

TIRANTES NO PRETENSADOS

Introducción

El CIRSOC 201-2005 no contempla en forma explícita este tipo de elementos por lo que algunas expresiones han debido ser deducidas y otras tomadas de publicaciones del American Concrete Institute (ACI) que es el organismo redactor del Código ACI 318-05 que se tomó como base para el CIRSOC 201-2005.

8.1.- Condición resistente

$$P_u \leq \phi \cdot P_n = 0,90 \cdot A_{st} \cdot f_y \quad (\text{CIRSOC 201-2005, artículo 9.1.1})$$

donde

P_u = Solicitación calculada para cargas mayoradas

ϕ = Coeficiente de reducción de resistencia igual a 0,90 para rotura dúctil

P_n = Resistencia nominal (resistencia a rotura) = $A_{st} \cdot f_y$

A_{st} = Área total de armaduras

f_y = Tensión de fluencia especificada para las armaduras

8.2.- Carga de fisuración

$$P_{cr} = f'_t \cdot A_{ch}$$

donde

f'_t = Resistencia a tracción por tracción del hormigón = $f'_c{}^{1/2} / 3$ (*)

A_{ch} = Sección homogeneizada no fisurada: $A_{ch} = A_c + n \cdot A_{st} = A_c \cdot (1 + n \cdot \rho)$

A_c = Área de la sección de hormigón

n = E_s / E_c

E_s = Módulo de elasticidad del acero no teso = 200000 MPa

E_c = $4700 \cdot f'_c{}^{1/2}$ [MPa]

8.3.- Condición de ductilidad

La condición se obtiene planteando que el acero sea capaz de resistir al menos una carga igual a 1,2 veces la carga de fisuración:

$$P_u = 1,2 \cdot P_{cr} \leq \phi \cdot P_n = 0,90 \cdot A_{st} \cdot f_y$$

Se trata de una generalización del criterio utilizado explícitamente en flexión en elementos pretensados.

(*) El CIRSOC 201-2005 no indica valores para f'_t en forma explícita. Existen sí referencias indirectas al tratar los temas de corte y torsión. Este es el caso de 11.4.3.2 donde se indica que la fisuración por tensión principal diagonal principal de tracción se produce para una tensión igual a $f'_c{}^{1/2} / 3$. Este mismo valor es citado en "Cracking of Concrete Members in Direct Tension, ACI Comité 224, ACI Journal, January-February 1986" como resistencia a tracción por tracción, por lo que se propone su adopción para el cálculo de la carga de fisuración de un tirante.

Como se trata de cuantías muy bajas se introduce la simplificación: $A_{ch} \approx A_c$ con lo que resulta:

$$A_{s \text{ min}} \approx A_c \cdot f'_c{}^{1/2} / (2 \cdot f_y) \quad ; \quad \rho_{\text{min}} = A_{s \text{ min}} / A_c = f'_c{}^{1/2} / (2 \cdot f_y)$$

f'_c [MPa]	20	25	30	35	40	45	50	60
ρ_{min} [%]	0,53	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,84	0,92

8.4.- Deformaciones

El CIRSOC 201-2005 no propone expresiones para el cálculo de deformaciones en este tipo de elementos. Las expresiones que siguen han sido extraídas del artículo "Cracking in Direct Tension" publicado por el ACI Committee 224 en el Journal of the American Concrete Institute, January-February 1986 / N° 1. Proceedings V.83

$$\varepsilon_m = \text{deformación específica media del tirante} = P / (E_c \cdot A_e)$$

$$A_e = A_{ch} \cdot (P_{cr} / P)^3 + A_{cr} \cdot [1 - (P_{cr} / P)^3] \leq A_g$$

donde

A_e = Área efectiva de la sección. Se trata de un área media ficticia que varía desde la sección homogeneizada no fisurada cuando la carga es muy pequeña hasta A_{cr} para valores grandes de P .

$$A_{cr} = n \cdot A_{st}$$

$$\Delta L = \text{Alargamiento del tirante} = \varepsilon_m \cdot L$$

$$L = \text{Longitud inicial del tirante}$$

8.5.- Predicción del ancho de fisuras

El CIRSOC 201-2005 no propone expresiones para el cálculo del ancho de fisuras. Si en algún caso fuera necesario este tipo de cálculo podrá utilizarse la expresión de Gegerly y Lutz que se transcribe a continuación. Dicha expresión figura en numerosos documentos del American Concrete Institute.

$$w = \text{abertura de fisura en [mm]} = (h - x) \cdot f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} / [90000 \cdot (d - x)]$$

donde

$$\left. \begin{array}{l} h = \text{altura total de la sección} \\ d = \text{altura útil de la sección} \\ x = \text{profundidad del eje neutro en flexión} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Por tratarse de un caso de} \\ \text{tracción se adopta:} \\ (h - x) / (d - x) = 1 \end{array}$$

$$f_s = \text{tensión de la armadura en las fisuras bajo cargas de servicio} \quad [\text{MPa}]$$

$$d_c = \text{distancia desde el eje de la barra a la superficie exterior del hormigón} \quad [\text{mm}]$$

$$A = \text{área de hormigón cobaricéntrica con las armaduras} \quad [\text{mm}^2]$$

En forma aproximada, y del lado seguro, puede adoptarse este área como el área de hormigón del tirante dividido el número de barras.

TIRANTES NO PRETENSADOS – EJEMPLOS

Ejemplo 8.I

Enunciado: Proyectar un tirante para las siguientes condiciones

Materiales: - Hormigón: H-20 ($f'_c = 20 \text{ MPa}$)
 - Acero: ADN 420 ($f_y = 420 \text{ MPa}$)

Sección transversal: - A definir

Estribos: - Recubrimiento = 0,03 m
 - Diámetro: 6 mm

Armadura longitudinal: - A definir

Solicitación: - $P_D = 550 \text{ kN}$; $P_L = 300 \text{ kN}$

Resolución:

$$P_u = \text{máximo entre} \begin{cases} 1,4 \cdot P_D = 1,4 \cdot 550 \text{ kN} = 770 \text{ kN} \\ 1,2 \cdot P_D + 1,6 \cdot P_L = 1,2 \cdot 550 \text{ kN} + 1,6 \cdot 300 \text{ kN} = 1140 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow P_u = 1140 \text{ kN}$$

$$P_n = P_u / \phi = 1140 \text{ kN} / 0,90 = 1266,67 \text{ kN}$$

De la condición de rotura:

$$A_{st} = P_n / f_y = [1266,67 \text{ kN} / 420 \text{ MPa}] \cdot (1000 \text{ MN mm}^2 / (\text{kN m}^2)) = 3016 \text{ mm}^2$$

Se adopta: $A_{st} = 4 d_b 25 + 4 d_b 20 = 3220 \text{ mm}^2$
 $A_c = 0,25 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} = 0,0625 \text{ m}^2$ (62500 mm²)
 $\rho = A_{st} / A_c = 0,0515 > \rho_{\text{mín}} = f'_c{}^{1/2} / (2 \cdot f_y) = 0,0053$

Ejemplo 8.II

Enunciado: Calcular el alargamiento del tirante anterior para una condición frecuente de carga consistente en la carga permanente más el 50% de la sobrecarga máxima y considerando una longitud inicial de 6 metros.

Resolución:

$$A_e = A_{ch} \cdot (P_{cr} / P)^3 + A_{cr} \cdot [1 - (P_{cr} / P)^3] \leq A_g$$

donde

$$A_{ch} = A_c + n \cdot A_{st} = 0,0625 \text{ m}^2 + 0,03065 \text{ m}^2 = 0,09315 \text{ m}^2$$

$$n = E_s / E_c = 9,52$$

E_s = módulo de elasticidad del acero no teso = 200000 MPa

$$E_c = 4700 \cdot f'_c{}^{1/2} = 21019 \text{ MPa}$$

$$A_{cr} = n \cdot A_{st} = 30654 \text{ mm}^2 \text{ (0,03065 m}^2\text{)}$$

$$P = 550 \text{ kN} + 0,50 \cdot 300 \text{ kN} = 700 \text{ kN}$$

$$f'_t = f'_c{}^{1/2} / 3 = 1,49 \text{ MPa} = 1491 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{cr} = A_{ch} \cdot f'_t = 138,87 \text{ kN}$$

$$(P_{cr} / P)^3 = 0,00781$$

$$A_e = A_{ch} \cdot (P_{cr} / P)^3 + A_{cr} \cdot [1 - (P_{cr} / P)^3] = 0,000728 \text{ m}^2 + 0,030415 \text{ m}^2 =$$

$$A_e = 0,031143 \text{ m}^2 \text{ (31143 mm}^2\text{)}$$

$$\varepsilon_m = P / (E_c \cdot A_e) = [700 \text{ kN} / (21019 \text{ MPa} \cdot 0,031143 \text{ m}^2)] \cdot (0,001 \text{ MN/kN}) =$$

$$\varepsilon_m = 0,00107$$

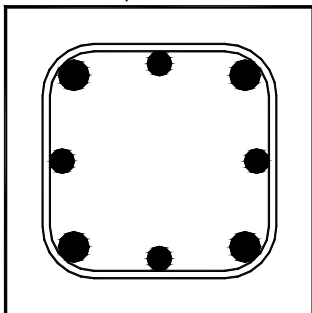
$$\Delta L = \text{Alargamiento del tirante} = \varepsilon_m \cdot L = 0,0064 \text{ m} = 6,4 \text{ mm}$$

Ejemplo 8.III

Enunciado: Calcular el ancho de fisuras esperable en el tirante del Ejemplo 8.I para una condición frecuente de carga consistente en la carga permanente más el 50% de la sobrecarga máxima.

Resolución:

↔ 55,4



$$w = \text{abertura de fisura en [mm]} = f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3} / 90000$$

donde

$$f_s = P / A_{st} =$$

$$f_s = [700 \text{ kN} / 3220 \text{ mm}^2] \cdot (1000 \text{ MN mm}^2 / (\text{kN m}^2)) =$$

$$f_s = 217,39 \text{ MPa}$$

$$d_c = \text{gráficamente} = 55,4 \text{ mm}$$

$$A = 62500 \text{ mm}^2 / 8 = 7812,5 \text{ mm}^2$$

$$w = 217,39 \text{ MPa} \cdot (55,4 \text{ mm} \cdot 7812,5 \text{ mm})^{1/3} / 90000$$

$$w = 0,18 \text{ mm}$$

Si por cualquier motivo hubiera que limitar el ancho de fisuras a un valor menor que el anterior puede recurrirse a:

- Refinar el cálculo
- Aumentar la sección de acero de modo de bajar el valor de f_s
- Disminuir la sección de hormigón
- Disminuir el diámetro nominal de la armadura