

C.10.11.9.1 - En los elementos a compresión que hagan parte de pisos no susceptibles de lado, el coeficiente de longitud efectiva, k , debe tomarse como la unidad a menos que por medio de un análisis se demuestre que es posible utilizar un valor menor. Para el cálculo de k deben utilizarse los valores de E e I dados en C.10.11.1.

C.10.11.9.2 - Las columnas deben diseñarse para la carga axial mayorada P_u y el momento amplificado por efectos de pandeo local M_e , utilizando el coeficiente de amplificación por efectos locales de pandeo δ_e :

$$M_e = \delta_e M_2 \quad (\text{C.10-9})$$

donde el coeficiente local de amplificación, δ_e , está dado por

$$\delta_e = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0.75 P_c}} \geq 1.0 \quad (\text{C.10-10})$$

La carga crítica de la columna, P_c , se debe calcular utilizando:

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \ell_u)^2} \quad (\text{C.10-11})$$

La rigidez EI para el cálculo de la carga crítica debe tomarse como:

$$EI = \frac{0.2 E_c I_g + E_s I_{sc}}{(1 + \beta_d)} \quad (\text{C.10-12})$$

o bien

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{(1 + \beta_d)} \quad (\text{C.10-13})$$

C.10.11.9.3 - En los elementos sin fuerzas transversales entre apoyos, C_m debe tomarse como:

$$C_m = 0.6 + 0.4(M_1/M_2) \geq 0.4 \quad (\text{C.10-14})$$

donde M_1/M_2 es positivo si la columna esta deformada en curvatura simple. Para elementos con fuerzas transversales entre apoyos el valor de C_m debe tomarse como la unidad ($C_m=1.0$).

C.10.11.9.4 - El momento mayorado M_2 que se utiliza en la ecuación C.10-9 no debe tomarse menor de:

$$M_{2,min} = P_u (15 + 0.03h) \quad (\text{C.10-15})$$

con respecto a cada eje independientemente 15 y h están dados en mm. En los elementos donde $M_{2,min}$ gobierna, el valor de C_m debe tomarse como la unidad o debe obtenerse por medio de la ecuación C.10-14 utilizando $M_{2,min}$ en vez de M_2

C.10.11.10 - EFECTOS GLOBALES DE ESBELTEZ

C.10.11.10.1 - En los elementos a compresión que hagan parte de pisos susceptibles de lado, el coeficiente de longitud efectiva, k , debe ser mayor que la unidad. Para el cálculo de k deben utilizarse los valores de E e I dados en C.10.11.1.

C.10.11.10.2 - En los elementos individuales a compresión que hagan parte de pisos susceptibles de lado, los efectos de esbeltez pueden despreciarse cuando $k \ell_u / r$ sea menor que 22.

C.10.11.10.3 - Los efectos globales de esbeltez pueden tomarse en cuenta por medio de un análisis elástico de segundo orden basado en las rigideces dadas en C.10.11.1. Alternativamente, cuando el índice de estabilidad sea menor o igual a 0.3, los efectos globales de esbeltez de cada piso pueden tenerse en cuenta multiplicando por un coeficiente global de amplificación δ_g todas las fuerzas internas de vigas, columnas y muros, producidas por las fuerzas horizontales mayoradas y obtenidas mediante un análisis elástico de primer orden. Esta consideración debe realizarse para las combinaciones de mayoración de carga que incluyan fuerzas horizontales de las dadas en B.2.4.2. El valor de δ_g se obtiene de:

$$\delta_g = \frac{1}{1-Q} \quad (\text{C.10-16})$$

Cuando actúan fuerzas horizontales de carácter permanente como empujes de tierra, debe tenerse en cuenta su efecto usando (Q') en vez de Q en la ecuación C.10-16, donde:

$$Q' = Q(1 + \beta_d) \quad (\text{C.10-17})$$

C.10.11.10.4 - Si un miembro a compresión individual, en estructuras susceptibles de ladeo, tiene, para cualquiera de las combinaciones de carga que incluyen fuerzas horizontales:

$$\frac{P_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{f'_c A_g}} \quad (\text{C.10-18})$$

en su diseño se debe utilizar la carga axial mayorada P_u , y el momento M_c obtenido de acuerdo con C.10.11.9.2 a C.10.11.9.4, pero allí M_1 y M_2 deben estar amplificadas apropiadamente por δ_g , siguiendo C.10.11.10.3.

C.10.12 - TRANSMISION DE LAS CARGAS DE COLUMNAS A TRAVES DE LOS SISTEMAS DE ENTREPISO

C.10.12.1 - Cuando la resistencia a la compresión especificada del concreto de una columna sea 1.4 veces que la especificada para el sistema de entrepiso, para el caso de columnas interiores y de borde, o mayor que 1.2 veces para el caso de columnas esquineras, la transmisión de la carga a través del sistema de entrepiso debe lograrse de una de las formas siguientes:

C.10.12.1.1 - La resistencia de la columna en el nudo puede calcularse utilizando una resistencia efectiva del concreto de la columna dentro del nudo, $(f'_c)_{efec}$, calculada en función de la resistencia del concreto de la columna, $(f'_c)_{col}$, y de la losa, $(f'_c)_{losa}$, así:

(a) Para columnas interiores:

$$(f'_c)_{efec} = \frac{0.25}{(h_p/b_c)} (f'_c)_{col} + \left[1.4 - \frac{0.35}{(h_p/b_c)} \right] (f'_c)_{losa} \leq (f'_c)_{col} \quad (\text{C.10-19})$$

En la ecuación anterior el cociente (h_p/b_c) no debe ser menor de un tercio, donde h_p es la altura total de la losa, y b_c es la menor dimensión de la sección de la columna.

(b) Para columnas de borde.

$$(f'_c)_{efec} = 1.4 (f'_c)_{losa} \leq (f'_c)_{col} \quad (\text{C.10-20})$$

(c) Para columnas esquineras:

$$(f'_c)_{efec} = 1.2 (f'_c)_{losa} \leq (f'_c)_{col} \quad (\text{C.10-21})$$

en cualquiera de los casos (a) a (c), pueden utilizarse barras longitudinales adicionales y estribos o espirales, si así se requiere

C.10.12.1.2 - Debe colocarse concreto de la resistencia especificada para la columna, en el sistema de entrepiso, alrededor de ella, extendiéndose lateralmente 600 mm medidos a partir de la cara de la columna. El concreto de la columna debe quedar bien integrado con el concreto del piso, y debe colocarse de acuerdo con los numerales C.6.4.5 y C.6.4.6

C.10.13 - RESISTENCIA A LOS ESFUERZOS DE CONTACTO (APLASTAMIENTO)

C.10.13.1 - Los requisitos de esta sección, no son aplicables a los anclajes de concreto preesforzado.

C.10.13.2 - La resistencia de diseño del concreto a los esfuerzos de contacto (aplastamiento) no debe exceder de $\phi 0.85 f'_c A_1$; excepto cuando la superficie de apoyo sea más ancha en todos los lados que el área cargada, la resistencia de diseño al aplastamiento sobre el área cargada puede multiplicarse por

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

C.10.14 - ELEMENTOS COMPUESTOS A COMPRESION

C.10.14.1 - Los elementos compuestos a compresión incluyen todos los elementos reforzados longitudinalmente con perfiles de acero estructural o tubería de acero, con o sin barras de refuerzo longitudinales.

C.10.14.2 - La resistencia de los elementos compuestos debe calcularse para las mismas condiciones límites aplicables a elementos de concreto reforzado.

C.10.14.3 - La resistencia a carga axial que se asigne al concreto de un elemento compuesto debe estar garantizada por la transferencia de la carga a través de elementos o acoples que tengan apoyo directo sobre el concreto del elemento compuesto.

C.10.14.4 - La porción de la carga axial que no se asigne al concreto del elemento compuesto debe ser transmitida al perfil de acero estructural por medio de una conexión directa al mismo

C.10.14.5 - Para efectos de evaluar los efectos locales de esbeltez en los elementos compuestos a compresión el valor del radio de giro, r , de la sección no debe tomarse mayor que el obtenido al despejar r de la ecuación C.10-22.

$$r = \sqrt{\frac{\frac{E_c I_g}{5} + E_s I_t}{\frac{E_c A_g}{5} + E_s A_t}} \quad (\text{C.10-22})$$

En lugar de un computo más preciso de EI en la ecuación C 10-11, éste puede tomarse de acuerdo con la ecuación C.10-12 o por medio de

$$EI = \frac{E_c I_g}{(1 + \beta_d)} + E_s I_t \quad (\text{C.10-23})$$

C.10.14.6 - NUCLEO DE CONCRETO CONFINADO POR ACERO ESTRUCTURAL - En los elementos compuestos que tengan un núcleo de concreto confinado por acero estructural, el espesor del elemento de acero estructural no debe ser menor de:

$$b\sqrt{f_c/3E_s}$$

para cada cara de ancho b , ni

$$h\sqrt{f_c/8E_s}$$

para secciones circulares de diámetro h

Las barras de refuerzo longitudinal localizadas dentro del núcleo pueden considerarse en el cálculo de A_s e I_s

C.10.14.7 - REFUERZO EN ESPIRAL COLOCADO ALREDEDOR DEL NUCLEO DE ACERO ESTRUCTURAL - Los elementos compuestos que tengan refuerzo en espiral alrededor del núcleo de acero estructural, deben cumplir los siguientes requisitos

- (a) La resistencia nominal especificada del concreto, f'_c , no debe ser menor de 17 MPa.
- (b) La resistencia nominal a la fluencia del acero del núcleo de acero estructural debe ser aquella del tipo de acero estructural utilizado, pero no debe ser mayor de 350 MPa
- (c) La espiral debe cumplir C.10.9.3
- (d) La suma de las áreas de las barras longitudinales localizadas dentro de la espiral no debe ser menor de 0.01 veces ni exceder 0.06 veces el área neta de concreto de la sección
- (e) Las barras longitudinales localizadas dentro de la espiral pueden tomarse en cuenta para efectos de calcular A_s e I_s

C.10.14.8 - ESTRIBOS COLOCADOS ALREDEDOR DEL NUCLEO DE ACERO ESTRUCTURAL - Los elementos compuestos que tengan refuerzo en forma de estribos colocados alrededor del núcleo de acero estructural, deben cumplir los siguientes requisitos:

- (a) La resistencia nominal especificada del concreto, f'_c , no debe ser menor de 17 MPa.
- (b) La resistencia nominal a la fluencia del acero del núcleo de acero estructural debe ser aquella del tipo de acero estructural utilizado, pero no debe ser mayor de 350 MPa
- (c) Los estribos deben rodear totalmente el núcleo de acero estructural
- (d) Los estribos deben ser de barra de un diámetro no menor de 1/50 veces la mayor dimensión del elemento compuesto, ni menor de N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm) y no se requiere que sean mayores de barra N° 5 (5/8") o 16M (16 mm). Se permite utilizar malla electrosoldada con un área equivalente
- (e) El espaciamiento vertical entre estribos no debe exceder 16 veces el diámetro de las barras longitudinales, 48 veces el diámetro de la barra del estribo ni la mitad de la dimensión menor del elemento compuesto
- (f) El área de las barras longitudinales localizadas dentro de los estribos no debe ser menor de 0.01 ni mayor de 0.06 veces el área neta de concreto
- (g) Debe colocarse una barra longitudinal en cada esquina del estribo, con las otras barras longitudinales separadas no más de la mitad de la menor dimensión del elemento compuesto
- (h) Las barras longitudinales localizadas dentro de los estribos pueden tomarse en cuenta para calcular A_s , para efectos de la resistencia del elemento pero no pueden incluirse en el cálculo de I_s en la evaluación de los efectos de esbeltez



CAPITULO C.11 CORTANTE Y TORSION

C.11.0 NOMENCLATURA

- a = luz de cortante, distancia entre una carga concentrada y la cara del apoyo.
 A_c = área de la sección de concreto que resiste la transferencia de cortante por fricción, en mm^2 .
 A_{cp} = área limitada por el perímetro exterior de la sección de concreto, en mm^2 . Para miembros vaciados monolíticamente con la losa, el ancho del ala que se extiende a cada lado y que se utiliza en el cálculo de A_{cp} y p_{cp} , debe cumplir los requisitos de C 13.4.4, excepto que las zonas sobresalientes del ala deben despreciarse en aquellos casos en los cuales el parámetro A_{cp}^2/p_{cp} calculado para la viga con aletas es menor que el que se calcula para la misma viga sin tomar en cuenta las aletas.
 A_f = área de refuerzo que resiste un momento mayorado en una ménsula o cornisa, igual a $[V_u a + N_{uc}(h - d)]$, en mm^2
 A_g = área bruta de la sección, expresada en mm^2 . Para secciones huecas, A_g es el área de concreto únicamente y no incluye el área de los huecos. En la sección C.11.6 el límite exterior de la sección que se utiliza para calcular A_g debe ser el mismo que se emplea para calcular A_{cp} .
 A_h = área del refuerzo de cortante paralelo al refuerzo de flexión a tracción, expresada en mm^2 .
 A_i = área del refuerzo de cortante adicional en vigas apoyadas indirectamente sobre otra viga, expresada en mm^2 .
 A_l = área total del refuerzo longitudinal que resiste torsión, expresada en mm^2
 A_n = área de refuerzo que resiste una fuerza de tracción N_{uc} en una ménsula o cornisa en mm^2
 A_0 = área bruta definida por la trayectoria del flujo de cortante, expresada en mm^2 .
 A_{0h} = área definida por el centro del refuerzo transversal para torsión que se encuentra más afuera en la sección de concreto, expresada en mm^2
 A_{ps} = área del refuerzo preesforzado en la zona de tracción, expresada en mm^2 .
 A_s = área del refuerzo no preesforzado que trabaja a tracción, expresada en mm^2 .
 A_t = área de una rama de estribo cerrado que resiste torsión dentro de una distancia s , expresada en mm^2 .
 A_v = área del refuerzo de cortante dentro de una distancia s ; o para vigas de gran altura el área de refuerzo de cortante perpendicular al refuerzo de flexión a tracción dentro de una distancia s , expresadas en mm^2 .
 A_{vf} = área del refuerzo de cortante por fricción, expresada en mm^2 .
 A_{vh} = área del refuerzo de cortante paralelo al refuerzo de flexión a tracción dentro de una distancia s_2 , expresada en mm^2 .
 b = ancho de la cara a compresión del elemento, expresado en mm
 b_o = perímetro de la sección crítica en losas y zapatas, expresado en mm
 b_1 = ancho de la sección crítica definida en C 11.12.1.2, medida en la dirección de la luz para la cual se determinan los momentos, expresada en mm.
 b_2 = ancho de la sección crítica definida en C.11.12.1.2, medida en la dirección perpendicular a b_1 , expresada en mm.
 b_i = ancho de aquella parte de la sección transversal del elemento que contiene los estribos cerrados que resisten la torsión.
 b_w = ancho del alma, o diámetro de una sección circular, expresados en mm.
 c = distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el eje neutro, expresada en mm.
 c_1 = dimensión de la columna, capitel o ménsula rectangular equivalente, medida en la dirección de la luz para la cual se determinan los momentos, expresada en mm.
 c_2 = dimensión de la columna, capitel o ménsula rectangular equivalente medida transversalmente a la dirección de la luz para la cual se determinan los momentos, expresada en mm.
 d = distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del refuerzo a tracción, pero no hay necesidad de tomar menos de $0.8h$ en elementos preesforzados, expresada en mm (Para secciones circulares al calcular d no hay necesidad de tomar menos de la distancia entre la fibra de máxima compresión y el centroide del refuerzo de tracción de la mitad opuesta de la sección)
 f'_c = resistencia nominal del concreto a la compresión, expresada en MPa
 $\sqrt{f'_c}$ = raíz cuadrada de la resistencia nominal del concreto a la compresión expresada en MPa
 f_d = esfuerzo de tracción debido a la carga muerta no mayorada en la fibra extrema de la sección donde dicho esfuerzo es causado por cargas aplicadas externamente, expresado en MPa.

f_{pc}	= esfuerzo de compresión en el concreto (después de descontar todas las pérdidas de preesforzado), en el centroide de la sección transversal que resiste las cargas aplicadas externamente o en la unión del alma y el ala cuando el centroide está dentro del ala, expresado en MPa (En un elemento compuesto f_{pc} es el esfuerzo de compresión resultante en el centroide de la sección compuesta, o en la unión del alma y el ala cuando el centroide está dentro de ésta, debido tanto al preesfuerzo como a los momentos resistidos por el elemento prefabricado actuando solo).
f_{pe}	= esfuerzo de compresión en el concreto debido únicamente a las fuerzas efectivas de preesforzado (después de descontar todas las pérdidas de preesforzado) en la fibra extrema de la sección donde el esfuerzo de tracción es causado por cargas aplicadas externamente, expresado en MPa
f_{pu}	= resistencia nominal a la tracción de los tendones de preesforzado, expresada en MPa
f_y	= resistencia nominal a la fluencia del refuerzo no preesforzado, expresada en MPa.
f_{yv}	= resistencia nominal a la fluencia del refuerzo transversal para torsión, expresada en MPa.
f_{yr}	= resistencia nominal a la fluencia del refuerzo longitudinal para torsión, expresada en MPa
h	= espesor total del elemento, expresado en mm
h_b	= distancia desde la cara inferior del la viga que da apoyo indirecto a otra viga, hasta la cara inferior de la viga apoyada indirectamente, expresada en mm
h_s	= altura total del la viga que da apoyo indirecto a otra viga, expresada en mm
h_v	= espesor total de la sección transversal de la cabeza de cortante, expresado en mm
h_w	= altura total del muro desde la base hasta la parte superior, expresada en mm.
I	= momento de inercia de la sección que resiste cargas mayoradas aplicadas externamente
l_n	= luz libre medida cara a cara de apoyos
l_v	= longitud del brazo de la cabeza de cortante medida desde el centroide de la carga concentrada o reacción, expresada en mm.
l_w	= longitud horizontal del muro, expresada en mm
M_{cr}	= momento al cual se causa fisuración por flexión en la sección, debido a las cargas aplicadas externamente (Véase C 11 4.2.1)
M_m	= momento modificado
M_{max}	= momento mayorado máximo en la sección debido a las cargas aplicadas externamente
M_p	= resistencia requerida a momento plástico de la sección transversal de la cabeza de cortante
M_u	= momento mayorado en la sección
M_v	= resistencia a momento suministrada por la cabeza de cortante
N_u	= fuerza axial mayorada normal a la sección transversal que se presenta simultáneamente con la fuerza cortante mayorada en la sección, V_u ; positiva para compresión, negativa para tracción. Incluye los efectos de tracción ocasionados por el flujo plástico y la retracción de fraguado.
N_{uc}	= fuerza de tracción mayorada que actúa simultáneamente con la fuerza cortante mayorada V_u sobre la ménsula o cornisa, positiva para tracción
p_{cp}	= perímetro exterior de la sección de concreto A_{cp} , en mm. Véase la definición de A_{cp}
p_h	= perímetro definido por el centro del refuerzo transversal para torsión que se encuentra más afuera en la sección de concreto, expresada en mm.
s	= espaciamiento del refuerzo de cortante o de torsión en una dirección paralela al refuerzo longitudinal, expresado en mm
s_1	= espaciamiento del refuerzo vertical de un muro, expresado en mm.
s_2	= espaciamiento del refuerzo de cortante o de torsión en la dirección perpendicular al refuerzo longitudinal, o espaciamiento del refuerzo horizontal en el muro, expresado en mm
t	= espesor de la pared de una sección hueca de concreto, en mm
T_n	= resistencia nominal a la torsión
T_u	= momento de torsión mayorado en la sección.
V_d	= fuerza cortante en la sección debida la carga muerta no mayorada
V_i	= fuerza cortante mayorada en la sección debida a las cargas aplicadas externamente que se presenta simultáneamente con M_{max}
V_n	= fuerza resistente nominal a cortante
V_p	= componente vertical de la fuerza de preesforzado efectiva en la sección
V_u	= fuerza cortante mayorada en la sección.
v_c	= resistencia nominal a cortante suministrada por el concreto, en MPa
v_{ci}	= resistencia nominal a cortante suministrada por el concreto, cuando la fisuración diagonal resulta de la combinación de cortante y momento, en MPa
v_{cw}	= resistencia nominal a cortante suministrada por el concreto, cuando la fisuración diagonal proviene de un esfuerzo principal excesivo de tracción en el alma, en MPa
v_n	= esfuerzo resistente nominal a cortante en MPa.
v_s	= resistencia nominal a cortante suministrada por el refuerzo de cortante, en MPa.

v_u	= esfuerzo cortante mayorado en la sección, en MPa.
y_f	= distancia del eje centroidal de la sección bruta despreciando el refuerzo hasta la fibra extrema a tracción.
α	= ángulo entre los estribos inclinados y el eje longitudinal del elemento
α_f	= ángulo entre el refuerzo de cortante por fricción y el plano del cortante
α_s	= constante utilizada en el cálculo de v_c en losas y zapatas.
α_c	= relación entre la rigidez del brazo de la cabeza de cortante y la sección de la losa compuesta que lo rodea Véase C 11 12 4 5
β_c	= relación entre el lado largo y el lado corto del área de carga concentrada o de reacción.
β_p	= constante utilizada en el cálculo de v_c en losas preesforzadas
γ_f	= fracción de momento no balanceado transferido por flexión en las conexiones losa-columna.
γ_v	= fracción de momento no balanceado transferido por excentricidad de cortante en las conexiones losa-columna
	= $1 - \gamma_f$
η	= número de cabezas de cortante idénticas
μ	= coeficiente de fricción para ser utilizado en el método de cortante por fricción (véase C.11.7)
ρ	= cuantía del refuerzo a tracción no preesforzado
	= A_s/bd
ρ_h	= relación entre el área del refuerzo horizontal de cortante y el área bruta de concreto de la sección vertical.
ρ_n	= relación entre el área del refuerzo vertical de cortante y el área bruta de concreto de la sección horizontal.
ρ_s	= $(A_s + A_h)/bd$
ρ_w	= $A_s/b_w d$
θ	= ángulo de las diagonales de compresión en la analogía de celosía para torsión, en grados.
ϕ	= coeficiente de reducción de resistencia (vease C 9 3)

C.11.1 - RESISTENCIA AL CORTANTE

C.11.1.1 - El diseño de las secciones transversales sometidas a esfuerzos cortantes y tracción diagonal debe basarse en

$$v_u \leq \phi v_n \quad (C.11-1)$$

donde v_u es el esfuerzo mayorado en la sección bajo consideración y v_n es el esfuerzo resistente nominal que se calcula como

$$v_n = v_c + v_s \quad (C.11-2)$$

donde v_c es el esfuerzo resistente nominal del concreto, calculado de acuerdo con C.11.3 o C.11.4 y v_s es el esfuerzo resistente nominal del acero de refuerzo a cortante, calculado de acuerdo con C.11.5.6.

El esfuerzo mayorado v_u se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$v_u = \frac{V_u}{b_w d} \quad (C.11-3)$$

donde b_w es el ancho del elemento o el ancho del alma del elemento cuando no tiene sección rectangular

C.11.1.1.1 - Al calcular el esfuerzo resistente nominal, v_n , deben tenerse en cuenta el efecto de todos los huecos que tenga el elemento

C.11.1.1.2 - Al calcular el esfuerzo resistente nominal del concreto, v_c , deben tenerse en cuenta los efectos de tracción axial debidos a retracción de fraguado o flujo plástico en los elementos que estén restringidos axialmente e igualmente los efectos de la compresión por flexión inclinada cuando se utilicen elementos acartelados o de sección variable

C.11.1.2 - Dentro del presente Capítulo, los valores obtenidos al evaluar la expresión $\sqrt{f'_c}$ no deben exceder 8.3 MPa. Se pueden utilizar valores de la expresión $\sqrt{f'_c}$ mayores que 8.3 MPa en el cálculo de v_c , v_{ci} y v_{cw} en vigas reforzadas,

preesforzadas y en viguetas, siempre y cuando el refuerzo transversal en el alma sea $(f'_c/35) \leq 3$ veces mayor que las cantidades requeridas por C.11.5.3, C.11.5.4 y C.11.6.5.2

C.11.1.3 - Para secciones de miembros de concreto no preesforzado localizados a menos de una distancia d de la cara del apoyo, puede utilizarse el valor del esfuerzo mayorado de cortante, v_u , calculado a una distancia d . En elementos preesforzados puede hacerse la misma reducción pero en vez de d se utiliza $h/2$. Para poder aplicar lo prescrito aquí deben cumplirse simultáneamente las dos condiciones siguientes:

- (a) La reacción del apoyo, en la dirección del cortante aplicado, introduce compresión en las regiones cercanas al apoyo del elemento.
- (b) No existen cargas concentradas entre la cara del apoyo y el lugar donde se calcula el esfuerzo v_u .

C.11.1.4 - Para elementos de gran altura sometidos a flexión, ménsulas y cornisas, muros, losas y zapatas se deben aplicar las disposiciones especiales de C.11.8 a C.11.12.

C.11.1.5 - En el diseño a cortante de elementos de estructuras de concreto reforzado de capacidad de disipación de energía moderada (*DMO*) y especial (*DES*) deben cumplirse los requisitos adicionales dados en el Capítulo C.21.

C.11.2 - CONCRETO CON AGREGADOS LIGEROS

Todos los requisitos de este Capítulo son aplicables a concreto con agregados de peso normal, por lo tanto estos requisitos no deben ser utilizados en el diseño de elementos construidos con concreto en el cual se han utilizado agregados ligeros, o donde la densidad del concreto se reduce por otros métodos. Los concretos ligeros deben ser aprobados por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

C.11.3 - RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE CONTRIBUIDA POR EL CONCRETO PARA ELEMENTOS NO PREESFORZADOS

C.11.3.1 - A menos que se lleve a cabo un cálculo mas detallado, como lo prescribe C.11.3.2, el valor de la resistencia al esfuerzo cortante, v_c , puede calcularse así:

C.11.3.1.1 - Para elementos sometidos a cortante y flexión únicamente:

$$v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \quad (\text{C.11-4}')$$

C.11.3.1.2 - Para elementos sometidos a compresión axial

$$v_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \quad (\text{C.11-5}')$$

la cantidad N_u/A_g debe expresarse en MPa

C.11.3.1.3 - Los elementos sometidos a una tracción axial apreciable, deben diseñarse de tal manera que el refuerzo lleve todo el cortante, a menos que se realice un análisis más detallado siguiendo los requisitos de C.11.3.2.3

C.11.3.1.4 - En estructuras de capacidad de disipación de energía especial (*DES*) cuando el valor del esfuerzo cortante contribuido por el sismo es más de la mitad del esfuerzo cortante mayorado v_u , el valor de v_c debe tomarse como cero bajo las condiciones dadas en el Capítulo C.21

C.11.3.2 - La resistencia a cortante suministrada por el concreto puede determinarse de una manera mas detallada así:

C.11.3.2.1 - Para elementos sometidos solo a flexión y cortante

$$v_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{7} + 17.1 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \leq 0.3 \sqrt{f'_c} \quad (\text{C.11-6}^*)$$

donde M_u es el momento flector mayorado que se presenta simultáneamente con V_u en la sección considerada, pero $V_u d/M_u$ no debe tomarse mayor de 1.0 al calcular v_c con la ecuación C.11-6

C.11.3.2.2 - Para elementos sometidos a compresión axial puede utilizarse la ecuación C.11-6 para calcular v_c sustituyendo M_u por M_m y sin la limitación de $V_u d/M_u$ mayor que 1.0, siendo:

$$M_m = M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8} \quad (\text{C.11-7})$$

Sin embargo v_c no puede exceder de

$$v_c = 0.3 \sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{N_u}{3.5 A_g}} \quad (\text{C.11-8}^*)$$

La cantidad N_u/A_g debe expresarse en MPa. Cuando M_m calculado según la ecuación C.11-7 resulte negativo, debe calcularse v_c con la ecuación C.11-8

C.11.3.2.3 - Para elementos sometidos a una tracción axial considerable.

$$v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \left(1 + \frac{N_u}{3.5 A_g} \right) \geq 0 \quad (\text{C.11-9}^*)$$

donde N_u es negativa para tracción. La cantidad N_u/A_g debe expresarse en MPa.

C.11.4 - RESISTENCIA A ESFUERZO CORTANTE CONTRIBUIDA POR EL CONCRETO PARA ELEMENTOS PREENFORZADOS

C.11.4.1 - Para los elementos cuya fuerza efectiva de preesfuerzo no sea inferior al 40% de la resistencia a tracción del refuerzo de flexión

$$v_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} + 5 \frac{V_u d}{M_u} \quad (\text{C.11-10}^*)$$

a menos que se efectúe un cálculo más detallado de acuerdo con C.11.4.2, pero v_c no hay necesidad de tomarlo menor que $\sqrt{f'_c}/6$, ni mayor que $0.4\sqrt{f'_c}$, ni mayor que el valor dado en C.11.4.3 o C.11.4.4. La cantidad $V_u d/M_u$ no debe tomarse mayor de 1.0, siendo M_u el momento mayorado que se presenta simultáneamente con V_u en la sección considerada. Cuando se aplique la ecuación C.11-10, d en el término $V_u d/M_u$ debe ser la distancia entre la fibra extrema de compresión y el centroide de los cables de preesfuerzo.

C.11.4.2 - La resistencia a esfuerzo cortante, v_c , puede calcularse de acuerdo con C.11.4.2.1 y C.11.4.2.2 siendo v_c el menor entre v_{ci} y v_{cr} .

C.11.4.2.1 - La resistencia a cortante v_{ci} debe calcularse por:

$$v_{ci} = \frac{\sqrt{f'_c}}{20} + \frac{V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}}{b_w d} \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{7} \quad (\text{C.11-11}^*)$$

Siendo:

$$M_{cr} = \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pc} - f_d \right) \quad (\text{C.11-12}^*)$$

y los valores de M_{max} , y V_i se calculan con base en la combinación de cargas que ocasionen el máximo momento en la sección.

C.11.4.2.2 - La resistencia a cortante v_{cw} se calcula por medio de:

$$v_{cw} = 0.3 \left(\sqrt{f'_c} + f_{pc} \right) + \frac{V_p}{b_w d} \quad (\text{C.11-13}^*)$$

Alternativamente v_{cw} puede calcularse como el esfuerzo cortante correspondiente a carga muerta mas carga viva que produce un esfuerzo principal de tracción de $\sqrt{f'_c}/3$ en el eje centroidal del elemento o en la intersección del ala con el alma cuando el eje centroidal esté en el ala. En elementos compuestos, el esfuerzo principal de tracción debe calcularse utilizando la sección transversal que resiste la carga viva

C.11.4.2.3 - En las ecuaciones C 11-11 y C.11-13, d es la distancia desde la fibra extrema en compresion hasta el centroide del refuerzo preesforzado ó $0.8h$, la que sea mayor.

C.11.4.3 - En elementos pretensados en el que la sección a una distancia $h/2$ de la cara del apoyo esté más cerca del extremo del elemento que la longitud de transferencia de los tendones de preesforzado, debe considerarse el preesfuerzo reducido para calcular v_{cw} . Este valor de v_{cw} se toma también como el límite máximo para la ecuación C 11-10. Puede suponerse que la fuerza del preesfuerzo varía linealmente desde cero en el extremo del tendón, hasta un máximo a una distancia de ese extremo igual a la longitud de transferencia, que se supone es 50 diámetros para torones y 100 diámetros para alambres individuales.

C.11.4.4 - En elementos pretensados en los cuales algunos torones o alambres no están adheridos al concreto en los extremos del elemento, debe utilizarse un preesfuerzo reducido al calcular v_c de acuerdo con C 11 4.1 y C 11.4.2. El valor de v_{cw} calculado utilizando este preesfuerzo reducido debe tomarse también como el límite máximo de la ecuación C.11-10. La fuerza de preesfuerzo contribuida por los torones o alambres que no están adheridos hasta el extremo del elemento, puede suponerse que varía linealmente desde cero en el punto en el cual comienza la adherencia, hasta un valor máximo que ocurre a una distancia igual a la longitud de transferencia, que se supone igual a 50 diámetros para torones y 100 diámetros para alambres individuales.

C.11.5 - RESISTENCIA A CORTANTE CONTRIBUIDA POR EL REFUERZO

C.11.5.1 - TIPO DE REFUERZO DE CORTANTE - El refuerzo de cortante puede consistir en:

- (a) Estribos perpendiculares al eje del elemento,
- (b) malla electrosoldada, con alambres localizados perpendicularmente al eje del elemento

Para elementos sin preesfuerzo el refuerzo de cortante puede consistir también en.

- (a) Estribos que formen ángulo de 45° o más con el refuerzo longitudinal a tracción;
- (b) refuerzo longitudinal cuya parte doblada forme ángulo de 30° o más con el refuerzo longitudinal a tracción,
- (c) combinaciones de estribos y refuerzo longitudinal doblado;
- (d) espirales

C.11.5.2 - El esfuerzo de fluencia de diseño del refuerzo a cortante no debe ser mayor de 420 MPa, *excepto para* malla electrosoldada, en la cual el esfuerzo de fluencia de diseño no debe ser mayor de 550 MPa

C.11.5.3 - Los estribos, y otras barras o mallas electrosoldadas, que se utilicen como refuerzo a cortante deben prolongarse hasta una distancia d medida desde la fibra extrema a compresión y deben anclarse en ambos extremos, de acuerdo con C.12.13, para desarrollar el esfuerzo de fluencia de diseño del refuerzo.

C.11.5.4 - LÍMITES DE ESPACIAMIENTO PARA EL REFUERZO DE CORTANTE

C.11.5.4.1 - El espaciamiento del refuerzo a cortante colocado perpendicularmente al eje del elemento, no debe ser mayor de $d/2$ en elementos sin preesfuerzo, ni de $(3/4)h$ en elementos preesforzados, ni de 600 mm

C.11.5.4.2 - Los estribos inclinados y el refuerzo longitudinal doblado deben espaciarse de manera que cada línea a 45 grados que se extienda hacia la reacción desde la mitad de la altura útil del elemento ($d/2$), hacia el refuerzo longitudinal en tracción, sea cruzada por lo menos por una línea de refuerzo a cortante

C.11.5.4.3 - Cuando v_u sea mayor de $(1/3)\sqrt{f'_c}$ los espaciamientos dados en esta sección deben reducirse a la mitad.

C.11.5.4.4 - En estructuras de capacidad de disipación de energía moderada (*DMO*) y especial (*DES*) hay que cumplir los requisitos adicionales dados en el Capítulo C.21

C.11.5.5 - REFUERZO MÍNIMO DE CORTANTE

C.11.5.5.1 - Debe colocarse un área mínima de refuerzo a cortante en todo elemento de concreto reforzado (preesforzado o no) en donde el esfuerzo cortante mayorado v_u , sea mayor que la mitad de la resistencia suministrada por el concreto, $\phi v_c/2$, excepto en:

- (a) Losas y zapatas;
- (b) Vigas con altura total no mayor de 250 mm, ó 2.5 veces el espesor del ala o la mitad del ancho del alma, el que sea mayor;
- (c) En estructuras de capacidad de disipación de energía moderada (*DMO*) y especial (*DES*) en los elementos que hacen parte del sistema de resistencia sísmica deben colocarse estribos en toda su longitud (Véase el Capítulo C.21)

C.11.5.5.2 - Los requisitos mínimos del refuerzo a cortante de la presente sección pueden omitirse si se demuestra, mediante ensayos, que la resistencia última requerida a flexión y cortante puede desarrollarse cuando se omite el refuerzo a cortante. Los ensayos deben simular los efectos de asentamientos diferenciales, flujo plástico y retracción de fraguado del concreto, y de las variaciones de temperatura, por medio de una evaluación realista de estos efectos en condiciones de servicio de la estructura

C.11.5.5.3 - Cuando se requiera refuerzo a cortante de acuerdo con lo establecido por esta sección, o por resistencia, o cuando C 11 6 1 permite que se desprecien los efectos de torsión, el área mínima de refuerzo a cortante para elementos preesforzados (excepto lo establecido en C.11.5.5.4) y sin preesfuerzo, debe calcularse por medio de:

$$A_v = \frac{b_w s}{3f_y} \quad \text{(C.11-14*)}$$

donde b_w y s se expresan en mm y f_y en MPa.

C.11.5.5.4 - Para elementos preesforzados que tengan una fuerza de preesfuerzo efectiva por lo menos igual al 40% de la resistencia a la tracción del refuerzo a flexión, el área mínima de refuerzo a cortante puede calcularse por medio de las ecuaciones C.11-14 o C.11-15.

$$A_v = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80f_y d} \sqrt{\frac{d}{b_w}} \quad \text{(C.11-15)}$$

C.11.5.6 - DISEÑO DEL REFUERZO A CORTANTE

C.11.5.6.1 - Cuando el esfuerzo cortante mayorado v_u exceda de la resistencia a cortante ϕv_c , debe suministrarse refuerzo a cortante que cumpla las ecuaciones C.11-1 y C.11-2, en las cuales la resistencia a cortante v_s debe calcularse según C.11.5.6.2 a C.11.5.6.8.

C.11.5.6.2 - Cuando se utilice refuerzo a cortante perpendicular al eje del elemento.

$$v_s = \frac{A_v f_y}{b_w s} \quad (C.11-16)$$

donde A_v es el área del refuerzo a cortante dentro de la distancia s .

C.11.5.6.3 - Cuando se utilicen estribos inclinados como refuerzo a cortante:

$$v_s = \frac{A_v f_y (\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha)}{b_w s} \quad (C.11-17)$$

C.11.5.6.4 - Cuando el refuerzo a cortante consista en una sola barra o un solo grupo de barras paralelas, todas dobladas a la misma distancia del apoyo:

$$v_s = \frac{A_v f_y \text{sen}\alpha}{b_w d} \leq \frac{\sqrt{f'_c}}{4} \quad (C.11-18^*)$$

C.11.5.6.5 - Cuando el refuerzo a cortante consista en una serie de barras paralelas dobladas o grupos de barras paralelas dobladas a diferentes distancias del apoyo, la resistencia a cortante v_s debe calcularse usando la ecuación C.11-17.

C.11.5.6.6 - Únicamente las 3/4 partes centrales de la porción inclinada de cualquier barra longitudinal doblada pueden considerarse efectivas como refuerzo a cortante.

C.11.5.6.7 - Donde se utilice más de un tipo de refuerzo a cortante para reforzar la misma porción de un elemento, la resistencia a cortante v_s debe calcularse como la suma de los valores v_s calculados para los diferentes tipos.

C.11.5.6.8 - La resistencia a cortante contribuida por el refuerzo a cortante, v_s , no puede ser mayor que $(2/3)\sqrt{f'_c}$.

C.11.5.7 – ESTRIBOS ADICIONALES EN VIGAS APOYADAS INDIRECTAMENTE SOBRE OTRAS VIGAS

C.11.5.7.1 – Cuando, en construcción monolítica, una viga transfiere la reacción de su extremo a la cara de otra viga de la misma altura o mayor, deben colocarse estribos adicionales en la viga apoyada indirectamente según lo prescrito en C.11.5.7.2, cuando:

- (a) V_u en la viga apoyada indirectamente excede $\phi \frac{\sqrt{f'_c}}{4} b_w d$ en la cara donde se encuentran las dos vigas, y
- (b) h_b es menor que la mitad de la altura total de la viga que provee el apoyo.

C.11.5.7.2 – Los estribos adicionales que se colocan en la viga apoyada indirectamente deben ser estribos cerrados de altura total, o ganchos suplementarios que provean una resistencia igual a

$$\phi A_v f_y \geq \left(1 - \frac{h_b}{h_s}\right) V_u \quad (C.11-19)$$

donde ϕ tiene el valor correspondiente para cortante, y V_u es la fuerza cortante en la viga apoyada indirectamente en la cara donde se encuentran las dos vigas. El área de refuerzo A_s correspondiente a los estribos adicionales debe colocarse además del refuerzo transversal necesario para cortante y torsión, y debe anclarse de acuerdo con C 12.13.

C.11.5.7.3 – Por lo menos dos tercios de A_s deben colocarse dentro de la viga que da apoyo, y deben estar tan cerca de la cara donde se encuentran las dos vigas, como lo permitan los requisitos de recubrimiento. Estos estribos se deben colocar dentro de una distancia medida a lo largo del eje longitudinal de la viga que da apoyo, por una distancia menor o igual al ancho de la viga apoyada más una distancia h_o a cada lado. En el cálculo de los dos tercios de A_s , solo se toman en cuenta las ramas de los estribos que están localizadas cerca de la cara donde se apoya la viga indirectamente.

C.11.5.7.4 – No más de un tercio de A_s debe colocarse como estribos dentro de la viga apoyada dentro de una distancia igual a $d/4$ medida a lo largo del eje de la viga apoyada, a partir de la cara de la viga que da apoyo.

C.11.5.7.5 – El refuerzo longitudinal inferior de la viga apoyada debe localizarse por encima del refuerzo longitudinal inferior de la viga que da apoyo.

C.11.6 - DISEÑO PARA TORSION

C.11.6.1 - Los efectos de torsión pueden despreciarse en los siguientes casos:

(a) En elementos sólidos no preesforzados cuando

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{C.11-20}^*)$$

(b) En elementos preesforzados sólidos cuando.

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 f_{cp}}{\sqrt{f'_c}}} \quad (\text{C.11-21}^*)$$

(c) En elementos no preesforzados sólidos sometidos a una fuerza axial de tracción:

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 N_u}{A_g \sqrt{f'_c}}} \quad (\text{C.11-22}^*)$$

N_u se toma como negativo cuando la fuerza axial está en tracción.

En (a), (b) o (c), T_u está expresada en unidades consistentes de fuerza por longitud y el lado derecho de las ecuaciones debe multiplicarse por $0.3(A_g/A_{cp})$ para secciones huecas.

C.11.6.2 - CALCULO DE LA TORSION MAYORADA T_u - La determinación de la torsión mayorada, T_u , debe realizarse de acuerdo con lo establecido en las siguientes secciones:

C.11.6.2.1 - Si la torsión mayorada, T_u , en un elemento se requiere para mantener el equilibrio y excede el máximo dado en C.11.6.1, el elemento debe diseñarse para esta torsión de acuerdo con los requisitos de C 11.6.3 a C 11.6.6.

C.11.6.2.2 - En una estructura indeterminada, cuando pueda ocurrir una reducción en la torsión mayorada debida a la redistribución interna de fuerzas al ocurrir la fisuración, se permite reducir la torsión mayorada, T_u , en unidades consistentes de fuerza por longitud, a:

(a) para elementos sólidos no preesforzados, en las secciones descritas en C.11.6.2.4:

$$T_u = \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \quad (C.11-23^*)$$

(b) para elementos sólidos preesforzados, en las secciones descritas en C.11.6.2.5:

$$T_u = \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{3 f_{pc}}{\sqrt{f'_c}}} \quad (C.11-24^*)$$

En estos casos los correspondientes momentos y cortantes, obtenidos después de la redistribución a los elementos adjuntos, deben utilizarse en el diseño. Para elementos con secciones huecas, T_u debe multiplicarse por (A_g/A_{cp}) .

C.11.6.2.3 - A menos que se determine por medio de un análisis más exacto, se permite tomar la torsión proveniente de una losa, como una torsión uniformemente distribuida a lo largo del elemento.

C.11.6.2.4 - Las secciones de elementos no preesforzados localizadas a una distancia menor que d de la cara del apoyo, pueden diseñarse para la torsión T_u calculada a una distancia d . Si existe un torque concentrado dentro de esta distancia, la sección crítica para diseño a torsión debe ser la de la cara del apoyo.

C.11.6.2.5 - Las secciones de elementos preesforzados localizadas a una distancia menor que $h/2$ de la cara del apoyo, pueden diseñarse para la torsión T_u calculada a una distancia $h/2$. Si existe un torque concentrado dentro de esta distancia, la sección crítica para diseño a torsión debe ser la de la cara del apoyo.

C.11.6.3 - RESISTENCIA A LA TORSION - La resistencia a torsión debe calcularse siguiendo los requisitos siguientes:

C.11.6.3.1 - Las dimensiones de la sección deben ser tales, que se cumplan las siguientes relaciones.

(a) para secciones sólidas:

$$\sqrt{(v_u)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(v_c + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right) \quad (C.11-25^*)$$

(b) para secciones huecas:

$$(v_u) + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} \right) \leq \phi \left(v_c + \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} \right) \quad (C.11-26^*)$$

C.11.6.3.2 - Si el espesor de la pared varía alrededor del perímetro de la sección hueca, la ecuación C.11-26 debe evaluarse en la localización donde el lado izquierdo de la ecuación C.11-26 sea un máximo.

C.11.6.3.3 - Si en las secciones huecas, el espesor de la pared es menor que A_{oh}/p_h , el segundo término del lado izquierdo de la ecuación C.11-26 debe tomarse como:

$$\left(\frac{T_u}{1.7 A_{oh} t} \right)$$

donde t es el espesor de las paredes de la sección hueca en la localización donde se están verificando los esfuerzos.

C.11.6.3.4 - La resistencia nominal a la fluencia del acero no preesforzado, f_y , no debe exceder 420 MPa

C.11.6.3.5 - El refuerzo requerido para torsión debe obtenerse de:

$$\phi T_n \geq T_u \quad (\text{C.11-27})$$

C.11.6.3.6 - El refuerzo transversal para torsión debe diseñarse utilizando:

$$T_n = \frac{2 A_0 A_t f_{yv}}{s} \cot \theta \quad (\text{C.11-28})$$

donde A_0 debe determinarse por análisis, excepto que se permite tomar A_0 como $0.85A_{oh}$. θ no debe tomarse menor que 30° ni mayor de 60° . Se permite tomar θ como:

- (a) 45° en elementos no preesforzados, o en elementos preesforzados con menos preesfuerzo que el indicado en (b).
- (b) 37.5° para elementos preesforzados donde el preesfuerzo efectivo no sea menor que el 40% de la resistencia a la tracción del refuerzo longitudinal.

C.11.6.3.7 - El refuerzo longitudinal adicional requerido por torsión no debe ser menos que:

$$A_r = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yr}} \right) \cot^2 \theta \quad (\text{C.11-29})$$

donde θ debe tener el mismo valor utilizado en la ecuación C.11-28 y A_t/s debe tomarse como la cantidad calculada en la ecuación C.11-28, sin haberla modificado de acuerdo con C.11.6.5.2 o C.11.6.5.3.

C.11.6.3.8 - El refuerzo requerido por torsión debe adicionarse al requerido para la fuerza cortante, el momento o la fuerza axial, que actúen simultáneamente con la torsión. Deben cumplirse los requisitos más estrictos respecto a separación del refuerzo transversal y su localización.

C.11.6.3.9 - Se permite reducir el área de refuerzo longitudinal para torsión en la zona de compresión por flexión en una cantidad equivalente a $M_u/(0.9 d f_{yr})$, donde M_u es el momento mayorado que actúa en combinación con T_u , excepto que el refuerzo suministrado no debe ser menos que el requerido por C.11.6.5.3 o C.11.6.6.2.

C.11.6.3.10 - En vigas preesforzadas deben cumplirse los siguientes requisitos:

- (a) la cantidad total de refuerzo longitudinal, incluyendo tendones de preesfuerzo, en cualquier sección debe ser capaz de resistir el momento flector mayorado en esa sección y una fuerza de tracción adicional concéntrica con la sección con un valor igual a $A_t f_{yt}$, basada en la torsión mayorada en la sección, y
- (b) la separación del refuerzo longitudinal, incluyendo los tendones de preesfuerzo, debe cumplir los requisitos de C.11.6.6.2.

C.11.6.3.11 - En vigas preesforzadas se permite reducir el área de refuerzo longitudinal de torsión en la cara de compresión de la sección por debajo de lo requerido por C.11.6.3.10, siguiendo los requisitos de C.11.6.3.9.

C.11.6.4 - DETALLES DEL REFUERZO PARA TORSION - El refuerzo para torsión debe cumplir los siguientes requisitos

C.11.6.4.1 - El refuerzo para torsión debe consistir en refuerzo longitudinal en barras o tendones y uno o más de los siguientes tipos de refuerzo:

- (a) estribos cerrados, colocados perpendicularmente al eje del elemento, o

- (b) una caja cerrada de malla electrosoldada con los alambres transversales colocados perpendicularmente al eje del elemento, o
- (c) en vigas no preesforzadas, refuerzo en espiral

C.11.6.4.2 - El refuerzo transversal debe anclarse utilizando uno de los siguientes procedimientos

- (a) un gancho de 135° alrededor del refuerzo longitudinal, o
- (b) en las regiones donde el concreto que rodea el anclaje está restringido contra descascaramiento por medio de un ala de la sección o una losa, siguiendo los requisitos de C.12.13.2.1, C.12.13.2.2 o C.12.13.2.3.

C.11.6.4.3 - El refuerzo longitudinal para torsión debe desarrollar adecuadamente su resistencia a tracción en sus dos extremos.

C.11.6.4.4 - En las secciones huecas sometidas a torsión, la distancia medida desde el centro del refuerzo transversal hasta la cara interna de la pared no debe ser menor que $0.5A_{oh}/p_h$.

C.11.6.5 - REFUERZO MINIMO PARA TORSION - Deben cumplirse las siguientes cantidades mínimas de refuerzo para torsión

C.11.6.5.1 - En todas las regiones donde la torsión excede los valores especificados en C.11.6.1, deben colocarse, al menos, las cantidades mínima de refuerzo para torsión.

C.11.6.5.2 - Donde se requiera refuerzo para torsión de acuerdo con C.11.6.5.1, el área mínima de estribos cerrados debe calcularse por medio de la siguiente ecuación:

$$A_v + 2A_t \geq \frac{b_w s}{3 f_{yv}} \quad (\text{C.11-30}^*)$$

C.11.6.5.3 - Donde se requiera refuerzo para torsión de acuerdo con lo indicado en C.11.6.5.1, el área mínima total de refuerzo longitudinal para torsión debe calcularse por medio de la siguiente ecuación.

$$A_{t,min} = \frac{5\sqrt{f'_c} A_g}{12 f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) p_h \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \quad (\text{C.11-31}^*)$$

donde $A_{t,min}$ no puede ser menor que cero y A_t/s debe corresponder a la cantidad calculada por medio de la ecuación C.11-28 pero no menos que $(1/6)b_w/f_{yv}$.

C.11.6.6 - ESPACIAMIENTO DEL REFUERZO PARA TORSION - El espaciamiento del refuerzo para torsión debe cumplir los siguientes requisitos:

C.11.6.6.1 - El espaciamiento del refuerzo transversal para torsión no debe exceder el mayor de $p_h/8$, ni 300 mm.

C.11.6.6.2 - El refuerzo longitudinal requerido para torsión debe distribuirse alrededor del perímetro de los estribos cerrados, con una máxima separación entre barras de 300 mm. Las barras longitudinales, o tendones de preesfuerzo, deben colocarse por dentro de los estribos. Debe haber al menos una barra longitudinal, o tendón, en cada esquina del estribo. Las barras deben tener un diámetro por lo menos igual a 1/24 del espaciamiento entre estribos, pero no pueden ser menores de barra N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm).

C.11.6.6.3 - El refuerzo de torsión, tanto longitudinal como transversal, debe llevarse por una distancia al menos igual a $(b_t + d)$ más allá del punto donde ya no se necesite teóricamente.