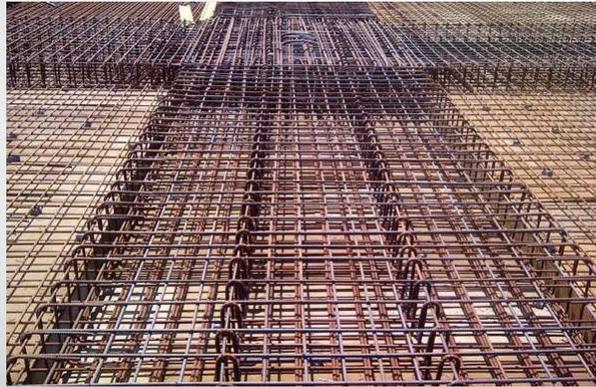


Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Civil
Estructuras de Concreto I (LIC 20)

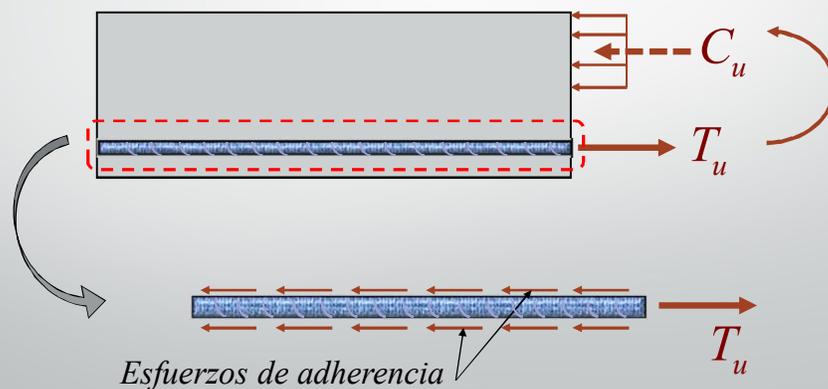


Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro
III Cuatrimestre 2022

Tema VI. Adherencia, anclaje y longitud de desarrollo

Introducción

La eficacia de una viga de concreto reforzado al resistir cargas se debe en gran medida a la adherencia entre las varillas y el concreto circundante (lo cual explica por qué las barras de acero deben ser corrugadas !!!).

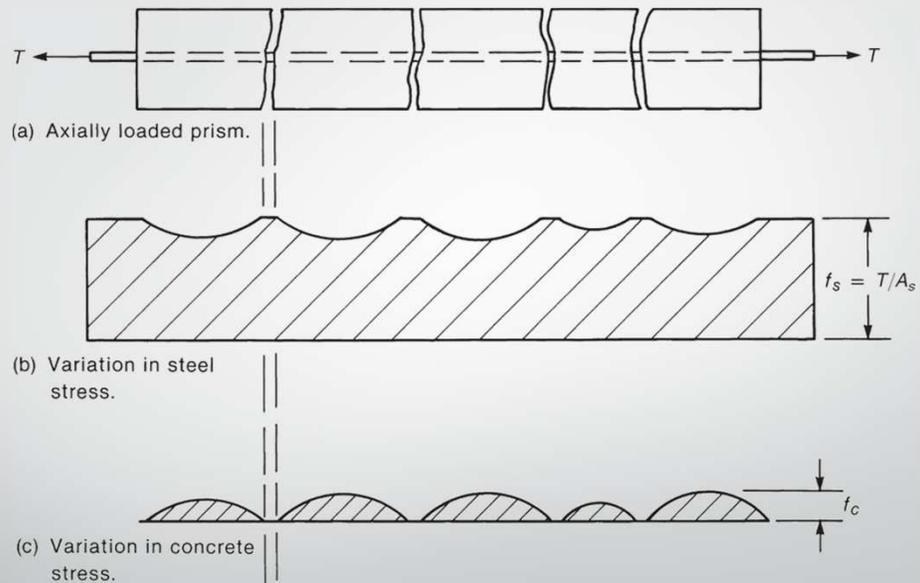


Como se observa en la figura anterior, las fuerzas de compresión son resistidas por el concreto mientras que el acero asume la tensión.



De esta manera, para que la varilla esté en equilibrio, deben existir esfuerzos de adherencia que si desaparecieran, la barra se "extraería" del volumen de concreto haciendo que la tensión T se anule y la viga eventualmente colapse.

Por lo tanto, la resistencia de un elemento a la tensión depende de la compatibilidad de ambos materiales para actuar juntos.

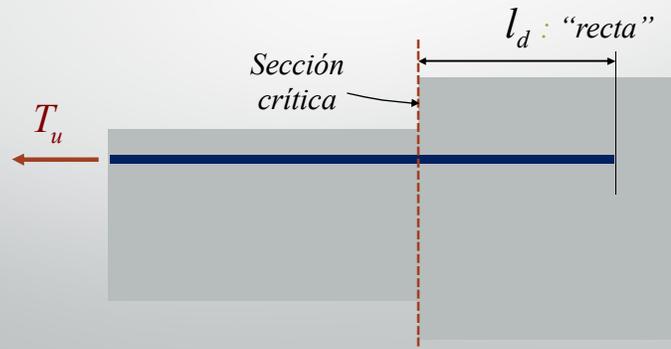


Variación del esfuerzo en el acero y el concreto

Longitud de desarrollo en tensión (l_d)

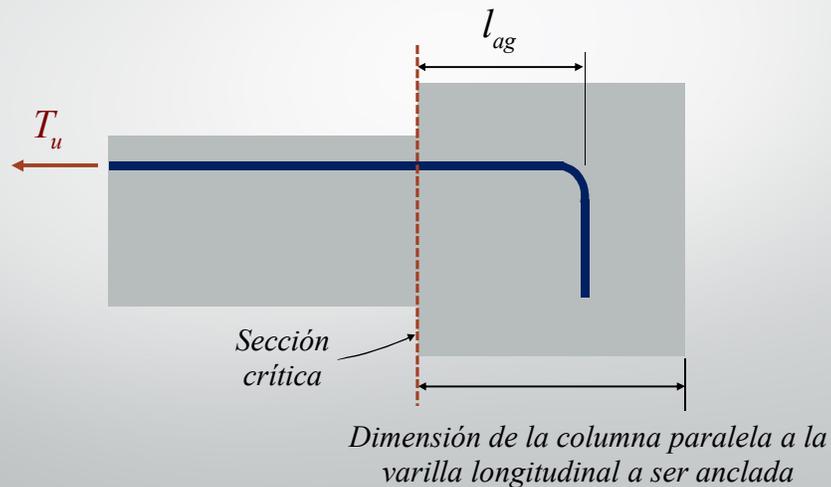
Debido a que el esfuerzo de adherencia real varía a lo largo de la barra anclada, el Código ACI define el concepto de longitud de desarrollo (*developmet length*) l_d que se define como mínima longitud de una barra en la cual sus esfuerzos pueden incrementarse de cero hasta f_y .

Si la distancia desde un punto donde el esfuerzo es f_y hasta el extremo de la barra es menor que la longitud de desarrollo, la varilla será extraída del concreto.



Ganchos de anclaje

Los ganchos son empleados para proporcionar anclaje adicional cuando no hay suficiente longitud de desarrollo (totalmente recta).



Longitud de anclaje del refuerzo longitudinal

La Sección 8.5 del Código Sísmico de Costa Rica 2010 establece que:

“a. La longitud de anclaje, l_{ag} , para barras de dimensiones #3 a #11, con un gancho estándar, no puede ser menor que ocho veces el diámetro de la barra, 15 cm o la longitud indicada en la siguiente ecuación:

$$l_{ag} = \frac{f_y \cdot d_b}{16\sqrt{f'_c}}$$

En los casos de concreto con agregado liviano, l_{ag} se debe calcular como 1.25 veces los valores anteriores, $10d_b$ o 20 cm.

b. El gancho estándar del inciso anterior debe estar colocado dentro del núcleo confinado de una columna o de un elemento de borde.”

c. La longitud de anclaje, l_{ar} , para barras rectas de dimensiones # 3 a #11, no puede ser menor que $2.5 l_{ag}$.

Si debajo de la longitud de anclaje de la barra longitudinal se colocan más de 30 cm de concreto fresco, se debe usar una longitud l_{ar} no menor que $3.5 l_{ag}$.

d. Las barras rectas que terminan en un núcleo de unión deben pasar a través de la parte confinada del núcleo o del elemento de borde. Cualquier parte de la longitud de anclaje que no esté en la región confinada se debe incrementar con un factor de 1.6.

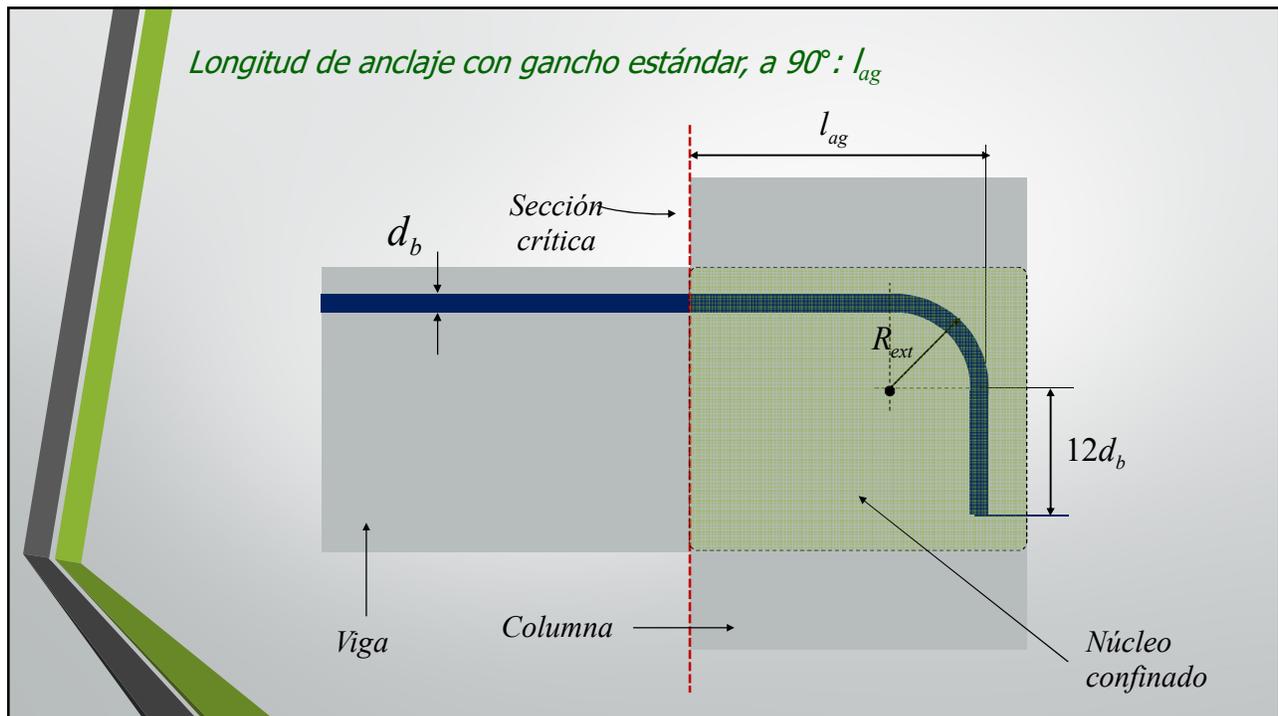
e. Si se utilizan varillas con recubrimiento epóxico, sus longitudes de desarrollo se deben multiplicar por el factor que corresponda según ACI 318.

Adicionalmente, el Código Sísmico de Costa Rica 2010 define en la Sección 8.2.5:

“a. El refuerzo superior o inferior que llegue a las caras opuestas de un núcleo de unión debe ser continuo y sin dobleces a través de este.

Cuando esto no sea posible con alguna barra, debido a variaciones de la sección transversal del elemento en flexión, se debe anclar conforme al inciso 8.2.5 (b).

b. El refuerzo superior e inferior que termine en un núcleo de unión se debe prolongar hasta la cara opuesta de la región confinada del núcleo y continuar ortogonalmente después de un doblaje de 90 grados. La longitud de anclaje se debe calcular conforme al artículo 8.5 y se mide desde el inicio del núcleo. El diámetro interno mínimo de doblado debe ser al menos seis veces el diámetro de las barras #3 a #8, ocho veces el diámetro de las barras #9 a #11 y diez veces el diámetro de las barras #14 y #18.”



Medidas para barras con gancho estándar a 90°

$R_{ext} = 4d_b$: Varillas #3 a #8
 $R_{ext} = 5d_b$: Varillas #9 a #11
 $R_{ext} = 6d_b$: Varillas #14 a #18

Si el anclaje se efectúa mediante un gancho de 180°:

l_{ag}
 Sección crítica
 d_b
 Columna
 R_{ext}
 Viga
 Núcleo confinado
 A
 R_{ext}

Medidas mínimas para barras con gancho a 180°

No. varilla	d_b	R_{ext} (*)	A (*)
	[cm]	[cm]	[cm]
#3	0.96	4.0	6.5
#4	1.27	5.0	6.5
#5	1.59	6.0	6.5
#6	1.91	8.0	8.0
#7	2.22	9.0	9.0
#8	2.54	10.0	10.0

R_{ext} {

 $4d_b$: Varillas #3 a #8

 $5d_b$: Varillas #9 a #11

 $6d_b$: Varillas #14 y #18

$A = Mayor \{4d_b; 6.5cm\}$

(*) Dimensiones redondeadas para facilidad constructiva

Ganchos en refuerzo transversal (aros)

En lo que respecta a aros, el gancho deber de 135°, según se muestra en la siguiente figura.

d_b

 $4d_b$

 135°

 Varilla longitudinal

 $Mayor \{6d_b; 7.5cm\}$

Medidas mínimas para ganchos a 135° en aros

Calibre del aro	d_b	$D_{int} (*)$	$B (*)$
	[cm]	[cm]	[cm]
#3	0.96	4.0	7.5 (3")
#4	1.27	5.0	7.5 (3")
#5	1.59	6.5	10.0 (4")
#6	1.91	12.0	12.5 (5")
#7	2.22	13.5	15.0 (6")
#8	2.54	15.0	15.0 (6")

$$D_{int} \begin{cases} 4d_b : \text{Varillas \#3 a \#5} \\ 6d_b : \text{Varillas \#6 a \#8} \end{cases}$$

(*) Dimensiones redondeadas para facilidad constructiva

Nomenclatura de barras de refuerzo (varillas)

Calibre		d_b ^[2]	A_b
Número	ASTM ^[1]	[cm]	[cm ²]
#3	10	0.96	0.71
#4	13	1.27	1.29
#5	16	1.59	1.98
#6	19	1.91	2.84
#7	22	2.22	3.87
#8	25	2.54	5.10
#9	29	2.87	6.45
#10	32	3.23	8.19
#11	36	3.58	10.06
#14	43	4.30	14.52
#18	57	5.73	25.81

^[1] Los números de designación ASTM aproximan el número de milímetros del diámetro nominal

^[2] Diámetro nominal de la barra

^[3] Área transversal de la barra

Con base en los resultados de numerosos ensayos, el *American Concrete Institute ACI* propone la siguiente expresión para el cálculo de la longitud de desarrollo de varillas deformadas en tensión l_d :

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

Donde $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \leq 2.5$ y d_b es el diámetro de la varilla [cm].

En cualquier caso, la longitud de desarrollo l_d no debe ser menor que 30cm.

A continuación se definen los valores de los diversos factores involucrados en la fórmula:

- Factor de ubicación de la varilla ψ_t
 - Refuerzo superior: 1.3
 - Otras varillas: 1.0
- Factor de tratamiento superficial del acero ψ_e
 - Varillas o alambres con recubrimiento epóxico y recubrimiento menor que $3d_b$ o espaciamiento libre menor que $6d_b$: 1.5
 - Otras varillas con recubrimiento epóxico: 1.2
 - Varillas sin recubrimiento epóxico: 1.0

Nota: $\psi_t \cdot \psi_e \leq 1.7$



> Factor de tamaño de varilla ψ_s

- Varillas #6 y menores: 0.8
- Varillas #7 y mayores: 1.0

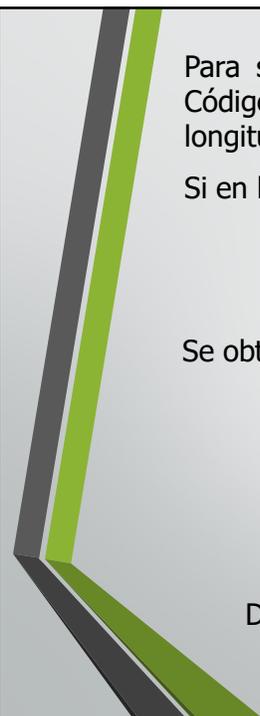
> Factor de agregado del concreto λ

- Concreto con agregado liviano: 0.75
- Concreto peso normal: 1.0

El parámetro c_b , se denomina factor de espaciamiento [cm]. Se utiliza el menor de dos valores: distancia del centro de la varilla a la superficie de concreto más cercana o la mitad del espaciamiento centro a centro de la barras a ser desarrolladas.

> Índice de refuerzo transversal K_{tr}

El Código ACI permite usar $K_{tr}=0$ como una simplificación conservadora para efectos de diseño, aunque se tengan aros.



Para situaciones particulares que se presentan comúnmente en el diseño, el Código ACI propone como alternativa, expresiones más sencillas para evaluar la longitud de desarrollo de varillas deformadas en tensión.

Si en la fórmula general se reemplaza los valores más usuales:

$$\psi_t = 1.0 \quad \psi_e = 1.0 \quad \lambda = 1.0 \quad K_{tr} = 0$$

Se obtiene:

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{f_y}{3.5\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_s}{\left(\frac{c_b}{d_b}\right)} \quad (1a)$$

Donde $\left(\frac{c_b}{d_b}\right) \leq 2.5$

El Código ACI permite reducir la longitud de desarrollo l_d si el refuerzo longitudinal excede el requerido según el Análisis, excepto donde prevalezca el criterio de diseño sismorresistente.

El parámetro de reducción se denomina factor de exceso de refuerzo λ_s :

$$\lambda_s = \frac{A_{s,requerido}}{A_{s,colocado}}$$

Longitud de anclaje con gancho estándar según ACI

La longitud de desarrollo l_{dh} , para barras corrugadas en tracción que terminan en un gancho estándar (90°) debe ser la mayor de los siguientes criterios:

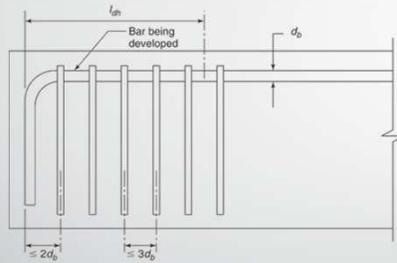
$$l_{dh} = \max \left\{ \begin{array}{l} 8d_b \\ 15cm \\ \left(\frac{0.075 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \end{array} \right.$$

➤ Factor de recubrimiento ψ_c

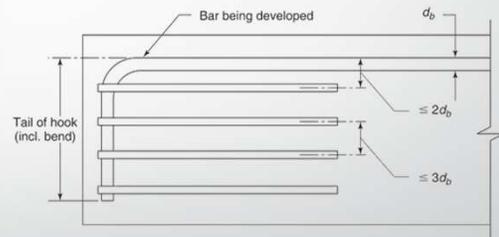
- Varillas #11 y menores cuyo recubrimiento lateral es mayor a 6.5cm (2.5") y ganchos a 90° con recubrimiento detrás del extremo del gancho mayor que 5cm (2"): 0.7
- Otros casos: 1.0

➤ Factor de confinamiento ψ_r

- Casos I y II: 0.8
- Otros casos: 1.0



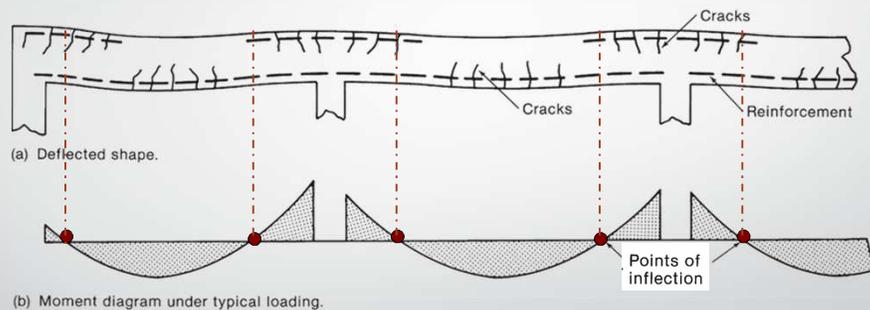
Caso I



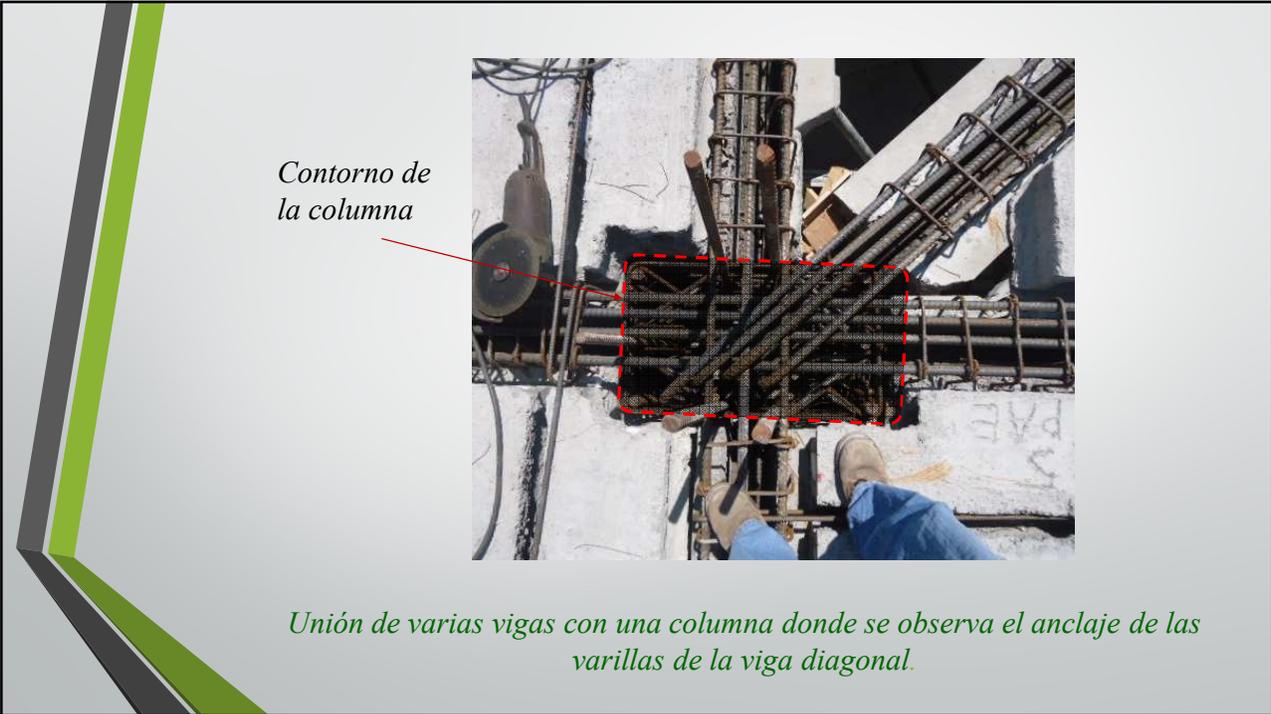
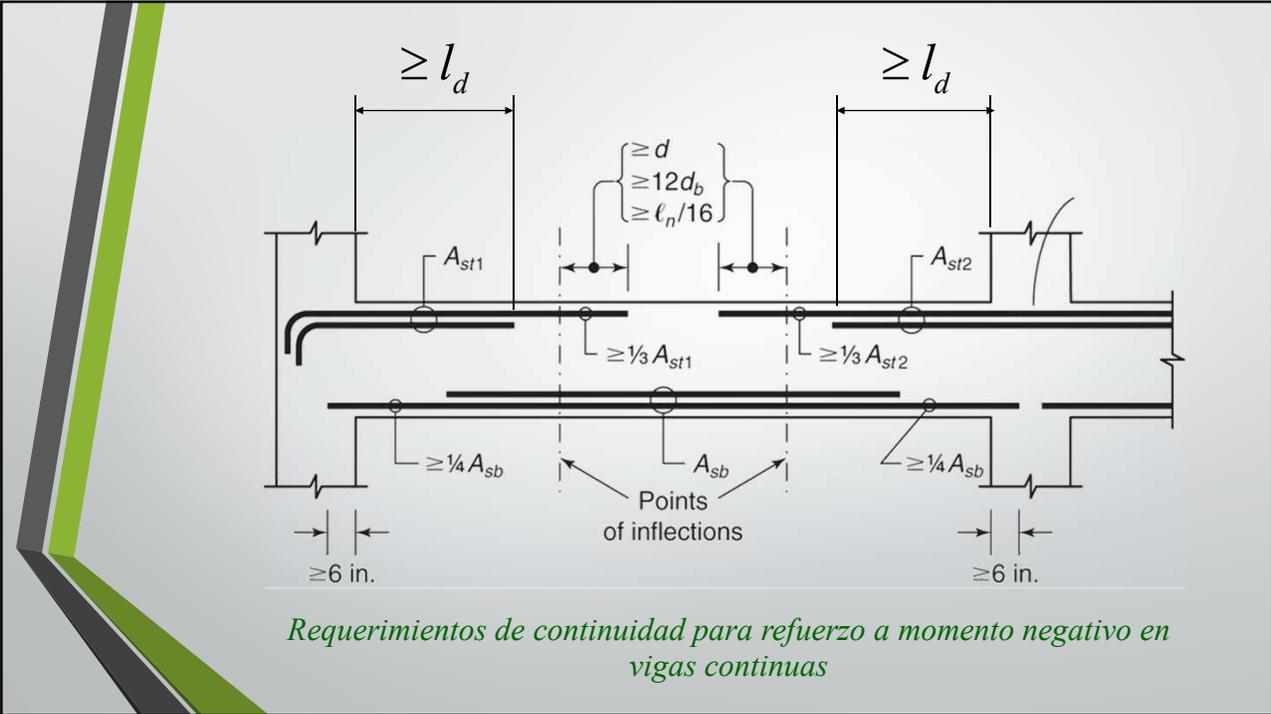
Caso II

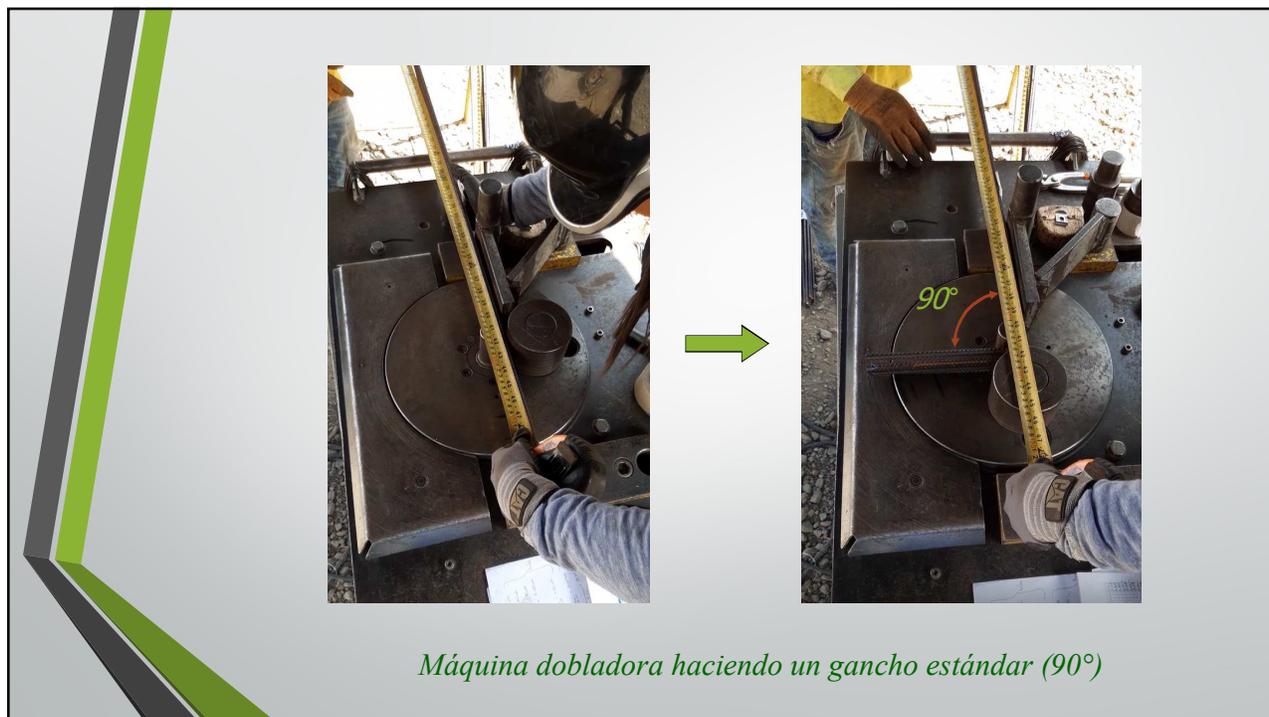
Punto de corte y desarrollo de varillas en miembros en flexión

Como se observa en la siguiente figura de una viga continua y su respectivo diagrama de momento (del lado de la compresión); los puntos de inflexión representan secciones críticas de discontinuidad en las varillas longitudinales.



Por un tema de economía, algunas de las varillas (comúnmente llamadas "bastones") deben cortarse o descontinuarse a partir de un punto donde ya no se requieren.

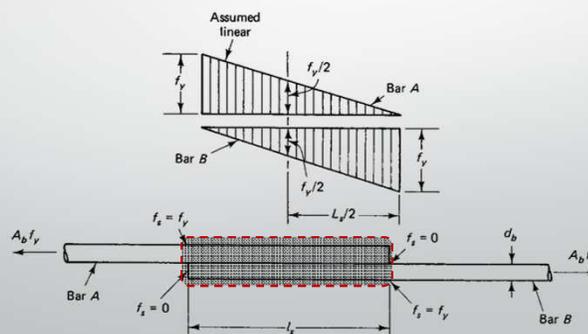




Traslape o empalme ("splice") del refuerzo longitudinal

Las varillas se fabrican con longitudes estándar (6m, 9m y 12m) de acuerdo a criterios de peso y transporte.

Por lo tanto, es sumamente frecuente tener que traslapar varillas en vigas, columnas, etc. para alcanzar la longitud total deseada; lo cual se hace en los puntos menos críticos; es decir, en las cercanías de los puntos de inflexión.



Existen básicamente tres tipos de traslapes:

- Empalme convencional: superposición de barras sujetas mediante alambre negro. Es el más utilizado en la construcción por su bajo costo y facilidad de ejecución.

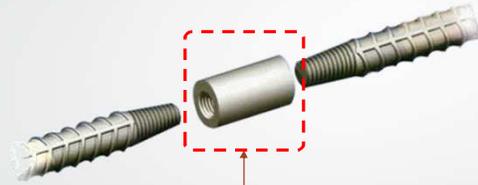


- Empalme con soldadura: se realiza mediante la fusión de las barras las cuales deben ser *ASTM A706* que tienen propiedades de soldabilidad (varillas marcadas con la letra "W").

Tiende a ser el método más económico en cuando se trabaja con varillas de gran calibre (#11 o superiores).



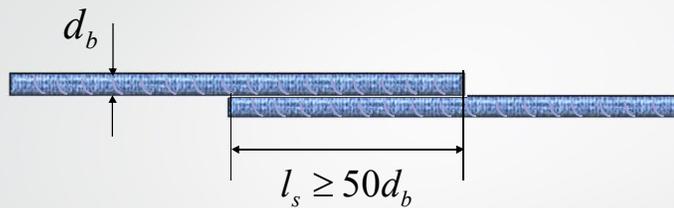
- Empalme mecánico: se logra mediante la inclusión de piezas roscadas para unir los extremos (también roscados) de las barras a traslapar.



Pieza con roscas en ambos extremos

Longitud de traslape l_s de la varilla longitudinal (método convencional)

Conservadoramente se puede considerar:



La Sección 8.1.5 del CSCR-10 establece que:

“a. En elementos de concreto reforzado el traslape del refuerzo longitudinal se debe hacer en forma alternada. En ningún caso se puede traslapar más del 50% del refuerzo en tracción en una sección que esté dentro de la longitud de traslape. La distancia entre traslapos alternos debe ser mayor que 30 veces el diámetro de la barra de refuerzo.

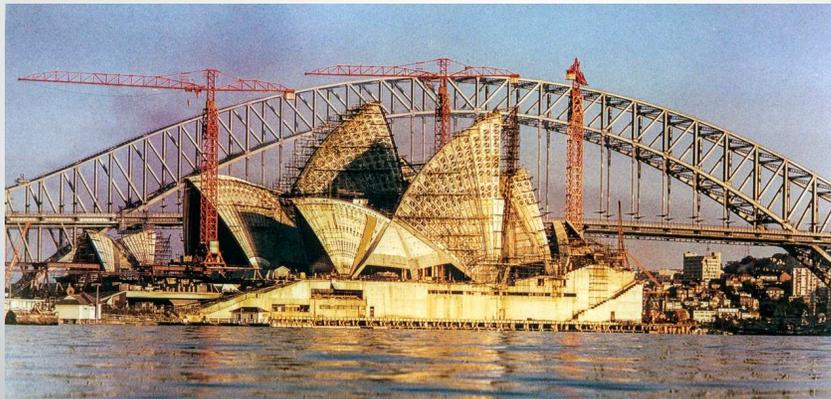
“En elementos sometidos a flexión, las barras empalmadas por traslapo que no quedan en contacto entre sí, deben separarse transversalmente a una distancia que no exceda $1/5$ de la longitud correspondiente de empalme por traslapo o 15 cm. La longitud del empalme por traslapo de una barra sometida a tracción no será menor que 30 cm.

b. Cuando se efectúen empalmes con soldadura o cualquier artificio mecánico, al menos el 50% del refuerzo total debe ser continuo y la distancia entre empalmes de barras adyacentes no puede ser inferior a 30 cm. Si se utilizan empalmes con soldadura, el procedimiento de soldadura debe cumplir con los requisitos del código de soldadura estructural para acero de refuerzo, ANSI/AWS D 1.4 de la Sociedad Americana de Soldadura.



Ejemplos de empalmes mecánicos utilizados en la construcción del Estadio Nacional

Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Civil
Estructuras de Concreto I (LIC 20)



Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro
III Cuatrimestre, 2022

Tema VII: Aspectos prácticos y detalles constructivos de vigas

Introducción

Dado que a menudo las vigas deben soportar cargas a edades tempranas, el proceso constructivo debe ser sumamente cuidadoso para evitar deflexiones y grietas prematuras.



A continuación se enuncian y comentan algunos básicos que se deben respetar en el proceso constructivo de vigas de concreto reforzado:

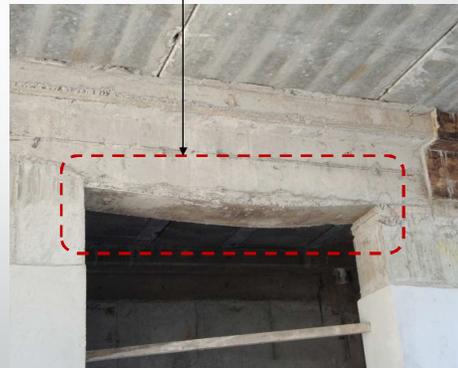
- ✓ Suficiente apoyo mediante puntales para que la formaleta no ceda con el peso del concreto fresco.



Ejemplos de apuntalamiento de vigas



Deflexión debida a retiro prematuro de puntales



- ✓ Colocar amarras entre las caras laterales de la formaleta para que la presión del concreto fresco no las tienda a separar.



← b →

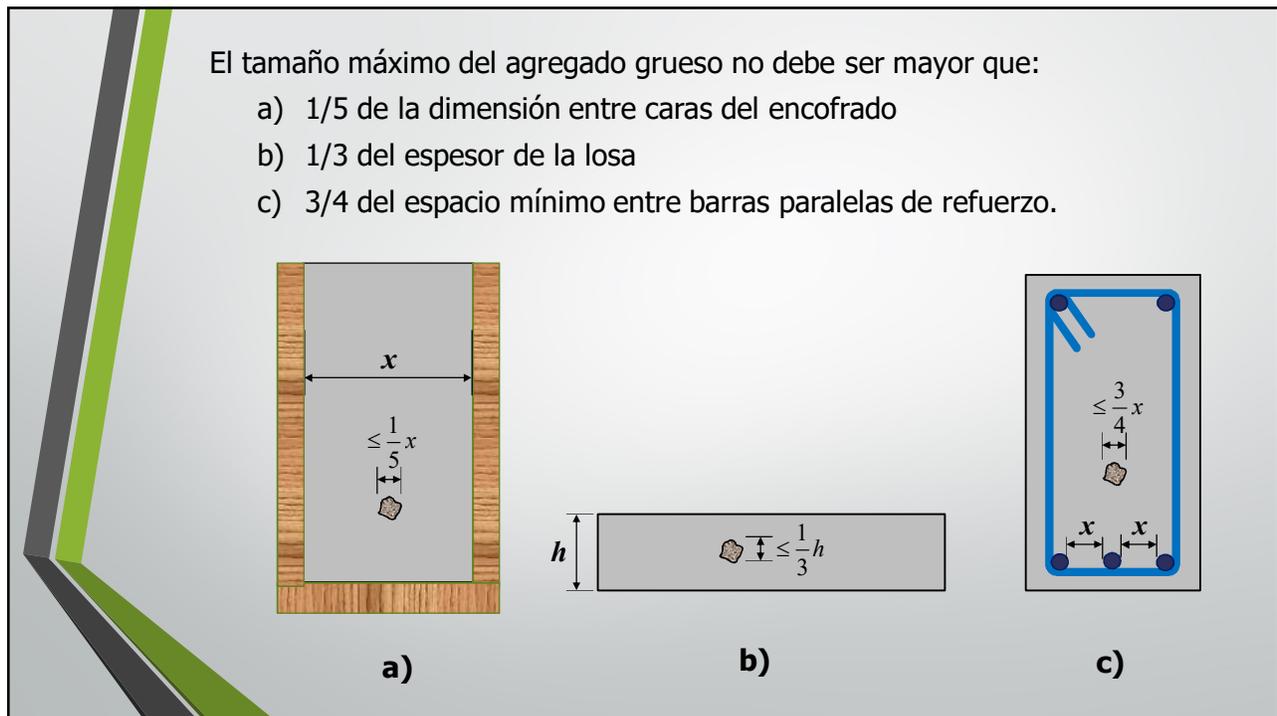
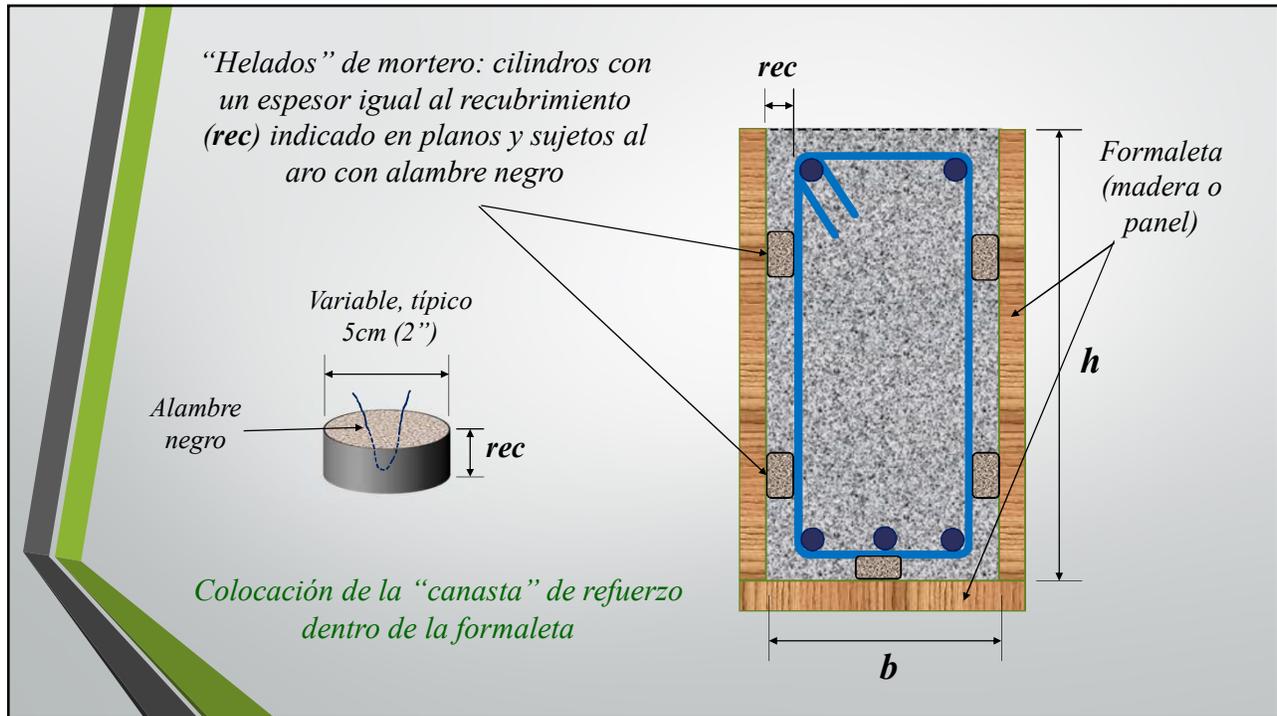
- ✓ Revisar la ubicación correcta de la armadura dentro de la formaleta, es decir, que se cumpla con los recubrimientos en todas las caras de la viga (uso de "helados").



Almacenamiento de "helados"



No permitir alta densidad de varillas dado que impide el paso del concreto. Esto se debe evitar desde la etapa de diseño mediante la escogencia de un ancho de viga apropiado.



Colocación del sistema de entrepiso



- ✓ En algunos casos (y en forma localizada) se debe modificar ligeramente la separación de los aros para dar paso a la vigueta o ductos electromecánicos.

Vigueta





Interacción sistemas electromecánico y estructural. Paso de tubería de aguas negras a través de los bloques del entrepiso.



Sector de entrepiso (sistema losa extruida) en el cual una de las vigas tiene una dirección oblicua que obliga a cortes diagonales en las losas.

Vigas prefabricadas en sitio



Armadura de viga corona



Construcción de viga cargador en forma de arco

Ejemplo de armado de viga en voladizo con sección variable



Viga en voladizo (sección variable)

This slide illustrates the reinforcement for a cantilever beam with a variable cross-section. On the left, a 3D schematic shows a beam with a rectangular cross-section that tapers as it extends horizontally. On the right, two photographs show the actual steel reinforcement cages. The top photo shows a close-up of the cage at the fixed end, and the bottom photo shows the cage extending horizontally, with a green highlight indicating the variable section.



Menor separación de aros de una viga cerca del apoyo en la columna (valores altos de fuerza cortante)

This slide shows a photograph of a steel reinforcement cage for a beam supported by a concrete column. A red dashed line highlights the area near the column support, where the spacing between the stirrups is significantly smaller than in the rest of the beam, indicating a region of high shear force.



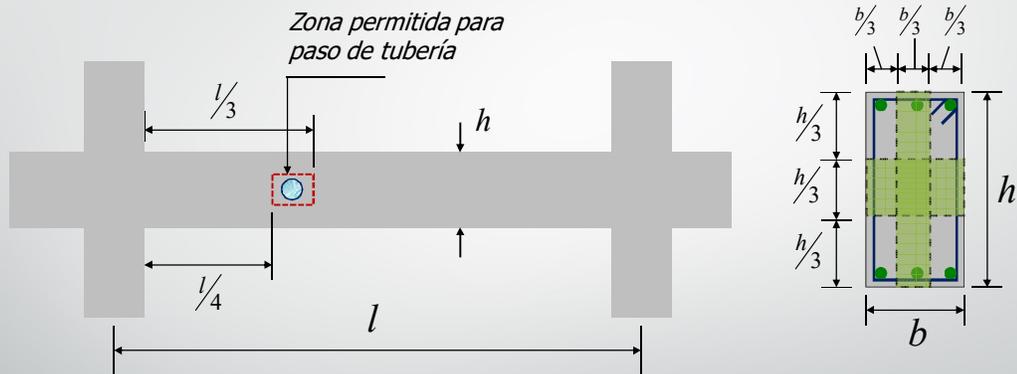
Viga de entrepiso con cara inferior curva para generar arco en fachada de hotel.



Uso de andamios de carga como sistema de apuntalamiento en vigas de entrepiso



- ✓ En caso que se requiera, y se cuente con la aprobación del Inspector Estructural, se permite el paso de tubería en la viga siempre y cuando ésta se ubiquen en la zona permitida:



Cualquier conducto o tubería que atraviese una viga debe tener un diámetro exterior menor que $h/3$ cuando la atraviese horizontalmente, y menor a $b/3$ cuando la atraviese verticalmente.

Formaleta (encofrado) y apuntalamiento

En la construcción de elementos de concreto reforzado, tanto la mezcla misma en estado semi-fluido como el refuerzo deben ser colocadas dentro de moldes llamados usualmente **formaleta o encofrado**.

La formaleta correspondiente a vigas y losas de entrepiso debe estar apoyada en elementos verticales llamados **puntales**. Una vez que el elemento de concreto reforzado tenga la resistencia y rigidez suficientes de manera que puedan soportar la carga por sí mismo, tanto la formaleta como los puntales son removidos.

A diferencia de las vigas de fundación que no requieren apuntalamiento, las de entrepiso demandan un sistema con más detallado.

En términos generales, el costo del concreto corresponde entre el 25% y 30% del costo de la estructura (incluyendo la colocación y el acabado), el costo del acero de refuerzo oscila entre 20% y 25% (incluyendo conformación y colocación de las "canastas", etc.). El restante 50% a 55% del costo de la estructura corresponde a la formaleta.

Para estructuras de mayor complejidad, el costo del encofrado puede incluso exceder el 75% del costo total de la obra.



Proceso constructivo de la torre de enfriamiento de la Central Nuclear Shearon Harris (Carolina del Norte, Estados Unidos). El contorno corresponde a una curva hiperbólica.



Interior del Restaurante Bennelong en la Casa de la Ópera en Sydney, Australia. Se observan la estructura de techo hecha a base de elementos prefabricados de concreto.

