

5.6. DISPOSICIONES PARA CONSTRUCCIONES DE HORMIGON ARMADO SISMORRESISTENTE

5.6.1. Elementos estructurales predominantemente flexionados (vigas)

5.6.1.1. Valores de diseño para solicitaciones normales

Se adoptarán directamente los valores últimos de las solicitaciones normales (momentos flectores y esfuerzos axiales) que resultan de considerar los estados de carga establecidos en el Capítulo 10 de la PARTE I de este Reglamento.

5.6.1.2. Valores de diseño para esfuerzos de corte

Se adoptarán para el diseño, los valores de los esfuerzos de corte que resultan de amplificar por 1,35 los obtenidos mediante la aplicación de los estados de carga indicados en el Capítulo 10 de la PARTE I de este Reglamento.

5.6.1.3. Armaduras longitudinales de vigas

5.6.1.3.1. Disposición de las armaduras longitudinales

En las caras superior e inferior de la viga, la armadura longitudinal prevista para su resistencia flexional en las secciones de bordes de columnas, deberá cumplir los siguientes requerimientos en cuanto a su disposición:

a) Vigas de sección rectangular

- Encuentro con columnas interiores

Si el ancho de la viga excede al de la columna, al menos el 75% de la armadura deberá atravesar el núcleo de la columna correspondiente.

- Encuentro con columnas exteriores

Si el ancho de la viga excede al de la columna y además concurren al nudo vigas transversales de dimensiones similares, al menos el 75% de la armadura deberá anclarse en el núcleo de la columna. En tal caso se adoptarán las disposiciones necesarias para asegurar la transmisión de los esfuerzos correspondientes de la armadura no anclada en el núcleo de la columna, a las vigas transversales.

En caso de no existir vigas transversales, la totalidad de la armadura de la viga deberá anclarse en el núcleo de la columna.

b) Vigas de sección T ó L

En las vigas cuya sección sea de forma de T ó L, construidas integralmente con las losas, una parte de la armadura podrá disponerse en la placa, debiéndose prever las correspondientes armaduras de enlace.

En todos los casos, al menos el 75% de la armadura debe atravesar el núcleo de las columnas interiores o anclarse en el núcleo de las columnas exteriores.

Las zonas de la placa en que podrá disponerse parte de la armadura, se indican a continuación:

- Encuentros con columnas interiores

Si al nudo concurren vigas transversales de dimensiones similares a las de la viga considerada, la zona de placa se extenderá hasta una longitud igual a tres veces el espesor de la losa, medida hacia ambos lados desde los bordes de la columna.

Si no existen vigas transversales, la zona de placa se extenderá hasta una longitud igual a una vez y media el espesor de la losa, medida hacia ambos lados desde los bordes de la columna.

- Encuentros con columnas exteriores

Si al nudo concurren vigas transversales de dimensiones similares a las de la viga considerada, la zona de placa se extenderá hasta una longitud igual a una vez y media el espesor de la losa, medida hacia ambos lados desde los bordes de la columna.

Si no existen vigas transversales, la zona de placa no excederá el ancho de la columna correspondiente.

5.6.1.3.2. Cuantías máximas y mínimas

En cualquier sección de la viga, la cuantía de la armadura traccionada (tanto para la armadura superior como para la inferior) debe cumplir las siguientes condiciones:

a) **Cuantía máxima:** $\rho \leq 0,025$

b) **Cuantía mínima:** $\rho \geq 0,10 \beta_R / \beta_S$

Adicionalmente, en los extremos de la viga y en una longitud igual a dos veces su altura total, medida desde el borde de la columna o apoyo hacia la sección media de la viga, debe verificarse que la cuantía de armadura traccionada cumpla la siguiente condición:

$$\rho \leq (0,30 + 0,20 r) \beta_R / \beta_S$$

siendo:

ρ la cuantía de la armadura traccionada ($\rho = A_S / (b_o \cdot h)$);

β_R el valor de cálculo de la resistencia del hormigón;

β_S el valor de cálculo de la tensión límite de la fluencia del acero;

r la relación entre la sección de armadura comprimida y la sección de armadura traccionada.

No deberán considerarse valores de sección de armadura comprimida mayores que la sección de armadura traccionada ($r \leq 1$).

5.6.1.3.3. Relaciones entre secciones de armaduras longitudinales

Las secciones de las armaduras longitudinales previstas para la resistencia flexional de la viga, deberán cumplir las siguientes condiciones:

a) En extremos de viga

En ambos extremos de la viga, la sección de la armadura traccionada para momento flector positivo será por lo menos igual a una fracción 0,50/Z de la sección de la armadura traccionada para momento flector negativo.

b) En la longitud total de la viga

Al menos una fracción 0,25/Z de la máxima sección de armadura requerida (tanto para momento flector positivo como negativo), deberá ser continua en toda la longitud de la viga.

5.6.1.3.4. Armaduras longitudinales mínimas

Se dispondrán, tanto para la armadura superior como para la inferior, los valores mínimos indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Armaduras superior e inferior mínimas

Zona Sísmica	Armadura
1	2 barras de $d_s = 8$ mm
2	2 barras de $d_s = 10$ mm
3	2 barras de $d_s = 10$ mm
4	2 barras de $d_s = 12$ mm

Las armaduras indicadas en la Tabla 4 corresponden a aceros con límite de fluencia igual a 420 MN/m². Para aceros con tensiones límite de fluencia menores que 420 MN/m², las secciones de las armaduras indicadas en la Tabla 4 se incrementarán por la relación entre la tensión de fluencia de 420 MN/m² y la tensión límite de fluencia del acero utilizado.

5.6.1.3.5. Diámetros máximos de armaduras longitudinales en zonas de nudos interiores

El diámetro máximo de las armaduras longitudinales de vigas, pasantes en nudos interiores, será el indicado en la Tabla 5 en

función de la dimensión de la columna, medida en la dirección paralela al eje de la viga considerada.

Tabla 5. Diámetros máximos de armaduras longitudinales de vigas en zona de nudos.

Dimensión de la columna, paralela al eje de la viga (cm)	Diámetro máximo de armadura longitudinal de viga en zona de nudos (mm)
≤ 30	16
> 30 < 50	20
≥ 50	25

5.6.1.3.6. Anclaje de armaduras longitudinales

a) Nudos extremos

Las armaduras longitudinales de la viga se anclarán en el núcleo confinado de la columna o eventualmente en un segmento sobresaliente de la viga.

Se adoptará como longitud de anclaje el valor l_o (longitud básica de anclaje) establecido en el artículo 18.5.2.1. del Reglamento CIRSOC 201.

La longitud básica de anclaje l_o se computará a partir del borde interno del núcleo de la columna.

En todos los casos, la barra que se ancla deberá tener un codo a 90° , con la parte recta final de longitud no menor que $0,85 l_o$ ni 25 veces el diámetro de la barra. El codo y su rama terminal se dispondrán lo más próximos posible al borde externo del núcleo de la columna. La rama terminal deberá dirigirse siempre hacia la cara opuesta de la viga.

b) Nudos interiores

En lo posible, las armaduras superior e inferior que atraviesan el nudo, deben ser continuas a través de éste, cumpliéndose lo establecido en el artículo 5.6.1.3.5. con relación a diámetros máximos.

Cuando las armaduras superior e inferior no puedan ser continuas a través del nudo como consecuencia de diferentes dimensiones o ejes de vigas, las barras se anclarán de acuerdo con lo prescrito para nudos extremos en el artículo 5.6.1.3.6.a).

5.6.1.3.7. Empalmes de armaduras

a) Ubicación de empalmes

No se podrán realizar empalmes por yuxtaposición en los nudos ni en los extremos de vigas, en una longitud igual a una vez y media su altura total, medida desde el borde de la columna hacia la sección media de la viga.

b) Longitudes de empalme

En general, la longitud de empalme por yuxtaposición se determinará mediante la siguiente expresión:

$$l_e = \alpha_1 \cdot \alpha_e \cdot l_o$$

siendo:

l_e la longitud de empalme por yuxtaposición;

α_1 el coeficiente que contempla el tipo y ejecución del anclaje de las barras, según la Tabla 25 del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201;

α_e el coeficiente para tener en cuenta el porcentaje de barras empalmadas, según la Tabla 26 del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201;

l_o la longitud básica de anclaje según el artículo 18.5.2.1. del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201.

En ningún caso la longitud de empalme será menor que treinta veces el diámetro de la barra, ni 40 cm.

c) Porcentaje admisible de barras empalmadas

El porcentaje admisible de barras empalmadas será igual a las dos terceras partes de los valores indicados en el artículo 18.6.2. del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201.

5.6.1.4. Armaduras transversales

La armadura transversal deberá resistir los esfuerzos de corte de diseño indicados en el artículo 5.6.1.2., de acuerdo con las reglas de dimensionamiento establecidas mediante el artículo 5.5.5.

5.6.1.4.1. Armaduras transversales especiales

a) Zonas en que se colocarán

En los extremos de la viga, en una longitud igual o mayor que el doble de su altura total, medida desde el borde de la columna o apoyo hacia la sección media de la viga.

b) Tipo de armadura

Las armaduras transversales especiales estarán formadas por estribos cerrados, pudiéndose adoptar los siguientes tipos:

-El estribo de la figura 22 a) del artículo 18.8.2.1 del Reglamento CIRSOC 201, pero con una longitud terminal del gancho igual o mayor que diez veces el diámetro de la barra del estribo.

-Cuando resulte posible su ejecución, se podrá utilizar el estribo de la figura 22 d) del artículo 18.8.2.1 del Reglamento CIRSOC 201, pero con una longitud terminal del gancho en ángulo recto igual o mayor que quince veces el diámetro de la barra del estribo.

En los estribos de una rama, la longitud terminal de los ganchos ejecutados a 180°, será igual o mayor que diez veces el diámetro de la barra del estribo.

c) Separación de armaduras

La separación entre estribos no deberá exceder los siguientes valores:

- Un cuarto de la altura total de la viga.
- Diez veces el diámetro de las barras longitudinales.
- 20 cm.

El primer estribo se colocará a una distancia no mayor que 5 cm, medida desde el borde de la columna o apoyo hacia la sección media de la viga.

d) Diámetro mínimo

El diámetro mínimo de los estribos será de 6 mm.

e) Restricción al pandeo de las barras longitudinales

Se evitará el pandeo de las barras longitudinales periféricas ubicadas en los cuartos extremos de la altura de la viga, considerando las direcciones en que resulte posible la desviación de las barras. Para ello, se dispondrán ramas de estribos que trabajen a tracción soportando la barra longitudinal, con separación de acuerdo con lo prescrito en el artículo c) precedente. Sólo se aceptará la restricción mediante trabajo flexional del estribo, cuando la longitud no soportada del mismo sea igual o menor que treinta veces su diámetro.

Podrán utilizarse estribos de 6 mm para barras longitudinales de hasta 20 mm de diámetro. Para barras longitudinales de diámetros mayores que 20 mm deberán utilizarse estribos de diámetro no menor que 8 mm.

5.6.1.4.2. Armaduras transversales convencionales

En la longitud de viga comprendida entre las zonas definidas en el artículo 5.6.1.4.1.a), en ningún caso la separación de estribos podrá ser mayor que la mitad de la altura total de la viga.

5.6.1.5. Armaduras longitudinales en caras laterales de vigas

Cuando el valor de cálculo de la tensión de corte última en los extremos de la viga resulte comprendido en la Zona de Corte 3 (según el artículo 5.5.5.c)), se dispondrá una armadura longitudinal especial en las caras laterales de la viga. Esta armadura es adicional a las requeridas por el Reglamento CIRSOC 201, y se colocará en las zonas definidas en el artículo 5.6.1.4.1.a), debiéndose anclar fuera de dichas zonas.

La armadura longitudinal especial tendrá, en cada cara, una sección A_f no menor que el mayor de los valores obtenidos mediante las siguientes expresiones:

$$A_l \geq (0,15/Z) \cdot A_s$$

$$A_l \geq (0,15/Z) \cdot A_s'$$

siendo:

A_l la sección de la armadura longitudinal especial en cada cara lateral de la viga;

Z el factor de zona sísmica según el artículo 1.3.;

A_s la máxima sección de armadura longitudinal inferior en la zona;

A_s' la máxima sección de armadura longitudinal superior en la zona.

Esta armadura lateral especial se dispondrá en el tercio central de la altura total de la viga.

5.6.1.6. Armaduras en "X" en extremos de vigas

En las zonas sísmicas 3 y 4 (Capítulo 3 de la PARTE I de este Reglamento), cuando el valor de cálculo de la tensión de corte última en los extremos de la viga resulte comprendido en la Zona de Corte 3 (según artículo 5.5.5.c)), se colocarán, en dichos extremos, barras oblicuas en forma de X, según las siguientes prescripciones:

a) La sección de armadura de cada brazo de la X será la necesaria para resistir al menos el 75 % del esfuerzo de corte correspondiente.

b) La sección mínima de cada brazo de la armadura en X no podrá ser menor que el mayor de los siguientes valores:

- 0,10 A_s

- 0,10 A_s'

- Dos barras de 8 mm de diámetro para cada brazo de la X,

c) Las ramas inclinadas cruzarán la zona de potencial formación de una rótula plástica, pero los comienzos de las ramas inclinadas se dispondrán a una distancia del borde de la columna correspondiente, no menor que un quinto de la altura total de la viga, ni que 15 cm. Los anclajes en la zona de la columna se realizarán de acuerdo con lo indicado para nudos extremos en el artículo 5.6.1.3.5.a). Las ramas horizontales que se dirigen hacia la sección media de la viga tendrán una longitud no menor que 1,3 veces la longitud básica de anclaje l_o (artículo 18.5.2.1. del Reglamento CIRSOC 201).

5.6.2. Elementos estructurales sometidos a compresión y flexión (columnas)

5.6.2.1. Valores de diseño para solicitaciones normales

a) Esfuerzos axiales

Se adoptarán directamente los esfuerzos axiales últimos que resultan de los estados de carga indicados en el Capítulo 10 de la PARTE I de este Reglamento.

b) Momentos flectores

Como momentos flectores de diseño se considerarán los que resultan de amplificar por 1,35 los obtenidos mediante los estados de carga indicados en el Capítulo 10 de la PARTE I de este Reglamento.

5.6.2.2. Valores de diseño para esfuerzos de corte

Se considerarán para el dimensionamiento los valores de los esfuerzos de corte que resultan de amplificar por 1,35 los obtenidos mediante la aplicación de los estados de carga indicados en el Capítulo 10 de la PARTE I de este Reglamento.

5.6.2.3. Limitación de las fuerzas axiales de diseño

Las dimensiones de las columnas serán tales que los esfuerzos axiales de diseño establecidos en el artículo 5.6.2.1.a) cumplan las limitaciones que se indican a continuación:

- Para elementos con armadura de confinamiento zunchada, la fuerza de compresión axial para el diseño no podrá ser mayor que $Z \cdot 0,85 \cdot A_b \cdot \beta_R$, siendo: Z, el factor de zona sísmica según el artículo 1.3.; A_b , la sección total de hormigón y β_R , el valor de cálculo de la resistencia del hormigón.

- Para elementos con armadura de confinamiento formada por estribos rectangulares, la fuerza de compresión axial para el diseño no podrá ser mayor que $Z \cdot 0,75 \cdot A_b \cdot \beta_R$.

5.6.2.4. Armaduras longitudinales de columnas

5.6.2.4.1. Cuantías máximas y mínimas

La sección total de la armadura longitudinal no podrá ser menor que el 1% de la sección total de hormigón, ni mayor que el 6%. En las zonas de empalmes por yuxtaposición, se admitirá, como máximo, una sección total de armadura longitudinal del 8% de la sección total de hormigón.

La sección de la armadura longitudinal traccionada o menos comprimida, no podrá ser menor que el 0,4% de la sección total de hormigón.

5.6.2.4.2. Separación máxima entre barras longitudinales

La separación máxima entre barras longitudinales de columnas no podrá ser mayor que 20 Z (cm), siendo Z el factor de zona sísmica según el artículo 1.3.

En columnas con dimensiones transversales iguales o menores que 30 cm, se podrá colocar una barra en cada esquina de la sección .

5.6.2.4.3. Empalmes de barras longitudinales

a) Ubicación

Los centros de los empalmes se ubicarán en la mitad central de la altura de la columna.

b) Tipos de empalme

No se admite el empalme por contacto directo de las superficies frontales extremas de las barras.

Los empalmes por conexiones roscadas, soldadura o manguitos, deberán cumplir los requisitos necesarios para la obtención del certificado de aptitud técnica, considerando las acciones dinámicas derivadas del sismo.

c) Longitudes de empalme

Se adoptarán las longitudes de empalme por yuxtaposición indicadas para vigas en el artículo 5.6.1.3.6.b), pero en todos los casos se tomará $\alpha_1 = 1$.

d) Porcentaje admisible de barras empalmadas

Se adoptarán los valores indicados en el artículo 18.6.2. del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201.

5.6.2.4.4. Anclajes de barras longitudinales

a) Tramos terminales de columnas extremas

En los tramos terminales de columnas extremas, se aplicarán por analogía, las prescripciones establecidas en los artículos 18.8.5. (Figura 26) y 18.9.3. (Figura 27) del Capítulo 18 del Reglamento CIRSOC 201, y si resultan más exigentes, las correspondientes al artículo b) siguiente.

b) Tramos terminales de columnas intermedias

En los tramos terminales de columnas intermedias o, cuando se produzcan variaciones importantes de las dimensiones de la columna al pasar de un piso a otro contiguo, se adoptará como longitud de anclaje el valor de l_0 (longitud básica de anclaje) establecido en el artículo 18.5.2.1. del Reglamento CIRSOC 201. Dicha longitud l_0 se computará a partir del borde inferior de la viga.

En todos los casos, la barra deberá terminar en un codo a 90°, con la parte recta final de una longitud no menor que 0,85 l_0 ó 25 veces su diámetro. El codo y su rama terminal deberán disponerse lo más próximos posible a la armadura superior de la viga. La rama terminal del anclaje deberá dirigirse siempre hacia la cara opuesta de la columna.

c) Anclaje de barras longitudinales en fundaciones

Se adoptará como longitud de anclaje el valor de l_0 (longitud básica de anclaje) establecido en el artículo 18.5.2.1. del Reglamento CIRSOC 201. Dicha longitud de anclaje l_0 se computará a partir de la sección de unión de la columna con la fundación. En todos los casos, la barra deberá terminar en un codo a 90°, con la parte recta final de una longitud no menor que 0,85 l_0 ó 25 veces su diámetro. El codo y su rama terminal deberán disponerse lo más próximos posible a la armadura inferior de la fundación. La rama terminal del anclaje deberá dirigirse siempre hacia la cara opuesta de la columna (cruce de armaduras).

5.6.2.5. Armaduras transversales especiales

5.6.2.5.1. Zonas en que se colocarán

Las armaduras especiales se dispondrán en ambos extremos de las columnas, en una longitud l_c , medida desde el borde correspondiente de la viga hacia la sección media de la columna, que no podrá ser menor que el mayor de los siguientes valores:

- La mayor dimensión de la sección en columnas rectangulares o el diámetro total de las columnas de sección circular.
- La sexta parte de la longitud libre de la columna.
- 50 cm.

5.6.2.5.2. Sección de las armaduras de confinamiento para columnas con estribos rectangulares

Cuando se empleen estribos perimetrales cerrados y estribos de una rama con ganchos en los extremos (estribos suplementarios) o estribos cerrados superpuestos, la sección total de armadura transversal A_{sh} contenida en una capa, no podrá ser menor que los valores obtenidos mediante las siguientes expresiones, y se controlará según cada una de las direcciones principales de la sección:

$$A_{sh} \geq (0,6 n_u^* + 0,15) [(A_b / A_k) - 1] \beta_R / \beta_s \cdot s_e \cdot h_k$$

$$A_{sh} \geq (0,2 n_u^* + 0,05) \beta_R / \beta_s \cdot s_e \cdot h_k$$

siendo:

n_u^* el esfuerzo específico de compresión, dado por la relación entre la fuerza axial de compresión de diseño y la resistencia de toda la sección de hormigón:

$$n_u^* = N_u^* / (A_b \cdot \beta_R)$$

donde:

N_u^* es la fuerza axial de compresión de diseño determinada según el artículo 5.6.2.1.;

A_{sh} la sección total de estribos y estribos suplementarios contenidos en una capa, en la dirección considerada;

s_e la separación entre capas de armaduras transversales, medida según la dirección del eje longitudinal de la columna;

h_k la dimensión del núcleo de la columna, medida perpendicularmente a la dirección analizada, considerando como bordes los extremos de los estribos perimetrales;

A_k la sección del núcleo de la columna;

A_b la sección total de la columna;

β_R el valor de cálculo de la resistencia del hormigón;

β_s el valor de cálculo de la tensión límite de fluencia del acero.

Se entenderá por capa de estribos al grupo de estribos cerrados y estribos suplementarios o al grupo de estribos cerrados superpuestos, que se disponen aproximadamente en un plano perpendicular a la dirección de la armadura longitudinal de la columna.

a) Fórmulas aproximadas para casos usuales

En las columnas de edificios, con recubrimientos normales, la sección total de armadura transversal A_{sh} se podrá determinar mediante las siguientes expresiones aproximadas:

$$A_{sh} = K_c / 100 s_e \cdot h_k \text{ para acero con } \beta_s = 420 \text{ MN/m}^2$$

$$A_{sh} = K_c / 53 s_e \cdot h_k \text{ para acero con } 220 \text{ MN/m}^2 \leq \beta_s < 420 \text{ MN/m}^2$$

siendo:

A_{sh} la sección total de estribos y estribos suplementarios contenidos en una capa, en la dirección considerada;

s_e la separación entre capas de estribos, medida según la dirección del eje longitudinal de la columna;

h_k la dimensión del núcleo de la columna, medida perpendicularmente a la dirección analizada, considerando como bordes los extremos de los estribos perimetrales. En forma aproximada, se puede adoptar como h_k la dimensión de la sección de la columna, medida perpendicularmente a la dirección considerada, menos 6 cm;

β_s el valor de cálculo de la tensión límite de fluencia del acero;

K_c un coeficiente que depende del valor absoluto de la sección A_p de la columna y del esfuerzo específico de compresión n_u^* , y cuyos valores se obtendrán de la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de K_c

Sección de la columna (cm ²)	Esfuerzo específico de compresión n_u^*								
	0,12	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
≤ 625	0,70	0,84	1,05	1,22	1,40	1,61	1,82	2,03	2,24
800	0,59	0,70	0,88	1,02	1,17	1,34	1,52	1,67	1,87
1000	0,50	0,60	0,75	0,87	1,00	1,15	1,30	1,45	1,60
1400	0,40	0,48	0,60	0,70	0,80	0,92	1,04	1,16	1,28
1800	0,35	0,42	0,54	0,61	0,70	0,81	0,91	1,01	1,12
≥ 2200	0,30	0,36	0,45	0,52	0,60	0,69	0,78	0,87	0,96

b) Contribución de estribos diagonales

Cuando las ramas del estribo no sean paralelas a la dirección considerada, su contribución a la sección total A_{sh} se computará multiplicando su sección por el coseno del ángulo agudo que forma el estribo con la dirección analizada.

5.6.2.5.3 Disposición de las armaduras de confinamiento para columnas con estribos rectangulares

a) Separación entre capas de estribos

En las zonas confinadas según lo indicado en el artículo 5.6.2.5.1., la separación entre capas no podrá exceder los siguientes valores:

- Un medio de la menor dimensión de la sección de la columna.
- Nueve veces el diámetro de la armadura longitudinal susceptible de pandear.
- 10 cm.

b) Diámetros mínimos de estribos

El diámetro mínimo de los estribos perimetrales será de 8 mm. El diámetro de los estribos suplementarios no será menor que tres cuartos del diámetro de los estribos perimetrales.

c) Formas y anclajes de las armaduras transversales

Los estribos cerrados terminarán en ganchos de por lo menos 135°. La longitud de la rama terminal será por lo menos igual a diez veces el diámetro de la barra del estribo.

Los estribos suplementarios deberán tomar a los perimetrales, y si es posible, a las barras longitudinales, mediante ganchos a 180° con longitud de rama terminal no menor que diez diámetros.

d) Separación entre ramas de estribos

La separación entre las ramas de los estribos o entre ellas y los estribos suplementarios, medida según un plano perpendicular a las barras longitudinales de la columna, deberá ser igual o menor que el mayor de los siguientes valores:

- 20 Z (cm), siendo Z el factor de zona sísmica según el artículo 1.3.

- La mitad de la dimensión de la sección de la columna, medida perpendicularmente a la dirección de la armadura analizada.

5.6.2.5.4. Sección de las armaduras de confinamiento para columnas con armaduras transversales circulares

La cuantía volumétrica de armadura de confinamiento colocada en forma de hélice circular continua o de estribos circulares cerrados, no deberá ser menor que el mayor de los siguientes valores:

$$A_w / A_k \geq 0,65 (n_u^* + 0,40) [(A_b / A_k) - 1] \beta_R / \beta_s$$

$$A_w / A_k \geq 0,15 (n_u^* + 0,40) \beta_R / \beta_s$$

donde:

$$A_w = (\pi \cdot d_k \cdot A_{sw}) / s_w;$$

$$A_k = \pi \cdot d_k^2 / 4;$$

$$n_u^* = N_u^* (\beta_R \cdot A_b)$$

siendo:

A_w el volumen de la armadura transversal por unidad de longitud de la columna;

d_k el diámetro del núcleo de columnas con armadura transversal circular;

A_{sw} la sección de la armadura transversal;

s_w la separación entre estribos circulares o paso máximo de la hélice;

A_k la sección del núcleo de columnas con armadura transversal circular;

A_w / A_k la cuantía volumétrica de la armadura transversal circular;

n_u^* el esfuerzo específico de compresión;

N_u^* la fuerza axial de compresión de diseño según el artículo 5.6.2.1.;

A_b la sección total de la columna;

β_R el valor de cálculo de la resistencia del hormigón;

β_s el valor de cálculo del límite de fluencia del acero.

5.6.2.5.5. Disposición de armaduras de confinamiento para columnas con armaduras transversales circulares

a) Separación entre estribos circulares o paso de la hélice

En las zonas confinadas según lo indicado en el artículo 5.6.2.5.1., la separación entre estribos circulares o el paso máximo s_w de la hélice, no deberá ser mayor que los siguientes valores:

- Un quinto del diámetro del núcleo d_k de la columna.

- 10 cm.

- Nueve veces el diámetro de la armadura longitudinal susceptible de pandear.

b) Diámetros mínimos y máximos

El diámetro mínimo de la barra que conforma la hélice o el estribo circular será de 8 mm, y el máximo de 16 mm.

c) Formas y anclajes

Los extremos de empalmes por yuxtaposición deben terminarse en forma de ángulo doblado hacia el interior de la columna, y su parte recta final deberá tener como mínimo, una longitud de quince veces el diámetro de la barra que conforma la hélice. Se adoptará una disposición similar en el comienzo y al final de la hélice.

5.6.2.6. Armaduras transversales convencionales

En la longitud de la columna, comprendida entre sus zonas confinadas extremas según el artículo 5.6.2.5., la separación de estribos no podrá exceder, en ningún caso, los siguientes valores:

- $0,60 Z$ veces la menor dimensión de la sección de la columna.

- 20 cm.

siendo:

Z el factor de zona sísmica según el artículo 1.3.

5.6.2.7 Armaduras transversales convencionales

Las armaduras transversales especiales de confinamiento indicadas en el artículo 5.6.2.5., se dispondrán en toda la longitud de la columna en los siguientes casos:

- Cuando el punto de momento flexor nulo correspondiente a las acciones de diseño, no se encuentra en la mitad central de la longitud de la columna.

- Cuando se trate de columnas que soportan elementos muy rígidos (por ejemplo: pórticos rigidizados por muros de manpostería, tabiques de hormigón armado, reticulados, etc.), se adoptarán las siguientes prescripciones:

a) En los extremos de la columna, en una longitud igual o mayor que las indicadas en el artículo 5.6.2.5.1., se dispondrá una armadura transversal igual a 1,30 veces la que resulta de aplicar las prescripciones de los artículos 5.6.2.5.2. ó 5.6.2.5.4., según corresponda.

b) En las zonas restantes de la longitud de la columna, se dispondrá una armadura transversal especial igual a la que resulta de aplicar las prescripciones de los artículos 5.6.2.5.2. ó 5.6.2.5.4., según corresponda.

5.6.2.8. Verificación de armaduras transversales a esfuerzos de corte

En todos los casos se comprobará que las armaduras transversales sean suficientes para resistir los esfuerzos de corte de diseño determinados según el artículo 5.6.2.2., empleando las reglas de dimensionamiento indicadas en el artículo 5.5.

5.6.2.9. Restricción al pandeo de barras longitudinales

Deberá evitarse el pandeo de todas las barras longitudinales periféricas, considerando las direcciones en que resulte factible la desviación de las barras.

Con tal finalidad, cada barra longitudinal debe ser soportada por las esquinas de los estribos cerrados que formen un ángulo interno no mayor que 135° , o bien por un estribo suplementario dispuesto paralelamente a la dirección susceptible de pandeo de la barra longitudinal. En todos los casos, la restricción se realizará mediante el trabajo a la flexión de los estribos, cuando la longitud no soportada sea igual o menor que veinticinco veces el diámetro de la barra del estribo.

Con la esquina de los estribos cerrados se podrá restringir el pandeo de hasta tres barras longitudinales de la columna, siempre que la separación entre el eje de la barra esquinera y el eje de cada barra adyacente no exceda de ocho veces el diámetro de la barra del estribo.

Para barras longitudinales de hasta 16 mm de diámetro se podrán utilizar estribos suplementarios de 6 mm para la restricción al pandeo. Para barras longitudinales de diámetros mayores que 16 mm, se deberán emplear estribos de 8 mm de diámetro.

En lo posible, los ganchos de cierre de los estribos cerrados se dispondrán alternadamente.

5.6.2.10. Aspectos constructivos

a) Juntas de hormigonado y dados de arranque

Las juntas constructivas de hormigonado de las columnas se ubicarán, en lo posible, a una distancia igual o mayor que 1,20 veces la longitud confinada, medida desde los bordes de las vigas.

En los arranques de columnas, cuando se construyan dados de ubicación, éstos deberán tener, al menos, un espesor de 15 cm, y contener dos capas de armadura de confinamiento. Durante la fase de construcción se tomarán todos los recaudos necesario para asegurar una adecuada unión en la junta.

b) Espacio para colocación del hormigón

Los estribos o capas de estribos se diseñarán, en planta, de manera tal que dejen libre, al menos, una zona de 12 cm de diámetro en las columnas usuales de edificios.

5.7. NUDOS VIGAS-COLUMNA

5.7.1. Definición y aplicación

Se definen como nudos vigas-columna a las zonas de intersección entre dichos elementos estructurales.

Los siguientes requerimientos se aplicarán a los nudos sujetos a acciones derivadas de posibles desplazamientos laterales anelásticos del pórtico a que pertenecen.

5.7.2. Criterios fundamentales sobre comportamiento de nudos vigas-columna

Los nudos se diseñarán y construirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Los nudos no deben ser fuentes primarias de disipación de energía frente a las sollicitaciones sísmicas.
- La resistencia del nudo no debe ser menor que la máxima resistencia del elemento estructural más débil que a él concurre.
- La capacidad resistente de la columna no debe reducirse por posibles degradaciones de resistencia en el nudo a causa de los desplazamientos cíclicos anelásticos del pórtico.
- Las armaduras propias del nudo, necesarias para lograr su satisfactorio comportamiento, no deben generar inconvenientes constructivos.
- Se adoptarán especiales precauciones para asegurar un correcto hormigonado de los nudos.
- Preferentemente, se preverá un comportamiento elástico de los nudos durante la ocurrencia de terremotos moderados, de manera que no resulte necesaria su reparación.

5.7.3. Ancho efectivo del nudo

- Cuando el ancho de columna sea mayor que el ancho de viga, el ancho efectivo del nudo deberá cumplir la siguiente condición:

$$b_j \leq b_o + 0,5 d_c \leq b_c$$

- Cuando el ancho efectivo de la viga sea mayor que el ancho de la columna, el ancho efectivo del nudo será:

$$b_j \leq b_c + 0,25 d_c \leq b_o$$

siendo:

b_j el ancho efectivo del nudo;

b_o el ancho de la viga si es de sección rectangular, o el ancho del nervio si es de sección T ó L;

d_c la dimensión de la columna, medida paralelamente al eje de la viga;

b_c la dimensión de la columna, medida perpendicularmente al eje de la viga.

5.7.4. Excentricidad límite en el nudo

La excentricidad medida entre el eje de la viga y el eje de la columna, no podrá ser mayor que un tercio del ancho correspondiente de la columna.

5.7.5. Valor límite de la tensión de corte en los nudos

La tensión de corte horizontal última τ_{hu} determinada convencionalmente con base en la siguiente expresión:

$$\tau_{hu} = \frac{Q_{nh}}{d_c \cdot b_j}$$

no deberá exceder el siguiente límite:

$$\tau_{hu} \leq 1,9 Z \sqrt{\sigma'_{bk}}$$

donde:

Q_{nh} es el esfuerzo de corte horizontal último en el nudo, que podrá determinarse en forma aproximada mediante:

a) **Nudos interiores** (en el plano considerado concurren las vigas hacia ambas caras del nudo):

$$Q_{nh} \cong 1,35 (A_{s_{max}} + A_{s_{min}}) \beta_s$$

b) **Nudos extremos** (en el plano considerado concurre sólo una viga a una cara del nudo):

$$Q_{nh} \cong 1,35 A_{s_{max}} \beta_s$$

siendo:

$A_{s_{max}}$; $A_{s_{min}}$ las secciones máxima y mínima de armadura flexional de las vigas que concurren al nudo

5.7.6. Armaduras de corte en los nudos

5.7.6.1. Armaduras horizontales

En el nudo, entre las capas superior e inferior de las armaduras longitudinales de las vigas, se colocarán armaduras horizontales especiales, similares a las transversales de los extremos de las columnas. Su sección será, por lo menos, igual a la mayor prevista en la zona de columna inferior o superior contigua al nudo, según se indica en el artículo 5.6.2.5.

5.7.6.2. Armaduras verticales

Consistirán en barras longitudinales de columna, ubicadas en los planos paralelos al de flexión de las vigas, y dispuestas entre las barras de esquina de la columna. Dicha armadura deberá tener, como mínimo, una sección igual al 40 % de la máxima sección de armadura longitudinal de columna ubicada en un plano perpendicular al de flexión de las vigas que concurren al nudo.

5.7.7. Nudos de columnas anchas y vigas angostas

Cuando el ancho de la columna es mayor que el ancho efectivo b_j del nudo (artículo 5.7.3.), toda la armadura longitudinal de la columna deberá disponerse en la sección efectiva b_j del nudo.

5.7.8. Armaduras longitudinales de columnas en zona de nudos

Las armaduras longitudinales de columnas no podrán empalmarse en zona de nudos. Los empalmes deberán realizarse de

acuerdo con lo establecido en el artículo 5.6.2.4.3.