

“DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO ACI 318-05”

CURSO IMCYC, AGOSTO 15-17, 2005

Ciudad de México, DF,

Elaborado por: Dr. Mario E. Rodríguez, mrod@servidor.unam.mx

LONGITUD DE DESARROLLO Y TRASLAPES DEL ACERO DE REFUERZO

- El concepto de longitud de desarrollo se basa en emplear un esfuerzo promedio de adherencia en la longitud del refuerzo embebido en el elemento.
- De acuerdo con el ACI 318-05 la expresión para la longitud de desarrollo en barras corrugadas, l_d/d_b para el caso de barras en tensión es:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{1}{3.5} \frac{f_y}{\sqrt{f'c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \lambda}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \quad (12-1)$$

(f_y y $f'c$ en Kg/cm²)

El término $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ no debe ser mayor que 2.5 (para evitar efecto de “pull out” en la barra, es decir efecto de deslizamiento).

c_b es el factor que representa el menor recubrimiento lateral, recubrimiento sobre la barra o la mitad del espaciamiento a centros de las barras (el recubrimiento se mide a centro de barra).

K_{tr} representa la contribución del confinamiento a lo largo de posibles planos de fractura del concreto.

ψ_t : factor relacionado con el efecto indeseable de colado en refuerzo de lecho superior

ψ_e : factor relacionado con el efecto de recubrimiento de epóxicos

ψ_s : factor relacionado con el efecto del diámetro de la barra

λ : efecto de concreto ligero

- Alternativamente se puede usar la siguiente tabla simplificada:

TABLA EN SECCION 12.2.2 (unidades en kg, cm)

CASOS	No. 6 y menores	No. 7 y mayores
CASO A	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{f_y * \psi_t * \psi_e * \lambda}{6.6 \sqrt{f'c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{f_y * \psi_t * \psi_e * \lambda}{5.3 \sqrt{f'c}}$
OTROS CASOS	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{1}{4.4} \frac{f_y * \psi_t * \psi_e * \lambda}{\sqrt{f'c}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{1}{3.5} \frac{f_y * \psi_t * \psi_e * \lambda}{\sqrt{f'c}}$

CASO A: espaciamiento a caras de barras no menores que d_b , recubrimiento a cara no menor de d_b y estribos no menores que el mínimo especificado por el ACI. También los casos de espaciamientos no menores que $2d_b$ y recubrimientos a caras no menor que d_b .

- Ejemplo de aplicación de tabla en 12.2.2 para barras No. 6 o menores:

Estructuras en concreto convencional	$\lambda = 1.0$
Sin epóxicos	$\psi_e = 1.0$
Barra lecho inferior	$\psi_t = 1.0$

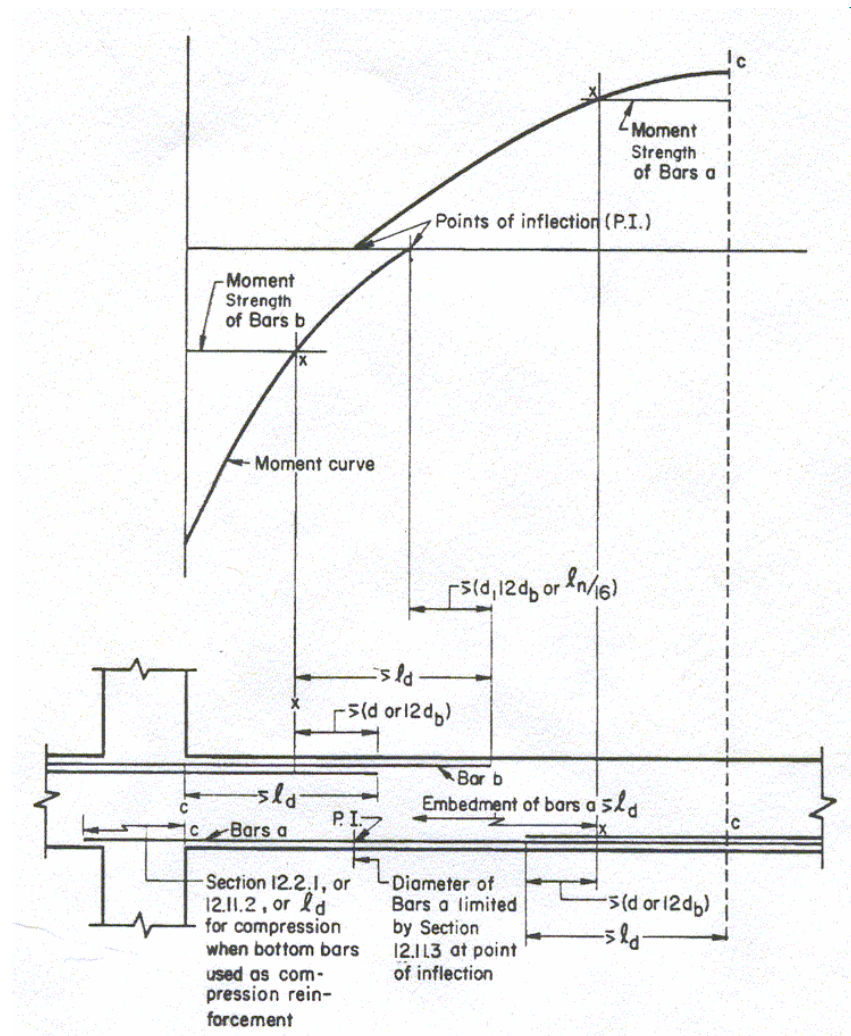
$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$

CASO A:
$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{4200 * 1 * 1 * 1}{6.6 \sqrt{300}} = 37$$

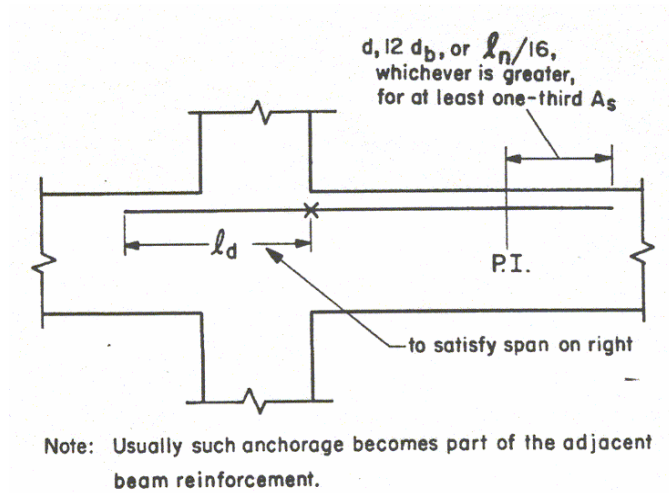
CASO B:
$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{1}{4.4} \frac{4200 * 1 * 1 * 1}{\sqrt{300}} = 55$$

Lo anterior indica que para los casos comunes arriba mencionados, si en el diseño se tiene un recubrimiento mínimo de d_b y un espaciamiento mínimo de $2d_b$ o d_b , así como un mínimo de estribos, entonces $l_d = 37d_b$. En otros casos, que se tengan recubrimientos o espaciamientos mayores se requiere mas longitud de desarrollo, es decir, $l_d = 55 d_b$.

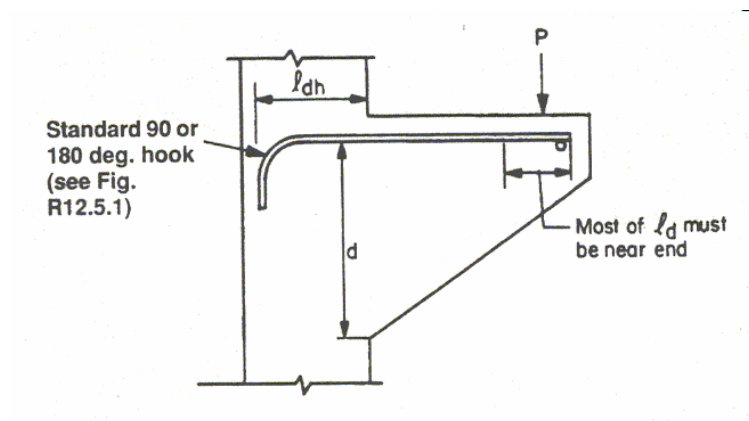
LONGITUD DE DESARROLLO DE ACERO DE REFUERZO EN TENSION PRODUCIDO POR FLEXIÓN



a) Desarrollo de refuerzo a flexión en una viga continua típica



b) Desarrollo de refuerzo para momento negativo



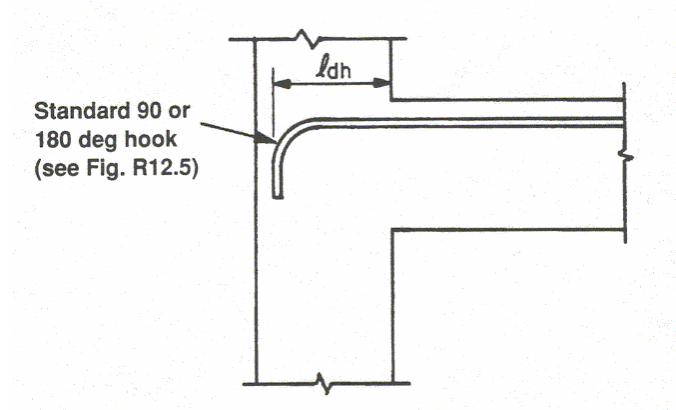
c) Elemento especial que principalmente depende de anclaje en su extremo

LONGITUD DE DESARROLLO EN PAQUETE DE BARRAS (Sección 12.4)

La longitud de desarrollo de barras individuales dentro de un paquete, en tensión o compresión, es la de la barra individual incrementada un 20 % para un paquete de tres barras, y un 33% para un paquete de cuatro barras.

LONGITUD DE DESARROLLO DE BARRAS QUE TERMINAN EN GANCHO "ESTÁNDAR" (Sección 12.5, cambió en ACI 318-2002)

Definición de gancho "estandar"



COMMENTARY

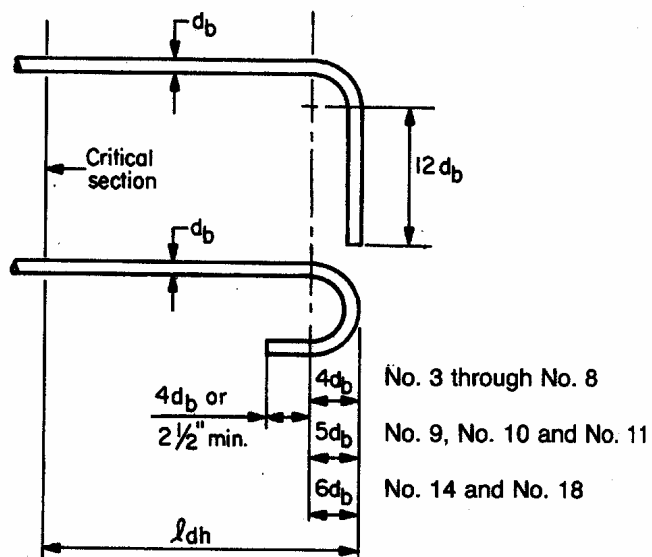


Fig. R12.5—Hooked bar details for development of standard hooks

Gancho "estandar"

La longitud de desarrollo en un gancho "estandar", l_{dh} , en unidades métricas (kg, cm) se debe calcular a partir de 12.5.2 y los factores de 12.5.3 cuando son aplicables, pero l_{dh} no debe ser menor de $8 d_b$ o 15 cm.

Sección 12.5.2

En barras corrugadas l_{dh} se debe calcular como $(\psi_e \lambda f_y / 13.2 \sqrt{f'_c}) d_b$

En esta expresión λ es 1.3 para concreto ligero, ψ_e es 1.2 para refuerzo con recubrimiento epóxico, y para otros casos ψ_e y λ se deben tomar como 1.0

Sección 12.5.3

La longitud l_{dh} se podrá multiplicar por los siguientes factores:

- En ganchos de 90° con diámetros del No 11 y menores, con recubrimiento en el gancho igual o mayor de 5 cm, el factor es 0.7.
- En ganchos de 90° con diámetros del No 11 y menores con ganchos o estribos perpendicular a la barra en desarrollo, con separaciones no mayores de 3 d_b a lo largo de l_{dh} , ó cerradas con estribos o ganchos paralelo a la barra que se desarrolla y espaciadas a separaciones no mayores de 3 d_b a lo largo del doblez mas la parte vertical del gancho el factor es 0.8
- En ganchos de 180° con diámetros del No 11 y menores con ganchos o estribos perpendicular a la barra en desarrollo, con separaciones no mayores de 3 d_b a lo largo de l_{dh} , el factor es 0.8
- Donde el anclaje o desarrollo para f_y no es específicamente requerido, es decir cuando el refuerzo suministrado es mayor que el requerido, el factor es $(A_s \text{ requerido} / A_s \text{ suministrado})$

EJEMPLO DE APLICACIÓN SECCION 12.5

“DESARROLLO DE GANCHOS ESTANDAR EN TENSION”

Se requiere calcular la longitud de desarrollo de un gancho estándar, l_{dh} , de una barra de diámetro 2.54 cm, $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$, con recubrimiento lateral de 4.5 cm, los estribos se colocan en toda la longitud, l_{dh} , con separación de 10 cm. El concreto es de 300 kg/cm^2 , normal, y el acero de refuerzo no tiene recubrimiento de epóxico.

- Cálculo de la longitud de desarrollo l_{dh}

$$l_{dh} = (\psi_e \lambda f_y / 13.2 \sqrt{f'_c}) d_b$$

- Efecto de concreto, $\lambda = 1$ (Si es concreto ligero $\lambda = 1.3$)
- Efecto de epóxico, $\psi_e = 1$ (Si hay epóxico $\psi_e = 1.2$)

- *Revisión de factores por los que se podría multiplicar l_{dh} si se cumplen situaciones especificadas en la sección 12.5.3*

c) Efecto del recubrimiento del concreto

Recubrimiento de 4.5 cm, menor que 6.4 cm (2-1/2"), por tanto el factor de 0.7 no aplica, usar:

Factor = 1

d) Estribos: para usar el factor 0.8 es necesario una separación máxima de estribos no mayor de $3 d_b$, en este caso $3(2.54) = 7.5$ cm. Como se está usando un valor de 10 cm, este factor de 0.8 no aplica, usar:

Factor = 1

e) Efecto de esfuerzo de fluencia de barra

As requerido/As suministrado)

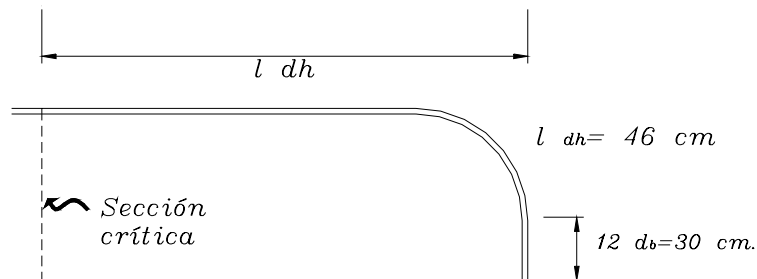
$$\text{Factor} = f_y / 4,200 = 4,200 / 4,200 = 1$$

En resumen:

$$l_{dh} = (1.0 \times 1.0 \times 4,200 / 13.2) d_b / \sqrt{f_c}$$

$$l_{dh} = 317 d_b / \sqrt{f_c} = 317 (2.54) / \sqrt{300} = 46 \text{ cm}$$

- El resultado es:



LONGITUD DE DESARROLLO DE BARRAS QUE TERMINAN EN GANCHO “ESTÁNDAR” Y BARRAS RECTAS EN ZONAS SÍSMICAS (CAPITULO 21)

- Un gancho estándar se define como aquellos a 90° con una parte recta al final de longitud $12d_b$, o en el caso de gancho a 180° cuando esta parte recta es de $4d_b$ (sección 7.1 ACI).
- De acuerdo con la sección 21.5.4.2 del capítulo 21 del ACI para el caso de 90° en concreto normal, l_{dh} no debe ser menor que cualquiera de los siguientes valores (barras No.3 a 11):

1. $8 d_b$
2. 15 cm
3. $\frac{f_y d_b}{17.2 \sqrt{f'_c}}$

Además, el gancho de 90° se debe ubicar dentro de la parte confinada de la columna o en un elemento de borde.

- En los casos de barras rectas, No. 3 al 11, la longitud de desarrollo l_d no debe ser menor que (a) y (b):
 - a) 2.5 veces la requerida en 21.5.4.1 si el concreto bajo la barra no excede 30 cm.
 - b) 3.5 veces la requerida en 21.5.4.1 si el concreto bajo la barra excede 30 cm.

TRASLAPES DE ACERO DE REFUERZO CORRUGADO QUE TRABAJA EN TENSIÓN (Sección 12.15, desde ACI 318-99)

- La mínima longitud de traslape en tensión depende de si es tipo A o B (como se define en lo que sigue), pero no debe ser menor que 25 cm.

Traslape tipo A $1.0 l_d$

Traslape tipo B $1.3 l_d$

- En general los traslapes deben ser del tipo B, excepto que se permite el traslape tipo A si se cumple lo siguiente:
 - a) El área de refuerzo existente en la longitud de traslape es al menos dos veces el área requerida por el análisis.
 - b) La mitad o menos del total del refuerzo se traslapa en la longitud considerada.

TRASLAPES DE ACERO DE REFUERZO EN ZONAS SÍSMICAS

- No se deben de usar en barras mayores de No. 11.
- El Capítulo 21 especifica que los traslapes en estructuras en zonas sísmicas se permiten sólo si existen estribos cerrados o refuerzo en espiral en la longitud de traslape. La separación máxima de este refuerzo transversal no debe exceder $d/4$ ó 10 cm.
- Los traslapes no se deben de emplear en (sección 21.3.2.3):
 - a) Nodos en marcos
 - b) Dentro de una distancia $2h$ a la cara del nudo (h es el peralte del miembro)
 - c) En zonas donde el análisis indique fluencia por flexión del refuerzo debido a la respuesta del marco a acciones laterales.

CONECTORES MECÁNICOS EN ZONAS SÍSMICAS (Capítulo 21, requisitos desde ACI 318-99)

(21.2.6.1) Se clasifican en dos tipos:

- a) **Tipo 1** : Desarrolla en tensión o compresión 1.25 veces el esfuerzo especificado f_y en la barra que se conecta.

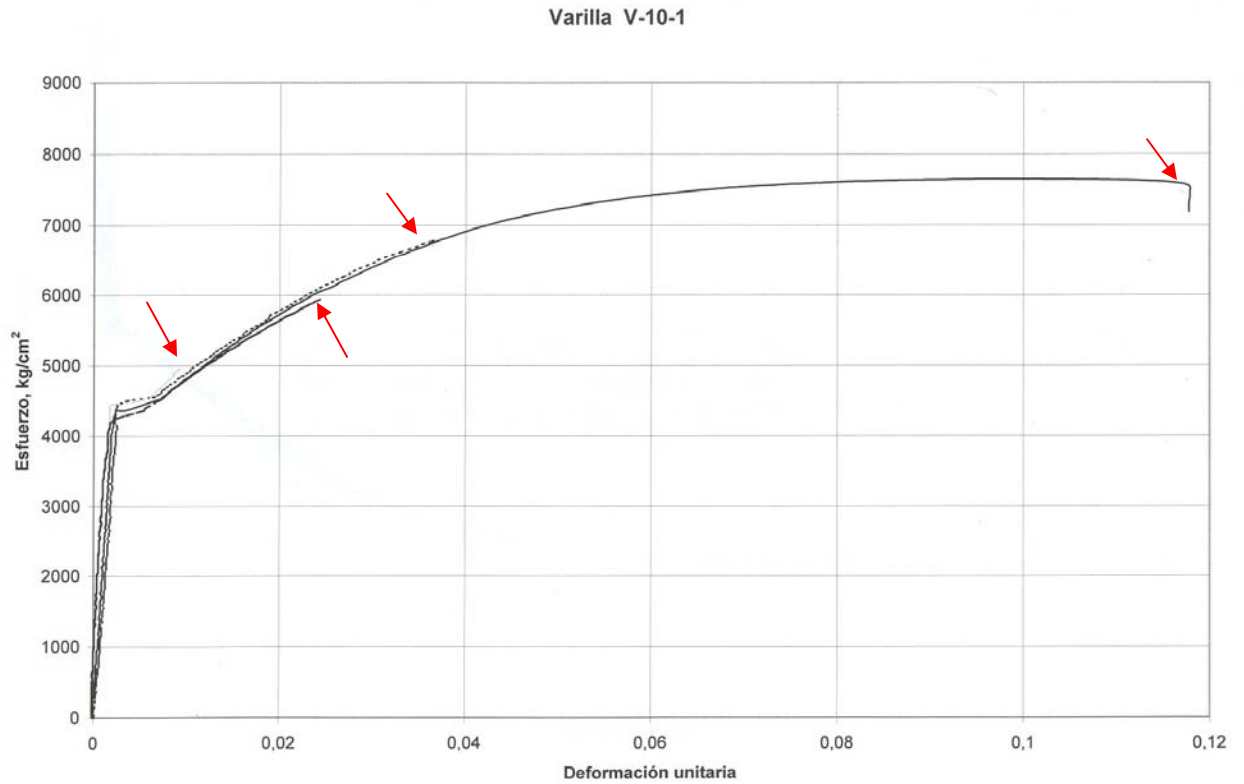
- b) **Tipo 2** : Debe resistir la resistencia en tensión especificada de la barra que se conecta.

(21.2.6.2). El conector tipo 1 no se debe usar dentro de una distancia igual a dos veces el peralte del elemento, medido desde la cara de la columna o trabe, o de secciones donde es probable la fluencia del acero de refuerzo como resultado de desplazamientos laterales de la estructura.

El conector tipo 2 se puede emplear en cualquier ubicación.

SOLDADURA DE ACERO DE REFUERZO EN ZONAS SÍSMICAS (Capítulo 21, 21.2.7, requisitos desde ACI 318-99)

- La soldadura en acero de refuerzo debe seguir las especificaciones de ANSI/AWS D1.4 y **no** se deben emplear dentro de una distancia igual a dos veces el peralte del miembro medido desde la cara de la columna o trabe o de donde es probable que ocurra fluencia como resultado de desplazamientos laterales de la estructura.
- Estribos, ganchos, anclajes, etc, requeridos en el diseño, no se deben soldar al refuerzo longitudinal (21.2.7.2).



Comparacion de resultados de ensayos en tensión de varillas #10 sin soldar y soldadas con electrodo E90-18. Ensayes efectuados en el Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio 2005.

“DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO ACI 318-05”

CURSO IMCYC, AGOSTO 15-17, 2005

Ciudad de México, DF,

Elaborado por: Dr. Mario E. Rodríguez, mrod@servidor.unam.mx

SISTEMAS DE LOSAS EN DOS DIRECCIONES

Procedimiento de diseño (Sección 13.5)

- (13.5.1). Un sistema de losas se puede diseñar por cualquier procedimiento que satisface condiciones de equilibrio y de compatibilidad geométrica, si se demuestra que la resistencia de diseño en cada sección es al menos igual a la resistencia requerida establecida en 9.2 (combinaciones de carga) y 9.3 (factores de reducción de resistencia, ϕ) y que además se cumplen las condiciones de servicio.
- (13.5.1.1) El diseño por cargas gravitacionales de sistemas de losas se puede llevar a cabo con cualquiera de los dos criterios siguientes:
 - a) Método de diseño directo (sección 13.6)
 - b) Método del Marco Equivalente (sección 13.7)

EFFECTO DE COMBINACION DE CARGAS GRAVITACIONALES Y ACCIONES LATERALES (VIENTO O SISMO)

- Sección 13.5.3. Cuando se combinen cargas gravitacionales, viento, sismo ú otras acciones laterales, es necesario transmitir un momento de desbalanceo entre la losa y columna. Parte de esta transmisión se efectúa por cortante y otra por flexión. La parte que se transmite por cortante se debe de hacer de acuerdo con los criterios del capitulo 11 del ACI, cortante y torsión (sección 11.12.6). La distribución de esfuerzos que se supone en este caso se muestra en la figura 1. .
- La fracción del momento de desbalanceo M_u , que se transmite por flexión es $\gamma_f M_u$ y se efectúa en un ancho de losa centrado a eje de columna igual a $1.5h$, donde h es el peralte de la losa y el parámetro γ_f se define como :

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}}$$

En la expresión anterior b_1 es la dimensión de la sección crítica medida en la dirección en la que se evalúa el momento y b_2 es la dimensión de la sección crítica medida en la dirección perpendicular a b_1 .

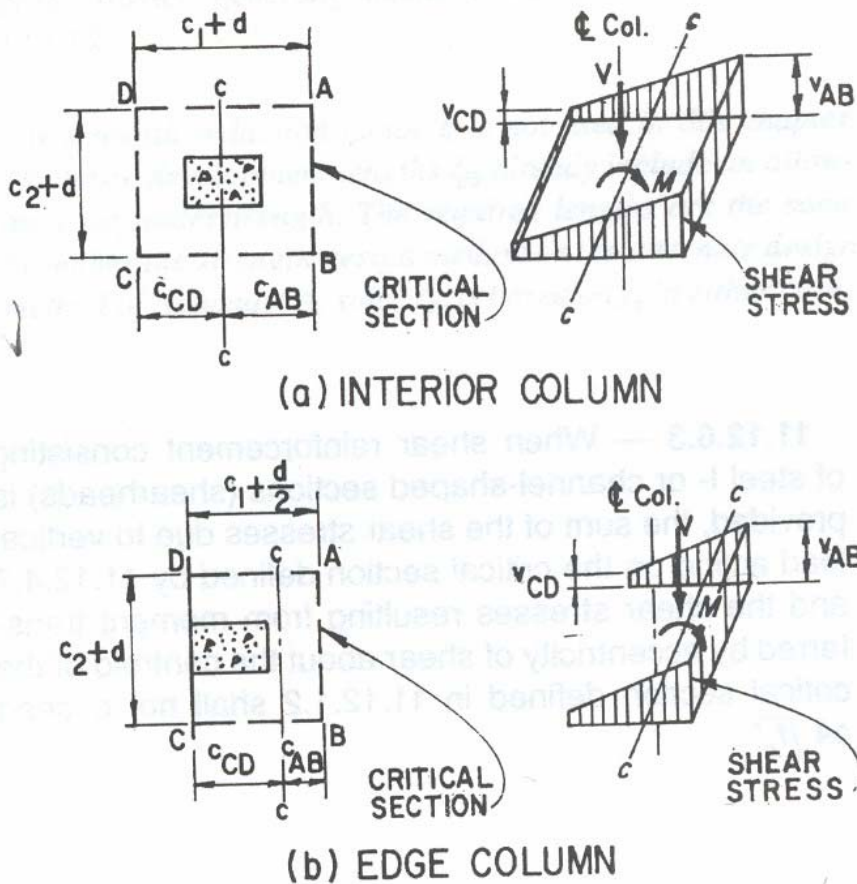


Figura 1. Transmisión de momento en conexiones losa-columna central y de borde

METODO DE DISEÑO DIRECTO

Para aplicar este método la estructura debe cumplir varias condiciones, principalmente de regularidad, algunas de ellas son:

- 1) Debe de haber al menos tres claros continuos en cada dirección.
- 2) Los paneles deben ser rectangulares con una relación de aspecto no mayor de 2.
- 3) Los claros no deben exceder mas de un tercio del claro más largo.

En el caso de una losa con claro l_n (claro de losa a cara de columna en la dirección de análisis), y claro l_2 (claro de losa a ejes perpendicular a claro l_n), sometida a una carga por unidad de área, q_u , el método se basa en emplear el siguiente momento estático básico:

$$M_0 = \frac{q_u l_2 l_n^2}{8}$$

El momento M_0 se reparte en la losa en función de porcentajes que dependen de si la losa es central o de borde, o si existen vigas de borde.

Cortante en sistemas de losas con vigas

El área tributaria por cortante de una trabe interior se evalúa como se muestra en la figura 2:

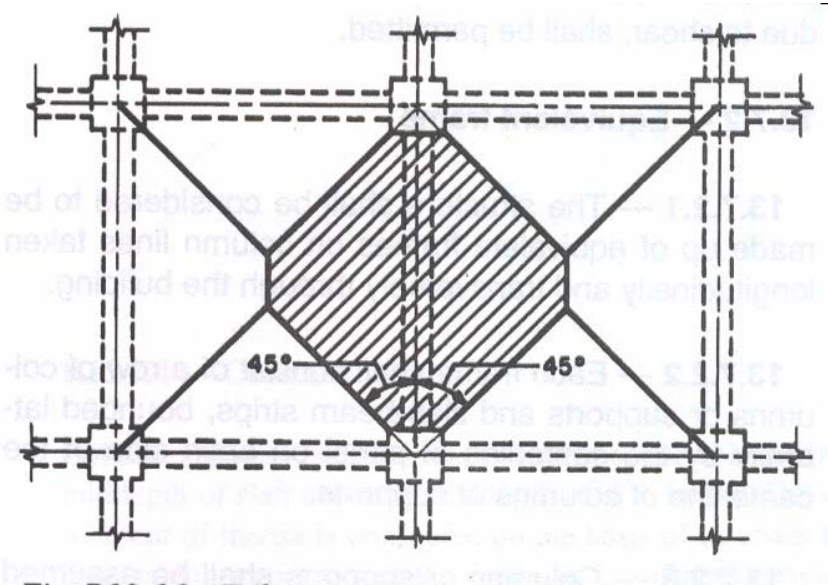


Figura 2. Área tributaria por cortante en una trabe interior

METODO DEL MARCO EQUIVALENTE

Se define un “marco equivalente”, el cual permite pasar de un problema tridimensional a uno bidimensional. Este método se desarrolló a fines de los 60, cuando aún no era factible el empleo en oficina de programas de análisis tridimensionales. Sin embargo, el método permite emplear procedimientos conocidos de análisis en el plano en lugar de procedimientos mas elaborados como es el análisis tridimensional.

La aplicación del método se ilustra en la figura 3.

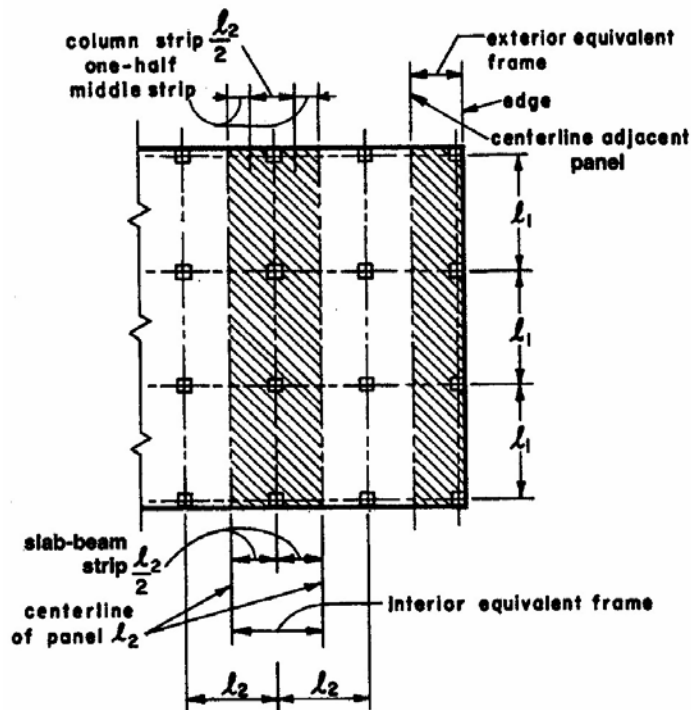


Figura 3. Modelo empleado para el método del marco equivalente

En el método se modifica la flexibilidad de la columna para tomar en cuenta la flexibilidad torsional de la conexión.

La rigidez a torsión del elemento viga perpendicular al plano del marco equivalente se evalúa como:

$$k_t = \sum \frac{9 E_{cs} C}{l_2 \left(1 - \frac{c_2}{l_2}\right)^3}$$

El significado del parámetro l_2 se muestra gráficamente en la Fig 3, el parámetro c_2 es la dimensión de la columna en la dirección perpendicular al análisis y el factor C se evalúa como:

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3}$$

Donde x y y son la menor y mayor dimensión de la sección rectangular definida en sección 13.2.4, respectivamente.

La columna equivalente consiste en la columna existente arriba y abajo de la losa más un elemento que trabaja a torsión a cada lado de la columna como se muestra en la figura 4:

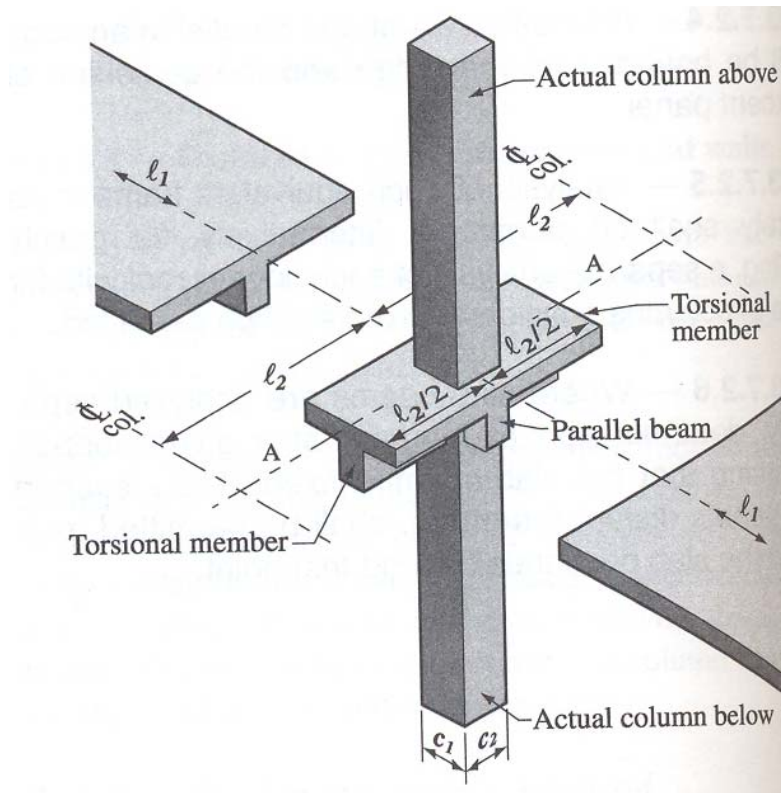


Figura 4. Columna equivalente (columna más elemento torsional)

“DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO ACI 318-05”

CURSO IMCYC, AGOSTO 15-17, 2005

Ciudad de México, DF,

Elaborado por: Dr. Mario E. Rodríguez, mrod@servidor.unam.mx

CAPITULO 14 ACI 318-05, MUROS

A pesar que en este capítulo del ACI se estipula que es aplicable a muros con carga axial con o sin flexión, los comentarios de este capítulo mencionan el capítulo se aplica generalmente a muros que trabajan ante cargas gravitacionales. Es de interés que existe opiniones de que este capítulo debe desaparecer del ACI 318 por ser poco aplicado en la práctica.

Los muros en voladizos se diseñan con el capítulo 10 correspondiente a elementos en flexión.

Para la resistencia a cortante se debe aplicar la sección de cortante 11.10 (Requisitos especiales para Muros, $V_n = V_c + V_s$)

MUROS DISEÑADOS COMO MIEMBROS EN COMPRESION (SECCION 14.4)

Excepto lo especificado en 14.5 (Método empírico), los muros sometidos a cargas axiales o combinadas con flexión se pueden diseñar como miembros en compresión de acuerdo con 10.2, 10.3, 10.10 a la 10.14, 10.17, 14.2 y 14.3. Los requisitos de 14.3 establecen que la cuantía mínima de refuerzo vertical para barras corrugadas de diámetros igual o menor que el No 5 con f_y no menor de 4,200 kg/cm², así como para refuerzo con malla debe ser igual 0.0012 . Para este tipo de refuerzo la cuantía mínima de refuerzo horizontal debe ser igual a 0.0020.

METODO DE DISEÑO EMPÍRICO (Seccion 14.5)

Esta sección se aplica a muros con sección transversal rectangular sólida. Las secciones que son diferentes a esta última sección se deben diseñar con la sección 14.4. Los muros de sección rectangular se pueden diseñar por los requisitos empíricos de la sección 14.5 si la resultante de las fuerzas tiene una excentricidad no mayor de $h/6$ (h = espesor del muro, éste es el concepto de carga que cae en el tercio medio) y si se cumplen los límites de las secciones 14.2, 14.3 y 14.5

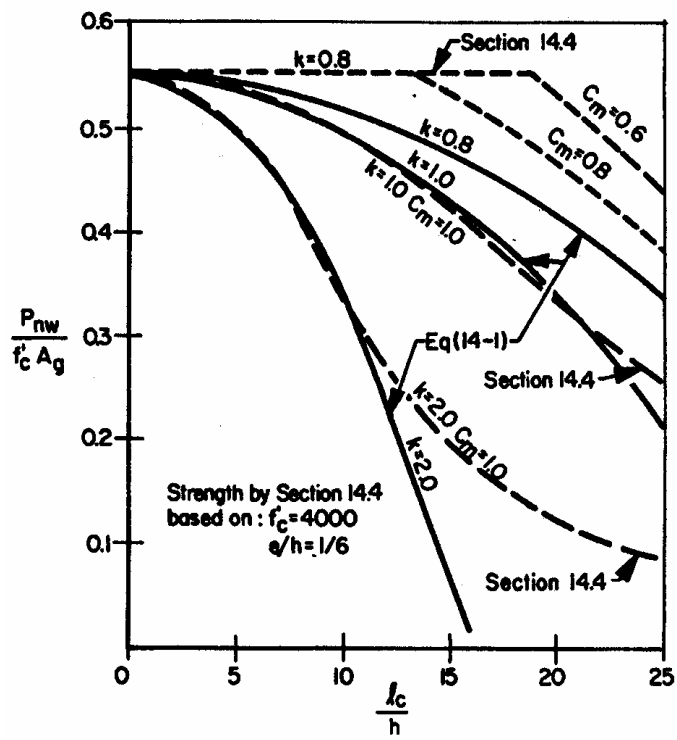
La carga de diseño $\phi \cdot P_n$ se evalúa como

$$\phi P_{nw} = 0.55 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot A_g \left[1 - \left(\frac{k \cdot l_c}{32h} \right)^2 \right] \quad (14.1)$$

$$\phi = 0.70$$

k es un factor de longitud efectiva

- | | |
|--|---------|
| a) Restricción al giro en un extremo de muro | $k=0.8$ |
| b) Restricción al giro en ambos extremos | $k=1$ |
| c) Muros sin restricción a desplazamientos laterales | $k=2.0$ |



Ecuación de diseño (14.1) versus Sección 14.4

“DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO ACI 318-05”

CURSO IMCYC, AGOSTO 15-17, 2005

Ciudad de México, DF,

Elaborado por: Dr. Mario E. Rodríguez, mrod@servidor.unam.mx

EVALUACION DE LA RESISTENCIA EN ESTRUCTURAS EXISTENTES

Este Capítulo del ACI especifica el procedimiento a seguir cuando se tienen dudas de que una parte de la estructura o toda, no cumple con los requisitos de diseño del ACI 318. Sin embargo, se debe mencionar que este procedimiento no se debe emplear para evaluar procedimientos de construcción nuevos o diseños nuevos.

De acuerdo con el Capítulo 20 se puede evitar una evaluación de la resistencia experimental y realizar una evaluación analítica si se conoce la naturaleza de la deficiencia de resistencia (por ejemplo casos de flexión, carga axial o combinación) y si además se conoce las medidas de los elementos de la estructura y las propiedades de los materiales. En caso contrario, como en los casos de deficiencia de resistencia en cortante o adherencia, o si no es posible conocer con mediciones las dimensiones necesarias en la estructura o las propiedades de los materiales, se debe llevar a cabo una prueba de carga como se describe a continuación. Si después de esta prueba de carga se satisface el criterio de aceptación, se permite ocupar la estructura.

Obtención de dimensiones y propiedades de los materiales

Las dimensiones de los elementos estructurales se deben obtener en secciones críticas. La ubicación y tamaños de las barras de refuerzo se deben obtener con mediciones. Cuando sea necesario la resistencia del concreto se debe obtener de resultados de cilindros de concreto o de corazones extraídos de la estructura.

Procedimiento de prueba de carga

La carga total a aplicar en la prueba de carga (incluyendo la carga muerta existente en la estructura) no debe ser menor que **0.85 (1.4 D + 1.7 L)**. Esta prueba de carga se debe hacer cuando la estructura tenga una edad mínima de 56 días, a menos que las partes involucradas en el problema se pongan de acuerdo en llevar a cabo la prueba de carga en un tiempo menor.

Criterio de aplicación de carga

La carga total que se aplique en la prueba de carga debe al menos tener cuatro incrementos de carga iguales y las lecturas de mediciones iniciales se deben obtener dentro de la primera hora de la aplicación del primer incremento de carga. Las medidas finales de la prueba de carga se deben hacer 24 horas después de la descarga de la carga aplicada en la prueba.

Criterio de aceptación

La parte de la estructura que se ensaya no debe mostrar evidencia de falla. La pérdida de recubrimiento y aplastamiento del concreto en la zona de compresión del concreto se considera como una evidencia de falla.

Las flechas medidas en el primer ensaye, Δ_I y la residual Δ_r , deben de satisfacer una de las siguientes condiciones:

$$\Delta_I \leq \frac{l_t^2}{20000h} \quad 20-1$$

$$\Delta_r \leq \frac{\Delta_I}{4} \quad 20-2$$

En las expresiones anteriores l_t es el claro del elemento que se prueba y h su peralte.

Si las flechas medidas en el primer ensaye, Δ_l y la residual Δ_r , no cumplen con las Ecs 20-1 y 20-2, es posible repetir la prueba de carga 72 horas o mas después de haber terminado la primera prueba. La nueva prueba de carga se considera aceptable si Δ_r satisface

$$\Delta_r \leq \frac{\Delta_2}{5} \quad 20-3$$

En la expresión anterior Δ_2 es el incremento de flecha máxima medido en el segundo ensaye respecto a la medida en el inicio de éste.