

**CÁMARA PÁNAMEÑA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**JORNADAS TECNOLÓGICAS**

**INNOVACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN EN PANAMÁ**

**Uso - Diseño y Construcción - de la  
Losas Postensadas**

**Martín Isaac Donderis**  
Arquitecto e Ingeniero Civil

Julio - 2009

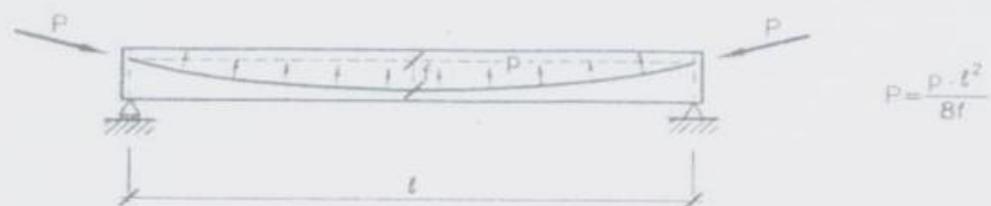
# Necesidades arquitectónicas en la Edificación

- **Necesidad de espacios diáfanos**
- **Mayor flexibilidad de uso y distribución interna**
- **Posibilidad de cambio de uso y/o de distribución original**
- **Mayor altura entre niveles sin aumentar la altura del edificio**
- **Posibilidad de mas niveles útiles en la altura del edificio**

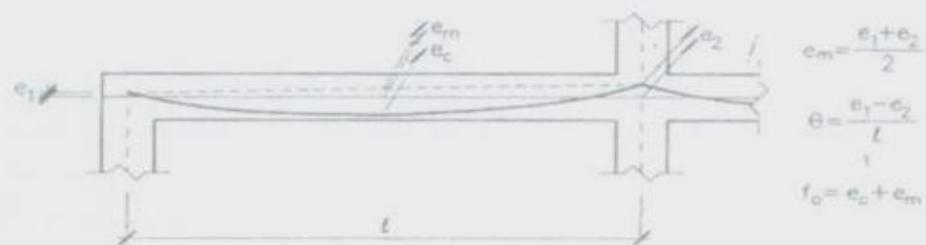
# Sobre el Postensado en la Edificación

Postensar una estructura consiste en introducir un cable o barra que se tensa apoyándose sobre la propia estructura de hormigón, a la que introduce un sistema de cargas iguales y contrarias a las que equilibran el cable.

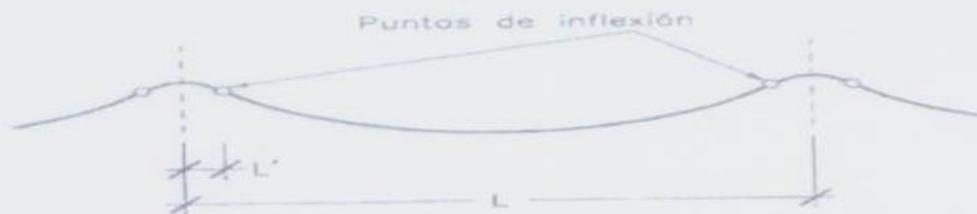
Una vez tensado el cable, se ancla mediante un dispositivo mecánico o anclaje, transmitiendo permanentemente estas acciones. Si el cable tiene forma curvilínea generará unas fuerzas de desviación que pueden llegar a equilibrar el peso propio de la estructura (con carga) e incluso las cargas permanentes y parte de las sobrecargas de uso.



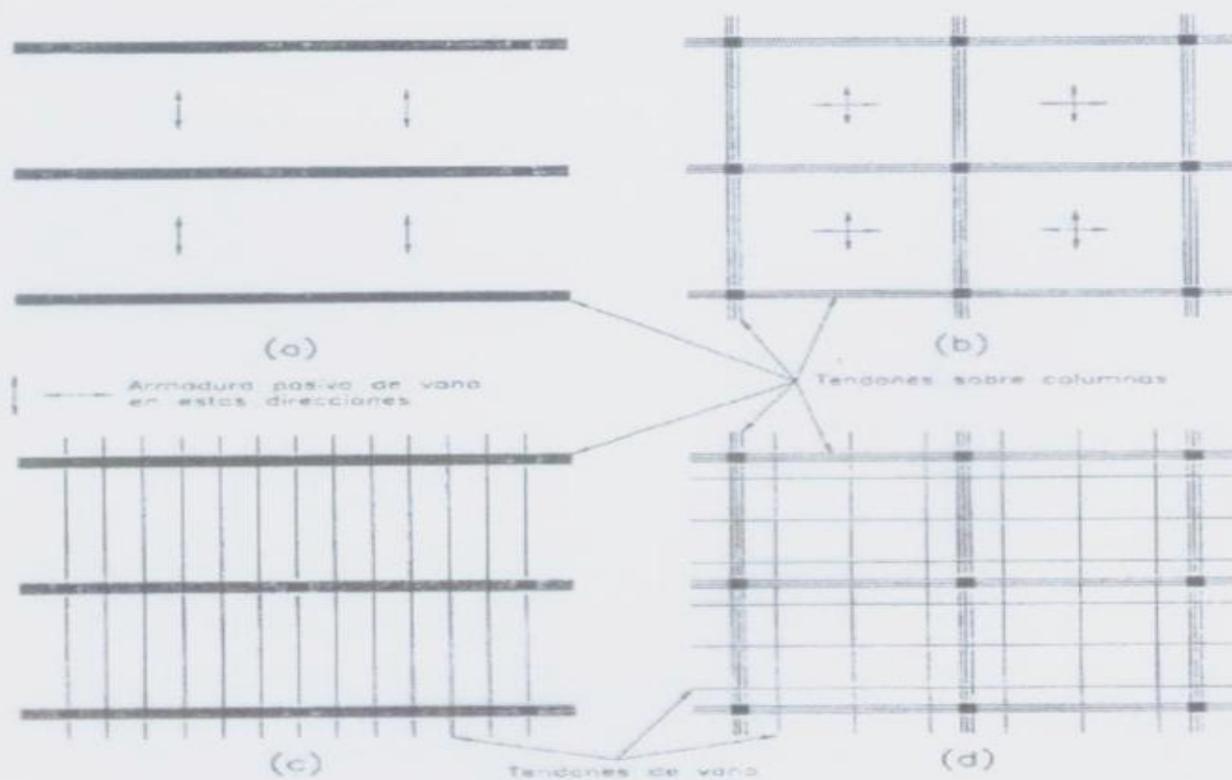
*Relación entre la fuerza de pretensado y la carga vertical compensada.*



*Relación entre la fuerza de pretensado y la carga vertical compensada en el caso de trazados asimétricos.*



*Posición del punto de inflexión.*



*Posibles disposiciones en planta de los tendones de pretensado.*

# Ventajas del Postensado en la Edificación

- Las fuerzas de desviación neutralizan notablemente las cargas exteriores, por lo que a efectos prácticos es como si éstas se redujeran enormemente.
- La estructura se encuentra comprimida, por lo que es más rígida, durable y estanca que la de hormigón armado.
- El sistema de cargas introducida por el postensado genera rotaciones y deflexiones contrarias a las producidas por las cargas exteriores, reduciendo la deformabilidad instantánea y la diferida.
- Reducción de cantos (espesores) de losa, cantidad de armadura pasiva (barras de refuerzo), de peso propio vs hormigón armado, lo que permite mayores vanos (luces) a construir.
- Permite descimbrados (desencofrados) mas tempranos, aumentando la velocidad de ejecución, generando ahorro económico y de tiempo de ejecución de la obra.

# Planteamiento General del Proyecto

- **Información previa:** dimensiones del edificio, acciones a considerar, materiales a utilizar; Criterios de seguridad, de funcionalidad, de durabilidad y de estética; Condicionantes geométricos, económicos y plazo de construcción.
- **Definición de la geometría en planta y del tipo de losa;** pre-dimensionado geométrico y del postensado; verificación preliminar del postensado; cálculo estructural y verificación de las tensiones en servicio (esfuerzos) en el hormigón; verificación de los estados límites últimos (flexión, cortante y punzonamiento) y de los estados límites de servicio.
- **Disposición de las armaduras pasivas (barras de refuerzo) y de las activas (cables);** diseño de detalles (anclajes pasivos y activos, comprobación de tensiones en el hormigón); disposición de acopladores, si los hay; juntas de construcción, si las hay; armaduras junto a huecos y muros de cortante.
- **Losas bi-direccionales sólidas:** la ventaja está en el bajo costo del encofrado, la flexibilidad en la disposición de columnas y el techo plano, lo que garantiza estética y trazado sencillo de instalaciones y servicios

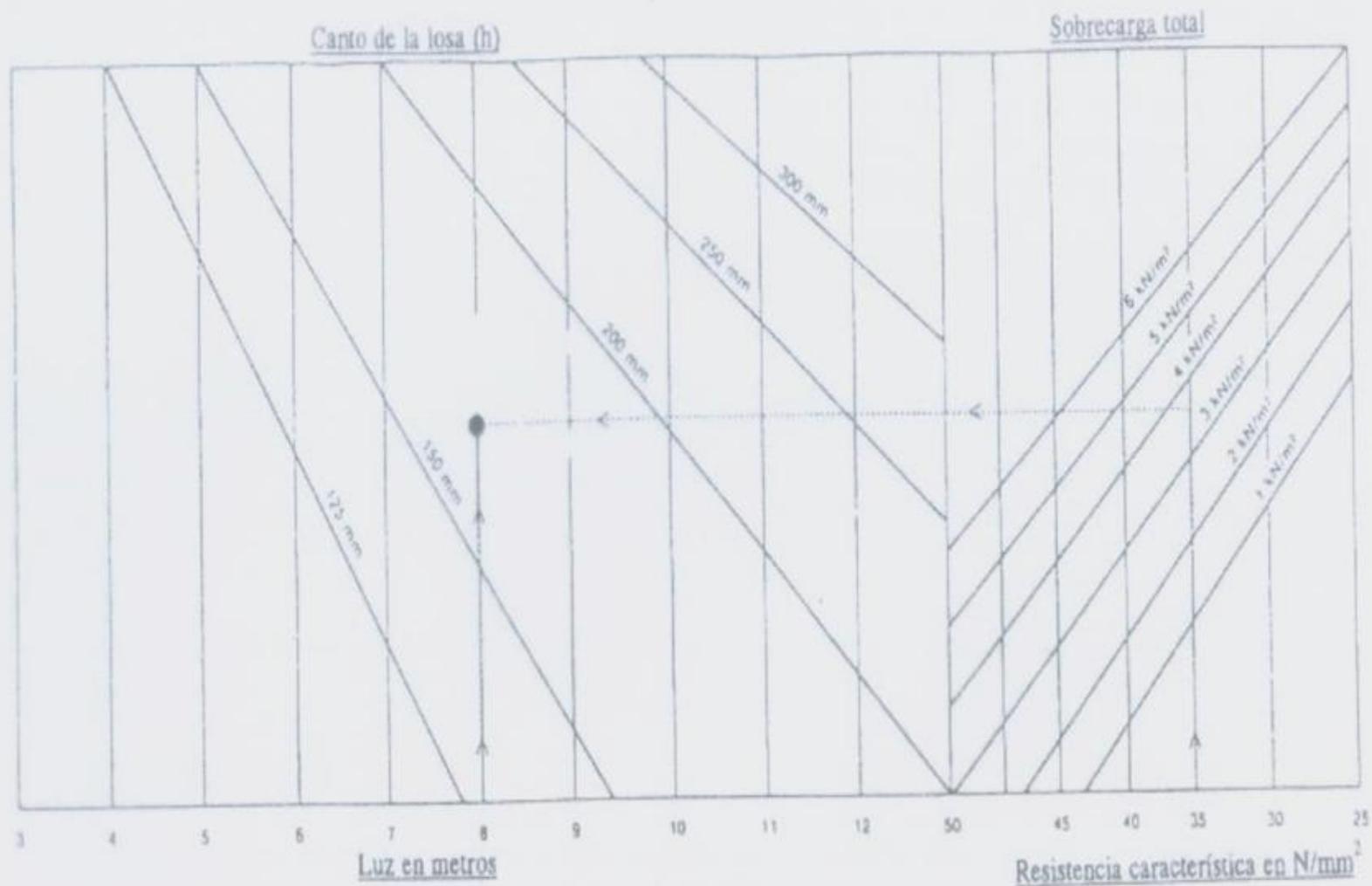
Relaciones canto/luz propuestas por el PTI [R1].

Tipo de losa	Relación canto/luz ( $h/l$ )
Losas unidireccionales	1 / 48
Losas bidireccionales	1 / 45
Losas con ábacos ( $\text{ábaco} > l/6$ )	1 / 50
Losas bidireccionales con vigas en dos direcciones	1 / 55
Losas aligeradas con casetones	1 / 35
Vigas de canto ( $b \cong h/3$ )	1 / 20
Vigas planas ( $b \cong h \cdot 3$ )	1 / 30

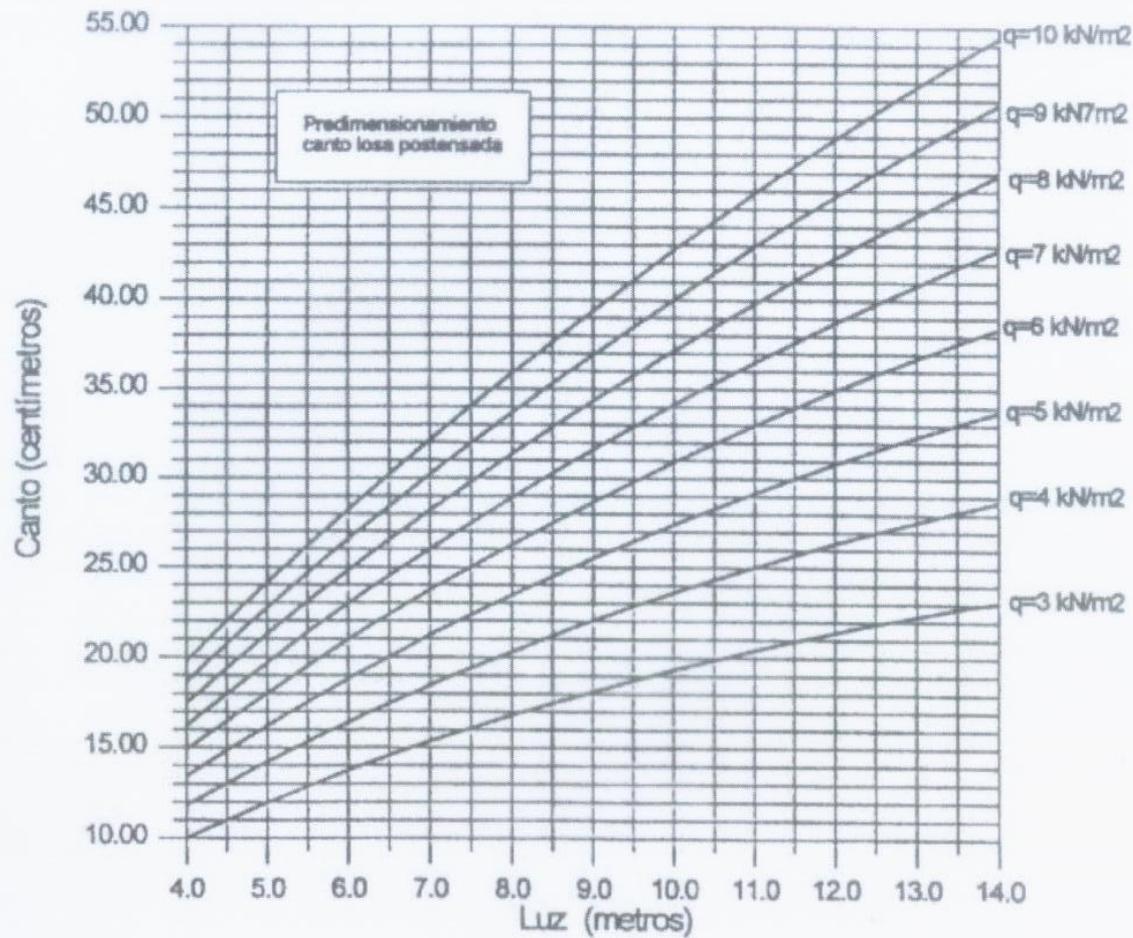
Tabla 2.2. Relaciones canto/luz propuestas por Concrete Society [R3].

Tipo de construcción*	Carga	Relación luz/canto
Vigas	Media (oficinas...)	$l_x/18$ a $l_x/28$
	Elevada	$l_x/15$ a $l_x/20$
Losas aligeradas con casetones	Media	$l_x/26$ a $l_x/32$
	Elevada (oficinas con zonas de almacenamiento...)	$l_y/20$ a $l_y/28$
Losas bidireccionales	Ligera	$l_y/40$ a $l_y/48$
	Media	$l_y/34$ a $l_y/42$
	Elevada	$l_y/28$ a $l_y/36$

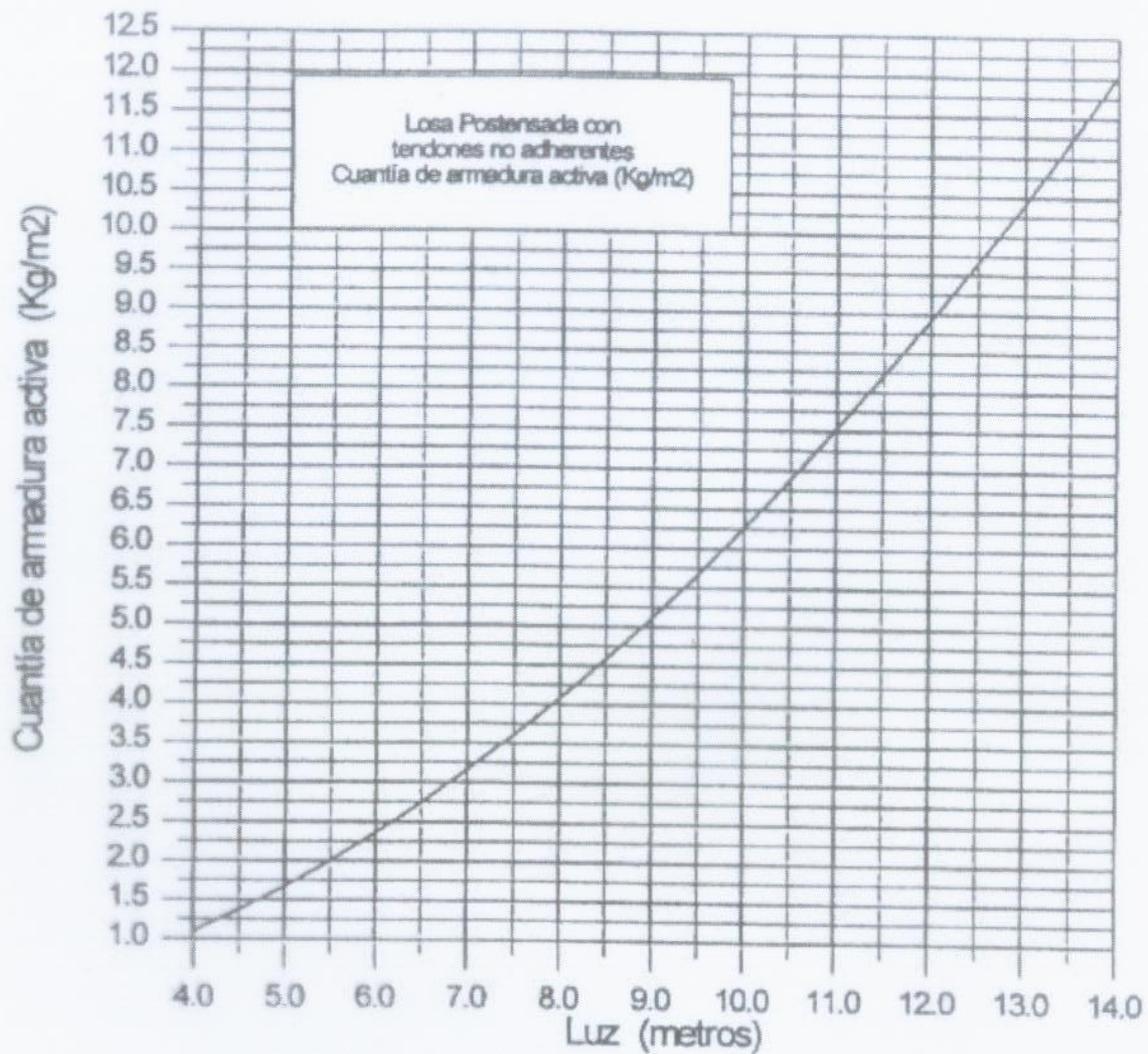
$l_x$  es la luz del vano menor y  $l_y$  la del vano mayor



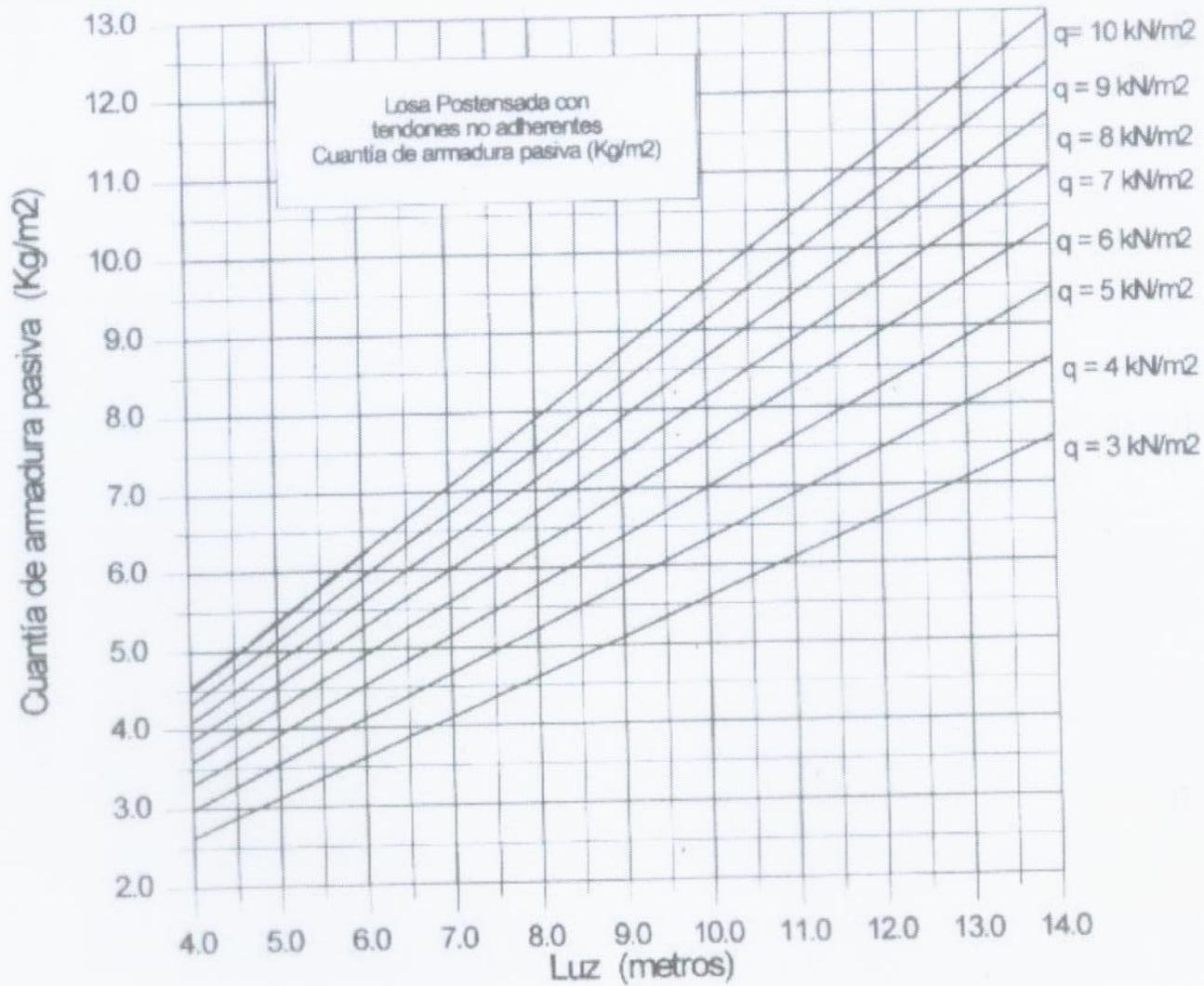
Nomograma de CS [R3] para determinar el canto de una losa postensada en función de la resistencia del hormigón, la carga aplicada y la luz a salvar.



*Predimensionamiento del canto necesario por flexión de un forjado postensado.*



*Cuántía aproximada de armadura activa en una losa maciza postensada.*



*Cuantía aproximada de armadura pasiva en una losa postensada.*

# Métodos de Cálculo Estructural

- Método de los Pórticos Virtuales (MPV):

Resulta adecuado para la mayoría de los casos en que exista suficiente regularidad geométrica y para vanos (luces) y cargas convencionales; se recomienda utilizar la formulación presentada por el ACI 318 utilizando en particular lo relacionado para el cálculo de la rigidez equivalente de los pilares (columnas).

## Limitaciones:

Irregularidades geométricas en planta o alzado (elevación); vanos muy descompensados, huecos importantes, etc.; pilares o muros de cortante tienen una rigidez considerable; no reproduce correctamente la distribución transversal de los efectos de flexión que producen los cables concentrados en bandas (riesgo de fisuración no prevista tanto en servicio como en vacío).

- **Método del Emparrillado Plano o Espacial (MEP)**

Permite considerar efectos que el MPV no puede tratar (distribución transversal de cortante, flexión y torsión, huecos, irregularidad de pilares, etc.) pero en postensado plantea algunas dificultades, cuando éste sea susceptible de generar otros efectos no despreciables en el plano de la estructura.

**Limitaciones:**

No permite simular correctamente la difusión de las compresiones producidas por el postensado en el plano de la estructura, por lo que las compresiones medias en el plano de la losa puede quedar desvirtuada, sobre todo, al trabajar con cables concentrados en bandas en alguna dirección. Hay que tener esto muy en cuenta al momento de verificar el estado tensional en el hormigón.

- **Método de Elementos Finitos (MEF)**

Es la herramienta mas potente y reproduce mejor el complejo comportamiento de las losas bi-direccionales, pero presenta el siguiente problema: un insuficiente desarrollo comercial que incorpore de forma automatizada (programas) el tratamiento del postensado (elementos finitos de láminas que incorporen los efectos de flexión y membrana; modelaje adecuado de de la región losa-pilares o columnas, etc.).

**Ahora... ¿Cuál de los tres métodos a utilizarse?**

Depende del proyecto. Se hace necesario en estos casos una excelente generación del Anteproyecto de la Edificación, trabajando en equipo, para generar un sistema que sea seguro, durable y rentable, buscando siempre una buena geometría y dimensiones razonables. De otra forma lo que se obtenga puede resultar en una estructura a todas luces antieconómica, posiblemente insegura y poco durable por razón de problemas secundarios que, seguramente, se presentarán.

# Armadura Pasiva (barras) Longitudinal Mínima

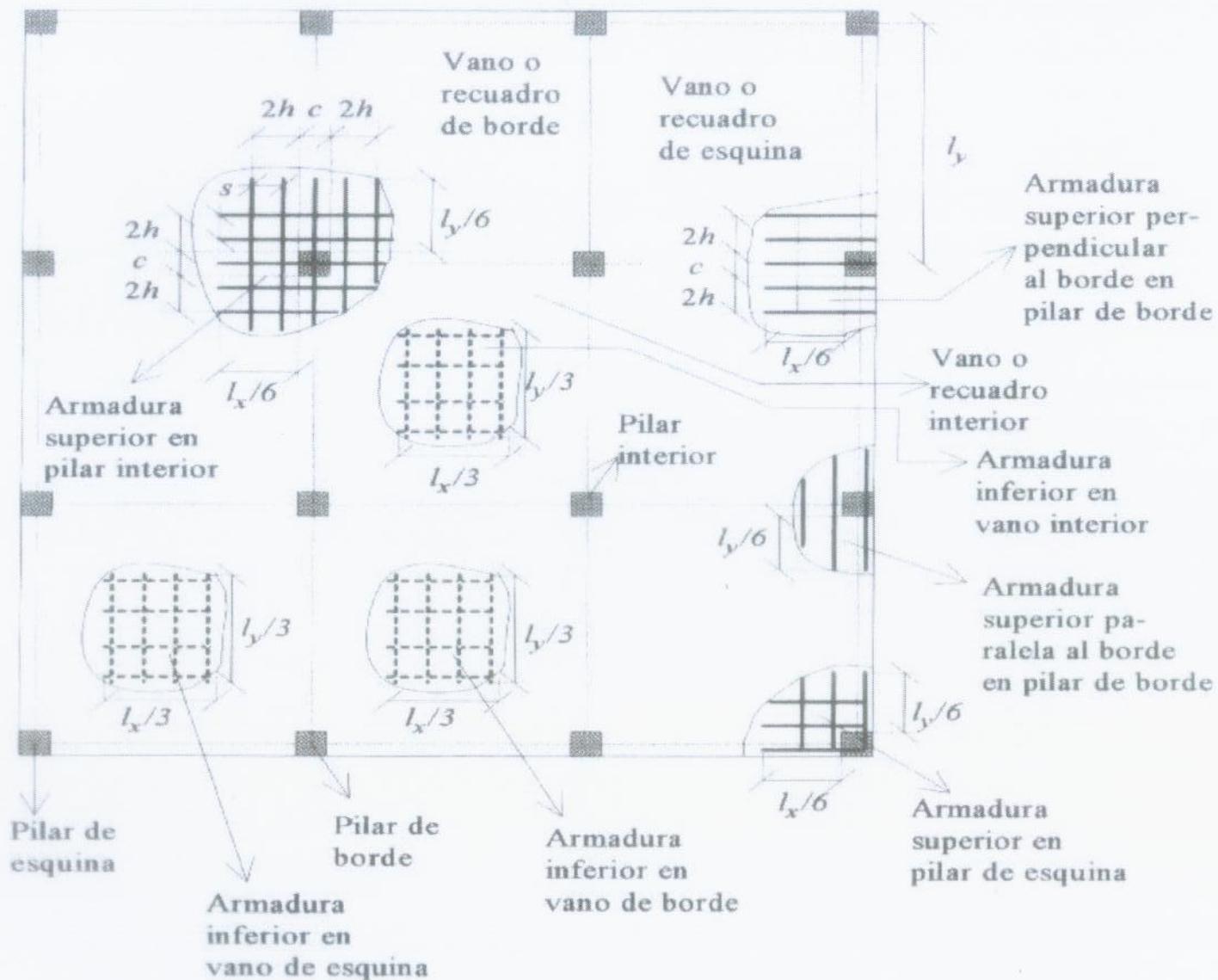
Normas: ACI – DIN – CS – FIP – SIA

Algunas ejemplos e indicaciones, ya que esto se encuentra en las diferentes Normas de Diseño

Pilares interiores y de borde:  $A_s (-) > \text{ó} = 0.00075 * h * l$ ; separación máx.: 30 cm y diám. Min: 12 mm (1/2"); min. 4 barras en cada dirección por un largo de L/6 a cada lado del pilar.

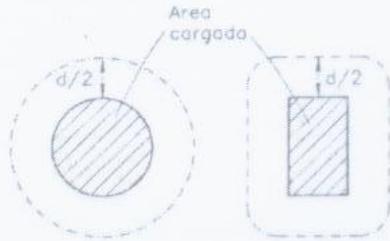
Zona de centro de vano interior:  $A_s (+) = N / 0.5 * f_y$

Zona de vano de borde o esquina (SIA):  $p_s = 0.05\%$  ; se ha demostrado que la ausencia de armadura inferior en condiciones de prerrotura, se puede inducir un comportamiento fuertemente unidireccional en esquema “uniforme-concentrado” por lo que conviene disponer de una armadura inferior, en forma de mallazo igual al  $0.0023 * b * h$  lo que distribuye la fisuración e incrementa la ductilidad de la losa (líneas de cedencia) y su longitud será, al menos de 1/3 del vano (luz)

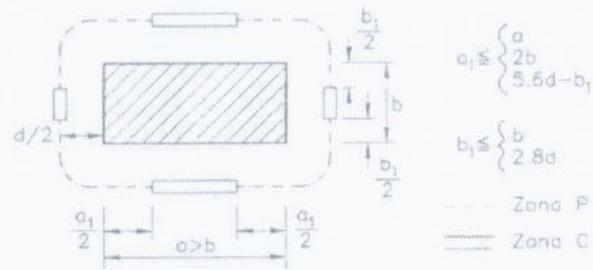


*Resumen de la armadura longitudinal mínima a disponer en las losas postensadas.*

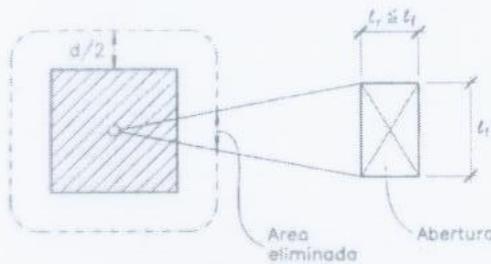
# Punzonamiento: Esquemas para el Cálculo



Sección crítica en el caso de pilares circulares y rectangulares

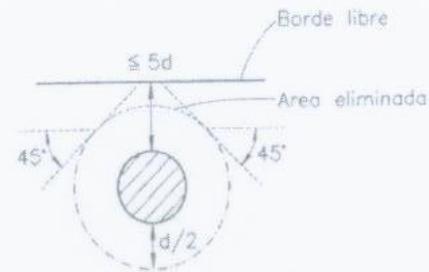


Sección crítica en el caso de áreas alargadas.

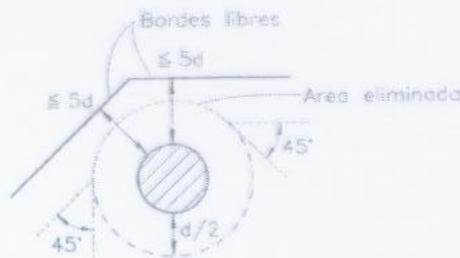


Si  $l_t < l_r$  se tomará, en vez de  $l_t$ ,  $\sqrt{l_t l_r}$ .

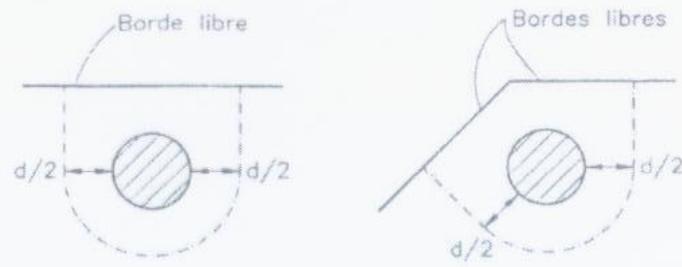
Sección crítica en presencia de huecos.



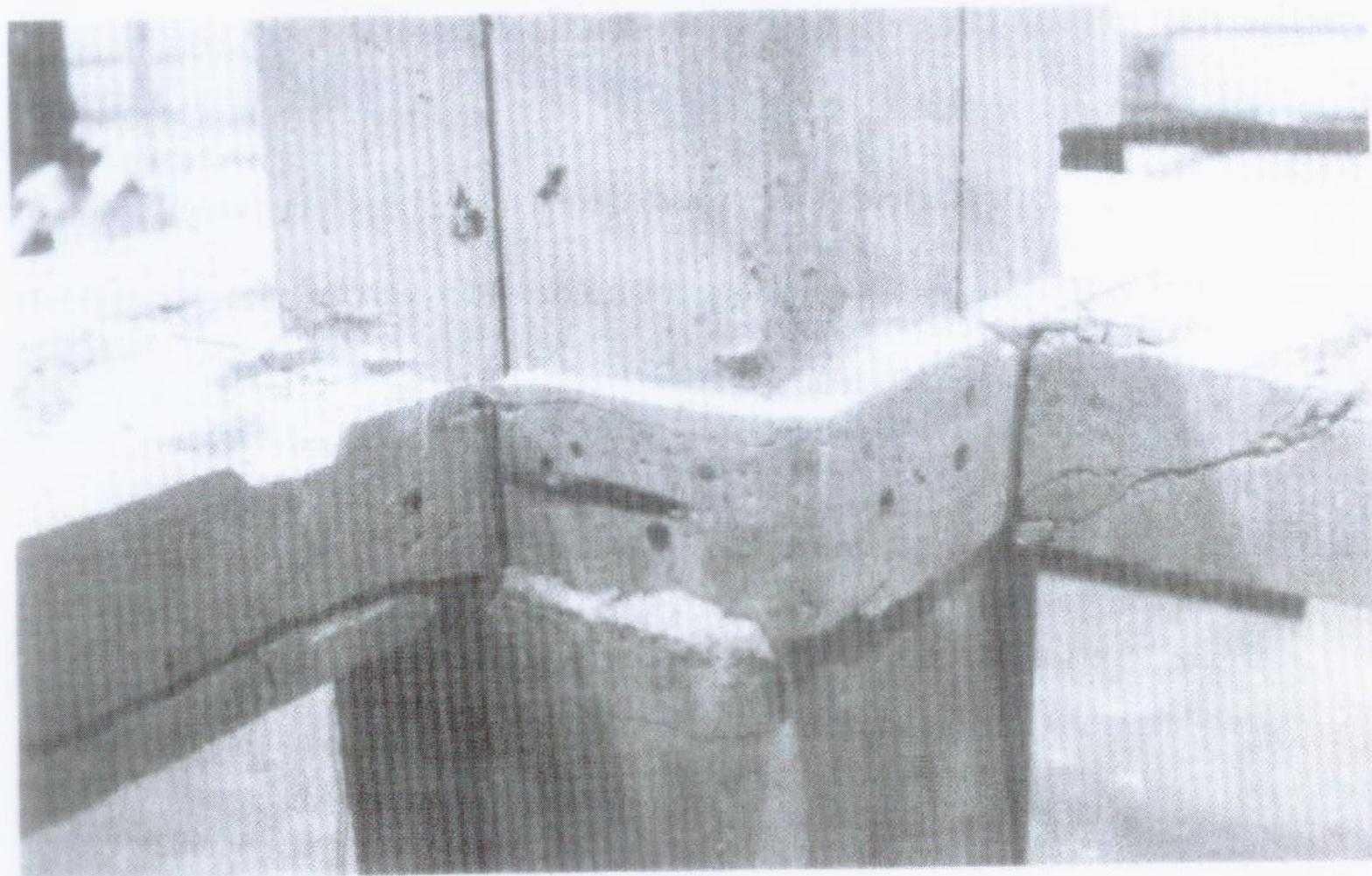
Sección crítica en el caso de que el área cargada diste menos de 5•d del borde recto.



Sección crítica en el caso de que el área cargada diste menos de 5d del borde en esquina.



Sección crítica en la cercanía de los bordes



*Rotura por punzonamiento. Obsérvese la inclinación de las fisuras.*

Recubrimientos mínimos según la vinculación y la clase de árido.

Deformación térmica libre o impedida	Tipo de árido	Recubrimiento (mm) para una resistencia al fuego de:				
		1 hora	1.5 horas	2 horas	3 horas	4 horas
Libre	Calizo	20	27	35	48	-
Libre	Silíceo	20	32	38	54	-
Libre	Ligero	20	26	32	42	-
Impedida	Calizo	20	20	20	26	32
Impedida	Silíceo	20	20	20	26	32
Impedida	Ligero	20	20	20	20	26

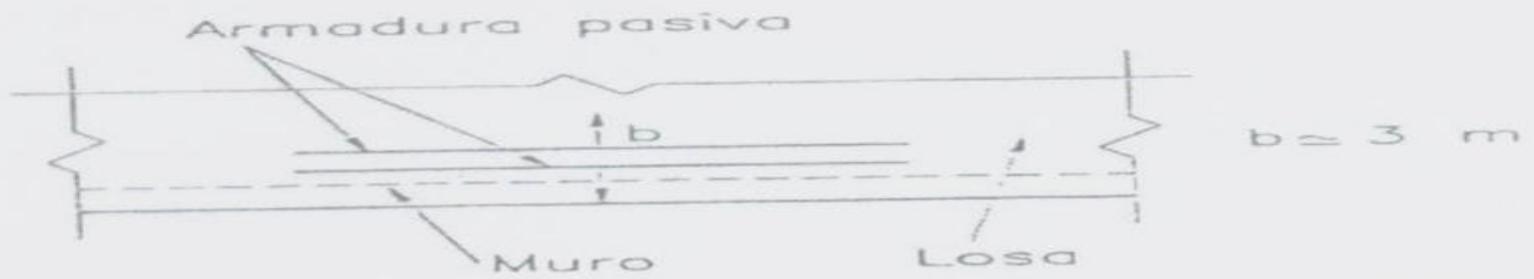
Canto mínimo en función de la clase de árido.

Árido	Canto de la losa (mm) para una resistencia al fuego de:				
	1 hora	1.5 horas	2 horas	3 horas	4 horas
Calizo	85	105	120	150	170
Silíceo	90	110	130	160	180
Ligero	70	85	95	120	135

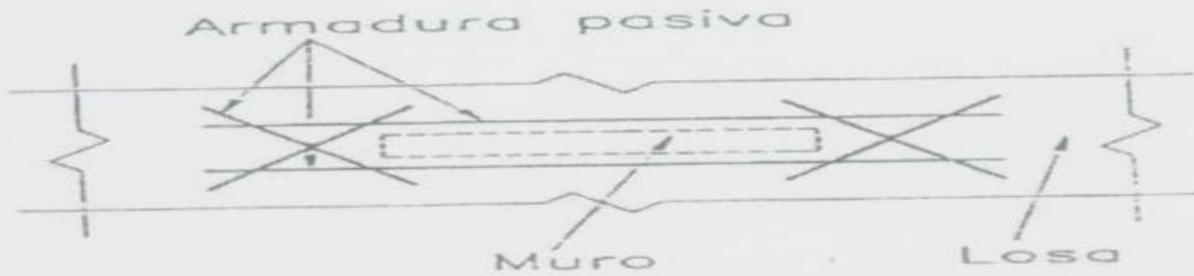
Recubrimientos mínimos en vigas y nervios.

Def. térmica libre o impedida	Tipo de hormigón	Ancho (*) de la viga (mm)	Recubrimiento (mm) para una resistencia al fuego de:				
			1 hora	1.5 horas	2 horas	3 horas	4 horas
Libre	Normal	205	45	50	65	115	-
Libre	Ligero	205	40	45	50	95	-
Impedida	Normal	205	40	40	45	50	65
Impedida	Ligero	205	40	40	40	45	50
Libre	Normal	> 305	40	45	50	65	75
Libre	Ligero	> 305	40	40	45	50	65
Impedida	Normal	> 305	40	40	40	45	50
Impedida	Ligero	> 305	40	40	40	40	45

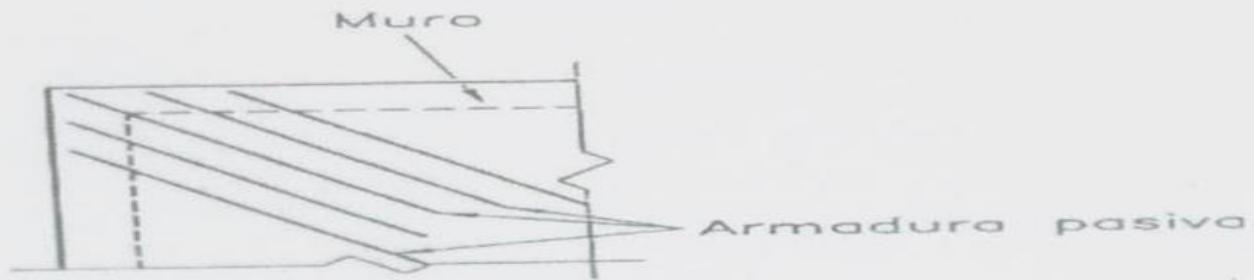
(\*) El ancho debe ser superior a 205 mm, aunque este valor permite interpolar.



*Armadura en los bordes unidos a muros.*



*Armadura junto a muros interiores.*



*Armadura en esquinas sobre muros.*

## Zonas de Anclaje – requerimientos de acero y detalles

En las zonas de anclaje de grupo de cables concentrados, la fuerza de tracción que se genera por la acción del postensado es:

$$F_t = 0.3 * ( 1 - h_a / h_{ps} ) * P_j$$

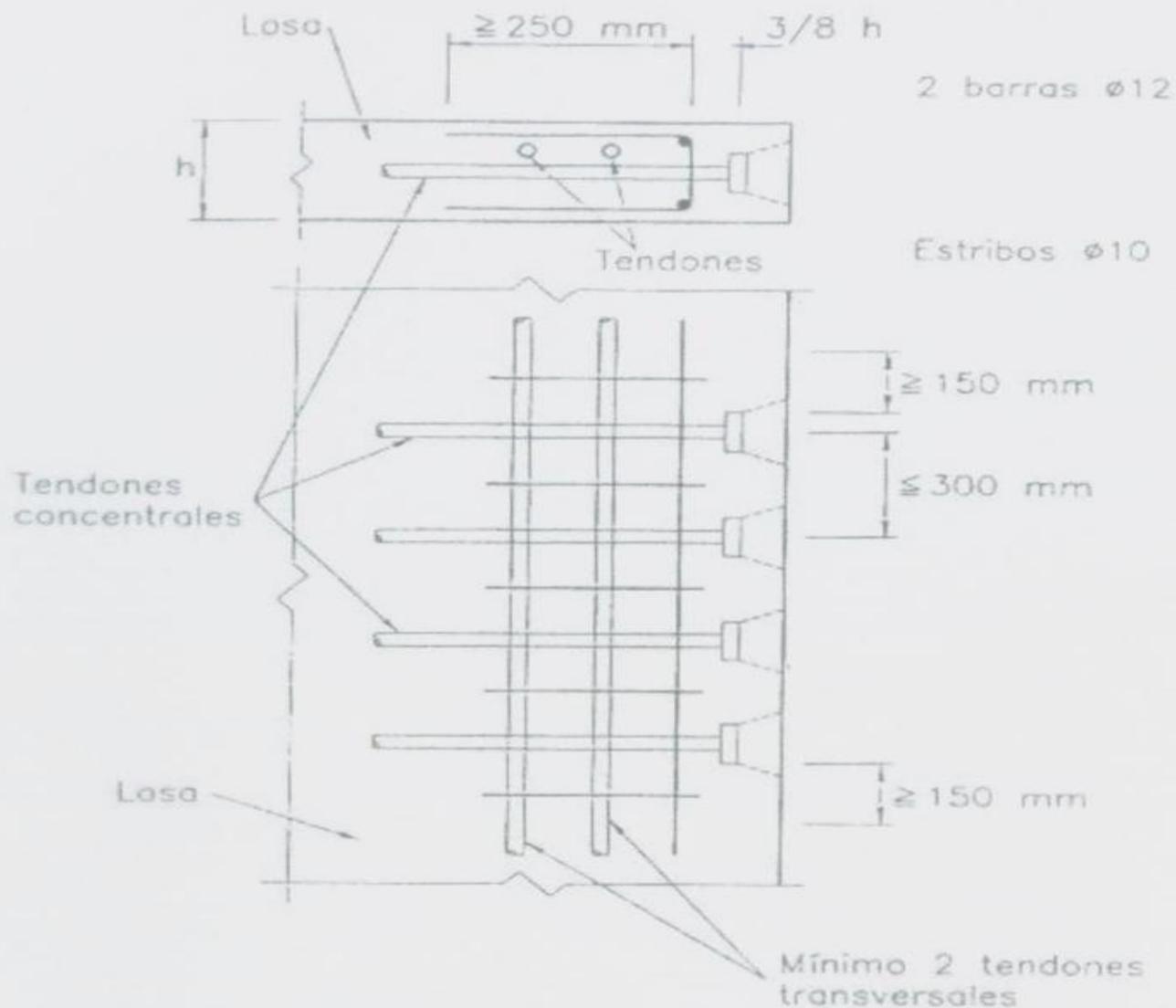
Donde:

$h_a$  = altura del anclaje (una sola línea de anclaje).

$h_{ps}$  = altura total del prima simétrico de hormigón que se crea por encima y por debajo del grupo de anclajes.

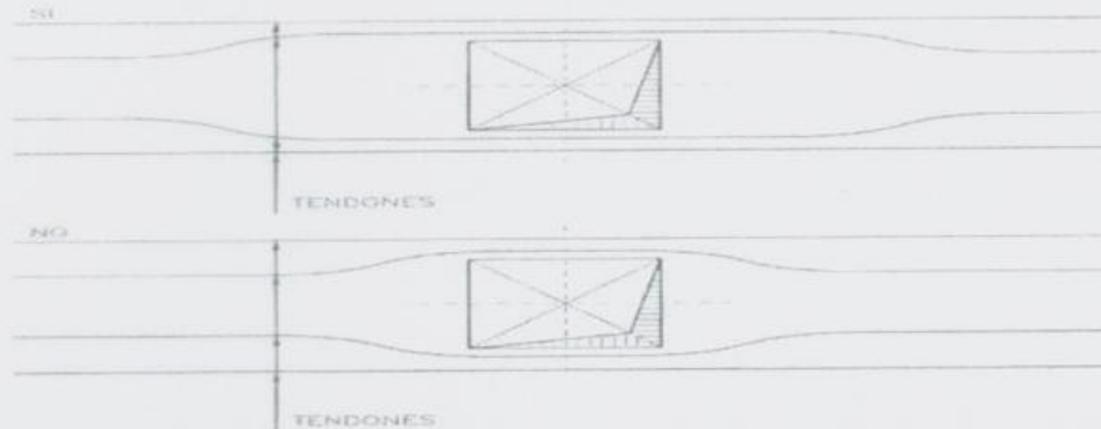
$P_j$  = fuerza de postensado de todos los cables en un grupo.

- La armadura (barras) para resistir dichas tracciones se obtiene usando  $0.6 * f_y$ , con  $f_y < \acute{o} = 4200$ , dándole un confinamiento lateral.
- Se debe colocar un mínimo de dos cables en la dirección perpendicular a los cables concentrados y en ambos extremos de éstos. Se deben tensar antes que los concentrados.

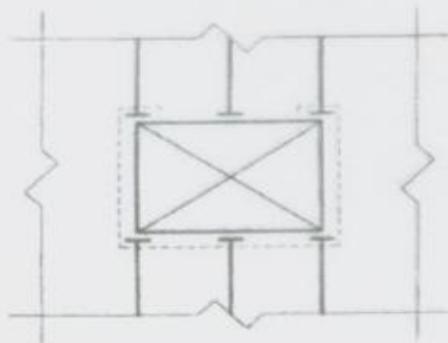


*Armaduras en las zonas de anclaje de tendones concentrados.*

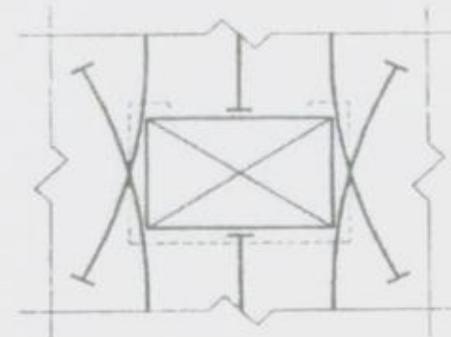
# Aberturas (huecos) – detalles indicativos



*Trazado adecuado e inadecuado de los tendones junto a aberturas.*



DISPOSICIÓN QUE FAVORECE  
LA FISURACION



DISPOSICIÓN QUE INHIBE  
LA FISURACION

*Disposición inadecuada y adecuada de anclajes junto a aberturas.*

## CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN EN LA LOSA POSTENSADA

- La fuerza en el cable es constante en todo su largo.
- La pendiente del mismo es pequeña, por consiguiente, la componente horizontal se considera constante.
- Se desprecia cualquier cambio en la fuerza del cable debido a la deflexión de la losa.
- Influencia de la secuencia de aplicación de las cargas**  
(postensado, construcción, particiones y solado, útil)
- Estimación de valor de carga útil para cálculo de deflexión**  
(C.U. = C.U.(p) + C.U.(t)\*K)t); se recomienda usar para oficinas (50%), estacionamiento (30%), comercial (35%) de la carga útil de diseño especificada en los Reglamentos
- Aunque no es práctica común, se debe verificar por vibración.

## MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN EN LA LOSA POSTENSADA

### TEORÍA CLÁSICA DE PLACAS

Timoshenko & Woinowsky-Krieger.

### MÉTODO DE LAS VIGAS CRUZADAS

### MÉTODO DEL PÓRTICO-LOSA

### MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO

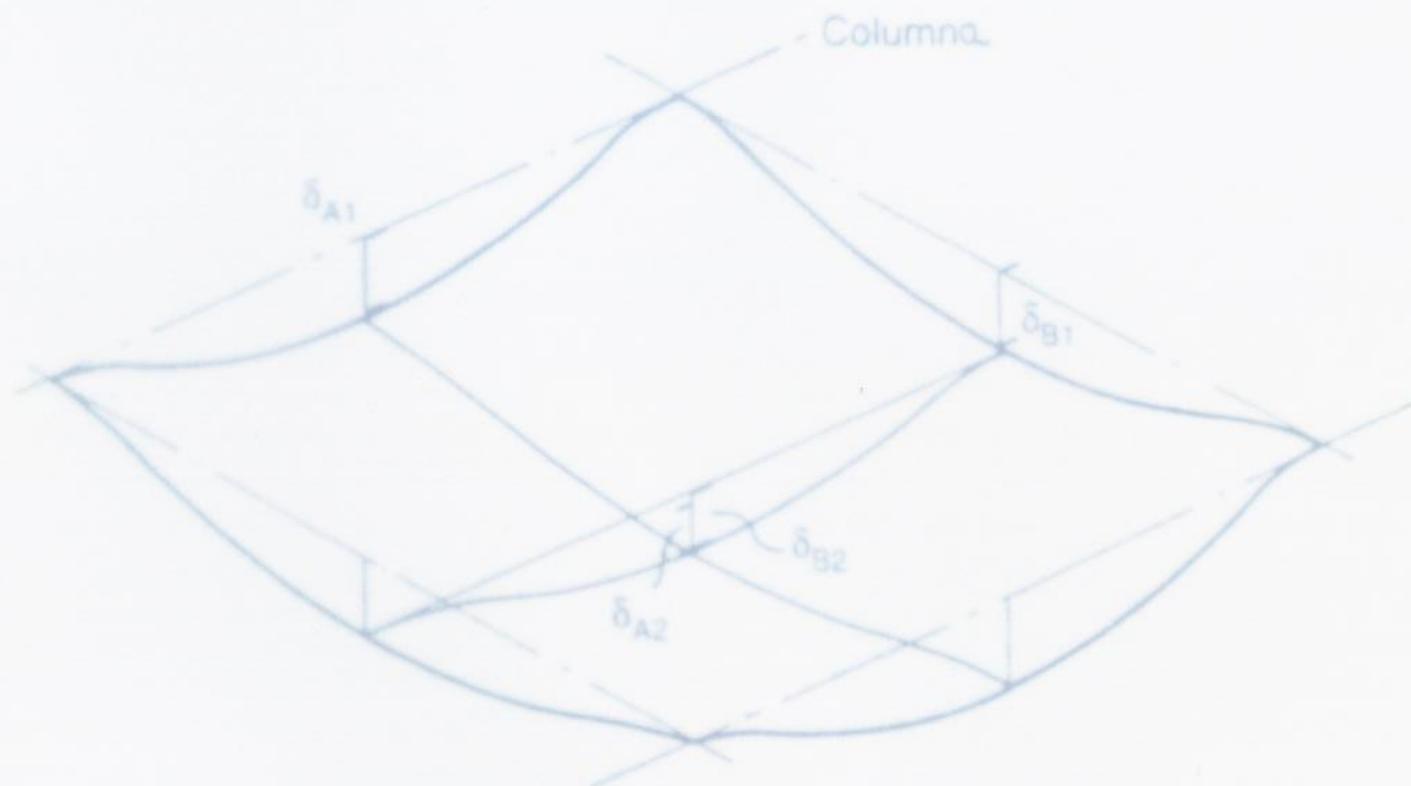
## MÉTODO DE LA VIGA CRUZADA

Método sencillo y comúnmente usado. Se basa en la idealización de la losa como dos vigas ortogonales entre sí. Da resultado cercano a lo que se aprecia en campo.

Las franjas de la losa, en cada dirección se idealizan como vigas, y la deflexión central del paño de losa es la suma de la deflexión central de la franja de columna que corre en un sentido más la deflexión central de la franja intermedia ortogonal a la primera.

En caso de que no se tengan resultados de análisis estructural, se recomienda que la franja de columna tome 1.2 veces la carga promedio y la intermedia tome 0.8 veces la carga promedio (ACI 318). Este mismo criterio es válido para la losa postensada.

# MÉTODO DE LA VIGA CRUZADA

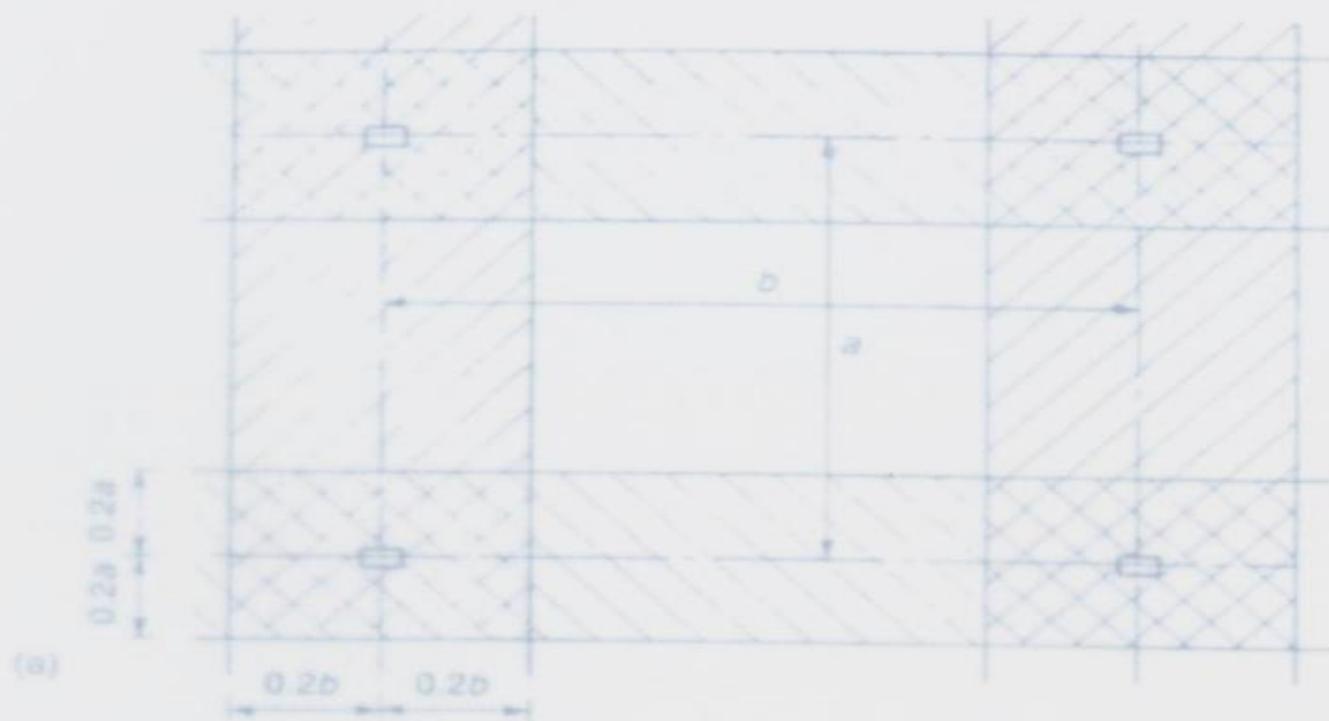


$$\delta = \delta_{A1} + \delta_{A2} = \delta_{B1} + \delta_{B2}$$

## MÉTODO DEL PÓRTICO-LOSA

- Toma en cuenta el efecto bi-direccional de la porción central del paño de losa.
- La losa se divide en franjas de columnas de 0.4 veces la luz relevante, por lo que los bordes corresponden a las "líneas de inflexión" de la losa. El paño central de la losa es tratado como placa elástica apoyada en los bordes de dichas franjas.
- Se calcula la deflexión del paño central como placa elástica.
- Se calcula la deflexión del tramo de franja, entre el borde y la línea central de columna como viga en voladizo.
- Se calcula la deflexión de la franja por teoría estructural
- **La deflexión en el centro de la losa es la suma de las tres.**

# MÉTODO DEL PÓRTICO-LOSA



## ELECCIÓN DEL MÉTODO

- Depende de la aplicación particular y del nivel de información fiable que se posea.
- Normalmente la decisión recae en la preferencia personal.**
- El método clásico de Teoría de Placas, además de ser engorroso, es útil en muy pocos casos.
- Los Métodos de Viga Cruzada y de Pórtico-Losa son los más usados, simples, directos y dan resultados aceptables, el último más que el primero.**
- El Método de Elemento Finito, dado el nivel de variabilidad de los valores usados en los cálculos, resulta ser muy sofisticado y solo se justifica en casos de geometría muy irregular e inusual.

# Vibraciones en la losa

- Tradicionalmente los problemas de vibración se han enfocado en pisos de madera y recientemente en pisos de acción compuesta (metaldecks).
- Con el advenimiento de losas de hormigón, de grandes luces y relación de esbeltez alto, el tema de vibraciones se ha convertido en un criterio importante de diseño de las mismas (criterio de servicio).
- Lo más común es la molestia que se genera a los ocupantes del área por las vibraciones debidas a la circulación de las personas.

- Por lo que se recomienda una verificación indicativa en la etapa de diseño y proceder a una verificación en regla en caso de que la indicativa nos indique la posibilidad de problemas.
- Para los criterios de aceptación de vibración, la frecuencia y la amplitud del movimiento son importantes.
- Los humanos son más sensibles a vibraciones de frecuencias bajas que a las de alta frecuencia.
- Comúnmente se usa una escala de percepción para la verificación de las vibraciones, la más comunes en muchos países del mundo son la CSC (Canadian Steelwork Code) y la de la AISC (American Institute of Steel Construction), las cuales se basan en diferentes tipos de excitación y niveles de amortiguamiento.

- Predicciones de Frecuencia Natural:

- U.K. Concrete Society:

$$\lambda_x = (n_x L_x / L_y) [I_y / I_x]^{0.25} \text{ (relación de lados)}$$

$$k_x = 1 + (1/\lambda_x^2) \text{ (factor de modificación)}$$

Para losas con vigas:

$$f_x' = 0.18 k_x (g/\delta)^{0.5} \quad (1)$$

Factor de modificación de (1):

$$\text{Losas sin vigas : } f_b = [0.18(g/\delta)^{0.5}] / [(1 + \delta_y/\delta_x)^{0.5}]$$

Quedando en este caso:

$$f_x = f_x' - (f_x' - f_b) * [1/n_x + 1/n_y] / 2$$

- De acuerdo a la U.K. Concrete Society, a partir de los cálculos de la frecuencia natural, podemos establecer, a través de otros elementos el **Factor de Respuesta “R”**
- Este factor de respuesta “R” se calcula para ambas direcciones, obteniéndose un factor de respuesta general:

$$\underline{R = R_x + R_y}$$

- Para tener un nivel de vibración aceptable, los valores de “R” no deben sobrepasar:

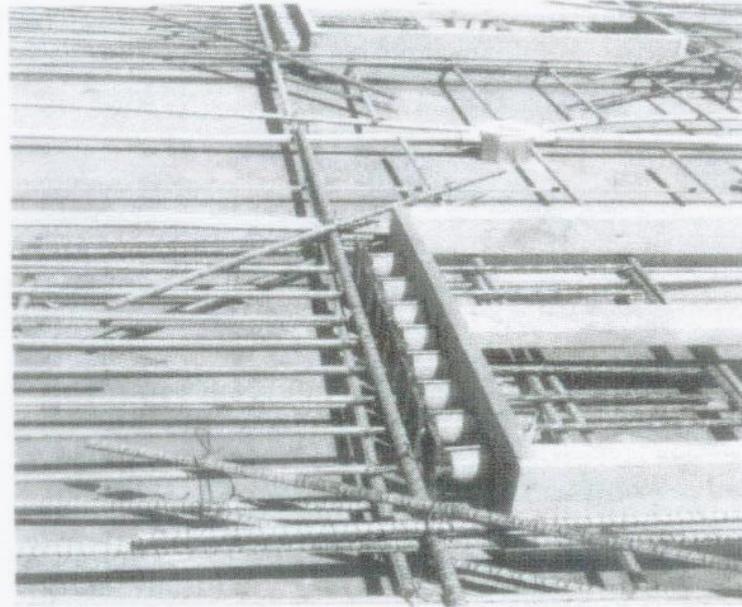
**Oficinas normales: R=8**

**Oficinas de mucho tránsito: R=12**

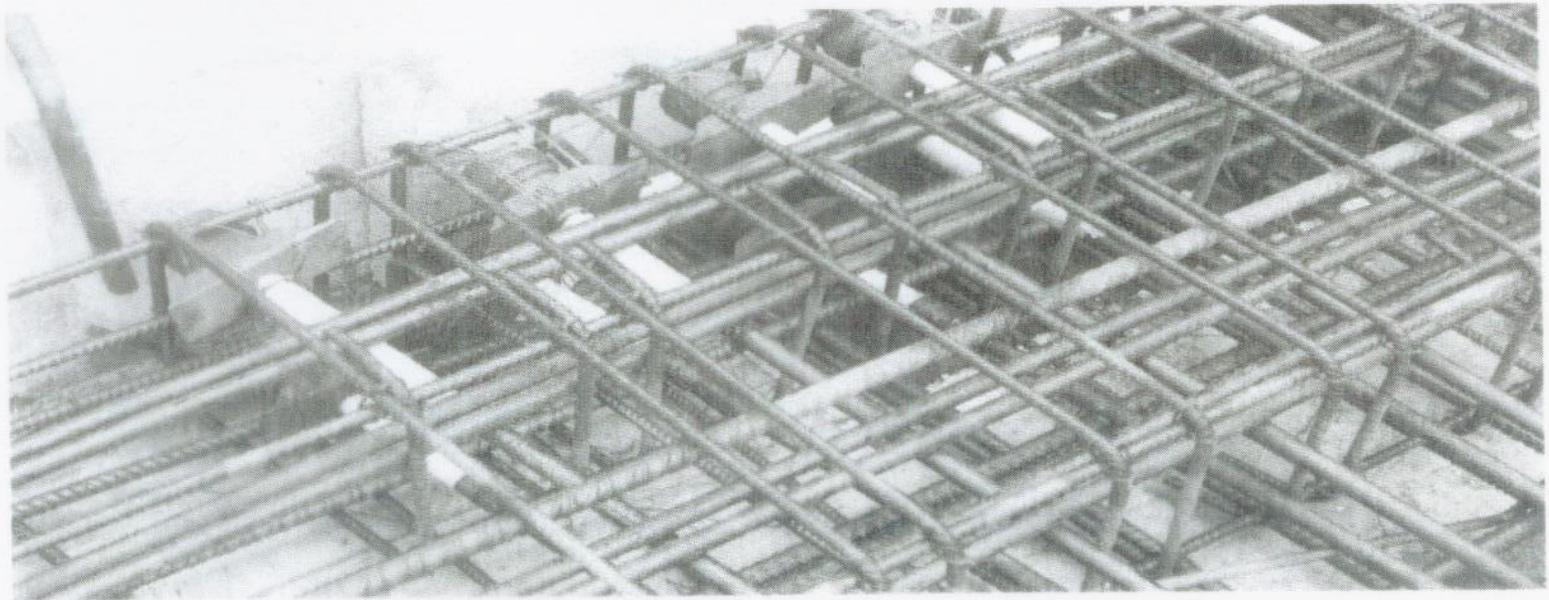
**Áreas Técnicas: R=6**

**Residencias: R=4**

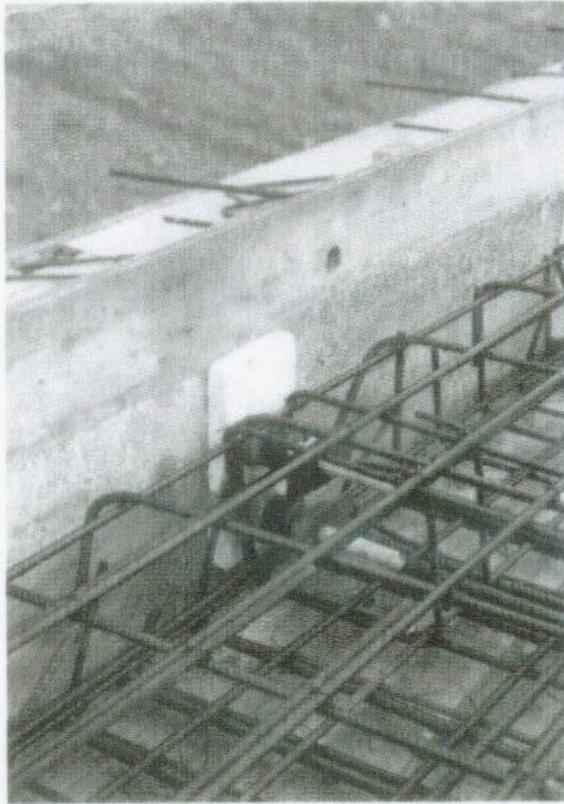
## Detalles constructivos



*Armadura pasiva de refuerzo junto a huecos.*



*Armadura pasiva de refuerzo en zonas de anclajes.*

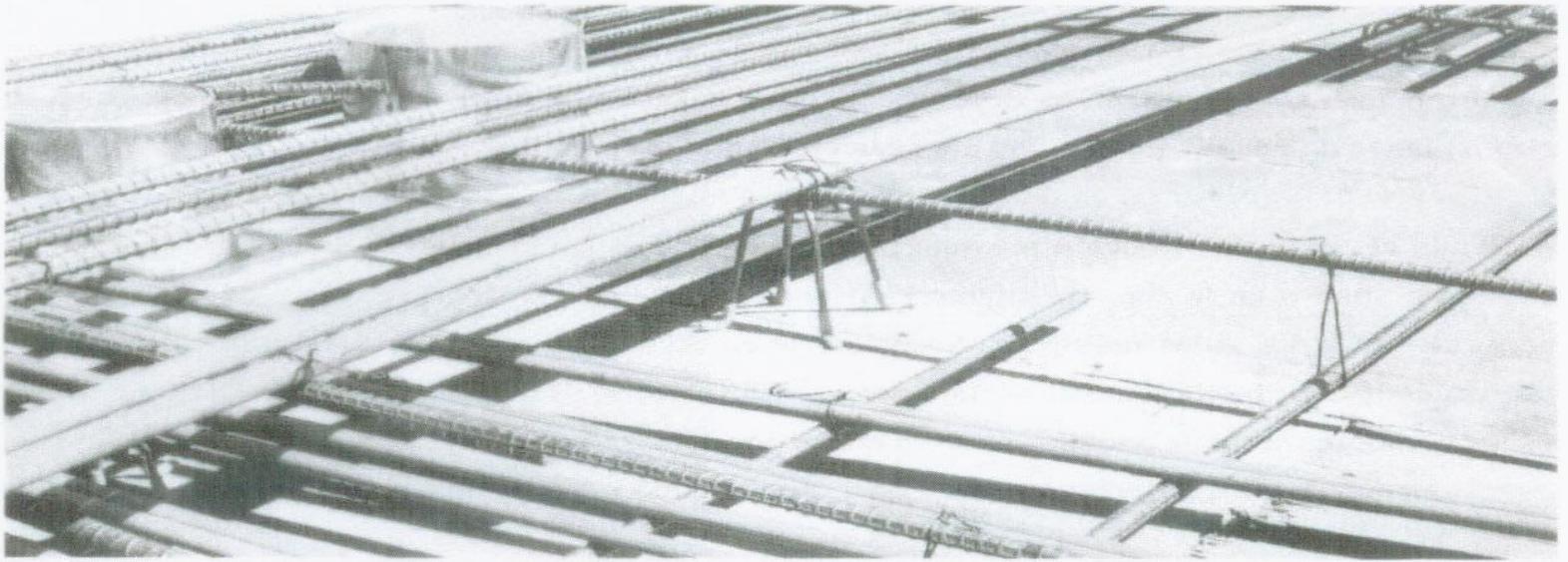


*Anclaje activo.*

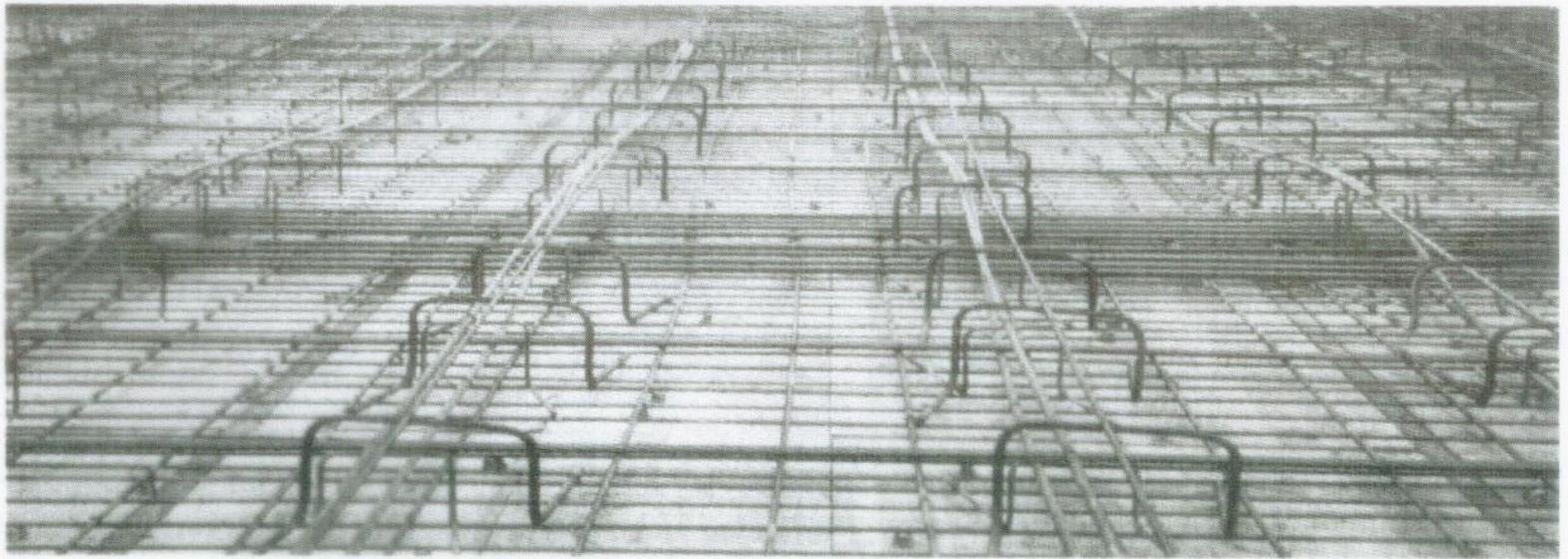
## **Detalles constructivos**



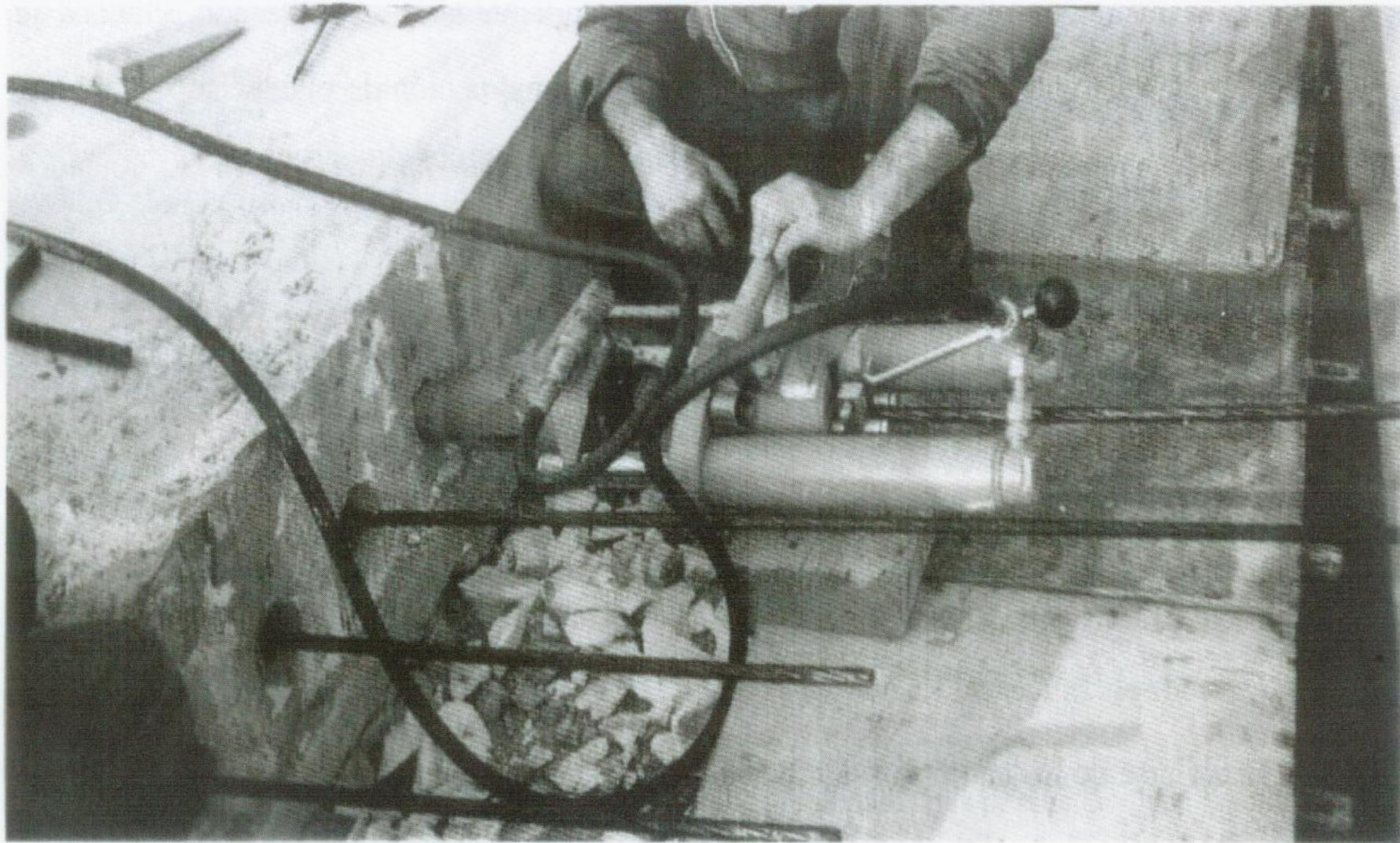
*Anclajes pasivos embebidos en el hormigón.*



*Caballete para apoyo de la armadura activa.*



*Caballetes de sujeción de la armadura activa.*



*Operación de tesado con gato unifilar.*

# **Al cierre, algunas ideas...**

- **Si tenemos dudas, preguntemos..**
- **Si no sabemos, consultemos y estudiemos..**
- **Somos Ingenieros, no Dios, no sabemos todo.**

**Recordemos siempre que:**

**“LA IMAGINACIÓN Y EL SENTIDO COMÚN  
SON LAS GRANDES GUÍAS PARA LA  
CORRECTA APLICACIÓN DEL  
CONOCIMIENTO”**

**Muchas gracias por su atención y que Dios les bendiga a todos.**