barras No. 14 o No. 18.
2. Cada una de las barras de un paquete que se interrumpe dentro de un tramo de una viga se debe interrumpir en una sección diferente, y estas secciones deben estar escalonadas como mínimo 40 veces el diámetro de las barras.
3. Un paquete de barras puede tener como máximo dos barras en un mismo plano (es decir, tres o cuatro barras adyacentes ubicadas en un mismo plano no constituyen un paquete de barras).
4. Para establecer la separación y el recubrimiento de hormigón requerido, un paquete de barras se debe considerar como una única barra que tiene un diámetro equivalente obtenido a partir del área total de las barras del paquete. La Tabla 3-7 lista los diámetros equivalentes para diferentes paquetes de barras.
5. Un paquete de barras puede estar compuesto por un máximo de cuatro barras (ver Figura 3-2).
6. Los paquetes de barras deben estar contenidos por estribos o por estribos cerrados que los envuelvan.

Tabla 3-7 – Diámetros equivalentes para diferentes paquetes de barras

Tamaño de las barras, No.	Diámetro de las barras	Paquete de 2 barras	Paquete de 3 barras	Paquete de 4 barras
6	0,750	1,06	1,30	1,50
7	0,875	1,24	1,51	1,75
8	1,000	1,42	1,74	2,01
9	1,128	1,60	1,95	2,26
10	1,270	1,80	2,20	2,54
11	1,410	1,99	2,44	2,82
14	1,693	2,39	2,93	3,39

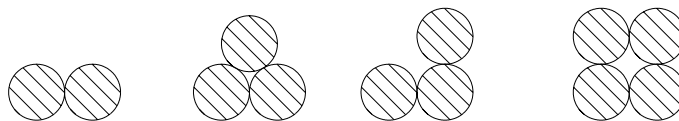


Figura 3-2 – Configuraciones posibles de los paquetes de barras

7.6.7 Cables y vainas de pretensado

Antes del código 1999, las distancias entre los cables de pretensado se especificaban en términos de distancias libres mínimas. El Código 1999 especifica las distancias entre los cables de pretensado en términos de la separación mínima entre los centros de las barras o alambres, y requiere $4d_b$ para los cordones y $5d_b$ para los alambres. Si la resistencia a la compresión del hormigón en el momento de la transferencia del pretensado, f'_{ci} , es mayor o igual que 4000 psi, la separación mínima entre los centros de los cables de pretensado se puede reducir a 1,25 in. si se trata de alambres de diámetro nominal menor o igual que 0,5 in., o a 2 in. si se trata de cordones de diámetro nominal de 0,6 in. Estos cambios fueron el resultado de investigaciones patrocinadas por la *Federal Highway Administration*. El motivo por el cual actualmente se especifican separaciones entre los centros de los cables es que así fue como se tomaron las mediciones en estas investigaciones. Además, convertir estas separaciones entre centros en separaciones libres es complejo e innecesario, ya que las plantillas usadas por los fabricantes de elementos prefabricados siempre se han confeccionado en base a dimensiones "entre centro y centro." En la zona central del tramo se permite adoptar para los cables una separación vertical menor, o disponerlos en paquetes, siempre y cuando el diseño y la fabricación se realicen cuidadosamente. Las vainas de postesado se pueden agrupar en paquetes siempre que se demuestre que el hormigón se puede colocar satisfactoriamente y que se adopten las medidas necesarias para evitar que las vainas se rompan al tesar los cables.

7.7 RECUBRIMIENTO DE HORMIGÓN

Esta sección especifica requisitos mínimos de protección o recubrimiento de hormigón para los elementos hormigonados a nivel del plano de fundación, para los elementos en contacto con el suelo o expuestos al aire libre, y para los elementos interiores no expuestos a la acción del clima. En el Código 2002 se reorganizaron los requisitos sobre recubrimiento mínimo para hormigón colocado en obra (pretensado). Ahora los requisitos para hormigón colocado en obra (pretensado) están ubicados inmediatamente a continuación de los requisitos para hormigón colocado en obra (no pretensado). Luego siguen los requisitos para hormigón prefabricado, elaborado en condiciones de control en planta. En algunos casos para el hormigón colocado en obra (pretensado) y para el hormigón prefabricado elaborado en condiciones de control en planta se permite una ligera reducción de la protección o recubrimiento con respecto a la permitida para el hormigón colocado en obra (no pretensado). La expresión "elaborado en condiciones de control en planta" no significa necesariamente que los elementos prefabricados deben ser fabricados en una planta. Un elemento estructural pretensado en obra (por ejemplo, los tabiques izados) también calificarán para el recubrimiento reducido si el control de las dimensiones de los encofrados, la colocación de la armadura, la calidad del hormigón y el procedimiento de curado son equivalentes a los utilizados habitualmente en una planta. Las barras de gran diámetro, los paquetes de barras y los cables de pretensado requieren un recubrimiento ligeramente mayor. También se pueden requerir recubrimientos de mayor espesor en los ambientes corrosivos y para proveer protección contra el fuego. La Sección 18.3.3, introducida por primera vez en el Código 2002, exige que los elementos pretensados solicitados a flexión se clasifiquen como Clase U (no fisurado), Clase C (fisurado) o Clase T (transición entre no fisurado y fisurado). La Sección 7.7.5.1, también incorporada por primera vez en el código 2002, establece que los valores de recubrimiento indicados en 7.7.2 se deben incrementar un 50% para los elementos pretensados de las Clases C o T si los elementos están expuestos a ambientes corrosivos u otras condiciones de exposición severas. Esta exigencia de incrementar el recubrimiento un 50% se puede obviar si se verifica que la zona de tracción precomprimida del elemento no resulta traccionada bajo la acción de las cargas sostenidas o de larga duración. El diseñador debe prestar particular atención a las recomendaciones del comentario (R7.7.5) que sugieren aumentar el recubrimiento si durante su vida de servicio el hormigón va a estar expuesto a fuentes externas de cloruros, tales como el agua de mar o las aguas salobres. Como se observa en R7.7, se pueden utilizar otros métodos alternativos para proteger las armaduras contra las acciones del clima, siempre que estos métodos proporcionen una protección equivalente al recubrimiento adicional de hormigón requerido en 7.7.1(b), 7.7.2(b) y 7.7.3.1(a) con respecto a 7.7.1(c), 7.7.2(c) y 7.7.3.1(b), respectivamente.

7.8 DETALLES ESPECIALES DE ARMADO PARA COLUMNAS

La Sección 7.8 se ocupa de los detalles especiales de armado requeridos para las barras longitudinales dobladas y los núcleos de acero de las columnas compuestas.

Las barras longitudinales que se doblan a causa de un cambio en la sección de una columna deben satisfacer las siguientes limitaciones:

1. La pendiente de la parte inclinada de la barra, con respecto al eje de la columna, no debe ser mayor que 1:6 (ver Figura 3-3).
2. Los tramos de las barras que estén por encima y por debajo de la zona doblada deben ser paralelos al eje de la columna.
3. Las barras que se doblan a causa de un cambio en la sección de una columna deben tener un apoyo horizontal adecuado. Este apoyo puede ser proporcionado por estribos cerrados horizontales, zunchos en espiral o parte del entrepiso. Si se utilizan estribos cerrados o zunchos en espiral, estos se deben ubicar a una distancia menor o igual que 6 in. de los puntos de doblado (ver Figura 3-3). Este apoyo horizontal se debe diseñar para resistir 1,5 veces la componente horizontal de la fuerza calculada en la zona inclinada de la barra.
4. Las barras que se deben doblar antes de ser colocadas en los encofrados.
5. Las barras longitudinales no se deben doblar cuando al cambiar de sección la columna sus caras resultan desalineadas más de 3 in. En este caso se deben agregar barras adicionales, empalmadas por yuxtaposición con las barras longitudinales, adyacentes a las caras desalineadas (ver Figura 3-3). En algunos casos, algunas de las caras pueden estar desalineadas más de 3 in. y otras menos de 3 in., con lo cual en una misma columna podría haber algunas barras longitudinales dobladas y algunas barras adicionales empalmadas por yuxtaposición.

La capacidad de transferencia de carga por apoyo directo del núcleo de acero de una columna compuesta puede ser como máximo igual al 50 por ciento de la carga de compresión que actúa sobre el núcleo. El resto de la carga debe ser transferida mediante soldaduras, barras empalmadas, placas de empalme, etc. Este requisito debería asegurar una capacidad mínima de tracción similar a la de una columna de hormigón armado convencional.

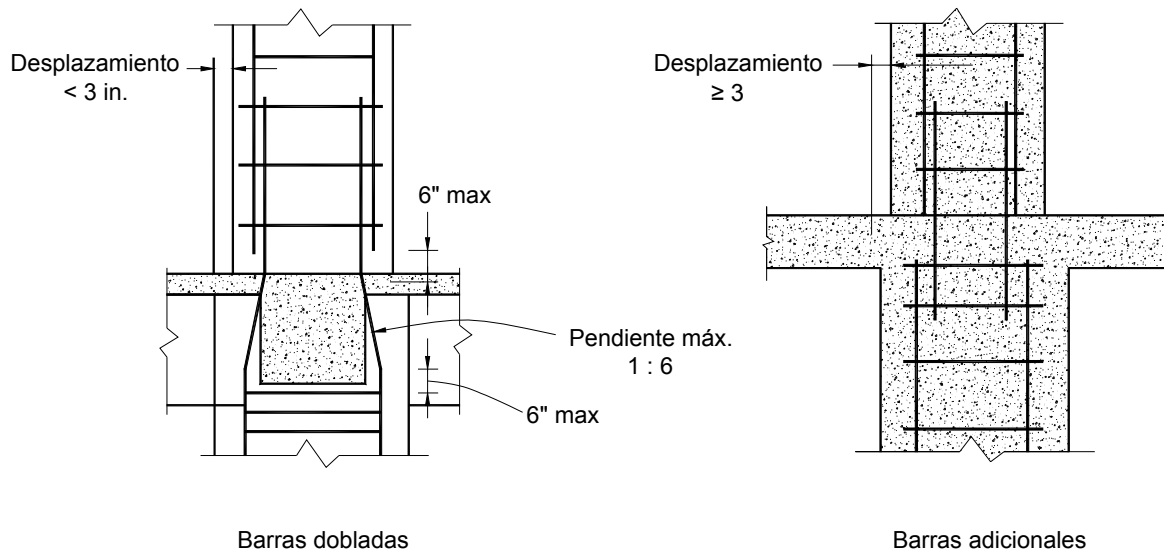


Figura 3-3 – Detalles especiales de armado para columnas

7.9 NUDOS

En los nudos viga-columna de los pórticos se deben confinar las zonas de los empalmes de las armaduras continuas y de los anclajes de las barras que terminan en dichos nudos. Este confinamiento lo puede proporcionar el hormigón externo, o bien se puede materializar mediante estribos, estribos cerrados o zunchos internos.

7.10 ARMADURA TRANSVERSAL PARA LOS ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN

7.10.4 Zunchos

El diámetro mínimo de los zunchos usados en las construcciones hormigonadas en obra es de 3/8 in., y la separación libre debe estar comprendida entre 1 in. y 3 in. Este requisito no impide usar barras de diámetro más pequeño en los elementos prefabricados. A partir de la publicación del Código 1999 se comenzaron a permitir los empalmes mecánicos que satisfacen los requisitos de 12.14.3. Anteriormente sólo estaba permitido utilizar empalmes por yuxtaposición y soldaduras completas. Las ediciones del Código anteriores a 1999 exigían que los empalmes por yuxtaposición debían tener una longitud igual a 48 diámetros de barra, sin importar si las barras o alambres eran lisos o conformados o si tenían revestimiento epoxi o no lo tenían. El código 1999 se revisó para exigir que los empalmes por yuxtaposición de las barras o alambres lisos con o sin revestimiento epoxi tuvieran una longitud igual a 72 diámetros de barra. Se permite reducir la longitud de los empalmes por yuxtaposición de las barras o alambres lisos con y sin revestimiento epoxi a 48 diámetros de barra cuando los extremos de las barras o alambres empalmados terminan en un gancho normal de 90 grados como los requeridos para los estribos y los estribos cerrados (7.1.3). La longitud de los empalmes por yuxtaposición de las barras o alambres conformados se mantuvo igual a 48 diámetros de barra; también se mantuvo el requisito que establece que la longitud mínima de los empalmes por yuxtaposición debe ser mayor o igual que 12 in. La armadura en forma de zunchos (espiral) se debe anclar agregando una vuelta y media adicional en cada extremo del zunchos.

Los zunchos se deben prolongar, desde la parte superior de la fundación o de la losa de cualquier nivel, hasta la altura de la armadura transversal más baja de la losa, ábaco o viga soportado. Cuando no hay vigas o ménsulas en todos los lados de la columna, se deben colocar estribos cerrados por encima de la terminación del zunchos, hasta la parte inferior de la losa o

ábaco (ver Figura 3-4). En las columnas con capitel el zuncho se debe prolongar hasta un nivel en el cual el diámetro o el ancho del capitel sea igual a dos veces el de la columna.

Los zunchos se deben mantener firmemente colocados en su posición, y su paso y alineación deben ser correctos para impedir su desplazamiento durante la colocación del hormigón. Antes de ACI 318-89, el código específicamente requería el uso de separadores para la instalación de los zunchos. Ahora el artículo 7.10.4.9 simplemente dice que "los zunchos se deben mantener firmemente colocados en su posición y su paso y alineación deben ser correctos." Este requisito, basado en el comportamiento, permite usar métodos alternativos para mantener la jaula de armadura en la posición especificada durante la construcción del elemento; la práctica actual consiste en atar las jaulas. Los requisitos originales que exigían separadores se mantuvieron, pero se trasladaron al comentario. Observar que las especificaciones técnicas deben establecer los requisitos para los separadores (si corresponde) o para el atado de los zunchos.

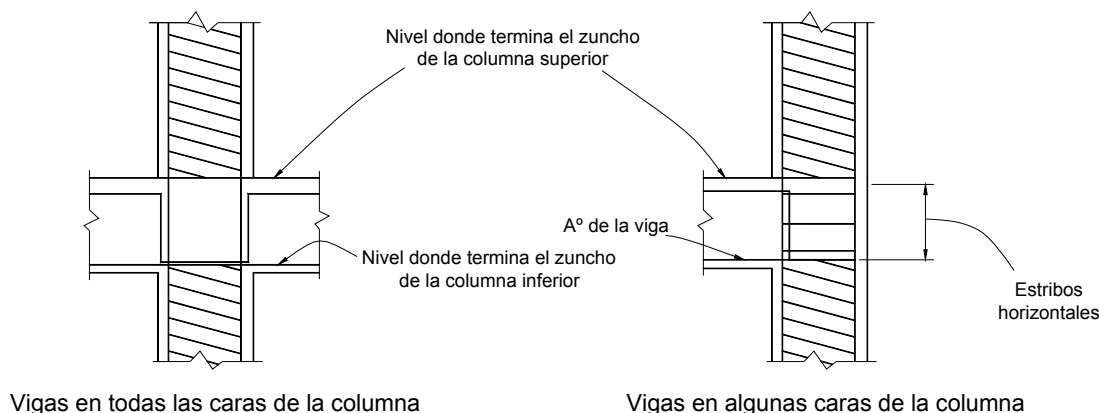


Figura 3-4 – Terminación de los zunchos

7.10.5 Estribos cerrados para columnas

En las columnas de hormigón armado, la distancia vertical entre el estribo cerrado del extremo inferior de la columna y la parte superior de la fundación o de la losa de entrepiso, y la distancia entre el estribo cerrado del extremo superior de la columna y la armadura horizontal más baja de la losa o el ábaco superior, deben ser menores que la mitad del valor de la separación entre estribos. Cuando a una columna concurren vigas o ménsulas desde las cuatro direcciones, el último estribo de la columna se debe colocar como máximo 3 in. por debajo de la armadura más baja de la viga o ménsula menos profunda (ver Figura 3-5). El diámetro mínimo de los estribos usados en las columnas de hormigón armado depende del diámetro de las barras longitudinales. Los diámetros mínimos son los siguientes: No. 3 para las barras longitudinales no pretensadas No. 10 y menores; y No. 4 para las barras longitudinales No. 11 y mayores y para los paquetes de barras. También se aplican las siguientes limitaciones: La separación de los estribos debe ser menor o igual que 16 veces el diámetro de las barras longitudinales, menor o igual que 48 veces el diámetro de los estribos, y menor o igual que la menor dimensión de la columna; los estribos se deben ubicar de forma tal que cada barra longitudinal de esquina y cada barra alternada tengan un apoyo transversal proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior menor o igual que 135 grados. La separación libre máxima entre una barra longitudinal sin apoyo transversal y la barra arriostrada más próxima debe ser menor o igual que 6 in. (ver Figura 3-6). Observar que la distancia libre de 6 in. se mide a lo largo del estribo.

Las barras o alambres continuos de forma helicoidal se pueden utilizar como estribos cerrados, siempre que su área sea equivalente a la de los estribos cerrados individuales. Cuando las barras longitudinales están ubicadas alrededor del perímetro de un círculo está permitido utilizar estribos circulares cerrados con las separaciones especificadas. Este requisito también permite usar estribos circulares con separaciones mayores que las especificadas cuando se utilizan zunchos circulares continuos. El anclaje de los zunchos constituidos por barras o alambres continuos se debe realizar mediante un gancho normal o agregando una vuelta más a la barra o alambre.

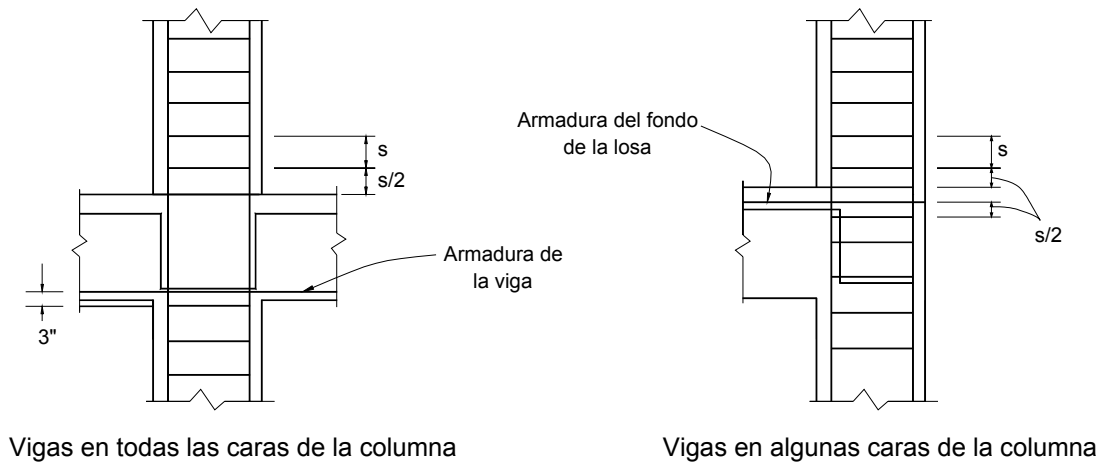


Figura 3-5 – Terminación de los estribos cerrados

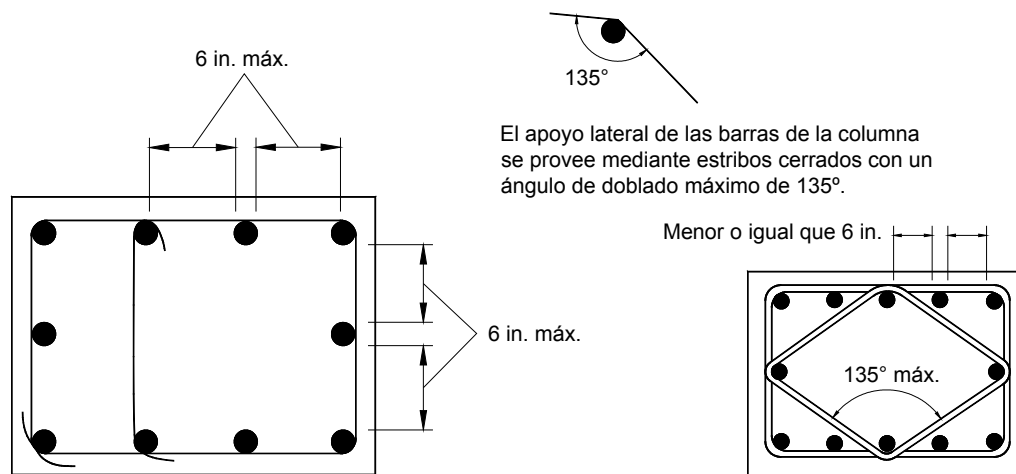


Figura 3-6 – Esquemas de distribución de las barras longitudinales en las columnas

A fin de proveer continuidad para la transferencia de cargas en las conexiones, los bulones de anclaje que se colocan en la parte superior de las columnas o pedestales para fijarlos a otros elementos estructurales deben estar confinados por armadura horizontal que contenga también, como mínimo, cuatro barras verticales de la columna o pedestal. Esta armadura horizontal debe estar constituida como mínimo por dos barras No. 4 o tres barras No. 3, y debe estar distribuida en una altura de 5 in. a partir de la parte superior de la columna o pedestal.

7.11 ARMADURA TRANSVERSAL PARA LOS ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN

Cuando se utiliza armadura de compresión para aumentar la resistencia a flexión de un elemento (10.3.5.1) o para controlar las flechas a largo plazo [Ecuación (9.11)], el artículo 7.11.1 exige que esta armadura debe estar arriostrada por estribos o estribos cerrados que la encierren. Los requisitos sobre las dimensiones y separación de estos estribos o estribos cerrados son los mismos que se aplican a los estribos de las columnas. Está permitido usar malla de alambre soldada siempre que su área sea equivalente. Los estribos o estribos cerrados se deben prolongar en toda la distancia en la cual la armadura comprimida es requerida por motivos de resistencia o para limitar las flechas. El artículo 7.11.1 no se aplica a la armadura que se coloca en una zona comprimida para facilitar el armado de la jaula de armadura o para mantener la armadura en su lugar durante la colocación del hormigón.

Este requisito del artículo 7.11.1 se ilustra en la Figura 3-7. La parte inferior continua del estribo en U de la figura satisface la intención del artículo 7.11.1, es decir arriostra las dos barras inferiores. En general no es necesario colocar estribos totalmente cerrados, salvo en los casos en los cuales hay momentos reversibles elevados y las condiciones exigen que tanto la armadura longitudinal inferior como la armadura longitudinal superior se diseñen como armadura comprimida.

Si se requiere armadura de torsión, ésta puede estar constituida por estribos completamente cerrados, estribos cerrados, zunchos o jaulas de malla de alambre soldada de acuerdo con 11.6.4.

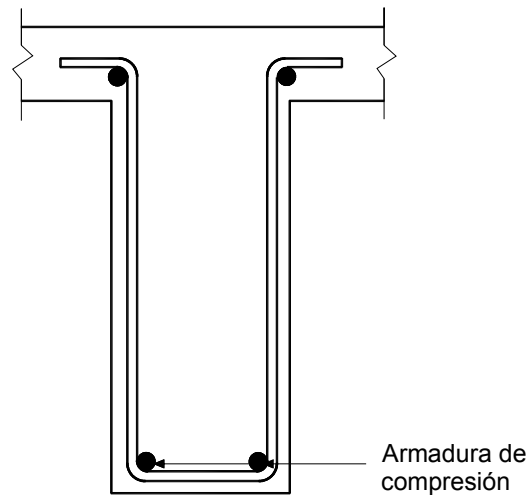


Figura 3-7 – Armadura de compresión correctamente arriostrada

7.11.3 Estribos cerrados

De acuerdo con el artículo 7.11.3, los estribos cerrados deben estar compuestos por un solo tramo de barra continua con ganchos de 90° o 135 grados yuxtapuestos en sus extremos, o bien por uno o dos tramos de barra continua con empalmes Clase B, tal como se ilustra en la Figura 3-8. Los estribos cerrados constituidos por un solo tramo de barra continua con ganchos yuxtapuestos en sus extremos no son prácticos de colocar. Ninguno de los estribos cerrados ilustrados en la Figura 3-8 se considera efectivo para un elemento solicitado por esfuerzos de torsión elevados. Ensayos realizados han demostrado que cuando hay esfuerzos de torsión elevados y el confinamiento proporcionado por el hormigón externo es limitado, este tipo de detalles de armado resultarán en la pérdida del recubrimiento de hormigón y la consiguiente pérdida del anclaje. Ver Figura 3-9. El Manual ACI^{3.1} recomienda que los estribos cerrados usados para resistir torsión se detallen como se ilustra en la Figura 3-10.



Figura 3-8 – Definición de estribo cerrado

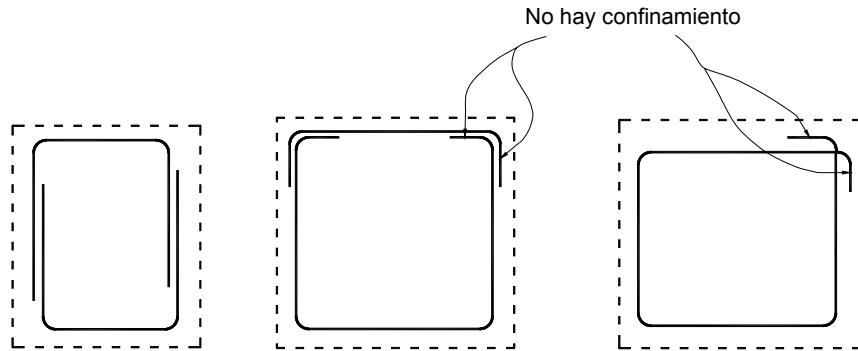
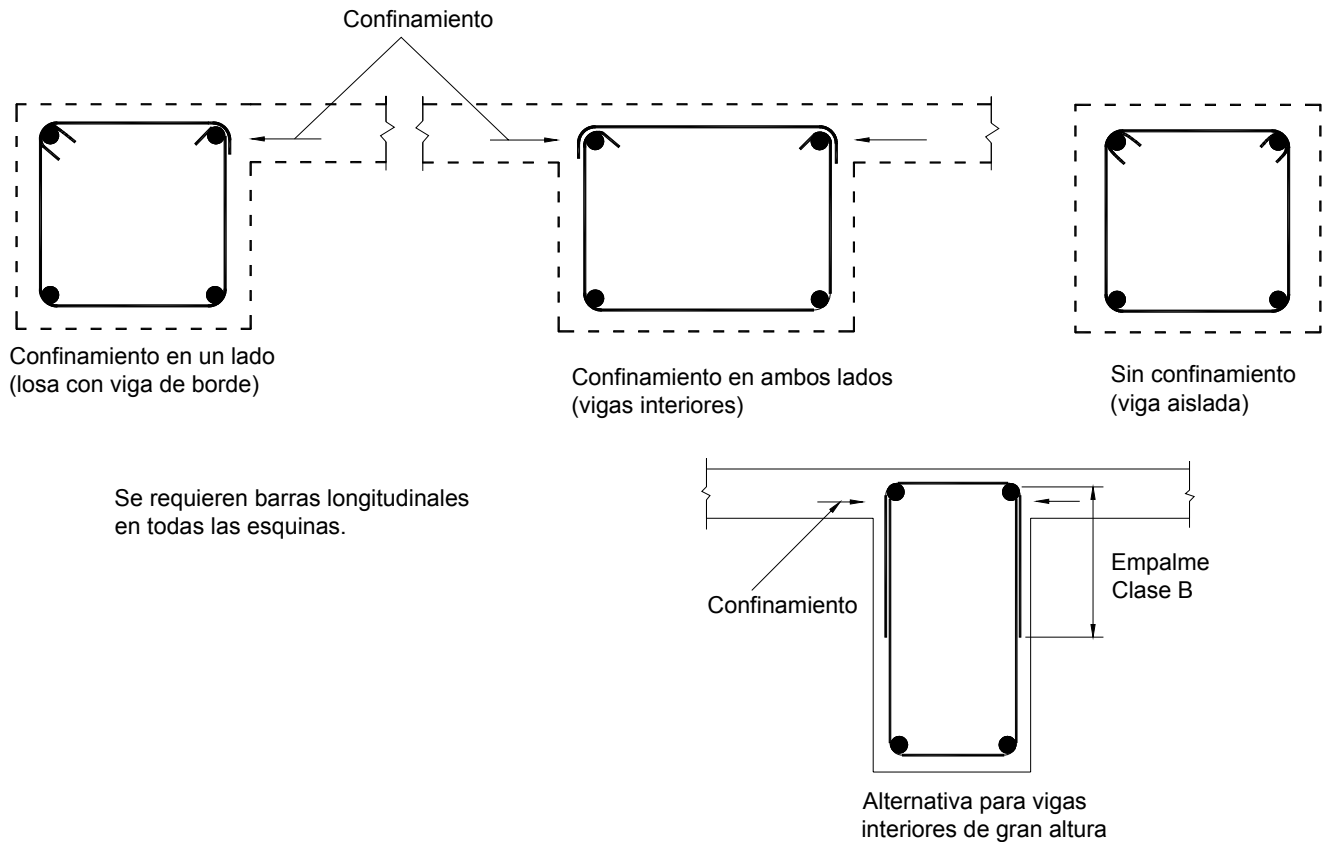


Figura 3-9 – Estribos cerrados no recomendados para los elementos solicitados por torsiones elevadas



*Figura 3-10 – Estribos cerrados de dos piezas.
Detalles recomendados para los elementos solicitados a torsiones elevadas^{3.1}*

7.12 ARMADURA DE CONTRACCIÓN Y TEMPERATURA

En las losas estructurales donde la armadura principal de flexión está dispuesta en una sola dirección se debe colocar armadura en dirección perpendicular a la misma para resistir los esfuerzos debido a la contracción y a la temperatura, pero este requisito no es aplicable a las losas a nivel del plano de fundación en contacto con el suelo. En base a la sección bruta de hormigón, las cuantías mínimas de la armadura de contracción y temperatura son las siguientes:

1. Para barras conformadas de acero Grado 40 y Grado 50: 0,0020

2. Para barras conformadas o mallas de alambre soldadas de acero Grado 60: 0,0018
3. Para las armaduras cuya tensión de fluencia es mayor que 60.000 psi: $0,0018 \times 60.000 / f_y$; pero mayor o igual que 0,0014.

La separación de la armadura de contracción y temperatura debe ser menor o igual que 5 veces el espesor de la losa y menor o igual que 18 in. Los empalmes y anclajes de esta armadura se deben diseñar para la totalidad de la tensión de fluencia especificada. Las cuantías mínimas indicadas no se aplican cuando se utilizan cables de pretensado.

Como armadura de contracción y temperatura se pueden usar cables de pretensado adherentes o no adherentes (7.12.3). Los tendones deben proporcionar una tensión media de compresión mínima de 100 psi sobre el área bruta de hormigón, considerando las tensiones de pretensado efectivas luego de las pérdidas de pretensado. La separación de los cables debe ser menor o igual que 6 ft. Si la separación de los cables es mayor que 54 in. se debe proveer armadura adherente adicional en los bordes de la losa.

7.13 REQUISITOS PARA LA INTEGRIDAD ESTRUCTURAL

Aunque una estructura sea capaz de soportar de manera segura todas las solicitaciones de diseño convencionales, es posible que sufra daños localizados provocados por cargas localizadas excepcionalmente elevadas como las provocadas por las explosiones de gases o líquidos industriales, el impacto de un vehículo, el impacto de objetos extraños, y los efectos de vientos de velocidades muy elevadas como los que se producen durante un tornado. En general estas cargas o eventos excepcionales no constituyen consideraciones de diseño. La integridad global de una estructura de hormigón armado ante estas cargas excepcionales se puede mejorar considerablemente introduciendo algunos cambios relativamente menores en los detalles de armado. La intención de la Sección 7.13 es mejorar la redundancia y la ductilidad de las estructuras. Esto se logra colocando, como mínimo, alguna armadura continua u otros métodos para vincular entre sí los elementos de la estructura. Si se producen daños en un elemento estructural principal, o en situaciones de cargas excepcionales, la armadura para integridad estructural ayuda a restringir los daños resultantes a un área relativamente pequeña de la estructura, con lo cual mejora su estabilidad global.

La Sección 7.13 no pretende que las estructuras se diseñen para resistir un colapso generalizado provocado por usos indebidos ni para resistir cargas excepcionalmente elevadas que actúan directamente sobre una gran parte de la estructura. El colapso generalizado de una estructura, tal como el que podría provocar un evento como un bombardeo o un alud, están fuera del alcance de todos los métodos de diseño generales.

7.13.1 Integridad de la estructura en su conjunto

Debido a que el mal uso y los accidentes son eventos impredecibles, éstos no pueden ser definidos con precisión. De manera similar, el proveer a una estructura de integridad estructural es un requisito que no se puede expresar en términos sencillos. El requisito de comportamiento "...A fin de asegurar la integridad de la estructura en su conjunto los elementos de una estructura se deben vincular eficazmente entre sí" requiere que el ingeniero aplique su criterio profesional, y seguramente diferentes ingenieros tendrán diferentes opiniones acerca de cómo vincular efectivamente los elementos de un sistema particular. Es evidente que es imposible codificar todas las condiciones y situaciones que se podrían presentar en el diseño estructural. Sin embargo, el Código sí presenta ejemplos específicos de determinados detalles de armado para las losas nervuradas hormigonadas en obra.

Si un apoyo resulta dañado, si no está confinada por estribos la armadura superior que es continua sobre el apoyo tenderá a desprenderse del hormigón, y no podrá colaborar en la transferencia de carga por flexión sobre el apoyo dañado. Especificando una cantidad de armadura inferior continua sobre los apoyos se puede lograr una cierta capacidad de soportar momentos positivos en los apoyos. Especificando para las vigas de borde o perimetrales una determinada cantidad de armadura superior e inferior continua se genera una vinculación de la estructura; además, esta continuidad provista para las vigas perimetrales de la estructura rigidizará la parte exterior de la misma, lo cual resultará útil en caso que se dañe una columna exterior. Se podrían mencionar otros ejemplos de detalles de armado que se pueden aplicar para obtener integridad estructural y lograr que un sistema estructural continúe resistiendo cargas aún cuando algún elemento resulte gravemente dañado. El ingeniero deberá evaluar esta consideración de diseño, y diseñar sistemas específicos para tratar este problema. El concepto del diseño para integridad estructural se discute en profundidad en el Comentario de ASCE 7, *Minimum Design*

Loads for Buildings and Other Structures.^{3,6} El lector que desee profundizar en estos conceptos puede consultar esta publicación.

7.13.2 Losas nervuradas hormigonadas en obra

Desde 1989 el Código exige que en las vigas perimetrales se coloque armadura continua para integridad estructural. La cantidad de armadura requerida es como mínimo igual a un sexto de la armadura de tracción requerida para el momento negativo en el apoyo, y un cuarto de la armadura de tracción requerida para el momento positivo en el centro del tramo. El Código 2002 exige un mínimo de dos barras en todos los casos. Otro requisito incorporado por primera vez en el Código 2002 es el que permite explícitamente el uso de empalmes mecánicos y soldados para la armadura continua de las losas nervuradas hormigonadas en obra. Las Figuras 3-11 a 3-13 ilustran los detalles de armado requeridos para el caso general de una losa nervurada.

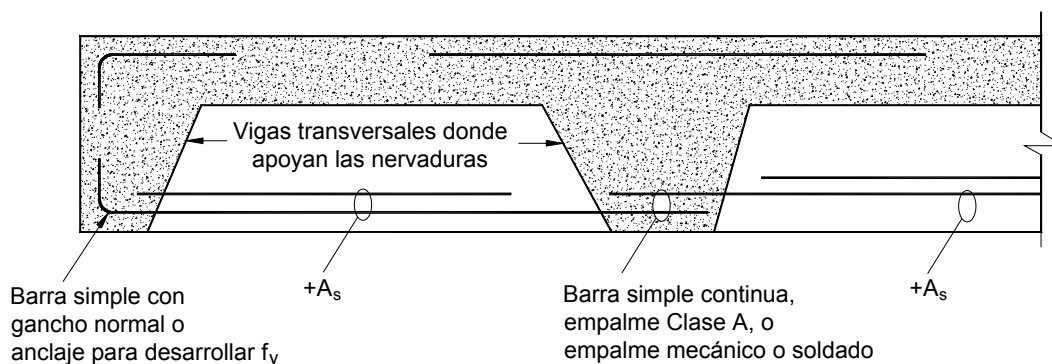


Figura 3-11 – Armadura continua para los elementos nervurados

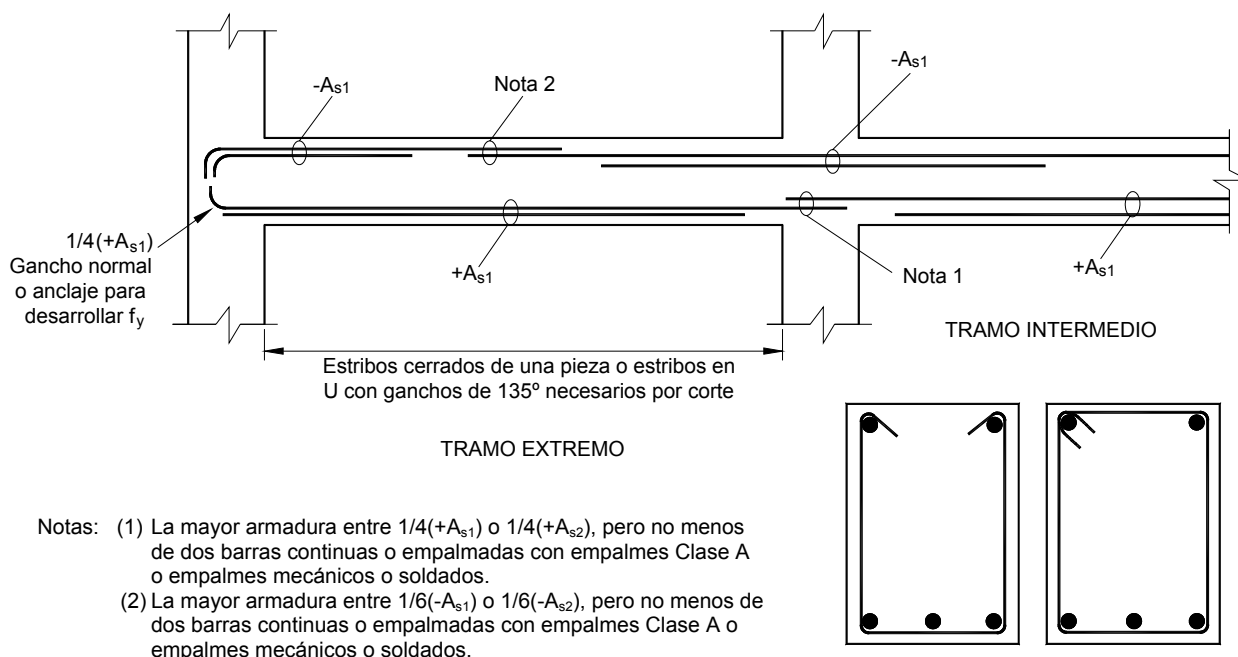
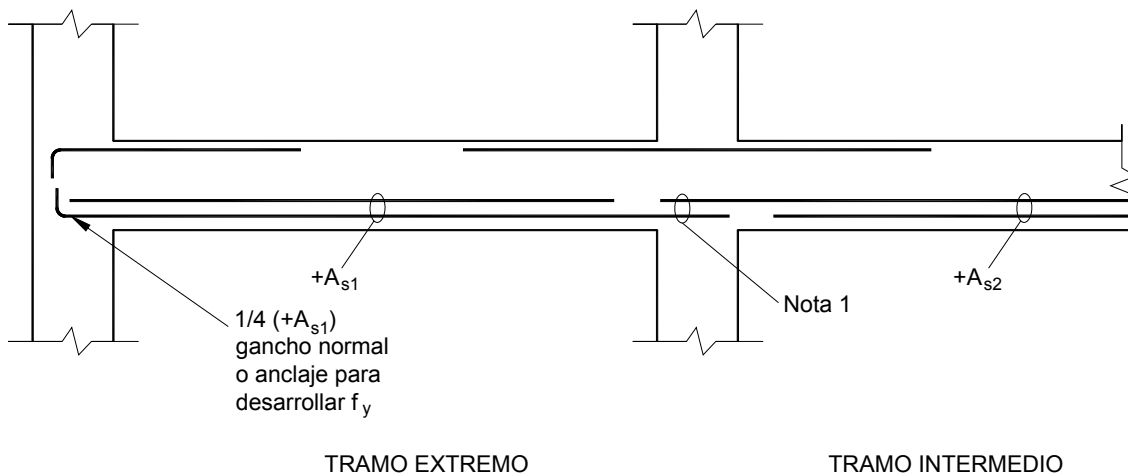


Figura 3-12 – Armadura continua para las vigas perimetrales



Nota: (1) La mayor armadura entre $1/4(+A_{s1})$ o $1/4(+A_{s2})$, continua o empalmada con empalmes Clase A o empalmes mecánicos o soldados.

Figura 3-13 – Armadura continua para vigas no perimetrales sin estribos cerrados

7.13.3 Construcciones de hormigón prefabricado

Los requisitos para la integridad estructural de las construcciones hormigonadas en obra anteriores al Código 1989 eran prescriptivos. En 1989 se introdujeron requisitos para las construcciones de hormigón prefabricado que solamente especifican ciertos niveles de comportamiento. Este enfoque es el único posible, ya que las estructuras de hormigón prefabricado pueden ser de incontables tipos diferentes. El código exige que en las estructuras de hormigón prefabricado se coloquen armaduras especiales de tracción, cualquiera sea la altura de la construcción. No se permiten las conexiones que dependen exclusivamente de la fricción originada por las cargas gravitatorias.

El requisito general para la integridad estructural, establecido en el artículo 7.13.1, indica que "los elementos de una estructura se deben vincular eficazmente entre sí." El comentario incluido en 1989 advertía que para las construcciones de hormigón prefabricado los detalles de las conexiones se debían diseñar de manera de minimizar la potencial fisuración debida a la restricción de los movimientos originados por fluencia lenta, contracción y variaciones de temperatura. La Referencia 3.7 contiene información sobre las prácticas utilizadas por la industria para las conexiones y los detalles de armado. La Referencia 3.8 contiene requisitos prescriptivos recomendados por la PCI para los tabiques portantes de hormigón prefabricado. El Capítulo 16 de ACI 318-95 introdujo por primera vez requisitos prescriptivos para la integridad estructural de las estructuras de hormigón prefabricado (ver la discusión en el Capítulo 23 de esta publicación).

7.13.4 Construcción de losas izadas

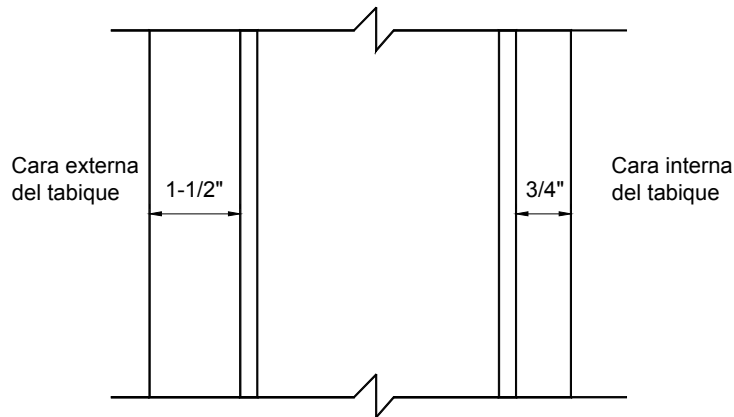
Para la construcción de losas izadas el artículo 7.13.4 dirige al usuario a los artículos 13.3.8.6 y 18.12.6.

REFERENCIAS

- 3.1 *ACI Detailing Manual* - 1994, Publication SP-66(94), American Concrete Institute, Detroit, MI, 1994.
- 3.2 *Manual of Standard Practice*, 27º Edición, Concrete Reinforcing Steel Institute, Schaumburg, IL, 2001.
- 3.3 *Structural Welded Wire Fabric Detailing Manual*, WWR-600, Wire Reinforcement Institute, McLean, VA, 1994.
- 3.4 Babaei, K. y Hawkins, N.M., "Field Bending and Straightening of Reinforcing Steel," *Concrete International: Design and Construction*, Vol. 14, No. 1, Enero 1992.
- 3.5 *Standard Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary*, ACI 117/117-90, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1990.
- 3.6 *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, (ASCE 7-98), American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 1998.
- 3.7 *Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete*, Publication MNL-123-88, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1988.
- 3.8 PCI Building Code Committee, "Proposed Design Requirements for Precast Concrete," *PCI Journal*, Vol. 31, No. 6, Nov.-Dic. 1986, pp. 32-47.

Ejemplo 3.1 – Tolerancia para la colocación de la armadura

Dada la sección de tabique ilustrada y el recubrimiento libre de hormigón indicado, determinar el mínimo recubrimiento de hormigón permitido en la construcción, incluyendo las tolerancias especificadas por el Código para dicho recubrimiento.



Cálculos y discusión

Referencia del Código

La tolerancia para el recubrimiento de hormigón es de menos 1/2 in., pero en ningún caso esta tolerancia puede ser mayor que 1/3 del recubrimiento de hormigón especificado.

7.5.2.1

1. Para la cara externa se permite un recubrimiento medido de 1 in. ($1\text{-}1/2\text{ in.} - 1/2\text{ in.}$). Las barras se pueden colocar a una distancia real de 1 in. de los encofrados.
2. Para la cara interna se permite un recubrimiento medido de 1/2 in. ($3/4\text{ in.} - 1/4\text{ in.}$). Para el recubrimiento de 3/4 in. especificado la tolerancia límite es $(1/3) (3/4) = 1/4\text{ in.} < 1/2\text{ in.}$

Como se observa en ACI 117,^{3.5} las tolerancias son una manera de establecer una variación admisible para las dimensiones o las ubicaciones de los elementos que le permiten tanto al diseñador como al contratista contar con parámetros dentro de los cuales realizar la construcción. A través de las tolerancias el diseñador le transmite al contratista sus expectativas.