

ACI 318-05

CAPÍTULO 11

Cortante y Torsión



Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

Agosto 2005

Diseño por Cortante

Diseñar las secciones de manera que:

$$\phi V_n \geq V_u$$

donde

V_n es la resistencia nominal a cortante,

ϕ es un factor de reducción de resistencia,

V_u es la fuerza cortante de diseño factorizada.

Fuerza cortante de diseño V_u

Las secciones localizadas a una distancia menor que d , se podrán diseñar para el mismo cortante (V_u) que existe a una distancia d del paño del apoyo.

Se deberá cumplir que:

- Cargas y reacciones comprimen la zona del apoyo.
- Las cargas se aplican en la parte superior de la trabe.
- No hay cargas concentradas entre el apoyo y la sección crítica.

Fuerza cortante resistente ϕV_n

$$\phi V_n = V_c + V_s$$

donde:

V_c Resistencia del concreto

V_s Resistencia del refuerzo

Resistencia del Concreto V_c

Elementos no presforzados

Para flexión y cortante: $V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d$

Para miembros sujetos a compresión axial: $V_c = 0.53 \left(1 + 0.0071 \frac{N_u}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$

Para miembros con tensión axial significativa: $V_c = 0$

Resistencia del Concreto V_c

Elementos no presforzados

Es posible determinar V_c mediante cálculos más detallados que incluyen la cuantía de refuerzo a flexión ρ_w y el cociente $V_u d / M_u$ (ver sección 11.3.2).

Resistencia del Concreto V_c

Elementos presforzados

Elementos en que la fuerza efectiva de presfuerzo es mayor que el 40% de la resistencia a tensión del refuerzo por flexión

$$V_c = \left(0.16\sqrt{f'_c} + 49 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d$$

Donde:

$$0.53\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 1.33\sqrt{f'_c} b_w d$$

Reducción en la zona de transferencia

$$\frac{V_u d_p}{M_u} \leq 1.0$$

d_p = Peralte efectivo considerado al centroide de acero de presfuerzo

Refuerzo por Cortante

El refuerzo se puede realizar mediante:

- Estribos perpendiculares
- Estribos inclinados a 45°
- Doblez del refuerzo longitudinal
- Combinaciones de los tipos anteriores

Resistencia del acero de refuerzo (V_s)

Cuando $V_u > \phi V_c$:

Para estribos verticales:
$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

Para estribos inclinados:
$$V_s = \frac{A_v f_y (\sen \alpha + \cos \alpha) d}{s}$$

Para refuerzo de una barra individual o en un solo grupo de barras paralelas, todas dobladas a la misma distancia del apoyo

$$V_s = A_v f_y \sen (\alpha) \leq 0.8 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Resistencia del acero de refuerzo (V_s)

Límites de V_s :

El acero de refuerzo utilizado para resistir la fuerza cortante deberá tener un límite de fluencia f_y no mayor que 4,200 kg/cm²

Refuerzo máximo

$$V_s \leq 2.2 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Resistencia del acero de refuerzo (V_s)

Separación máxima

$0.50 d \leq 60 \text{ cm}$ en elementos no presforzados

$0.75 h \leq 60 \text{ cm}$ en elementos presforzados

si $V_s \geq 1.1 \sqrt{f_c'} b_w d$

las separaciones anteriores se reducen a la mitad

Resistencia del acero de refuerzo (V_s)

Refuerzo mínimo :

$$\text{Si } V_u > 0.5\phi V_c$$

Debe colocarse un área mínima de refuerzo para cortante $A_{v_{\min}}$, excepto en:

- Losas y zapatas
- Losas nervadas
- Vigas con h no mayor que 25 cm, 2.5 veces el espesor del patín, ó 0.5 veces el ancho del alma, el que sea mayor.

Resistencia del acero de refuerzo (Vs)

Refuerzo mínimo

Elementos presfizados y no presfizados

$$A_{v,\text{mín}} = 0.2 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}} \geq 3.52 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

Para elementos presfizados con fuerza efectiva de presfuerzo no menor al 40% de la resistencia a tensión del refuerzo por flexión, $A_{v,\text{mín}}$ será la mayor de la calculada con la ecuación anterior o con la siguiente

$$A_{v,\text{mín}} = \frac{A_{ps} f_{pu} s}{80 f_{yt} d} \sqrt{\frac{d}{b_w}}$$

donde:

A_{ps} : Área de preesfuerzo en la zona de tensión por flexión

f_{pu} : Resistencia a tensión del acero de presfuerzo

Diseño por Torsión

Torsión Crítica

Es posible despreciar los efectos de torsión si:

Elementos no presforzados

$$T_u < \phi \ 0.265 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

donde:

A_{cp} : Área de la sección incluyendo huecos.

P_{cp} : Perímetro del área exterior

Diseño por Torsión

Elementos presforzados:

$$T_u < \phi \ 0.265 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{cp}}{\sqrt{f'_c}}}$$

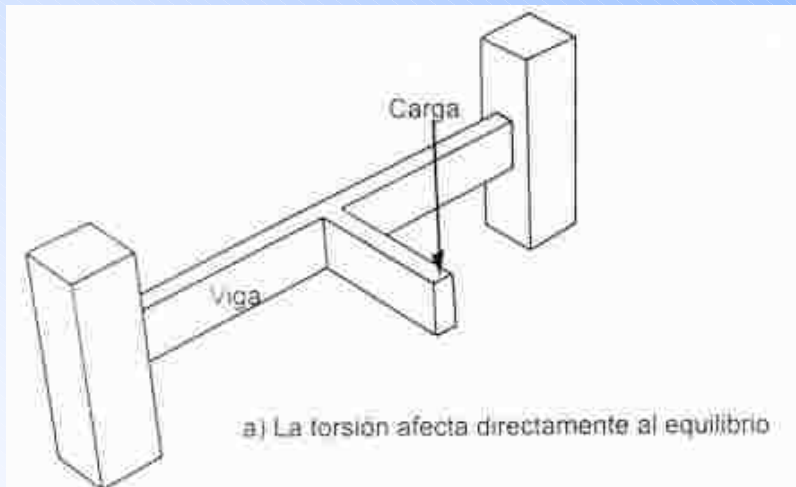
f_{cp} : Esfuerzo efectivo de compresión por presfuerzo al centroide de la sección transversal

Elementos no presforzados sometidos a tensión axial o compresión:

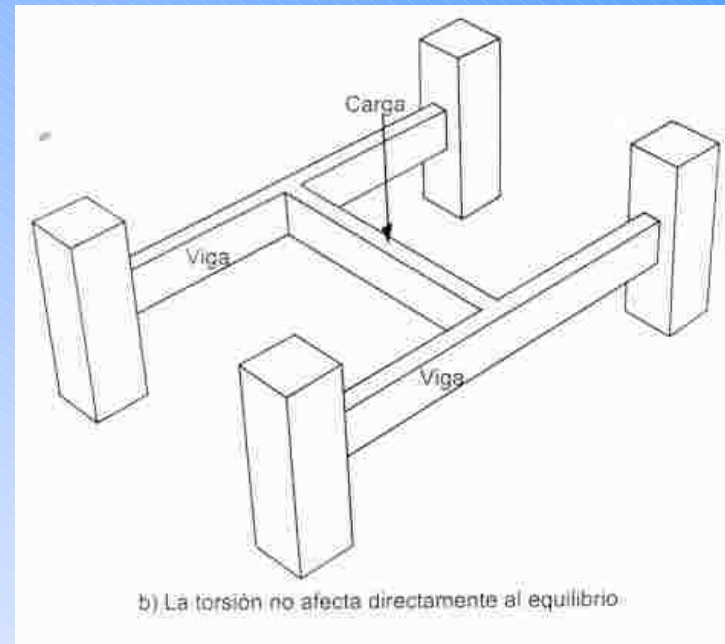
$$T_u < \phi \ 0.265 \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{A_g \sqrt{f'_c}}}$$

A_g : Área de concreto de la sección sin incluir huecos. Para una sección hueca, Sustituir A_g por A_{cp}

Momento Torsionante de Diseño Tu (último)



Caso isostático



Caso hiperestático

Momento Torsionante de Diseño T_u (último)

Si la resistencia a torsión de la viga afecta directamente al equilibrio (caso isostático), deberá considerarse el 100% de T_u .

Momento Torsionante de Diseño T_u (último)

Si puede existir redistribución de las fuerzas internas después del agrietamiento (estructura estáticamente indeterminada), se permite reducir T_u a los siguientes valores:

Elementos no presforzados:

$$T_u < \phi \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

Momento Torsionante de Diseño T_u (último)

Elementos presforzados :

$$T_u < \phi \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{cp}}{\sqrt{f'_c}}}$$

Elementos no presforzados sometidos a tensión axial o compresión:

$$T_u < \phi \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{A_g \sqrt{f'_c}}}$$

En secciones huecas no debe sustituirse A_{cp} por A_g

Dimensiones Mínimas de la sección para resistir Torsión

Elementos de sección maciza

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 2 \sqrt{f_c'} \right)$$

Dimensiones Mínimas de la sección para resistir Torsión

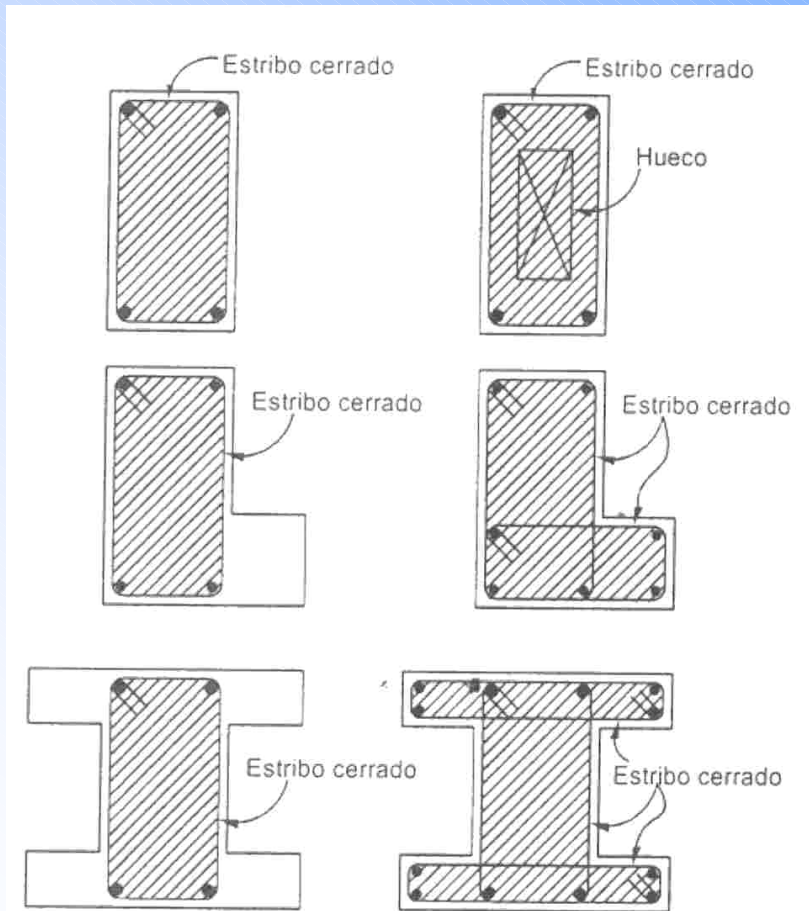
Elementos de sección hueca

$$\left(\frac{V_u}{b_w d} \right) + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} \right) \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 2 \sqrt{f'_c} \right)$$

Si el espesor de la pared es menor que A_{oh}/p_h , el segundo término de la ecuación anterior deberá tomarse como

$$T_u / 1.7 A_{oh} t$$

Dimensiones Mínimas de la sección para resistir Torsión

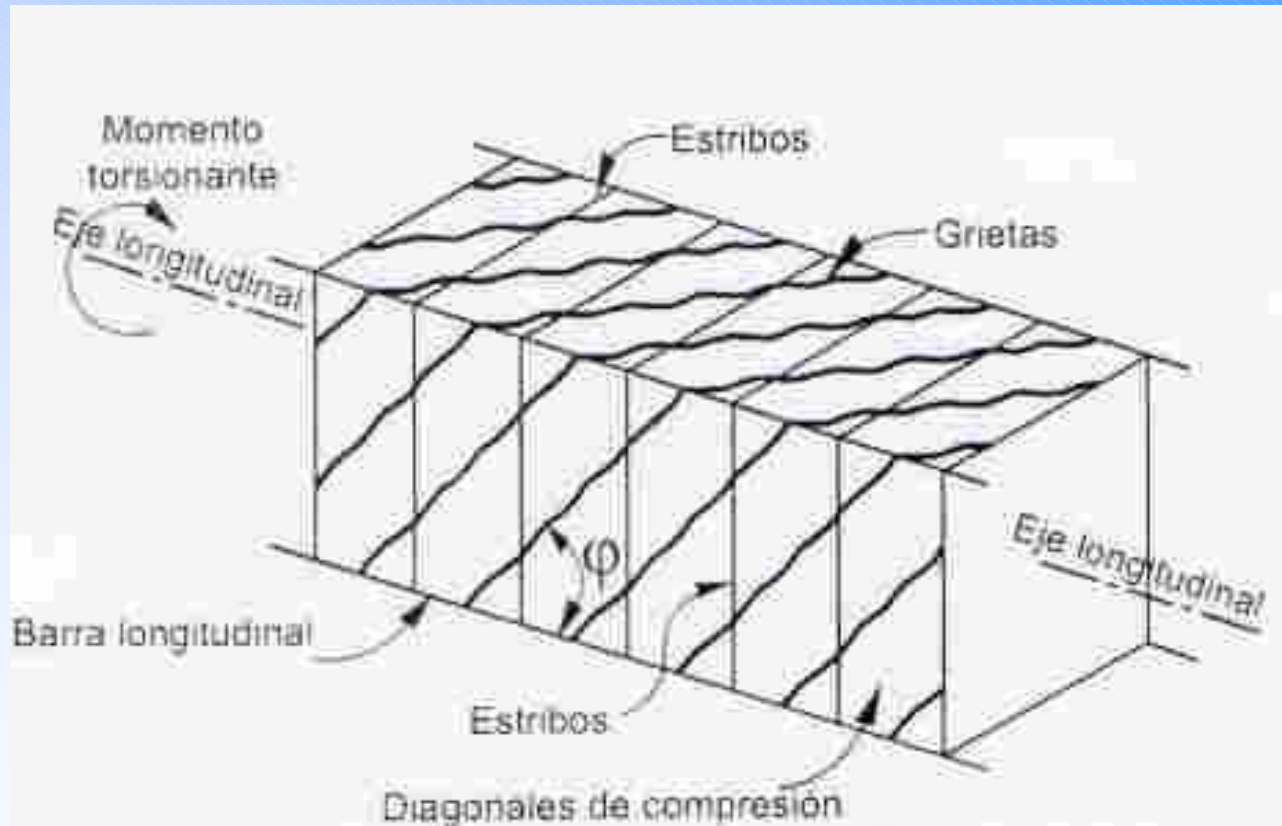


P_h : Perímetro del estribo de refuerzo por tensión más alejado del eje del elemento.

A_{oh} : Área encerrada por P_h (zona sombreada)

Definición de área A_{oh}

Refuerzo por Torsión



Analogía de la armadura (tridimensional)

Refuerzo por Torsión

Refuerzo Transversal (A_t)

El refuerzo transversal a torsión deberá diseñarse considerando:

$$A_t = \frac{T_u s}{\phi 2 A_o f_{yt} \cot \theta}$$

A_t : Área transversal de una rama de estribo colocado a una separación s .

A_o : Área encerrada por la trayectoria del flujo de cortante alrededor del perímetro, igual a $0.85 A_{oh}$.

f_{yt} : Esfuerzo de fluencia del acero de los estribos.

θ : Ángulo de los puntales de compresión, 45° en elementos no presforzados y 37.5° en presforzados.

Refuerzo por Torsión

Refuerzo Longitudinal (A_{st})

$$A_{st} = \frac{M_u}{\phi f_y d} \left(\frac{1}{1 + \frac{V_u}{\phi f_y d}} \right)$$

A_{st} : Área de refuerzo longitudinal para resistir tensión, adicional a la de flexión

El refuerzo requerido por torsión se sumará al requerido por cortante, flexión y carga axial.

Se permite reducir el área de refuerzo longitudinal por torsión en la zona comprimida a flexión por una cantidad igual a $M_u/0.9df_y$

Refuerzo por Torsión

Refuerzo Mínimo

Refuerzo Transversal

$$(A_v + 2A_t) = 0.2 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

Pero no menor que

$$3.5 \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

Refuerzo por Torsión

Refuerzo Mínimo

Refuerzo Longitudinal

$$A_{st \text{ mín}} = \frac{1.33 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) p_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

Donde A_t / S no será menor que

$$1.75 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

Refuerzo por Torsión

Separación Máxima

Refuerzo Transversal

El menor de los siguientes valores

$$S_{\text{máx}} = \begin{cases} \frac{p_h}{8} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$$

Refuerzo por Torsión

Separación Máxima

Refuerzo Longitudinal

Debe haber una barra en cada esquina de estribo con separación máxima de esquinas igual a 30 cm. La barra en cada esquina debe tener un diámetro de al menos $1/24$ de la separación entre estribos, pero menos del diámetro del No. 10.