

1.- MATERIALES - GEOMETRÍA

a) Dimensiones de las columnas

Se establece un ancho mínimo para controlar el pandeo de las columnas

$$bc \geq 200 \text{ mm}$$

$$bc \geq L_n/25$$

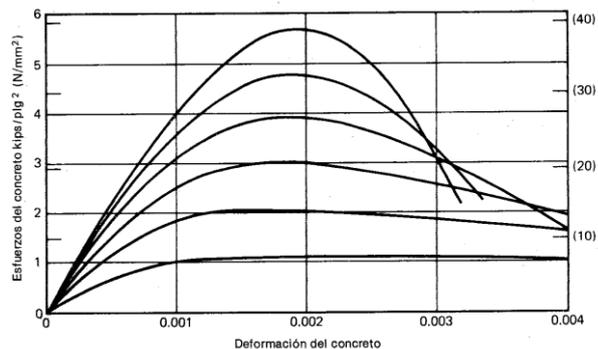
Se establece un máximo al canto de la sección a fin de evitar secciones extremadamente robustas que presentan un comportamiento muy disperso en cuanto a la degradación de la resistencia al corte.

$$h_{\text{máx}} \leq 100 b_c^2/L_n.$$

b) Calidad de los materiales

Se limita la resistencia especificada del **hormigón** debido a que hormigones de alta resistencia presentan menores deformaciones específicas últimas.

$$20 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 70 \text{ MPa}$$



Se limita la calidad del **acero** debido a que la deformación última y la longitud de la meseta de fluencia disminuyen con el aumento de la tensión de fluencia.

$$f_y \leq 420 \text{ MPa} \quad f_{y\text{real}}/f_y \leq 1.30 \quad f_{u\text{real}}/f_{y\text{real}} \geq 1.15$$

c) Rigidez

Para obtener valores de las deformaciones y solicitaciones en estructuras hiperestáticas más ajustados a la realidad es necesario introducir las características de las secciones de hormigón armado en **estado fisurado**.

Nivel de Esfuerzo Axial	Momento Inercia Efectivo I_e
a) $P_u/f'_c A_g > 0.50$	0.80 I_g
b) $P_u/f'_c A_g = 0.20$	0.60 I_g
c) $P_u/f'_c A_g \leq -0.05$	0.40 I_g

2.- SOLICITACIONES

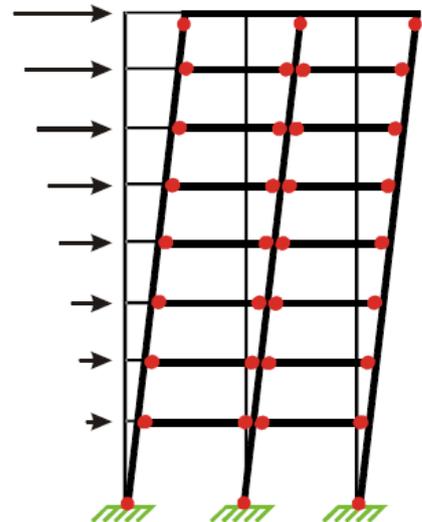
a) Determinación de las solicitaciones requeridas

El objeto es obtener para cada columna las solicitaciones de:

- **Momento Flector de Diseño**
- **Esfuerzo Axial de Diseño**
- **Esfuerzo de Corte de Diseño**

El procedimiento depende si, de acuerdo al mecanismo de colapso elegido, en la sección en estudio:

Se prevé la formación de una rótula plástica
No se espera la formación de una rótula plástica
Pertenece al primer piso



b) Combinaciones de carga

$$C = 1,00 D \pm E + f_1 L + f_2 S$$

$$E = E_H + E_V$$

Gravitatorias

$$1,4D$$

$$1,2D + 1,6L$$

c) Método estático y análisis modal espectral

El procedimiento de diseño por capacidad fue concebido considerando que las solicitaciones son obtenidas mediante un **análisis estático lineal**.

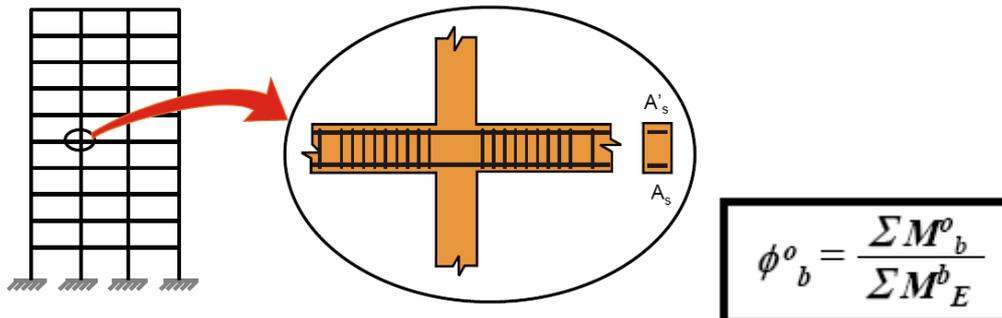
Si se utiliza el procedimiento de análisis dinámico modal espectral deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los momentos sísmicos obtenidos en los extremos de las vigas o en las secciones de columnas **donde se prevean rótulas plásticas**, se supondrán que actúan simultáneamente.
- Para la determinación de las solicitaciones debidas sólo a la acción sísmica horizontal, que se utilizarán como valores de referencia para aplicar los factores de sobrerresistencia de vigas o columnas según corresponda, se utilizará el conjunto de fuerzas laterales correspondientes al primer modo de vibración.

3.- SOBRRRESISTENCIA FLEXIONAL EN VIGAS

a) Factor de sobrerresistencia flexional de vigas

El factor ϕ^o_b posibilita considerar el momento total impartido a las columnas por la acción combinada del sismo con la carga gravitatoria; por lo tanto, no se necesita considerar separadamente los momentos producidos en las columnas por ésta última.



$$M^o_b = \lambda_o * M^{b_n}$$

$$M^{b_n} \Rightarrow Mu/\phi$$

$\lambda_o = 1.4$ factor de sobrerresistencia del acero
 $\phi = 0.9$ factor de reducción de resistencia (para flexión)

$$\phi^o_b = \frac{M^o}{M_E} = \frac{\lambda_o M_n}{M_E} = \frac{\lambda \left(\frac{M_E}{\phi} \right)}{M_E} = \frac{\lambda_o}{\phi} = \frac{1,4}{0,9} = 1,56$$

Si $\phi^o_b = 1,56 \rightarrow$ la resistencia suministrada es igual a M_E

Si $\phi^o_b < 1,56 \rightarrow$ la resistencia suministrada es menor que M_E

Si $\phi^o_b > 1,56 \rightarrow$ la resistencia suministrada es mayor que M_E

b) Redistribución y conservación del equilibrio

Con la redistribución de momentos que permite el reglamento (30%) a lo largo de las vigas de un piso resulta que algunas secciones tendrán capacidad flexional distinta a la requerida por el análisis. Así para controlar que se satisfaga el equilibrio se puede calcular el factor para las vigas de cada piso

$$\psi_o = \frac{\sum \phi^o_B M_E}{\sum M_R} > \frac{\lambda_o}{\phi}$$

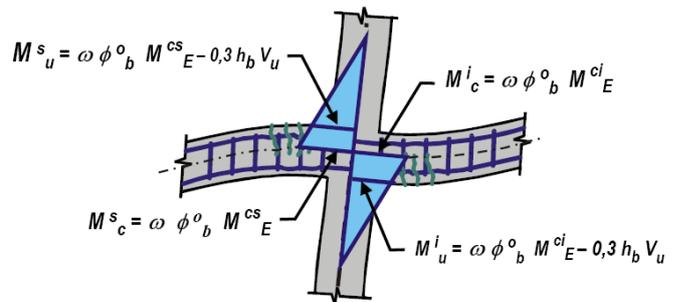
4.- MOMENTOS REQUERIDOS

a) Zonas donde **NO** se prevé la formación de rótulas plásticas

- Columnas con puntos de inflexión dentro del piso

$$M_u = \phi_b^o \cdot \omega \cdot M_E^c - V_u(0.30 \cdot h_b)$$

$$\phi = 1$$



b). Zonas donde **SI** se prevé la formación de rótulas plásticas

$$M_u = \frac{M_u^A}{\phi} - V_u(0.30 \cdot h_b) \quad \phi \neq 1$$

M_u^A surge del análisis considerando las combinaciones correspondientes (D, L, E y S)

c) Momento sísmico en columnas M_E^c

El momento M_E^c corresponde a las acciones sísmicas solamente (a ejes de vigas).

- Análisis estático → Se toman las acciones directamente del modelo
- Análisis modal espectral → Se toman las acciones del 1º modo exclusivamente

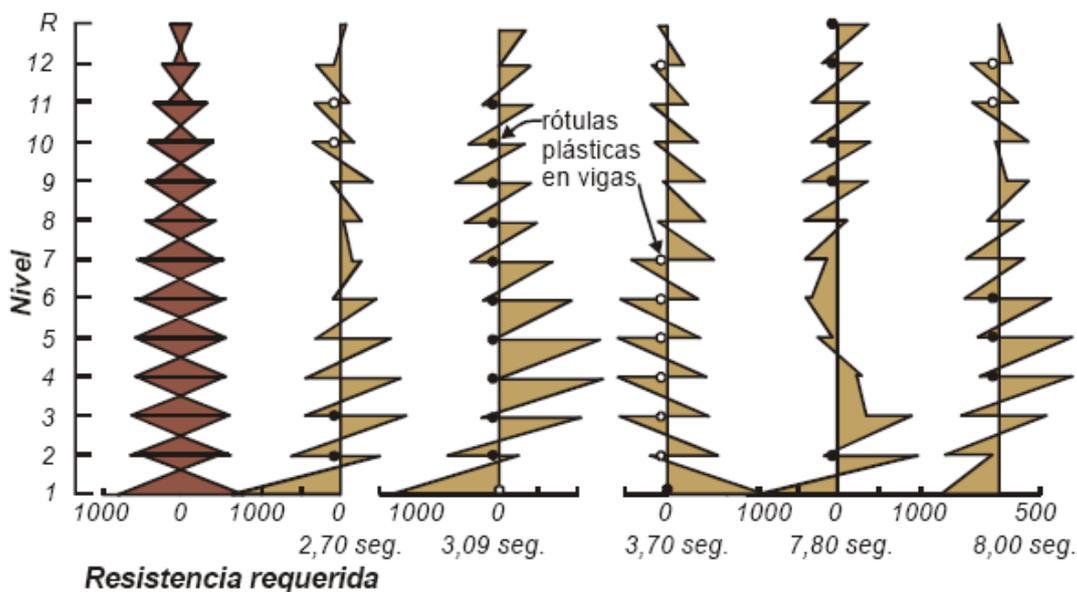
d) Factor de sobrerresistencia flexional en vigas ϕ_o

- Para columnas con punto de inflexión dentro del piso considerado

$$\phi_o^b = \frac{\sum M_b^o}{\sum M_E^b} = \sum \frac{\lambda_o M_n^b}{M_E^b}$$

d) Factor de amplificación dinámica

Causa: Diferencia que presenta el análisis estático lineal con la respuesta dinámica.



Objeto: dar una adecuada seguridad contra una fluencia prematura de columnas donde no se espera la formación de rótulas plásticas.

Efecto: en ciertas columnas desaparece el punto de inflexión a lo largo de algunos pisos y los momentos flectores en diversas secciones exceden significativamente los valores del análisis estático lineal.

Solución: amplificar los momentos del análisis lineal mediante el factor ω .

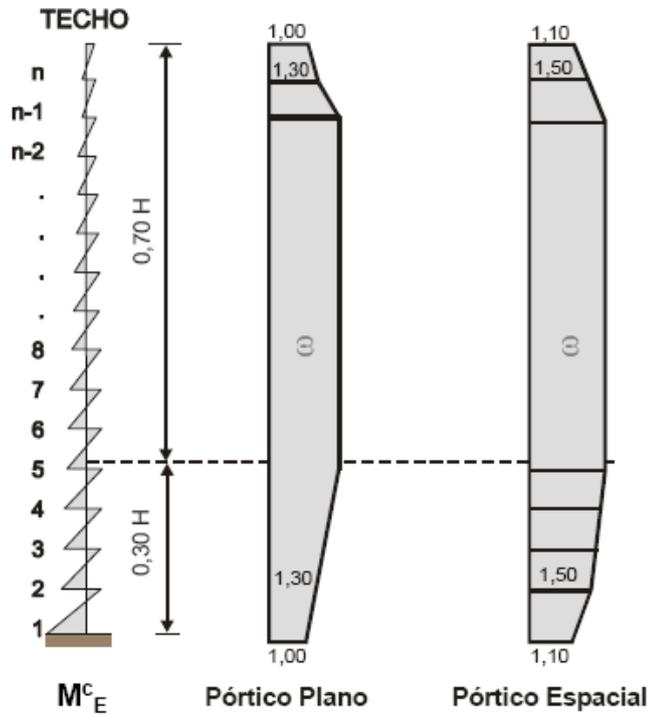
Fundamento de la solución: el análisis estático lineal es representativo del primer modo y las variaciones en los patrones de distribución de momentos se deben a los modos superiores especialmente en los pisos altos de construcciones con periodo largo.

Así el factor responde a:

- a) Prevenir la formación de un mecanismo de piso (excepto el último)
- b) Evitar la formación de rótulas plásticas en la cabeza de columnas del 1º piso
- c) Propender a que las columnas diseñadas para no formar rótulas plásticas fluyan sin grandes demandas de ductilidad ante la situación extrema de carga (terremoto destructivo)

Valoración

Pórticos Planos:	$\omega=0.6 \cdot T_1 + 0.85$	$1.3 \leq \omega \leq 1.80$
Pórticos Espaciales:	$\omega=0.5 \cdot T_1 + 1.10$	$1.5 \leq \omega \leq 1.90$



f). Reducción de los momentos requeridos

Esta reducción se aplica solo para columnas donde NO se espera la formación de rótulas plásticas.

Objeto: reducir las acciones en aquellas columnas que por su baja carga axial de compresión pueden desarrollar mayor ductilidad.

Fundamentos: La redistribución de momentos que implica esta reducción conlleva moderadas demandas de ductilidad con pequeñas deformaciones del hormigón en el borde más comprimido.

$$M_{u\text{red}} = R_m [\phi_b^o \cdot \omega \cdot M_E^c - V_u (0.30 \cdot h_b)]$$

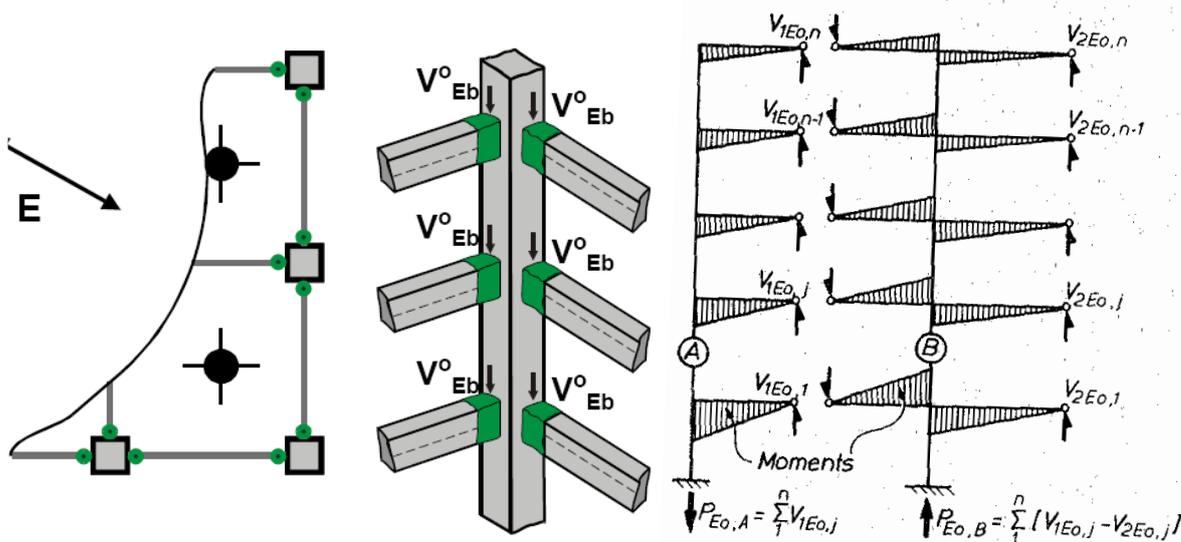
Factor de Reducción R_m

ω^*	$P_u / (f'_c A_g)$										
	- 0,15	- 0,125	- 0,100	- 0,075	- 0,050	- 0,025	0,00	0,025	0,050	0,075	0,100
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,10	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	1,00
1,20	0,72	0,75	0,78	0,81	0,83	0,86	0,89	0,92	0,94	0,97	1,00
1,30	0,62	0,65	0,69	0,73	0,77	0,81	0,85	0,88	0,92	0,96	1,00
1,40	0,52	0,57	0,62	0,67	0,71	0,76	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
1,50	0,44	0,50	0,56	0,61	0,67	0,72	0,76	0,83	0,89	0,94	1,00
1,60	0,37	0,44	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
1,70	0,31	0,38	0,45	0,52	0,59	0,66	0,73	0,79	0,86	0,93	1,00
1,80	0,30	0,33	0,41	0,48	0,56	0,63	0,70	0,78	0,85	0,93	1,00
1,90	0,30	0,30	0,37	0,45	0,53	0,61	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00
TRACCIÓN							COMPRESIÓN				

5.- ESFUERZO AXIAL REQUERIDO

a). Consideraciones generales

- Para ser consistentes con el diseño por capacidad, las fuerzas axiales en las columnas resultan del esfuerzo de corte asociado al desarrollo de la capacidad flexional de las vigas que concurren a cada columna.
- La suma de todos los esfuerzos de corte por encima del nivel en estudio da un límite superior al esfuerzo axial.
- Se entiende que con el aumento del número de pisos por sobre el nivel en estudio, la cantidad de vigas que desarrollarán simultáneamente su resistencia flexional se reducirá



b). Valoración

- Deben sumarse los cortes que provienen de las dos direcciones
- Cuando los ω sean distintos para cada dirección se deberá tomar el mayor.

$$P_U = P_E^o + P_G$$

P_G → Carga gravitatoria asociada a las combinaciones que incluyen la acción sísmica.

La reducción resulta intrascendente en el caso de columnas centrales de pórticos regulares

$$P_E^o = R_v \sum V_{Eb}^o$$

Nº de pisos por encima del nivel considerado	Factor de amplificación dinámica ω					
	1,30 o menor	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90
2	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
4	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91
6	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,86
8	0,88	0,87	0,86	0,84	0,81	0,81
10	0,85	0,84	0,82	0,80	0,77	0,77
12	0,82	0,81	0,78	0,76	0,72	0,72
14	0,79	0,77	0,75	0,72	0,67	0,67
16	0,76	0,74	0,71	0,68	0,63	0,63
18	0,73	0,71	0,68	0,64	0,58	0,58
20 o más	0,70	0,68	0,64	0,61	0,54	0,54

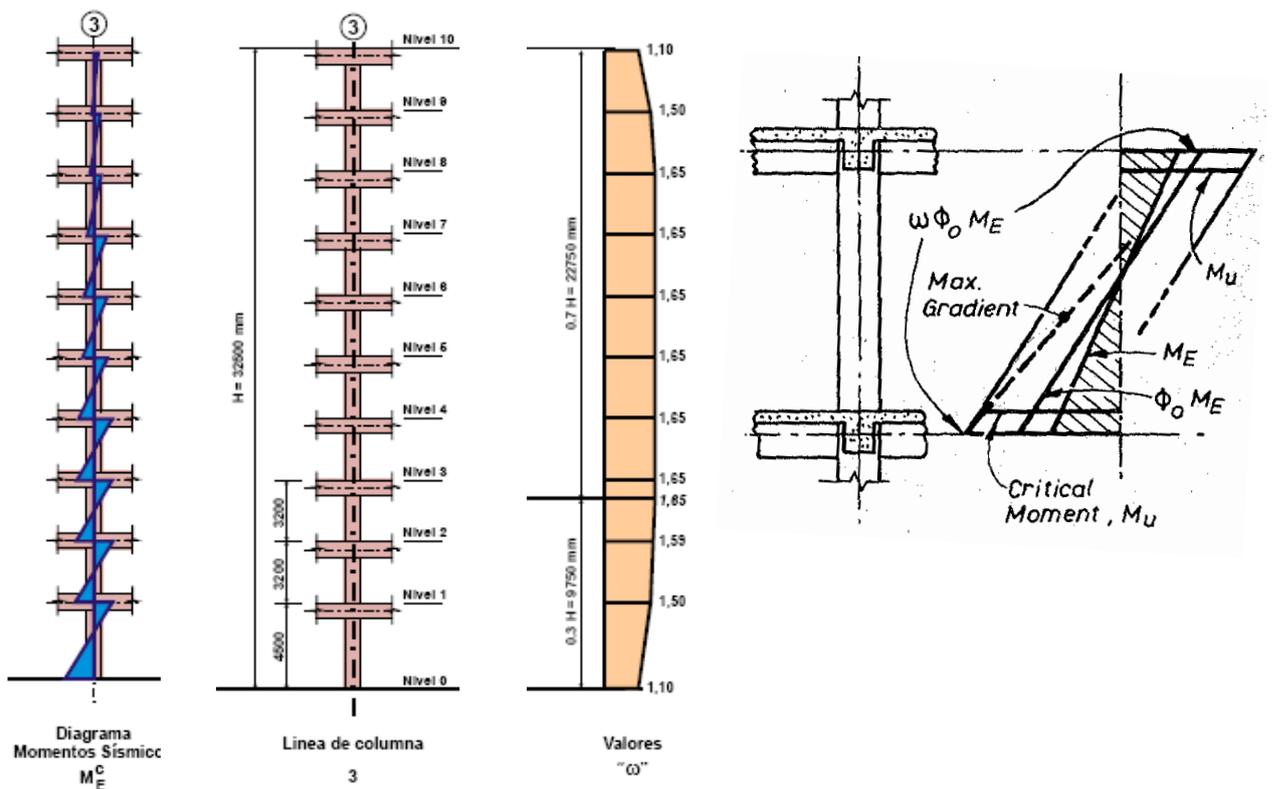
6.- ARMADURA LONGITUDINAL

a). Requerimientos generales

- Cuantía geométrica mínima $\mu_{\min}=0.8\%$
- Cuantía geométrica máxima $\mu_{\max}=1800/f_y \%$ (4.3%)
- Relación de diámetros: $\phi_{\text{menor}} \geq \phi_{\text{mayor}}/3$

b) Zona de empalmes y gradiente del diagrama de momentos

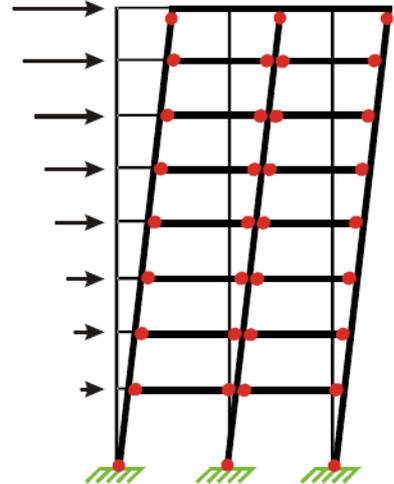
Debido a que la magnificación dinámica a través del factor ω resulta de la respuesta dinámica temporal, los máximos correspondientes a los extremos de una columna no serán simultáneos. Para evitar una interrupción prematura de la armadura longitudinal se debe considerar el gradiente de momentos que resulta de tomar el momento con magnificación en un extremo y sin magnificación en el otro.



7.- ESFUERZO DE CORTE REQUERIDO

Se distinguen dos casos:

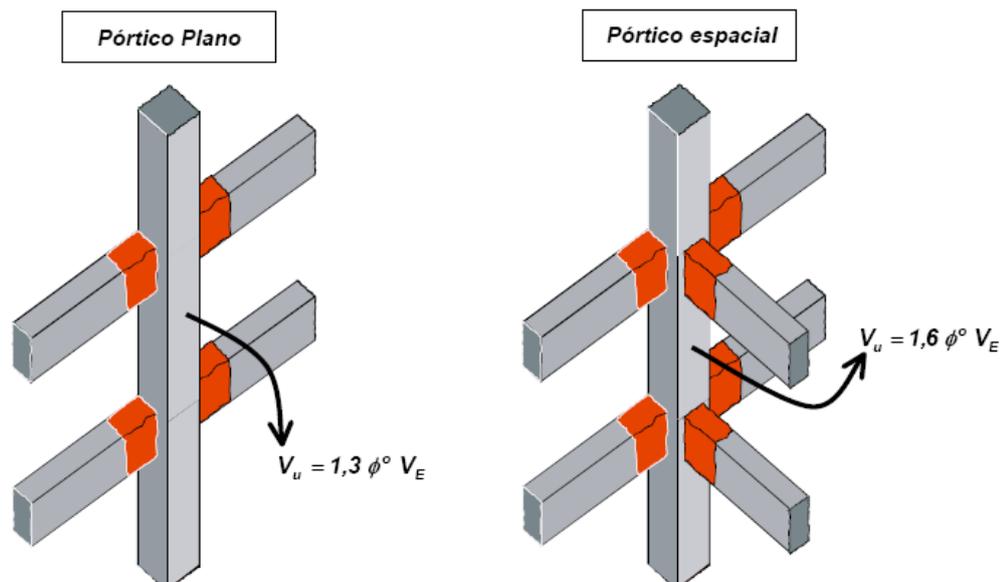
- Columnas donde **NO** se prevea la formación de rótulas plásticas
- Columnas donde **SI** se prevé la formación de rótulas plásticas
 - En uno de sus extremos
 - En ambos extremos



a). Columnas donde **NO** se prevé la formación de rótulas plásticas

- En este caso los esfuerzos de corte pueden ser obtenidos directamente del análisis para acciones sísmicas solamente
- Se considera que debido al tipo de falla frágil que presenta el esfuerzo de corte se otorgue una seguridad adicional del orden del 20%
- Se debe tener en cuenta la diferencia de los factores de reducción de resistencia para corte y momento de los reglamentos vigentes

Para todos los niveles excepto el 1º



b). Columnas donde SI se prevé la formación de rótulas plásticas

Con rótulas en ambos extremos

$$V_u = (M_{c\ base}^o + M_{c\ capitel}^o) / L_n \qquad M_c^o = \lambda_o * M_n^c$$

Con rótulas en un solo extremo

$$V_u = (M_u + M_c^o) / L_n \qquad M_u = \text{Momento requerido (*)}$$

$$M_c^o = (\lambda_o + f(\text{nivel de carga axial})) * M_n^c$$

$$M_u = \phi_b^o \cdot \omega \cdot M_E^c - V_u (0.30 \cdot h_b)$$

c). Esfuerzo de Corte mínimo

$$V_{u\ min} \geq 1.7 V_E^c$$

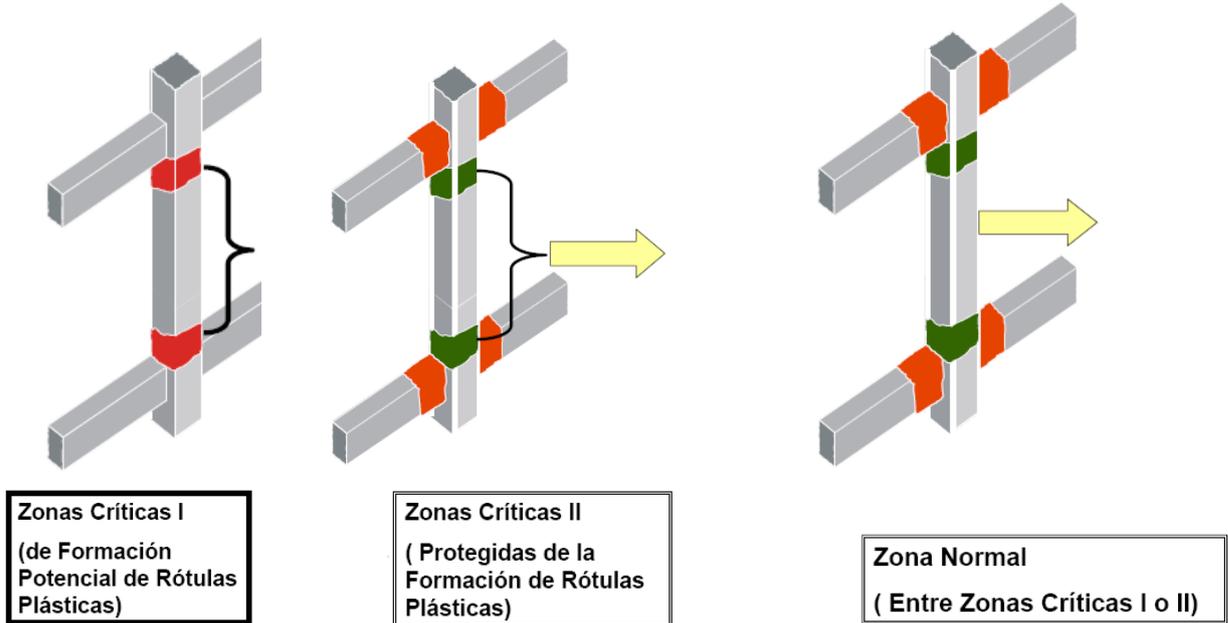
8.- ARMADURA TRANSVERSAL

a) Requerimientos:

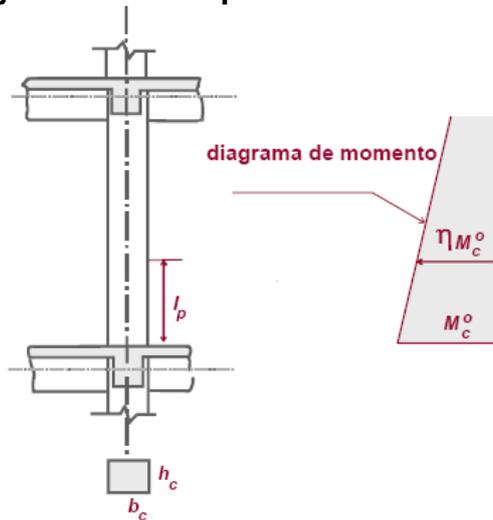
La armadura transversal es un aspecto vital en el diseño de columnas

RESISTENCIA AL CORTE	Mayoración del corte de diseño V_u mediante los factores de 1.3 y 1.6 para pórticos planos y espaciales respectivamente
CONFINAMIENTO DEL HORMIGÓN	Mediante el establecimiento de cuantías volumétricas mínimas de acero transversal (Art. 2.3.9.1.)
ESTABILIDAD DE LA ARMADURA LONGITUDINAL COMPRIMIDA	Área mínima y separación mínima de los estribos

Estos requerimientos son diferentes según la región donde estemos analizando



b) Longitud de rotula plástica



La longitud de la zona crítica (l_p) será el mayor valor entre: $\gamma b_c, \gamma h_c$, o ηM_c^o ; con:

$P_u \leq 0,25 \phi f'c A_g$:

$\gamma = 1,0$ y $\eta = 0,80$

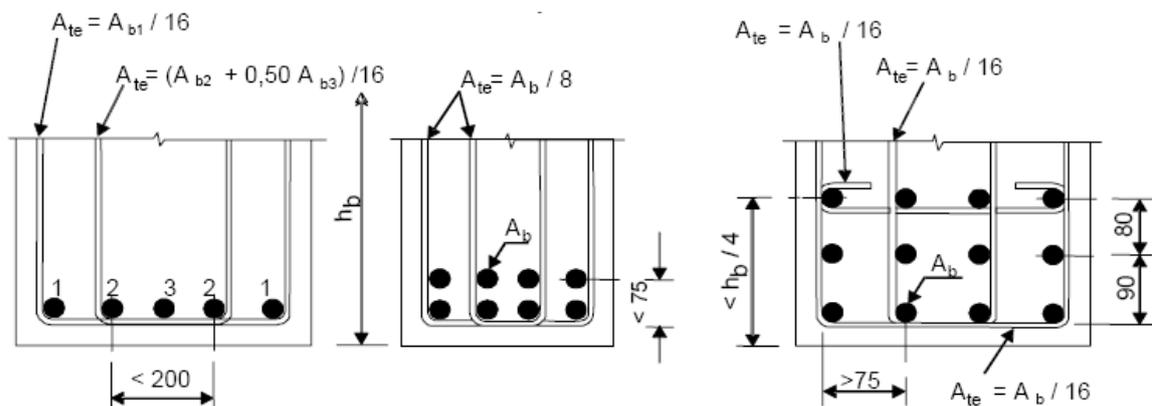
$0,25 \phi f'c A_g < P_u \leq 0,50 \phi f'c A_g$:

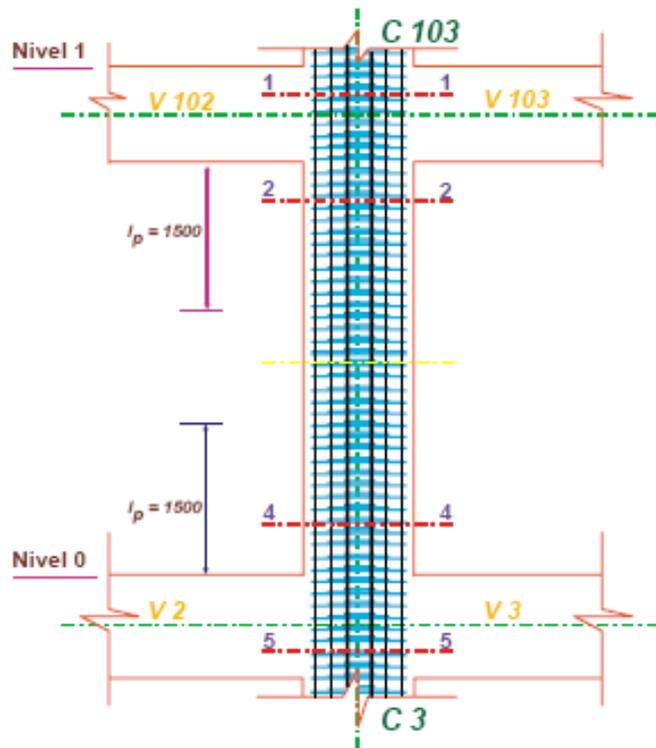
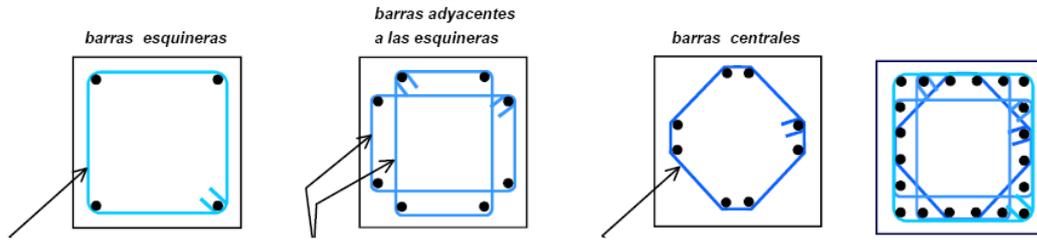
$\gamma = 2,0$ y $\eta = 0,70$

$0,50 \phi f'c A_g < P_u \leq 0,70 \phi f'c A_g$:

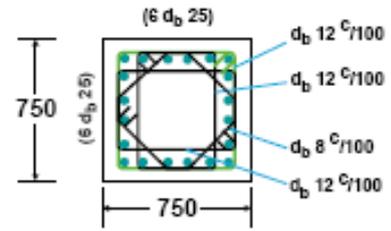
$\gamma = 3,0$ y $\eta = 0,60$

c) Conformación de la armadura transversal y detalle de armado

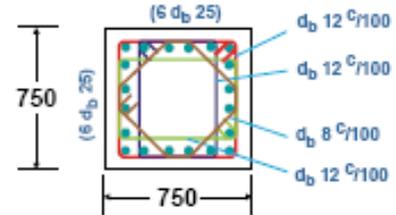




Secciones (1 - 1 ; 2 - 2)



Sección 3 - 3



Secciones (4 - 4 ; 5 - 5)

