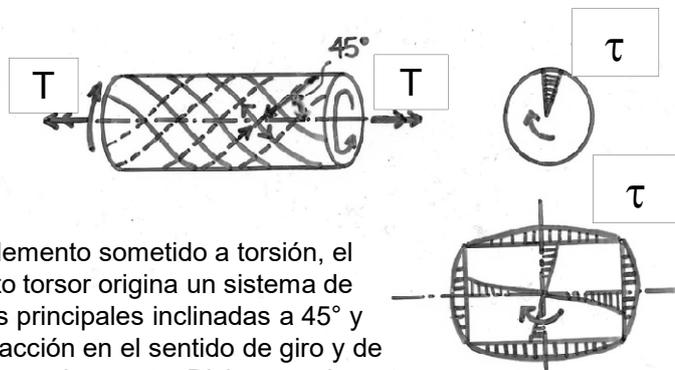


HORMIGÓN I (74.01 y 94.01)

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

GENERALIDADES SOBRE TORSIÓN.

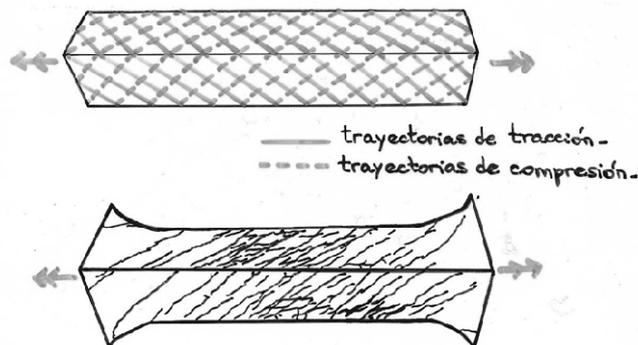


En un elemento sometido a torsión, el momento torsor origina un sistema de tensiones principales inclinadas a 45° y 135° , de tracción en el sentido de giro y de compresión en el opuesto. Dichas tensiones principales tienen trayectorias en espiral y son máximas en la superficie.

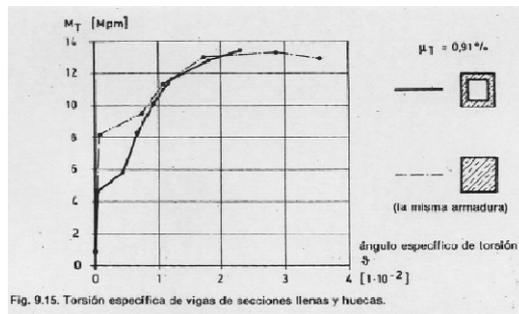
Para un sistema de ejes coordenados x-y paralelo y normal al eje de la barra, se obtiene como tensión de torsión sólo una tensión tangencial τ .

COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDOS A TORSIÓN.

Cuando un elemento de hormigón es sometido a torsión pura se generan las tensiones mencionadas anteriormente. Una o más fisuras inclinadas aparecerán cuando la tensión principal de tracción alcance la resistencia a tracción del hormigón.



Se realizaron ensayos en barras de **sección maciza** y barras de **sección hueca**, con iguales dimensiones exteriores y con las mismas armaduras. Mediante estos ensayos se comprobó que **luego** de aparecer las **fisuras** en espiral originadas por la torsión, el comportamiento de la barra de sección maciza y el de la hueca eran aproximadamente **iguales**. De ello se desprende que, luego de aparecer la fisuración, la sección maciza se comporta como si fuera hueca.



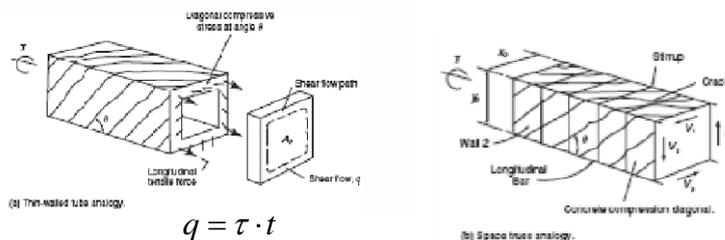
Fuente: Fritz Leonhardt
"ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO."

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 4

MODELO DEL RETICULADO ESPACIAL.

Se asume que la torsión es resistida por el **flujo de corte** q alrededor del perímetro del elemento. La viga se idealiza como un **tubo de pared delgada**. Después de la fisuración, el tubo se idealiza como un **reticulado** hueco formado por estribos cerrados, barras longitudinales en las esquinas y diagonales comprimidas centradas aproximadamente en los estribos. Las diagonales se idealizan como existentes entre fisuras que están a un ángulo θ , generalmente tomado como 45° para $H^\circ A^\circ$.



Fuente: Wight-MacGregor, J.
"REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-15

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 5

POSIBILIDAD DE NO CONSIDERAR LA TORSIÓN.
TORSIÓN CRÍTICA.

No se requiere armadura de torsión si no aparecen fisuras de torsión. En torsión pura, la tensión principal de tracción σ_1 es igual a la tensión tangencial τ , en una determinada ubicación. Así, de la expresión para tubos de pared delgada tenemos que:

$$\sigma_1 = \tau = \frac{T}{2 \cdot A_o \cdot t}$$

Para aplicar esto a **una sección maciza**, se necesita definir el espesor t de la pared y el área encerrada A_o del tubo equivalente antes de la fisuración. El reglamento se basa en la suposición de que **antes de la fisuración** el espesor de la pared se puede tomar igual a $0.75 \cdot A_{cp} / p_{cp}$ donde p_{cp} es el perímetro de la sección de hormigón y A_{cp} es el área encerrada por ese perímetro. El área A_o encerrada por la línea media de las paredes del tubo se puede tomar como $A_o = (2/3) \cdot A_{cp}$

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 6

Reemplazando en la expresión anterior tenemos que:

$$\sigma_1 = \tau = \frac{T \cdot p_{cp}}{A_{cp}^2}$$

La fisuración se produce cuando la tensión principal de tracción alcanza

$$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c}$$

Por lo tanto, el momento de fisuración será:

$$T_{cr} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}$$

Para **torsión combinada con corte**, se puede demostrar que, en secciones **macizas**, un momento torsor igual a $0.25 \cdot T_{cr}$ reduce el esfuerzo de corte que produce la fisuración en sólo un **3%**, lo cual se considera despreciable. Por lo tanto, si se cumple que

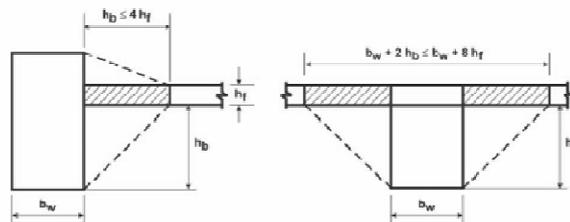
$$T_u < \frac{1}{12} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \quad \text{se puede despreciar la torsión.}$$

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 7

Definiciones de A_{cp} y p_{cp} .

Para una viga aislada A_{cp} es el área encerrada por el perímetro de la sección, incluyendo el área de cualquier hueco, y p_{cp} es el perímetro de la sección. Cuando se trata de una viga hormigonada monolíticamente con la losa, el reglamento establece que el ancho del ala considerada en el cálculo de A_{cp} y p_{cp} debe ser igual a la mayor de las distancias que el alma de la viga proyecta sobre o debajo del ala pero no mayor que 4 veces el espesor de la losa.



Las alas en voladizo se desprecian cuando A_{cp}^2 / p_{cp} determinado para la viga con alas resulta menor que el determinado para la misma viga pero sin alas

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 8

Para torsión combinada con corte, en una **sección de pared delgada**, se puede demostrar que la presencia de un momento torsor igual a $0.25 \cdot T_{cr}$ reduce el esfuerzo de corte que produce la fisuración en aproximadamente un **25%**, lo cual no es despreciable. Para considerar esto, el reglamento reemplaza A_{cp} por A_g expresión obtenida para secciones macizas, siendo A_g el área sólo de hormigón, es decir, no incluye los huecos o vacíos. Por lo tanto, para una **sección de pared delgada**, si se cumple que

$$T_u < \frac{1}{12} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_g^2}{p_{cp}}$$

se puede despreciar la torsión.

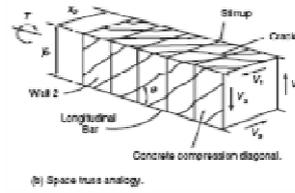
ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 9

DETERMINACIÓN DE LA ARMADURA DE CORTE.

Área de estribos para torsión.

Como ya se comentó, la viga se idealiza como un reticulado espacial formado por barras longitudinales en las esquinas, estribos cerrados y diagonales de hormigón comprimidas en espiral alrededor de la viga, entre las fisuras.



Fuente: Wight-MacGregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-15

La altura y el ancho del reticulado son y_0 y x_0 , las cuales son aproximadamente iguales a las distancias entre los centros de las barras longitudinales ubicadas en las esquinas. El ángulo de las fisuras es θ , el cual inicialmente está cerca de los 45° pero puede disminuir para momentos torsores elevados.

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 10

Para calcular el área necesaria de estribos, se necesita pasar del flujo de corte a fuerzas de corte actuantes en las cuatro paredes del tubo, como se ve en la figura. Como sabemos,

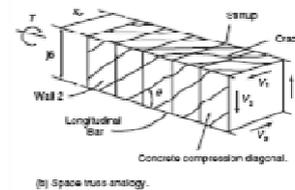
$$q = \tau \cdot t \quad \text{y} \quad \tau = \frac{T}{2 \cdot A_o \cdot t}$$

Por lo tanto

$$q = \frac{T}{2 \cdot A_o}$$

La fuerza total de corte debida a torsión a lo largo de cada uno de los bordes superior e inferior del reticulado resulta:

$$V_1 = V_3 = \frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot x_0$$



Fuente: Wight-MacGregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-15

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 11

Análogamente se obtienen las fuerzas de corte debidas a torsión en los lados verticales:

$$V_2 = V_4 = \frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot y_0$$

Tomando momentos respecto de una esquina del reticulado obtenemos:

$$T = V_1 \cdot y_0 + V_2 \cdot x_0$$

Reemplazando

$$T = \left(\frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot x_0 \right) \cdot y_0 + \left(\frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot y_0 \right) \cdot x_0$$

Es decir

$$T = \frac{2 \cdot T}{2 \cdot A_o} \cdot (x_0 \cdot y_0)$$

Por definición, $x_0 \cdot y_0 = A_o$. Así hemos demostrado que las fuerzas internas equilibran el momento torsor aplicado T .

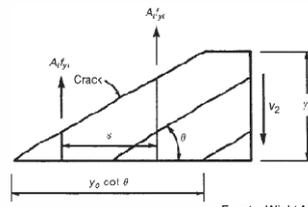
ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 12

La figura muestra una parte de uno de los lados verticales.

La fisura corta $n_2 = \frac{y_0 \cdot \cot g \theta}{s}$

estribos, donde s es la separación de los mismos.



Fuente: Wight-MacGregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-17

La fuerza en los estribos debe equilibrar V_2 . Suponiendo que todos los estribos llegan a la tensión de fluencia, tenemos:

$$V_2 = \frac{A_t \cdot f_{yt} \cdot y_0}{s} \cdot \cot g \theta$$

Siendo $V_2 = \frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot y_0$ y tomando T igual a la resistencia nominal a torsión T_n , llegamos a que:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot g \theta$$

El ángulo θ puede tomar valores entre 30° y 60° . Para hormigón no pretensado el reglamento recomienda tomar $\theta = 45^\circ$ porque corresponde al valor asumido en las deducciones de las expresiones para el diseño de estribos a corte.

El área encerrada por el flujo de corte, A_o , no se conoce porque no se conoce el espesor del tubo equivalente de hormigón para el elemento fisurado, el cual lleva el flujo de corte y las diagonales comprimidas. Para evitar tener que determinar el espesor del tubo equivalente el reglamento permite tomar el área A_o como $0.85 \cdot A_{oh}$, siendo A_{oh} el área encerrada por los estribos cerrados más externos dispuestos para resistir torsión.

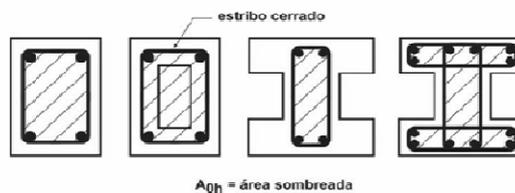
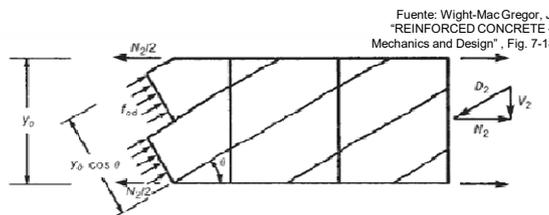


Figura 11.6.3.6. b) Definición de A_{oh} .

Área de armadura longitudinal para torsión.

La armadura longitudinal debe ser diseñada para resistir las fuerzas de tracción que ocurren en el reticulado espacial.



Fuente: Wight-MacGregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-18

Como se ve en la figura, V_2 puede reemplazarse por una fuerza de compresión diagonal D_2 paralela a las diagonales del reticulado y una fuerza de tracción axial N_2 , siendo:

$$D_2 = \frac{V_2}{\text{sen } \theta} \quad \text{y} \quad N_2 = V_2 \cdot \cot g \theta$$

Debido a que el flujo de corte es constante punto a punto a lo largo del lado 2, la fuerza N_2 actúa en el eje del lado 2. Para una viga con armadura longitudinal en las esquinas superior e inferior del lado 2, la mitad de N_2 será resistida por cada barra de esquina.

Análogamente se analizan los otros tres lados del reticulado.
 Para un elemento rectangular la fuerza longitudinal total es:

$$N = 2 \cdot (N_1 + N_2)$$

Dado que:

$$N_2 = V_2 \cdot \cot g \theta \quad V_2 = \frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot y_0 \quad \text{y} \quad V_1 = \frac{T}{2 \cdot A_o} \cdot x_0$$

y tomando $T = T_n$ llegamos a que:

$$N = \frac{T_n}{2 \cdot A_o} \cdot 2 \cdot (x_0 + y_0) \cdot \cot g \theta$$

donde $2 \cdot (x_0 + y_0)$ es aproximadamente igual al perímetro del estribo cerrado p_h .

Se debe colocar un área total de acero A_l para tomar la fuerza longitudinal N .

Suponiendo que las barras longitudinales llegan a la tensión de fluencia tendremos:

$$A_l \cdot f_y = N$$

Siendo

$$N = \frac{T_n}{2 \cdot A_o} \cdot p_h \cdot \cot g \theta$$

llegamos a que:

$$A_l = \frac{T_n \cdot p_h}{2 \cdot A_o \cdot f_y} \cdot \cot g \theta$$

o tomando $A_o = 0.85 \cdot A_{oh}$ y considerando $T_u / \phi = T_n$:

$$A_l = \frac{(T_u / \phi) \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_y} \cdot \cot g \theta$$

CORTE COMBINADO CON TORSIÓN.

En las deducciones de las expresiones anteriores partiendo de la analogía del reticulado espacial, se asume que toda la torsión es resistida por las armaduras, es decir $T_c = 0$.

Cuando actúan simultáneamente corte y torsión se considera que V_c permanece constante y que T_c permanece igual a cero.

$$V_n = V_c + V_s$$

$$T_n = T_s$$

Para controlar el ancho de fisuras y también para controlar los esfuerzos en las diagonales comprimidas el reglamento establece las siguientes limitaciones:

a) en secciones macizas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c}\right)$$

b) en secciones huecas:

$$\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right) + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh}^2}\right) \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c}\right)$$

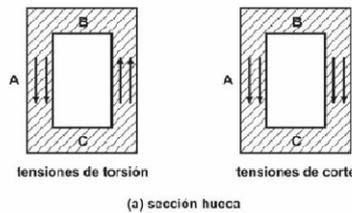
Si el espesor de la pared varía alrededor de la sección, el reglamento exige que la expresión anterior se evalúe en la ubicación donde el valor del primer miembro sea mayor.

Si una sección hueca tiene un espesor de pared t menor que A_{oh} / p_h , el reglamento requiere que se emplee el espesor real, Así el segundo término de la expresión anterior se convierte en

$$T_u / (1.7 \cdot A_{oh} \cdot t)$$

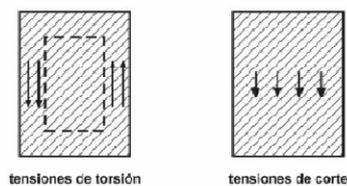
El primer miembro de la expresión dada en b) es la suma de las tensiones debidas a corte y a torsión, a diferencia de la expresión dada en a) donde se considera la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de dichas tensiones.

Esto es así porque en una sección hueca, las tensiones debidas a corte y las debidas a torsión se suman en una cara



(a) sección hueca

A diferencia del caso anterior, en una sección maciza las tensiones de corte están distribuidas en todo el ancho de la sección mientras que las tensiones de torsión sólo actúan en las paredes del tubo equivalente. En este caso una suma directa de los dos términos sería muy conservadora, por eso se reemplaza por la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las tensiones respectivas.



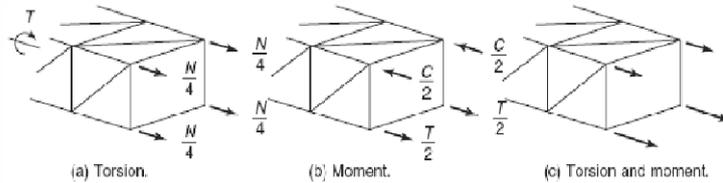
(b) sección maciza

FLEXIÓN COMBINADA CON TORSIÓN.

Como hemos visto, la torsión causa una fuerza de tracción axial N . Se asume que la mitad de ella actúa en el cordón superior del reticulado y la otra mitad en el inferior. La flexión origina una fuerza longitudinal de tracción y otra de compresión que forman un par tal que

$$C = T = M_u / jd \approx M_u / 0.9 \cdot d$$

Para la sollicitación combinada, estas fuerzas se suman.



Fuente: Wight-Mac Gregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-20

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 22

La sección de armadura calculada para la fuerza de tracción T debida a flexión y la sección de armadura calculada para la fuerza de tracción $N/2$ tuante en el cordón correspondiente del reticulado (el inferior en el caso de la figura), **deben sumarse**.

En la zona de compresión por flexión, la fuerza C reduce o anula la fuerza $N/2$. El reglamento permite que el área de armadura longitudinal de torsión, en la zona de compresión por flexión, se **reduzca** en una cantidad igual a $M_u / (0.9 \cdot d \cdot f_y)$ donde M_u es el momento flector que actúa junto con la torsión en la sección en estudio.

Es necesario calcular esta reducción en varias secciones debido a que el momento flector varía a lo largo del elemento. Si se consideran distintos estados de carga, T_u y M_u deben corresponder al mismo estado de carga.

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

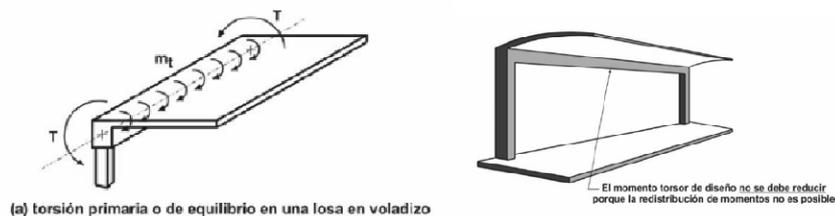
Lámina 23

TORSIÓN PRIMARIA vs TORSIÓN SECUNDARIA.

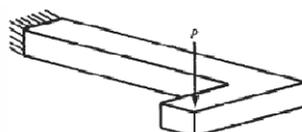
Dentro de las sollicitaciones debidas a torsión debemos distinguir:

a) Torsión de equilibrio o torsión primaria:

En este caso la torsión es imprescindible para el equilibrio de la estructura y no es posible una reducción del valor del momento torsor.



(a) torsión primaria o de equilibrio en una losa en voladizo



(a) Cantilever beam with eccentrically applied load.

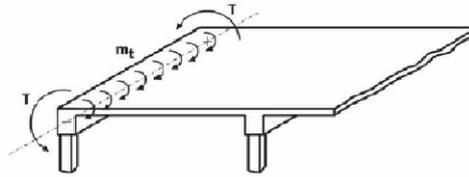
Fuente: Wight-Mac Gregor, J. "REINFORCED CONCRETE - Mechanics and Design", Fig. 7-21

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 24

b) Torsión de compatibilidad o torsión secundaria:

En este caso la torsión **no** es imprescindible para el equilibrio de la estructura y la misma resulta de la compatibilidad de deformaciones entre elementos. El reglamento permite una reducción de los valores de los momentos torsores, acompañada de la correspondiente redistribución de solicitaciones en el resto de la estructura.



(b) torsión secundaria o de compatibilidad en una viga de borde

En este último caso, es decir, en el caso de una estructura estáticamente indeterminada en la cual se puede producir una reducción del momento torsor en un elemento debido a la redistribución de las fuerzas internas después de la fisuración, se permite reducir el máximo momento torsor mayorado T_u empleando la siguiente expresión para elementos no pretensados:

$$T_u = \frac{1}{3} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot N_u}{A_g \cdot \sqrt{f'_c}}}$$

donde

N_u : Esfuerzo axial mayorado que se produce simultáneamente con T_u , **positivo para compresión y negativo para tracción.**

En las secciones huecas, el valor A_{cp} no se debe reemplazar por el de A_g .

La mayor parte de los reglamentos internacionales permite **despreciar la torsión de compatibilidad**, es decir, adoptar **rigidez torsional nula**. Esta posibilidad estaría también contemplada en el Reglamento CIRSOC 201-2005 ya que en el artículo 8.6.1. menciona, refiriéndose a las rigideces, que "se puede adoptar cualquier conjunto de hipótesis razonables, las que deberán mantenerse durante todo el análisis a fin de que el mismo resulte coherente".

Esto es lo que haremos en nuestro curso, es decir, cuando se trate de torsión de compatibilidad, consideraremos rigidez torsional nula y despreciaremos la torsión. Por lo tanto, **sólo dimensionaremos a torsión** en el caso en que ésta sea **imprescindible para el equilibrio** de la estructura.

DIMENSIONAMIENTO A TORSIÓN Y CORTE SEGÚN EL
REGLAMENTO CIRSOC 201-2005.

El dimensionamiento de elementos sometidos a **torsión, corte y flexión**, se realiza dimensionando para flexión ignorando la torsión y el corte y luego dimensionando estribos y armadura longitud adicional para dar una adecuada resistencia a torsión y corte.

Las ecuaciones básicas de diseño son:

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \quad \text{con} \quad V_n = V_c + V_s$$

$$\text{y} \quad T_u \leq \phi \cdot T_n \quad \text{con} \quad T_n = T_s$$

siendo $\phi = 0.75$

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 28

El reglamento permite **ignorar el efecto de la torsión** cuando el momento torsor mayorado T_u resulte menor que:

En elementos no pretensados:

$$T_u < \frac{1}{12} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}$$

En elementos no pretensados solicitados por una fuerza de tracción o compresión axial:

$$T_u < \frac{1}{12} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \cdot \sqrt{1 + \frac{3 \cdot N_u}{A_g \cdot \sqrt{f'_c}}}$$

N_u se toma **positivo** para **compresión** y **negativo** para **tracción!!!**

Para secciones huecas se usa A_g en lugar de A_{cp}

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 29

Determinación del momento torsor mayorado T_u .

Cuando en un elemento se necesite el momento torsor mayorado para **mantener el equilibrio** y su valor **supere** el mínimo establecido para poder ignorar el efecto de la torsión, el elemento se **debe dimensionar para soportar dicho momento torsor**.

Secciones críticas.

En elementos **no pretensados**, las secciones ubicadas a una distancia menor que d medida desde la cara del apoyo, se deben dimensionar, como mínimo, para la torsión T_u determinada a una distancia d de la cara del apoyo. Si hubiera un momento torsor concentrado aplicado dentro de dicha distancia la sección crítica de diseño debe ser la correspondiente a la cara del apoyo.

Para elementos **pretensados** vale lo anterior reemplazando d por $h/2$

ELU DE AGOTAMIENTO A Torsión y Corte.

Lámina 30

Verificación de las dimensiones de la sección transversal.

Las secciones transversales deben ser tales que cumplan las siguientes expresiones:

a) en secciones macizas:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c}\right)$$

b) en secciones huecas:

$$\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right) + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh}}\right) \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c}\right)$$

Y valen todas las consideraciones sobre estas expresiones indicadas anteriormente al analizar las mismas.

Determinación de las armaduras necesarias por torsión.

Para el diseño de las armaduras no tesas de torsión se debe considerar:

$$f_y \text{ y } f_{yt} \leq 420 \text{ MPa}$$

La armadura necesaria de torsión se debe determinar a partir de la siguiente expresión:

$$T_u \leq \phi \cdot T_n$$

La armadura **transversal** por torsión se debe diseñar aplicando la siguiente expresión:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot g \theta \quad (11.21)$$

Se permite tomar $A_o = 0.85 \cdot A_{oh}$

Para elementos no pretensados se adopta normalmente $\theta = 45^\circ$

La armadura **longitudinal** adicional requerida por torsión debe ser:

$$A_l = \frac{(T_u / \phi) \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh} \cdot f_y} \cdot \cot g \theta$$

o:

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot p_h \cdot \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cdot \cot g^2 \theta$$

donde θ debe tener el mismo valor que el empleado en la expresión (11.21) y el cociente A_t / s debe ser utilizado con el mismo valor que en la expresión (11.21).

A la armadura requerida por torsión se le debe **adicionar** la armadura requerida por corte, flexión y esfuerzo axial, que actúan en combinación con la torsión. Para la colocación y separación de esta armadura se deben verificar las condiciones **más exigentes** fijadas por el reglamento.

El reglamento permite que el área de armadura longitudinal de torsión, en la **zona de compresión por flexión**, se **reduzca** en una cantidad igual a

$$M_u / (0.9 \cdot d \cdot f_y)$$

donde M_u es el momento flector mayorado que actúa en la sección en combinación con T_u , pero el valor de la armadura adoptada debe ser igual o mayor que el valor especificado como armadura longitudinal mínima y la armadura debe respetar las disposiciones y las separaciones máximas establecidas por el reglamento.

Armadura mínima de torsión.

En toda zona donde el momento torsor mayorado T_u supere el valor establecido que permite ignorar el efecto de la torsión, se debe colocar **un área mínima de armadura de torsión**.

El **área mínima** de los **estribos cerrados** se debe determinar de acuerdo con la siguiente expresión:

$$(A_v + 2 \cdot A_t) = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \geq \frac{0.33 \cdot b_w \cdot s}{f_{yt}}$$

El **área mínima total** de la **armadura longitudinal de torsión** se debe determinar con la siguiente expresión:

$$A_{t,min} = \frac{5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{12 \cdot f_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot p_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$

siendo $\frac{A_t}{s} \geq \frac{1}{6} \cdot \frac{b_w}{f_{yt}}$

Separaciones máximas de la armadura de torsión.

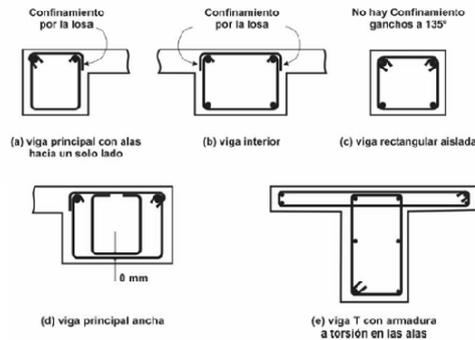
Para la **armadura transversal de torsión** se debe cumplir:

$$s \leq \begin{cases} \frac{p_h}{8} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$$

La **armadura longitudinal de torsión** debe estar distribuida a lo largo del perímetro del estribo cerrado, con una **separación máxima de 300 mm**. Las barras longitudinales deben estar ubicadas **dentro** de los estribos con al menos una barra en cada esquina de los estribos.

Detalles de las armaduras de torsión.

La **armadura transversal** de torsión debe estar anclada con un **gancho a 135°** alrededor de una barra longitudinal, excepto en las zonas donde el hormigón que rodea al anclaje está protegido contra el descascaramiento mediante un ala, una losa o un elemento similar, en cuyo caso se pueden utilizar ganchos a 90°. Nunca podrá quedar la parte doblada de un gancho paralela a un borde libre de hormigón.



En las **secciones huecas** solicitadas a torsión, la distancia desde el eje de la **armadura transversal** de torsión, hasta la cara interior de la pared de la sección hueca debe ser $\geq 0.5 \cdot (A_{oh} / p_h)$

Las **barras longitudinales** deben tener un diámetro d_b tal que:

$$d_b \geq \begin{cases} \frac{s}{24} \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

siendo s la separación de los estribos.

La **armadura de torsión** se debe prolongar, como mínimo, una distancia $(b_t + d)$ más allá del punto en el que ya no es teóricamente necesaria, siendo b_t el ancho de la parte de la sección transversal que contiene los estribos cerrados que resisten la torsión.

La **armadura longitudinal** de torsión debe ser anclada en ambos extremos del elemento.

RESUMEN.

Pasos a seguir para dimensionar un elemento sometido a flexión, corte y torsión:

- 1°) Obtener los diagramas de T_u , V_u y M_u , determinando las secciones críticas.
- 2°) Calcular el área necesaria de armadura a flexión.
- 3°) Determinar si se trata de torsión de equilibrio o torsión de compatibilidad y si la torsión puede o no ser despreciada.
- 4°) Verificar que la sección de hormigón sea suficientemente grande.
- 5°) Determinar el área de estribos necesaria por corte.
- 6°) Determinar el área de estribos necesaria por torsión.



7°) Sumar las áreas necesarias de estribos por corte y por torsión y seleccionar los estribos. El área de estribos debe exceder el valor mínimo fijado por el reglamento. La separación adoptada no debe superar la separación máxima reglamentaria, siendo ésta la correspondiente a la condición más exigente que fije el reglamento. Los estribos deben ser cerrados.

Para estribos simples:

$$\frac{A_{v,t}}{s}(\text{unacara}) = \left(\frac{A_t}{s}\right) + \left(\frac{A_v}{s}\right) / 2$$

8°) Determinar el área de armadura longitudinal necesaria por torsión. Sumarla con el área de armadura necesaria por flexión teniendo en cuenta los efectos que producen estas solicitaciones en las distintas caras. Seleccionar barras. El área de armadura longitudinal por torsión debe superar el valor mínimo fijado por el reglamento. Deben respetarse los diámetros mínimos y separaciones máximas, como así también las restantes disposiciones referidas a la armadura longitudinal establecidas en el reglamento.



FIN –
ELU DE AGOTAMIENTO A
Torsión y Corte.

GRACIAS POR SU ATENCION !!!