

③ Ejemplo de un anclaje mecánico individual rematado sollicitado por corte y tracción simultáneos

se pide verificar la resistencia del anclaje mostrado, que fija el techo de un edificio con categoría de Diseño Sísmico (SDC) A. Los cables del techo están distanciado 81.3 cm centro a centro

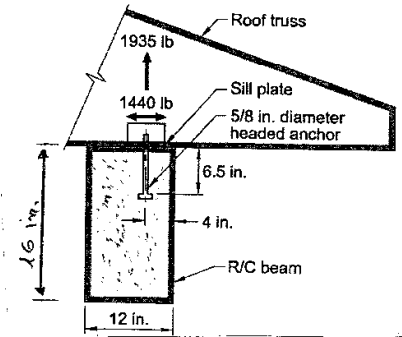
Datos

Solicitaciones en el apoyo

Viento vertical, $W_V = \pm 980 \text{ kgf}$
 Viento horizontal, $W_H = \pm 653 \text{ kgf}$

CP = 113 kgf
 CV-techo = 113 kgf

Sismo vertical, $S_V = \pm 113 \text{ kgf}$
 Sismo horizontal, $S_H = \pm 68 \text{ kgf}$



Concreto

Viga de concreto de agregado normal, $F_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

No detallada con anclaje o acero de refuerzo suplementario
 $b \times h = 12 \times 16 \text{ plg} \approx 30 \times 40 \text{ cm}$

Anclajes

ASTM A307 Grado 36 $F_{uA} = 4080 \text{ kgf/cm}^2$
 $F_{yA} = 2530 \text{ kgf/cm}^2$

Diámetro de 5/8 plg

Profundidad de empotramiento, $h_{ef} = 6.5 \text{ plg} = 16.5 \text{ cm}$

Distancias al borde de la viga:

Paralelo a la flecha, $c_{a1} = 4 \text{ plg} = 10.2 \text{ cm}$

Perpendicular a la flecha, $c_{a2} = 6 \text{ plg} = 15.2 \text{ cm}$

El anclaje en los extremos será a 6 plg (15.2 cm) del extremo de la viga de concreto.

Solución1. Criterios de proyecto

Solicitudes (Sección 5.3.1, Tabla 5.3.1)

$$U = N_{va} = 878.30 \text{ kp en tracción}$$

$$U = V_{va} = 653.20 \text{ kp}$$

Además de estar clasificada como SDC A, las combinaciones que incluyen sismo no son significativas.

según la Subsección 17.3.1.1 la capacidad del anclaje debe satisfacer

$$N_{va} \leq \begin{cases} \phi N_{sa} & \text{resistencia del anclaje} \\ \phi N_{cb} & \text{rotura del concreto} \\ \phi N_{pm} & \text{desperdimiento del concreto} \\ \phi N_{sb} & \text{descascaramiento del concreto} \end{cases}$$

$$V_{va} \leq \begin{cases} \phi V_{sa} & \text{resistencia del anclaje} \\ \phi V_{cb} & \text{rotura del concreto} \\ \phi V_{cp} & \text{rotura del concreto por cabezas del anclaje} \end{cases}$$

y la interacción corte - tracción de la Sección 17.6.3

$$\frac{N_{va}}{\phi N_t} + \frac{V_{va}}{\phi V_t} \leq 1.2 \quad (\text{Form. 17.6.3})$$

Ductilidad del anclaje

Por definición (Artículo 2.3) el anclaje A307 G136 es dúctil.

$$F_{ota} \leq 1.9 F_{ya} \quad \text{Sección 17.5.1.2(a)}$$

Distancias a los bordes y reparaciones

$$\text{según 17.7.1, } s_{\min} = 4d_a \leq 5$$

$$s = 4 \times 1.5875 = 6.35 \text{ cm} \leq 81.3 \text{ cm}$$

La distancia al borde, según 17.3.2

$$c_a = 10.2 \text{ cm} > 5.10 \text{ cm} \text{ por recubrimiento según la tabla 20.6.1.3.1}$$

El anclaje con cabeza (perno A307) no requiere de un torque significativo para su apriete (sección 17.3.4)

Tracción

2. Capacidad a tracción del anclaje

Rotura a tracción del anclaje

$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} F_{uta} \quad (17.4.12)$$

con $\phi = 0.75$ según 17.3.3 a (1)

$$\text{con } A_{se,N} = 0.226 \text{ m}^2 \quad (1.458 \text{ cm}^2)$$

$$\phi N_{sa} = 4445.20 \text{ kgf} > N_{ua} = 378.30 \text{ kgf}$$

Verifica

3. Capacidad del concreto a la rotura por tracción

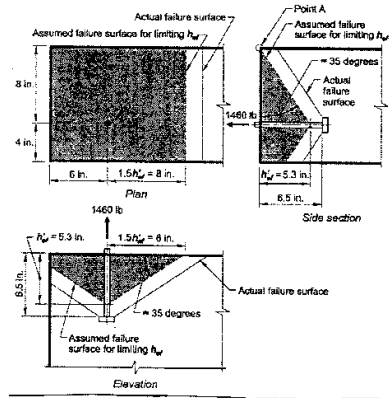
Para un solo anclaje según 17.4.2.1a

$$N_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vc0}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (\text{Form. 17.4.2.1a})$$

según la subsección 17.4.2.3 el anclaje extremo con $h_{ef} = 6.5 \text{ ply} (16.5 \text{ cm})$ está localizado a menos de $1.5 h_{ef}$ por lo que en el cálculo se usará una proporción ficticia h'_{ef} limitada por la mayor distancia a los tres bordes dividida entre 1.5, como se muestra en la siguiente figura.

La mayor distancia es 8 ply (20.3 cm)

$$h'_{ef} = 20.3 / 1.5 = 13.5 \text{ cm} < 16.5 \text{ cm}$$



El área proyectada del concreto fallado está limitada por la distancia a los bordes, como se ve en la siguiente

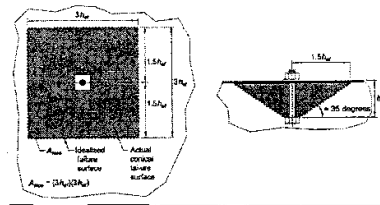
$$A_{Nc} = (C_{a1} + 1.5 h'_{ef}) (C_{a2} + 1.5 h'_{ef})$$

$$A_{Nc} = (10.2 + 1.5 \times 13.5) (15.2 + 1.5 \times 13.5) = 1079.45 \text{ cm}^2$$

$$A_{Nc0} = 9 (h'_{ef})^2 \quad (\text{Fórm. 17.4.2.1c})$$

$$A_{Nc0} = 9 \times 13.5^2 = 1640.25 \text{ cm}^2$$

$$A_{Nc} / A_{Nc0} = 0.658$$



El anclaje está próximo a un borde, sin suficiente espacio para completar el prisma de rotura; como $C_{a \min} < 1.5 h'_{ef}$ se debe calcular el factor de reducción $\psi_{ed,N}$ con la Fóm (17.4.2.5b):

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{C_{a \min}}{1.5 h'_{ef}} = 0.85$$

Por ser una viga no detallada por acero suplementario
(17.4.2.6) $\psi_{c,N} = 1.0$

requiere 17.4.2.7; $\psi_{c,P,N} = 1.0$

con $k_c = 1.0$, $\lambda_a = 1.0$ requiere la fórmula (17.4.2.2a)

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{F_c} h_{ef}^{1.5} = 7220 \text{ kgf}$$

requiere la fórmula (17.4.2.1a) y los cálculos precedentes

$$N_{cb} = (0.658) 0.85 \times 1.0 \times 1.0 \times 7220 = 4038.15 \text{ kgf}$$

Por la Condición B de la Subsección (7.3.3(cii)), $\phi = 0.70$

$$\phi N_{cb} = 2826.70 \text{ kgf} > N_{ua}$$

4. Capacidad por desarraigamiento del concreto (pullout)

$$\phi N_{pm} = \phi \psi_{c,P} N_p \quad (17.4.3.1)$$

con $\phi = 0.7$ por Condición B (subsección 7.3.3(cii))

$\psi_{c,P} = 1.0$ por la hipótesis de concreto fisurado

$$N_p = 8 \Delta_{brg} F_c \quad (17.4.3.4)$$

$$\text{con } \Delta_{brg} = 0.454 \text{ plg}^2 \quad (2.93 \text{ cm}^2)$$

$$\phi N_{pm} = 0.7 \times 1.0 \times 4941.55 = 3459.10 \text{ kgf} > N_{ua}$$

5. Capacidad por desarraigamiento lateral del concreto (concrete side-face blowout).

requiere la subsección 17.4.4.1

como $h_{ef} < 2.5 c_{a1}$

$$16.5 \text{ cm} < 2.5 \times 10.2 = 25.5 \text{ cm}$$

no se requiere considerarla.

Continuamos verificando la capacidad del anclaje por

resaca cortante

6. Capacidad a corte del anclaje

$$\phi V_{sa} = \phi (0.60) A_{se,v} F_{uta} \quad (17.5.1.2b)$$

$$\text{con } \phi = 0.65 \quad (17.3.3a(ii))$$

Adicionalmente como se intercala una pletina de acero (sill plate) entre el ángulo sujeta-dor de la cercha de acero a la viga de concreto, según la Sección 17.5.1.3 se introduce un factor de reducción de 0.8

Entonces

$$\phi V_{sa} = (0.65)(0.60)(0.8) 5945.68 = 1855 \text{ kgf} > V_{ua}$$

Verifica

7. Rotura del concreto por corte

según la idealización de esta modalidad de falla mostrada, para un anclaje individual

$$\phi V_{cb} = \phi \frac{A_{vc}}{A_{vc0}} \psi_{ed,v} \psi_{c,v} \psi_{h,v} V_b \quad (\text{Form. } 17.5.2.1a)$$

con $\phi = 0.7$ según 17.3.3.c(i) para la Condición B

Siendo V_b el menor valor entre

$$V_b = \left(7 \left(\frac{L_e}{d_a} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \right) \lambda_a \sqrt{F_c} c_{a1} \quad (17.5.2.2a) \quad \text{y}$$

$$V_b = 3.8 \lambda_a \sqrt{F_c} (c_{a1})^{1.5} \quad (17.5.2.2b)$$

con F_c en kgf/cm²

$$L_e = h_{ef} ; L_e \leq 8 d_a$$

Por ser concreto en anclaje normal, $\lambda_a = 1.0$

Como se muestra en la Figura

$$\frac{A_{Vc}}{A_{Vc0}} = 1.0$$

Por 17.5.2.6, como $c_{a2} \geq 1.5 c_{a1}$

$$\psi_{ed, V} = 1.0$$

Por 17.5.2.7, seccion fisurada sin acero suplementario

$$\psi_{c, V} = 1.0$$

Por 17.5.2.8, como la altura de la viga, h_a , cumple $h_a > 1.5 c_{a1}$ entonces

$$\psi_{h, V} = 1.0$$

Resultado preliminar $\phi V_{cb} = 0.7 \times 1665.60 = 1165.92 \text{ kgf}$
 $\phi V_{cb} > V_{ua}$ Verifica.

8. Rotura del concreto por cabeceo del anclaje (Pryout)

$$\phi V_{cp} = \phi K_{cp} N_{cp} \quad (17.5.3.1a)$$

con $\phi = 0.7$ según 17.3.3(c)

como $h_{ef} > 2.5 \text{ plg (6.35 cm)}$, $K_{cp} = 2.0$

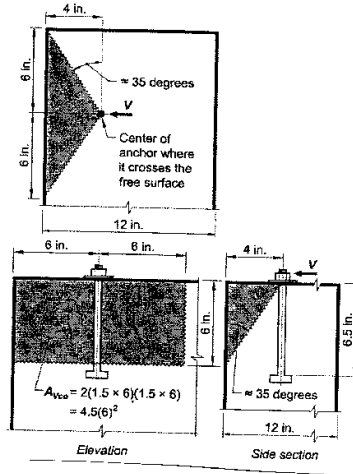
N_{cp} es N_{cb} calculado previamente en el paso 3.

$$\phi V_{cp} = 0.7 \times 2.0 \times 4038.15 = 5653.41 \text{ kgf} > V_{ua} \text{ Verifica.}$$

9. Hordimiento del concreto (Splitting failure).

según la Sección 17.7.4 no se producirá porque

$$6d_a = 6 \times 1.5875 = 9.525 \text{ cm} < \text{distancia al borde, de } 4 \text{ plg (10.2 cm)}$$



10. Interacción Corte - Tracción

según Secciones 17.6.1 a 17.6.3

$$\frac{V_u}{\phi V_t} = \frac{653.20}{1165.92} = 0.560 > 0.20$$

$$\frac{N_u}{\phi N_t} = \frac{878.30}{2826.70} = 0.31 > 0.20$$

Entonces aplica la fórmula (17.6.3)

$$\frac{N_u}{\phi N_t} + \frac{V_u}{\phi V_t} = 0.31 + 0.56 = 0.87 < 1.20$$

Verifica

Nota. - Conviene antes de verificar la interacción Corte-tracción, realizar el siguiente resumen:

Modalidad de fallo	Interacción	Solicitación Capacidad
<u>Tracción</u>		
Anclaje, $\phi N_{sa} = 4445.20 \text{ kgf}$		$N_u / \phi N_t$
Rotura concreto, $\phi N_{cb} = 2826.70 \text{ kgf}$		$878.30 / 4445.20 = 0.20$
Desplazamiento concreto, $\phi N_{pm} = 3459.10 \text{ kgf}$		0.31 controla
		0.25
<u>Corte</u>		
Anclaje, $\phi V_{sa} = 1855 \text{ kgf}$		$V_u / \phi V_t$
Rotura Concreto, $\phi V_{cb} = 1165.92 \text{ kgf}$		$653.20 / 1855 = 0.35$
Rotura Concreto por alabeo anclaje, $\phi V_{cp} = 5653.41 \text{ kgf}$		0.56 controla
		0.12

CONCLUSIÓN.-

La resistencia del anclaje es adecuada y
está determinada por la rotura del concreto por corte,
 $\phi V_{cb} = 1165.92 \times 1166 \text{ kgf}$
Información sobre anclaje en catálogo ver Notas Curso de anclaje