

# Sistemas de losas que trabajan en dos direcciones

## ACTUALIZACIÓN PARA EL CÓDIGO 2002

Hay un pequeño cambio en el artículo 13.3.8.5 del Capítulo 13: ahora para las barras inferiores de las franjas de columna de las losas ya no se permiten los empalmes de tracción mecánicos o soldados que satisfacen el artículo 12.14.3.

### 13.1 CAMPO DE VALIDEZ

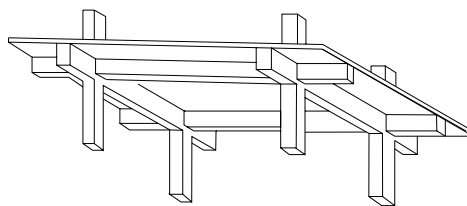
La Figura 18-1 ilustra los diferentes tipos de sistemas de losas de hormigón en dos direcciones que se utilizan en la actualidad y que pueden ser diseñadas de acuerdo con el Capítulo 13.

Originalmente los sistemas de losas de hormigón armado consistían en una losa maciza con sus cuatro lados apoyados sobre vigas (Figura 18-1(a)). Con este sistema, si la relación entre el lado mayor y el lado menor de un panel de losa es mayor o igual que dos, la transferencia de carga se produce fundamentalmente por flexión en la dirección menor, y el panel trabaja básicamente como una losa armada en una sola dirección. A medida que la relación de los lados de un panel de losa se aproxima a la unidad (o a medida que el panel se aproxima a la geometría cuadrada), una parte significativa de la carga es transferida por flexión en ambas direcciones ortogonales, y el panel se debe tratar como un sistema que trabaja en dos direcciones y no como una losa armada en una sola dirección.

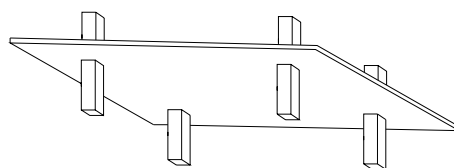
Con el paso del tiempo y la evolución de la tecnología, las vigas sobre las líneas que unen las columnas comenzaron a desaparecer gradualmente. El sistema de losa resultante, compuesto por losas macizas apoyadas directamente sobre columnas, se denomina placa plana (Figura 18-1(b)). La placa plana en dos direcciones es un sistema muy eficiente y económico, y en la actualidad es el sistema más utilizado para construcciones de múltiples pisos tales como, hoteles, dormitorios, edificios de departamentos y hospitales. En comparación con otros sistemas de entrepiso/cubierta de hormigón, las placas planas se pueden construir en menos tiempo y con menores costos de mano de obra debido a que el sistema utiliza los encofrados y disposiciones de armadura más simples posibles. El uso de las placas planas también representa otras importantes ventajas económicas. Por ejemplo, debido a la escasa altura del sistema de entrepiso, la altura de piso se reduce automáticamente, lo cual da por resultado tabiques exteriores y conductos para tuberías y servicios de menor altura total; tabiques no estructurales de menor altura; una reducción de las longitudes de las tuberías para instalaciones sanitarias y sistemas contra incendio; y otros múltiples componentes que afectan el costo de una construcción. En ciudades como Washington D.C., donde existen limitaciones sobre la altura máxima de las construcciones, la

escasa altura de las placas planas permite construir el mayor número de pisos posible para una altura dada. Las placas planas también permiten la mayor flexibilidad en la disposición de columnas, tabiques, pequeñas aberturas, etc. Otra ventaja de las placas planas que no se debe despreciar es su resistencia al fuego. En la mayoría de los casos, la altura de losa requerida por motivos estructurales proveerá la resistencia al fuego requerida por el código de construcción general, sin necesidad de rociar compuestos de protección contra el fuego. Esto es particularmente importante cuando las condiciones en obra permiten la aplicación directa del acabado del cielorraso sobre el intradós de las placas planas, eliminando la necesidad de instalar cielorrasos suspendidos. Como se puede ver, con las placas planas se pueden lograr ahorros tanto en los costos como en los tiempos de construcción.

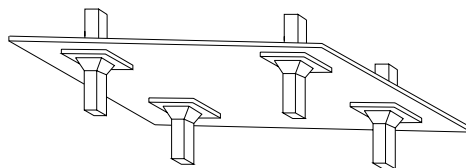
La principal limitación del uso de las placas planas es el corte alrededor de las columnas (13.5.4). Cuando las cargas son elevadas o los tramos son de gran longitud, muchas veces se incrementa la altura de las placas planas alrededor de las columnas, creando elementos conocidos como ábacos. Cuando a una placa plana se le incorporan ábacos, ésta pasa a denominarse losa plana (Figura 18-1(c)). Además, para considerar el corte alrededor de las columnas, algunas veces los extremos superiores de las columnas se ensanchan, creando capiteles de columna. Para los propósitos del diseño, un capitel de columna forma parte de la columna, mientras que un ábaco forma parte de la losa (13.7.3 y 13.7.4).



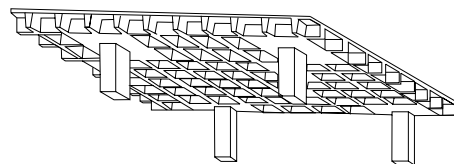
(a) Losa en dos direcciones con vigas



(b) Placa plana



(c) Losa plana



(d) Losa nervurada en dos direcciones

**Figura 18-1 – Tipos de sistemas de losas que trabajan en dos direcciones**

Las losas nervradas en dos direcciones (Figura 18-1(d)) consisten en filas de viguetas o nervios de hormigón perpendiculares entre sí con cabezales macizos sobre las columnas (los cuales son necesarios para proveer resistencia al corte). Habitualmente las viguetas o nervios se forman usando encofrados cuadrados normalizados tipo "casetones." Alrededor de las columnas no se colocan estos casetones, formando así los cabezales macizos. Para los propósitos del diseño, las losas nervradas se consideran

como losas planas en las cuales los cabezales macizos actúan como ábacos (13.1.3). Los sistemas con losas nervuradas permiten reducir considerablemente la carga permanente con respecto a los sistemas con losas planas convencionales, ya que es posible minimizar la altura de la losa gracias a que la separación entre los nervios es pequeña. En consecuencia, este sistema es particularmente ventajoso cuando se desea cubrir grandes luces o soportar cargas elevadas sin utilizar ábacos de gran altura ni vigas de apoyo. Además, la geometría formada por los nervios suele ser deseable desde el punto de vista arquitectónico.

### 13.1.4 Control de las flechas – Altura mínima de una losa

En los diseños rutinarios, minimizando la relación altura/luz el diseñador podrá evitar cálculos de flechas extremadamente complejos. No es necesario calcular las flechas de las losas en dos direcciones si la altura total de la losa satisface los requisitos mínimos establecidos en el artículo 9.5.3. En la Tabla 9.5(c) se resumen las alturas mínimas para placas planas, losas planas y losas nervuradas, junto con las alturas mínimas para losas en dos direcciones con vigas calculadas en base a las Ecuaciones (9-12) y (9-13). En esta tabla  $\ell_n$  es la longitud de la luz libre en la dirección mayor de un panel de losa en dos direcciones. Los valores tabulados corresponden a las alturas mínimas determinantes determinadas para paneles interiores, de borde o de esquina, suponiendo una altura de losa constante para todos los paneles que componen el sistema de losa. Habitualmente con las dimensiones típicas de las vigas de borde se obtendrán relaciones de rigidez viga-losa  $\alpha$  mayores que el valor mínimo especificado de 0,8. En la Figura 18-2 se ilustra un ábaco de dimensiones normales o "estándar" que permitiría reducir la altura mínima requerida de un sistema de entrepiso compuesto por losas planas. Observar que si fuera necesario se puede utilizar un ábaco de mayores dimensiones en planta y altura para proveer resistencia al corte; sin embargo, no está permitido disminuir la correspondiente altura de la losa a menos que se realice el cálculo de las flechas.

Para simplificar el diseño, en la Figura 18-3 se grafican las alturas mínimas para los seis tipos de sistemas de losas en dos direcciones listados en la Tabla 18-1.

En la Parte 10 el lector encontrará una discusión general sobre el control de las flechas para sistemas de losas en dos direcciones, incluyendo ejemplos del cálculo de las flechas en este tipo de sistemas.

**Tabla 18-1 – Altura mínima para sistemas de losas en dos direcciones (Armadura Grado 60)**

Sistema de losas dos direcciones	$\alpha_m$	$\beta$	h mínima
Placa plana	--	$\leq 2$	$\ell_n/30$
Placa plana con vigas de borde <sup>1</sup> [ $h_{\min.} = 5 \text{ in.}$ ]	--	$\leq 2$	$\ell_n/33$
Losa plana <sup>2</sup>	--	$\leq 2$	$\ell_n/33$
Losa plana <sup>2</sup> con vigas de borde <sup>1</sup> [ $h_{\min.} = 4 \text{ in.}$ ]	--	$\leq 2$	$\ell_n/36$
Losa en dos direcciones sobre vigas <sup>3</sup>	$\leq 0,2$	$\leq 2$	$\ell_n/30$
	1,0	1	$\ell_n/33$
		2	$\ell_n/36$
Losa en dos direcciones sobre vigas <sup>1,3</sup>	$\geq 2,0$	1	$\ell_n/37$
		2	$\ell_n/44$
Losa en dos direcciones sobre vigas <sup>1,3</sup>	$\leq 0,2$	$\leq 2$	$\ell_n/33$
	1,0	1	$\ell_n/36$
		2	$\ell_n/40$
Losa en dos direcciones sobre vigas <sup>1,3</sup>	$\geq 2,0$	1	$\ell_n/41$
		2	$\ell_n/49$

<sup>1</sup>Relación entre la rigidez de las vigas de borde y la rigidez de la losa  $\alpha \geq 0.8$  (9.5.3.3)

<sup>2</sup>Longitud del ábaco  $\geq \ell/3$ ; altura  $\geq 1,25h$  (13.3.7)

<sup>3</sup> $h_{\min.} = 5 \text{ in.}$  para  $\alpha_m \leq 2,0$ ;  $h_{\min.} = 3,5 \text{ in.}$  para  $\alpha_m > 2,0$  (9.5.3.3)

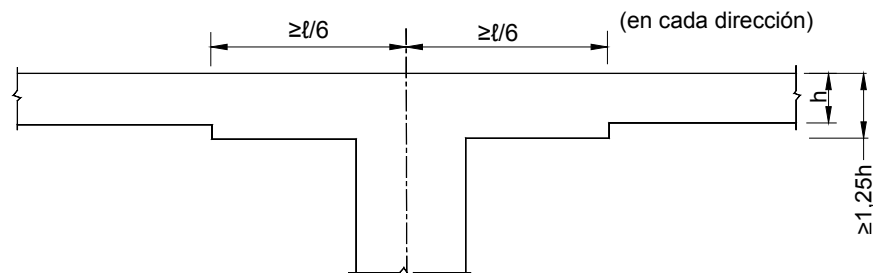


Figura 18-2 – Detalles de los ábacos (13.3.7)

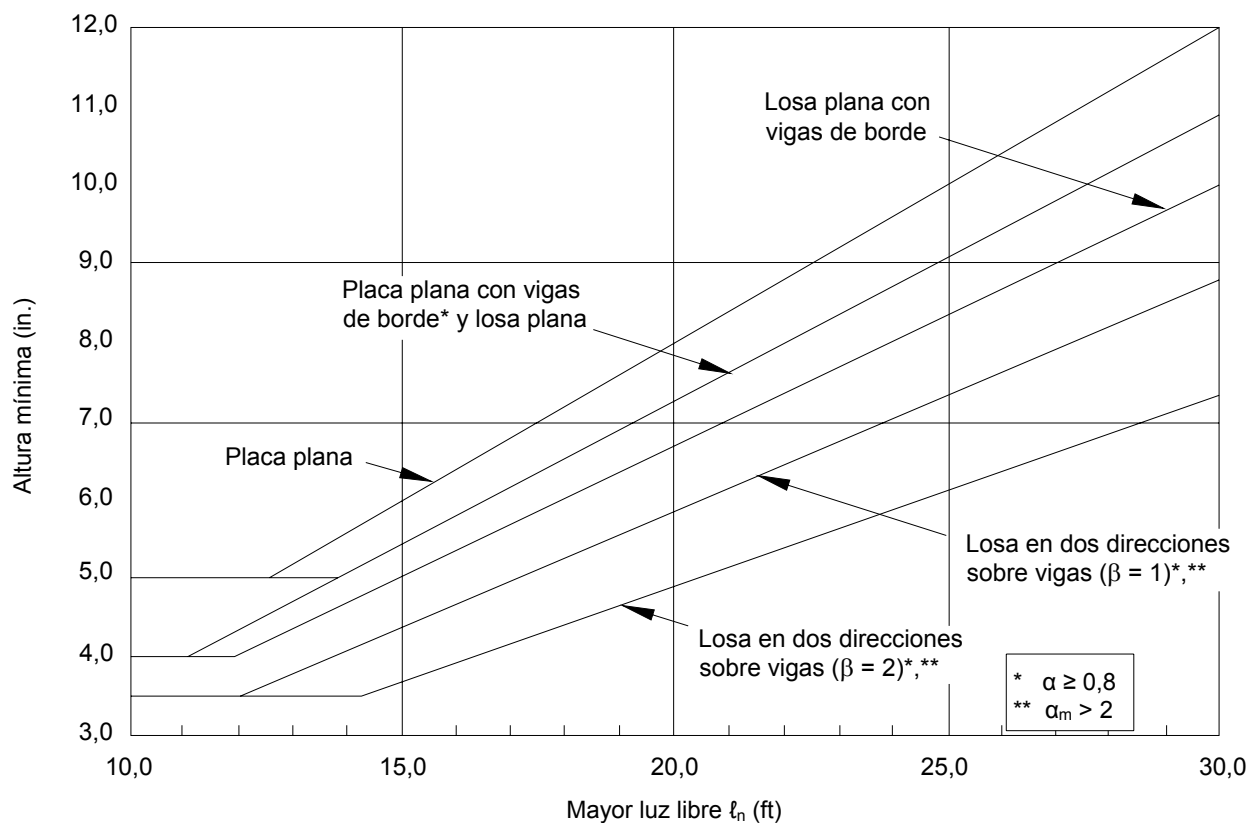


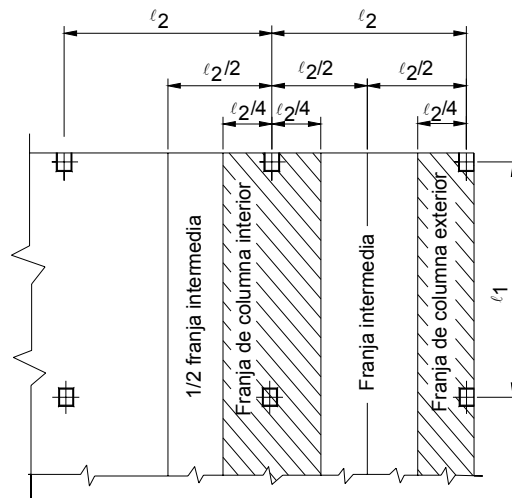
Figura 18-3 – Altura mínima para sistemas de losas en dos direcciones (ver Tabla 18-1)

## 13.2 DEFINICIONES

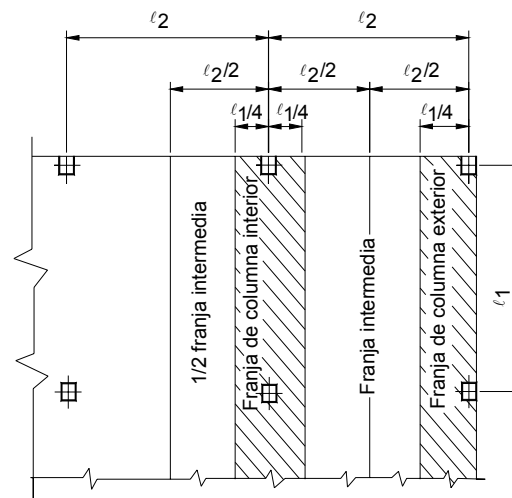
### 13.2.1 Franja de diseño

Para analizar un sistema de losas en dos direcciones ya sea mediante el Método de Diseño Directo (13.6) o mediante el Método del Pórtico Equivalente (13.7), el sistema de losas se divide en franjas de diseño que consisten en una franja de columna y la mitad de una o dos franjas intermedias según las definiciones dadas en los artículos 13.2.1 y 13.2.2, como se ilustra en la Figura 18-4. La franja de columna se define como una franja que tiene un ancho igual a la mitad de la luz transversal o longitudinal, cualquiera sea el valor que resulte menor. La franja intermedia es una franja limitada por dos franjas de columna. Sin embargo, para aplicar las definiciones dadas en el artículo 13.2.1 para franjas de columna en las cuales la luz es variable a lo largo de la franja de diseño, el diseñador debe aplicar su juicio profesional.

El motivo por el cual se especifica que la franja de columna se debe basar en la menor de las longitudes  $\ell_1$  o  $\ell_2$  es para tomar en cuenta la tendencia que tienen los momentos de concentrarse alrededor de la línea de columnas cuando la longitud de la franja de diseño es menor que su ancho.



(a) Franja de columna para  $\ell_2 \leq \ell_1$

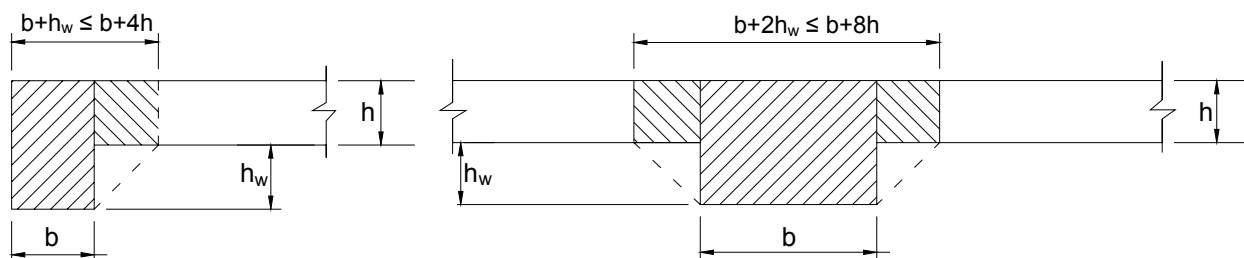


(b) Franja de columna para  $\ell_2 > \ell_1$

*Figura 18-4 – Definición de las franjas de diseño (13.2.4)*

### 13.2.4 Sección efectiva de una viga

Para los sistemas de losas con vigas entre sus apoyos, las vigas deben incluir partes de la losa a modo de alas, como se ilustra en la Figura 18-5. Las constantes de diseño y los parámetros de rigidez utilizados con el Método de Diseño Directo y el Método del Pórtico Equivalente se basan en las secciones de viga efectivas ilustradas.



*Figura 18-5 – Sección efectiva de una viga*

### 13.3 ARMADURA DE LAS LOSAS

- El área mínima de armadura en cada dirección para los sistemas de losas que trabajan en dos direcciones =  $0,0018bh$  ( $b$  = ancho de la losa,  $h$  = altura total) para barras de acero Grado 60, tanto para la armadura superior como para la armadura inferior (13.3.1).
- La máxima separación de las barras es  $2h$ , pero esta separación no debe ser mayor que 18 in. (13.3.2).
- En la Figura 13.3.8 se indican las prolongaciones mínimas para las armaduras en las losas sin vigas (placas planas y losas planas) (13.3.8.1).

Observar que los detalles de armado indicados en la Figura 13.3.8 no se aplican a las losas en dos direcciones con vigas entre sus apoyos ni a las losas que resisten cargas laterales en pórticos indesplazables o desplazables. Para estas losas se debe realizar un análisis general de acuerdo con el Capítulo 12 del Código para determinar las longitudes de las barras en base a la variación del momento, pero en ningún caso estas longitudes deben ser menores que las especificadas en la Figura 13.3.8 (13.3.8.4). En la revisión del Código efectuada en 1989, en vista de lo raro que resulta su aplicación en las construcciones actuales, algunos detalles de armado correspondientes al uso de barras dobladas en losas que trabajan en dos direcciones fueron eliminados de la Figura 13.3.8. Los diseñadores que deseen utilizar barras dobladas en un sistema de losas en dos direcciones deberán consultar la Figura 13.4.8 de la edición 1983 del Código.

De acuerdo con el artículo 13.3.6, se debe proveer armadura superior e inferior especial en las esquinas exteriores de las losas con vigas de borde en las cuales  $\alpha$  es mayor que 1,0. La armadura se debe diseñar para un momento igual al mayor momento positivo por unidad de ancho del panel, y se debe colocar en una franja paralela a la diagonal en la parte superior de la losa y en una franja perpendicular a la diagonal en la parte inferior de la losa (Figura 18-6(a)); alternatively, se la puede colocar en dos capas paralelas a los bordes de la losa tanto en la parte superior como en la parte inferior de la losa (Figura 18-6(b)). Además, la armadura se debe prolongar en una longitud como mínimo igual a un quinto de la mayor luz en cada dirección a partir de la esquina.

En las losas sin vigas, todas las barras inferiores contenidas en la franja de columna deben ser continuas o estar empalmadas con empalmes Clase A o mediante empalmes mecánicos o soldados que satisfagan los requisitos del artículo 12.14.3 (13.3.8.5) a fin de proveer algo de capacidad para que, en caso que algún apoyo falle o sufra algún daño, la losa pueda colgarse de un apoyo adyacente. Además, como mínimo dos de estas barras inferiores continuas deben atravesar la columna y estar ancladas en apoyos exteriores. En las construcciones con losas izadas y en las losas con armadura en forma de conectores de corte es posible que el espacio disponible no sea adecuado para que las barras de la armadura inferior de la franja de columna pasen a través de la columna. En estos casos, a través de la columna se deben disponer como mínimo dos barras inferiores continuas, con adherencia, en cada dirección, a través de los conectores de corte o de los collares de izaje, tan cerca de la columna como sea posible (13.3.8.6). Esta condición fue incorporada por primera vez en el Código 1992 y luego aclarada en 1999.

### 13.4 ABERTURAS EN LOS SISTEMAS DE LOSAS

El Código permite que en un sistema de losas haya aberturas de cualquier tamaño, siempre que se realice un análisis que demuestre que se satisfacen tanto los requisitos de resistencia como los requisitos de comportamiento en servicio (13.4.1). Para las losas sin vigas, está permitido obviar el análisis indicado en el artículo 13.4.1 cuando se satisfacen los requisitos establecidos en los artículos 13.4.2.1 a 13.4.2.4:

- En el área común de dos franjas intermedias que se intersecan, se permiten aberturas de cualquier tamaño (13.4.2.1).
- En el área común a dos franjas de columna que se intersecan, el tamaño máximo permitido para las aberturas es un octavo del ancho de la franja de columna en cualquiera de los dos tramos (13.4.2.2).
- En el área común a una franja de columna y una franja intermedia, el tamaño máximo permitido para las aberturas está limitado de manera tal que solamente se puede interrumpir, como máximo, un cuarto de la armadura de la losa en cualquiera de las franjas (13.4.2.3).

Es necesario mantener la cantidad total de armadura requerida para el panel sin aberturas, en ambas direcciones; por este motivo en los lados de la abertura se debe agregar una cantidad de armadura equivalente a la interrumpida por la misma. En la Figura 18-7 se ilustran los requisitos del artículo 13.4.2 para losas en las cuales se verifica  $\ell_2 > \ell_1$ . En la Parte 16 se presenta una discusión del efecto de las aberturas sobre la resistencia al corte del hormigón en losas sin vigas (13.4.2.4).

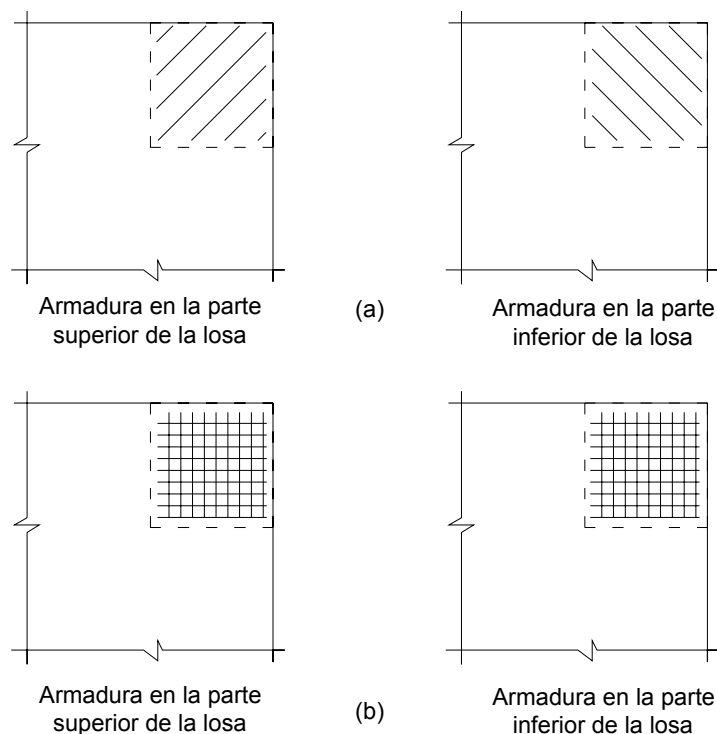


Figura 18-6 – Armadura adicional requerida en las esquinas de las losas apoyadas sobre vigas

## 13.5 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

El artículo 13.5.1 permite diseñar (analizar) los sistemas de losas en dos direcciones mediante cualquier método que satisfaga los requisitos de resistencia definidos en el Código (9.2 y 9.3) y todos los requisitos aplicables de comportamiento en servicio, incluyendo los valores límites especificados para las flechas (9.5.3).

**13.5.1.1 Análisis para cargas gravitatorias** – En el Capítulo 13 se presentan dos métodos para analizar los sistemas de losas en dos direcciones solicitados por cargas gravitatorias: el Método de Diseño Directo (MDD), más sencillo, presentado en la sección 13.6, y el Método del Pórtico Equivalente (MPE), más complejo, presentado en la sección 13.7. El Método de Diseño Directo es un método aproximado que utiliza coeficientes de momento, mientras que el Método del Pórtico Equivalente (análisis elástico) es más exacto. Con el procedimiento de análisis aproximado del Método de Diseño Directo se obtendrán valores de momento

razonablemente conservadores para las condiciones de diseño establecidas para los sistemas de losas comprendidos dentro de las limitaciones del artículo 13.6.1.

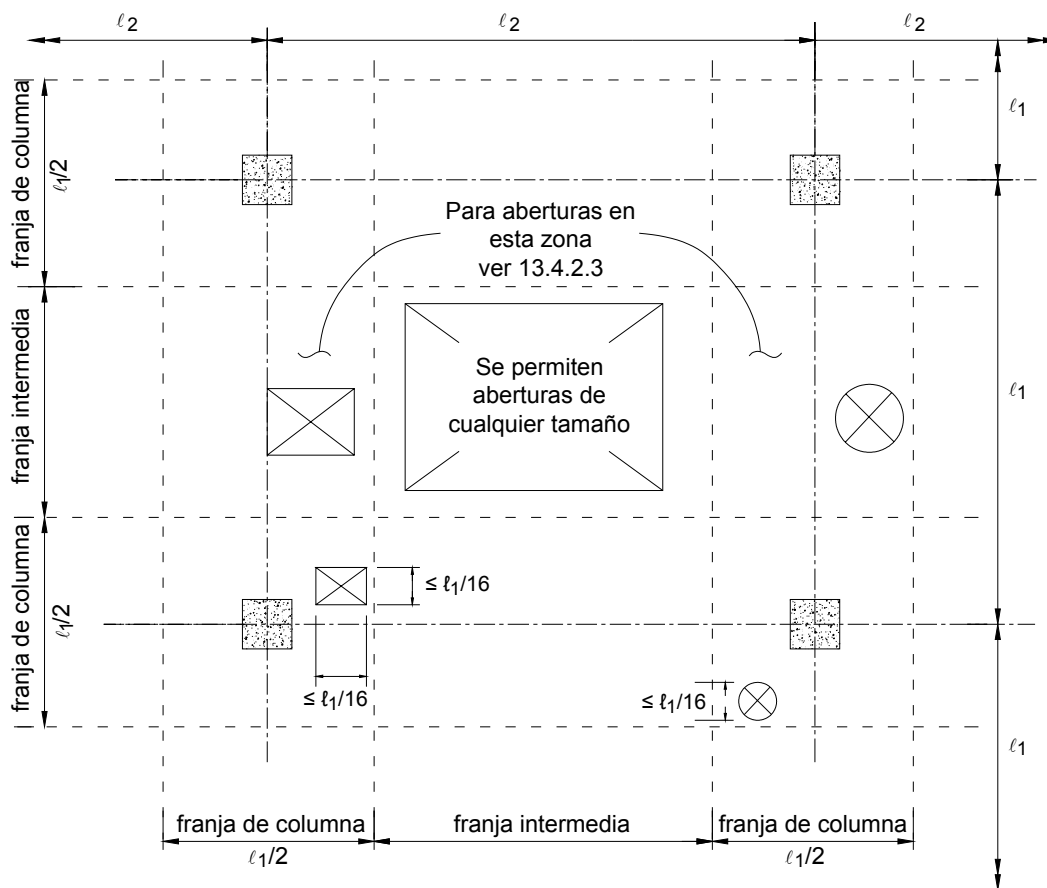


Figura 18-7 – Aberturas permitidas en los sistemas de losas sin vigas para  $\ell_2 > \ell_1$

Estos dos métodos de análisis sólo son aplicables para el caso de cargas gravitatorias, y su aplicación se limita a construcciones con columnas y/o tabiques dispuestos formando un patrón esencialmente ortogonal, es decir, construcciones en las cuales los pórticos longitudinales y transversales son perpendiculares entre sí. Ambos métodos son aplicables a losas con o sin vigas entre sus apoyos. Observar que ninguno de los dos métodos es aplicable a los sistemas de losas en los cuales hay vigas que apoyan sobre otras vigas; las vigas deben estar ubicadas sobre las líneas de columnas, y deben estar soportadas directamente por las columnas o por otros apoyos indeformables en las esquinas de los paneles de losa.

**13.5.1.2 Análisis para cargas laterales** – Para el análisis de los pórticos solicitados por cargas laterales, el diseñador puede modelar la estructura utilizando cualquier enfoque que satisfaga las condiciones de equilibrio y compatibilidad geométrica, y que concuerde razonablemente con los datos de ensayos disponibles. Los procedimientos considerados aceptables incluyen los modelos de elementos finitos para placas solicitadas a flexión, los modelos que consideran un ancho de viga efectivo, y el modelo del pórtico equivalente. Las rigideces de los elementos del pórtico usadas en el análisis deben reflejar los efectos de la fisuración de la losa, sus parámetros geométricos y la concentración de armaduras.

Durante la vida útil de la estructura, las sobrecargas habituales y los cambios de volumen provocados por los efectos de la contracción y la temperatura provocarán la fisuración de la losa. Para asegurar que no se subestime el desplazamiento lateral provocado por las cargas de viento o las cargas sísmicas, es necesario considerar la fisuración de las losas en las hipótesis de rigidez para el cálculo del desplazamiento lateral.

La rigidez de los elementos de las losas no sólo se ve afectada por la fisuración, sino también por otros parámetros tales como  $\ell_2/\ell_1$ ,  $c_1/\ell_1$ ,  $c_2/c_1$ , y por la concentración de armadura dentro del ancho de losa para transferencia del momento no balanceado por



flexión definida en el artículo 13.5.3.2. Esta mayor concentración de armadura aumenta la rigidez impidiendo la fluencia prematura y el ablandamiento en la losa cerca de las columnas de apoyo. Para el análisis bajo cargas laterales es importante considerar la rigidez real debida a estos factores, ya que el desplazamiento lateral puede afectar significativamente los momentos en las columnas, especialmente en las estructuras aporticadas de gran altura. Además, el desplazamiento lateral real correspondiente a un único piso o correspondiente a la totalidad de la estructura es una consideración importante desde el punto de vista de la estabilidad y el comportamiento estructural.

La fisuración reduce la rigidez de los elementos con respecto a la de un entrepiso no fisurado. La magnitud de la pérdida de rigidez provocada por la fisuración dependerá del tipo de sistema de losa y de los detalles de armado. Por ejemplo, los sistemas de losas prefabricadas en las cuales la fisuración se reduce por efecto del pretensado y los sistemas de losas con vigas de grandes dimensiones entre las columnas perderán menos rigidez que los sistemas de placas planas convencionales.

Antes del Código 1999, el comentario indicaba que era razonable considerar valores de rigidez en base a la Ecuación (9-8). Sin embargo, esta indicación se eliminó del comentario en 1999, ya que la Ecuación (9-8) no representa adecuadamente factores tales como los efectos del cambio de volumen y la aplicación de cargas a edad temprana. Ya que resulta difícil evaluar el efecto de la fisuración sobre la rigidez, en general alcanza con utilizar un valor límite inferior. En base a la hipótesis de losa totalmente fisurada con armadura mínima en todas sus ubicaciones, debería ser razonable adoptar para la losa una rigidez igual a un cuarto de la basada en el área bruta de hormigón ( $K_{sb}/4$ ). También se puede evaluar la fisuración en forma detallada. Como las losas normalmente no tienen más que la armadura mínima y tampoco están totalmente fisuradas, excepto bajo condiciones muy excepcionales, se anticipa que el valor de un cuarto indicado constituirá un límite inferior seguro para la rigidez bajo cargas laterales. En R13.5.1.2 el lector encontrará lineamientos sobre la rigidez a adoptar para los análisis bajo cargas laterales.

Los momentos obtenidos mediante el Método del Pórtico Equivalente (o mediante el Método de Diseño Directo) para cargas gravitatorias se pueden superponer con los momentos obtenidos de un análisis para cargas laterales (13.5.1.3). Alternativamente, para analizar las cargas laterales se puede utilizar el Método del Pórtico Equivalente, siempre que se lo modifique para tomar en cuenta la reducción de la rigidez de las losas.

Tanto para el análisis bajo cargas verticales como para el análisis bajo cargas laterales, los momentos en las secciones críticas de las losas se distribuyen transversalmente de acuerdo con los artículos 13.6.4 (franjas de columna) y 13.6.6 (franjas intermedias).

### **13.5.4 Corte en los sistemas de losas que trabajan en dos direcciones**

Si los sistemas de losas que trabajan en dos direcciones están apoyados sobre vigas o tabiques, es poco frecuente que el corte en la losa sea un factor crítico para el diseño, ya que el esfuerzo de corte correspondiente a las cargas mayoradas generalmente está muy por debajo de la resistencia al corte del hormigón.

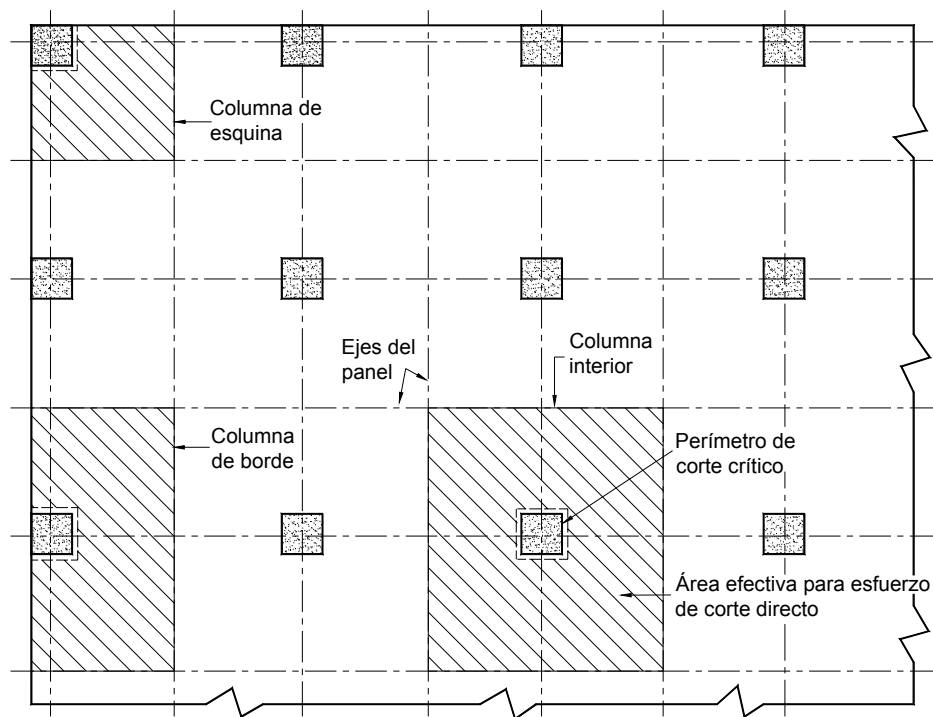
Por el contrario, si las losas en dos direcciones apoyan directamente sobre las columnas como en el caso de las placas planas o las losas planas, el corte alrededor de las columnas constituye un factor crítico. La resistencia al corte de las uniones losa-columna exterior (sin viga de borde) es particularmente crítica ya que la totalidad del momento exterior negativo de la losa se debe transferir directamente a la columna. El diseñador no debe tomar a la ligera este aspecto del diseño de las losas en dos direcciones. Los sistemas de losas que trabajan en dos direcciones generalmente son bastante "tolerantes" si se comete un error en la distribución o incluso en la cantidad de armadura de flexión, pero no habrá tolerancia si no se provee la resistencia al corte requerida.

Para los sistemas de losas que apoyan directamente sobre columnas, se aconseja verificar la resistencia al corte de la losa en la proximidad de las columnas en una etapa temprana del diseño, como se ilustra en la Figura 18-8.

Para diseñar placas planas o losas planas que apoyan directamente sobre columnas es necesario considerar dos tipos de corte. El primero es el corte en una dirección o el corte "tipo viga," que puede resultar crítico en el caso de losas largas y angostas. El análisis del corte en una dirección considera que la losa actúa como una viga ancha que se extiende entre las columnas. La sección crítica se toma a una distancia  $d$  medida a partir de la cara de la columna. El análisis para el corte en una dirección consiste en verificar que se satisfaga el requisito indicado en la Figura 18-9(a). Es poco frecuente que el corte en una dirección sea un factor crítico para el diseño de una losa, ya que el esfuerzo de corte habitualmente será mucho menor que la resistencia al corte del hormigón.

En general el corte en dos direcciones o "punzonado" es el tipo de corte más crítico en los sistemas de losas que apoyan directamente sobre columnas. El punzonado considera una falla a lo largo de la superficie de un cono o pirámide truncada

alrededor de la columna. La sección crítica se toma perpendicular a la losa a una distancia igual a  $d/2$  medida a partir del perímetro de la columna. El esfuerzo de corte  $V_u$  a ser resistido se puede calcular fácilmente como la carga mayorada total que actúa sobre el área limitada por los ejes de los paneles alrededor de la columna, menos la carga aplicada dentro del área definida por el perímetro de corte crítico (ver Figura 18-8).



*Figura 18-8 – Ubicaciones críticas para la resistencia al corte de una losa*

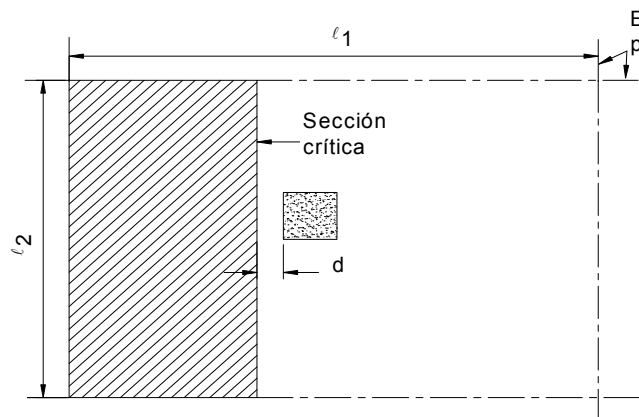
Si la transferencia de momento de la losa a la columna no es significativa, el diseño al punzonado consiste en verificar que se satisfagan los requisitos de la Figura 18-9(b). Para el diseño práctico, alrededor de las columnas de apoyo interiores de la losa sólo hay corte directo (uniformemente distribuido alrededor del perímetro  $b_o$ ) cuando no hay transferencia de momento entre la losa y la columna (o cuando la transferencia de momento es insignificante). Es posible que sea necesario transferir momentos significativos cuando hay que transferir cargas gravitatorias no balanceadas a ambos lados de una columna interior o cargas laterales de viento. En las columnas de apoyo exteriores de la losa, el momento exterior total de la losa provocado por las cargas gravitatorias (más cualquier momento provocado por las cargas laterales de viento o sísmicas) se debe transferir directamente a la columna.

### 13.5.3 Transferencia de momento en las uniones losa-columna

La transferencia de momento entre una losa y una columna ocurre por una combinación de flexión (13.5.3) y excentricidad del corte (11.12.6.1). Se asume que el corte debido a la transferencia de momento actúa sobre una sección crítica ubicada a una distancia  $d/2$  medida a partir de la cara de la columna (la misma sección crítica alrededor de la columna usada para transferencia de corte directo; ver la Figura 18-9(b)). Se asume que la fracción del momento transferido por flexión se transfiere en un ancho de losa igual al ancho transversal de la columna  $c_2$  más 1,5 veces la altura de la losa ( $1,5h$ ) a ambos lados de la columna (13.5.3.2). En este ancho de losa efectivo se utiliza armadura negativa concentrada para resistir el momento. La tensión de corte combinada debida a corte directo y transferencia de momento muchas veces determina el diseño, especialmente en los apoyos de la losa en las columnas exteriores.

Las fracciones del momento no balanceado total  $M_u$  a ser transferidas por excentricidad del corte y por flexión están dadas por las Ecuaciones (11-39) y (13-1), respectivamente, en las cuales  $\gamma_v M_u$  se considera transferido por excentricidad del corte y  $\gamma_f M_u$  se considera transferido por flexión. En una columna interior cuadrada en la cual  $b_1 = b_2$  el 40% del momento es transferido por excentricidad del corte ( $\gamma_v M_u = 0,40M_u$ ), y el 60% por flexión ( $\gamma_f M_u = 0,60M_u$ ), siendo  $M_u$  el momento de transferencia en el

baricentro de la sección crítica. En el Método del Pórtico Equivalente los momentos se calculan en el eje de la columna, mientras que en el Método de Diseño Directo los momentos se calculan en la cara del apoyo. Considerando la naturaleza aproximada del procedimiento usado para evaluar la distribución de tensiones debida a la transferencia de momento, no parece necesario ajustar el momento para usar el que ocurre en el baricentro de la sección crítica. En general usando los valores del momento en el centro de la columna (MPE) o en la cara del apoyo (MDD) se obtienen resultados cuya precisión es suficiente.

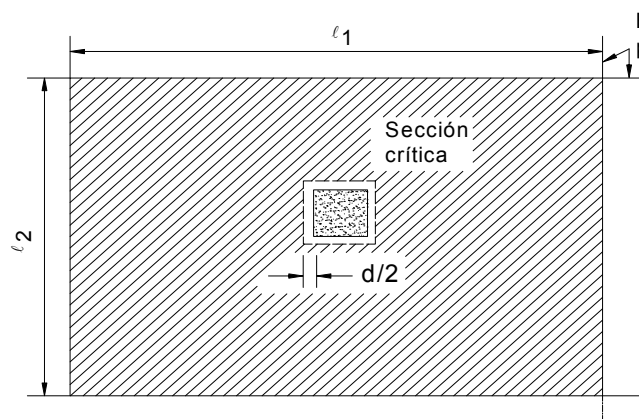


(a) Corte en una dirección

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$\leq \phi 2 \sqrt{f'_c} \ell_2 d$$

siendo  $V_u$  el esfuerzo de corte mayorado (carga total mayorada sobre la superficie sombreada).



(b) Corte en dos direcciones

$$V_u \leq \phi V_c$$

donde:

$$\phi V_c = \text{menor de } \begin{aligned} &\phi \left( 2 + \frac{4}{\beta_c} \right) \sqrt{f'_c} b_o d \\ &\phi \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'_c} b_o d \\ &\phi 4 \sqrt{f'_c} b_o d \end{aligned}$$

$V_u$  = esfuerzo de corte mayorado (carga total mayorada que actúa sobre la superficie sombreada), kips

$b_o$  = perímetro de la sección crítica

$\beta_c$  = lado mayor/lado menor de la superficie de reacción

$\alpha_s$  = constante (11.12.2.1 (b))

Figura 18-9 – Corte directo en un apoyo sobre columna interior (ver Figura 18-8))

La tensión de corte mayorada en la sección crítica de transferencia es la sumatoria del corte directo más el corte provocado por transferencia de momento:

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_v M_u c}{J}$$

Para las losas que apoyan sobre columnas cuadradas la tensión de corte  $v_u$  no debe ser mayor que  $\phi 4 \sqrt{f'_c}$ .

El cálculo de la tensión de corte combinada involucra las siguientes propiedades de la sección crítica de transferencia:

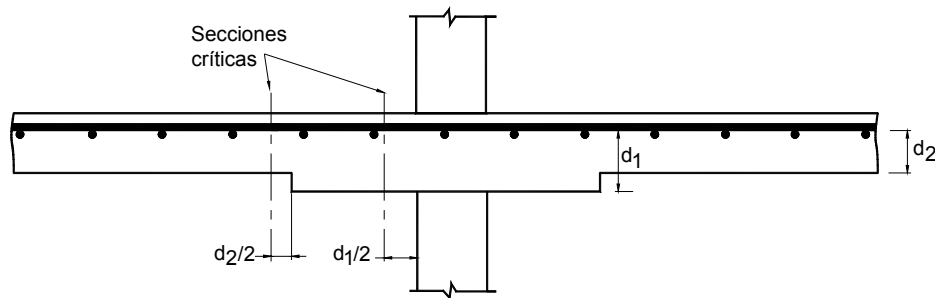
$A_c$  = área de la sección crítica

$c$  = distancia entre el baricentro de la sección crítica y la cara de la sección donde se calcula la tensión

$J$  = propiedad de la sección crítica análoga al momento de inercia polar

Estas propiedades se dan en la Parte 16. Observar que en el caso de las losas planas es necesario considerar dos secciones críticas diferentes para calcular el punzonado, como se ilustra en la Figura 18-10.

La transferencia de momento no balanceado entre una losa y una columna de borde (sin vigas de borde) requiere particular atención cuando la losa se analiza para cargas gravitatorias aplicando el Método de Diseño Directo. Ver la discusión sobre el artículo 13.6.3.6 en la Parte 19.



*Figura 18-10 – Secciones críticas de transferencia de corte en las losas planas*

Los requisitos del artículo 13.5.3.3 fueron introducidos por primera vez en el Código en 1995. En los apoyos exteriores, para los momentos no balanceados respecto de un eje paralelo al borde, la fracción del momento transferida por excentricidad del corte,  $\gamma_v M_u$ , se puede reducir a cero siempre que el corte mayorado en el apoyo (excluyendo el corte producido por la transferencia de momento) no sea mayor que 75 por ciento de la resistencia al corte  $\phi V_c$  definida en el artículo 11.12.2.1 para el caso de las columnas de borde, ni mayor que 50 por ciento para el caso de las columnas de esquina. Ensayos realizados indican que en estos casos no hay interacción significativa entre el corte y el momento no balanceado en el apoyo exterior. Se debe observar que a medida que disminuye  $\gamma_v M_u$  aumenta  $\gamma_f M_u$ .

Ensayos realizados en apoyos interiores indican que también en este caso es posible cierta flexibilidad en la distribución del momento no balanceado por corte y flexión, pero con limitaciones mucho más severas que en el caso de los apoyos exteriores. Para los apoyos interiores, se permite aumentar el momento no balanceado transferido por flexión hasta 25 por ciento, siempre que el corte mayorado total (excluyendo el corte producido por la transferencia de momento) en el apoyo interior no sea mayor que 40 por ciento de la resistencia al corte  $\phi V_c$  definida en el artículo 11.12.2.1.

Observar que las modificaciones arriba indicadas sólo se permiten cuando la cuantía de armadura  $\rho$  dentro del ancho efectivo de losa definido en el artículo 13.5.3.2 es menor o igual que  $0,375\rho_b$ . La intención de este requisito es mejorar el comportamiento dúctil de la unión losa-columna.

## NOTA

El Método de Diseño Directo y el Método del Pórtico Equivalente para el análisis de los sistemas de losas en dos direcciones bajo cargas gravitatorias se discuten detalladamente en las secciones siguientes, Partes 19 y 20, respectivamente.