

Cálculo de torones en muros anclados

Ing. Claudia Villanueva, HVS Ingenieros

1 Distancias verticales de los anclajes

Para el cálculo del diagrama de presión lateral, tenemos lo siguiente:

$$h_1 = 2.000 \text{ m} \quad h_2 = 2.700 \text{ m} \quad h_3 = 3.850 \text{ m}$$

$$h_4 = 2.800 \text{ m} \quad h_5 = 3.300 \text{ m} \quad h_6 = 2.750 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \\ &= 2.000 \text{ m} + 2.700 \text{ m} + 3.850 \text{ m} + 2.800 \text{ m} + 3.300 \text{ m} + 2.750 \text{ m} \\ &= 17.400 \text{ m} \end{aligned}$$

2 Presiones laterales por el suelo y sobrecargas

Tenemos un peso específico del suelo (γ) y el ángulo de fricción interna (ϕ)

$$\gamma = 20.594 \text{ kN/m}^3 \quad \phi = 34^\circ$$

donde, el coeficiente de empuje activo “Ka”, se calcula mediante:

$$K_a = \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)^2$$

$$a = b + x = 5 + 3 = 8$$

$$K_a = 0.283$$

Presión lateral debido al peso propio del suelo

$$P_e = \frac{0.65 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot (H)^2}{H - \frac{h_1}{3} - \frac{h_6}{3}} = \frac{0.65 \cdot 0.283 \cdot 20.594 \text{ kN/m}^3 \cdot (17.400 \text{ m})^2}{17.400 \text{ m} - \frac{2.000 \text{ m}}{3} - \frac{2.750 \text{ m}}{3}} = 72.441 \text{ kPa}$$

Presión lateral del suelo debido a una sobrecarga

$$q_s = 20.000 \text{ kPa (Vivienda de dos pisos)}$$

$$P_s = K_a \cdot q_s = 0.283 \cdot 20.000 \text{ kPa} = 5.654 \text{ kPa}$$

3 Cargas de Anclaje Horizontal, Momento Máximo de Flexión de Muro y Fuerza de Reacción:

Las cargas de anclaje horizontales se calculan utilizando el método de área afluyente, tal como se muestra:

$$\begin{aligned}
T_1 &= \left(2 \cdot \frac{h_1}{3} + \frac{h_2}{2}\right) \cdot P_e + \left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right) \cdot P_s \\
&= \left(2 \cdot \frac{2.000 \text{ m}}{3} + \frac{2.700 \text{ m}}{2}\right) \cdot 72.441 \text{ kPa} + \left(2.000 \text{ m} + \frac{2.700 \text{ m}}{2}\right) \cdot 5.654 \text{ kPa} \\
&= 213.326 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_2 &= \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2}\right) \cdot P_e + \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_3}{2}\right) \cdot P_s \\
&= \left(\frac{2.700 \text{ m}}{2} + \frac{3.850 \text{ m}}{2}\right) \cdot 72.441 \text{ kPa} + \left(\frac{2.700 \text{ m}}{2} + \frac{3.850 \text{ m}}{2}\right) \cdot 5.654 \text{ kPa} \\
&= 255.763 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_3 &= \left(\frac{h_3}{2} + \frac{h_4}{2}\right) \cdot P_e + \left(\frac{h_3}{2} + \frac{h_4}{2}\right) \cdot P_s \\
&= \left(\frac{3.850 \text{ m}}{2} + \frac{2.800 \text{ m}}{2}\right) \cdot 72.441 \text{ kPa} + \left(\frac{3.850 \text{ m}}{2} + \frac{2.800 \text{ m}}{2}\right) \cdot 5.654 \text{ kPa} \\
&= 259.668 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_4 &= \left(\frac{h_4}{2} + \frac{h_5}{2}\right) \cdot P_e + \left(\frac{h_4}{2} + \frac{h_5}{2}\right) \cdot P_s \\
&= \left(\frac{2.800 \text{ m}}{2} + \frac{3.300 \text{ m}}{2}\right) \cdot 72.441 \text{ kPa} + \left(\frac{2.800 \text{ m}}{2} + \frac{3.300 \text{ m}}{2}\right) \cdot 5.654 \text{ kPa} \\
&= 238.191 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_5 &= \left(\frac{h_5}{2} + 23 \cdot \frac{h_6}{48}\right) \cdot P_e + \left(\frac{h_5}{2} + \frac{h_6}{2}\right) \cdot P_s \\
&= \left(\frac{3.300 \text{ m}}{2} + 23 \cdot \frac{2.750 \text{ m}}{48}\right) \cdot 72.441 \text{ kPa} + \left(\frac{3.300 \text{ m}}{2} + \frac{2.750 \text{ m}}{2}\right) \cdot 5.654 \text{ kPa} \\
&= 232.089 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

3.1 Carga de trabajo del anclaje:

$$Pw_i = \frac{T_i \cdot S_H}{\cos \xi}$$

Donde:

S_H : Ancho tributario de la Carga de Trabajo del Anclaje

ξ : Ángulo de inclinación del anclaje

$$S_H = 3.500 \text{ m} \quad \xi = 15^\circ$$

$$P_{w_1} = \frac{T_1 \cdot S_H}{\cos(\xi)} = \frac{213.326 \text{ kN/m} \cdot 3.500 \text{ m}}{\cos(0.262)} = 78821.901 \text{ kgf}$$

$$P_{w_2} = \frac{T_2 \cdot S_H}{\cos(\xi)} = \frac{255.763 \text{ kN/m} \cdot 3.500 \text{ m}}{\cos(0.262)} = 94501.968 \text{ kgf}$$

$$P_{w_3} = \frac{T_3 \cdot S_H}{\cos(\xi)} = \frac{259.668 \text{ kN/m} \cdot 3.500 \text{ m}}{\cos(0.262)} = 95944.746 \text{ kgf}$$

$$P_{w_4} = \frac{T_4 \cdot S_H}{\cos(\xi)} = \frac{238.191 \text{ kN/m} \cdot 3.500 \text{ m}}{\cos(0.262)} = 88009.466 \text{ kgf}$$

$$P_{w_5} = \frac{T_5 \cdot S_H}{\cos(\xi)} = \frac{232.089 \text{ kN/m} \cdot 3.500 \text{ m}}{\cos(0.262)} = 85754.588 \text{ kgf}$$

4 Área del acero de Refuerzo:

El número de torones de $\phi 0.6''$, sera calculada de la siguiente manera:

$$Pw_i = \frac{0.90 \cdot f_y \cdot As_i}{\eta}$$

$f_y = 0.9 \cdot f_{pu}$: Esfuerzo de fluencia del acero

$As = as_{0.6''} \cdot (n)$: Área del acero de refuerzo; donde “n” es el número de torones y $as_{0.6''}$ el área de los torones de $0.6''$

Pw_i : Carga de trabajo del anclaje

η : Coeficiente de seguridad, 1.50 para anclajes provisionales o 1.75 para anclajes permanentes

Definimos:

$$\eta = 1.500 \text{ (Provisionales)}$$

$$a_s = 140.000 \text{ mm}^2 \text{ (Acero de } 0.6'')$$

$$f_{pu} = 1.853 \text{ GPa}$$

$$f_y = 1.668 \text{ GPa}$$

$$As_1 = \frac{Pw_1 \cdot \eta}{0.9 \cdot f_y} = \frac{78821.901 \text{ kgf} \cdot 1.500}{0.9 \cdot 1.668 \text{ GPa}} = 772.309 \text{ mm}^2$$

$$As_2 = \frac{Pw_2 \cdot \eta}{0.9 \cdot f_y} = \frac{94501.968 \text{ kgf} \cdot 1.500}{0.9 \cdot 1.668 \text{ GPa}} = 925.945 \text{ mm}^2$$

$$As_3 = \frac{Pw_3 \cdot \eta}{0.9 \cdot f_y} = \frac{95944.746 \text{ kgf} \cdot 1.500}{0.9 \cdot 1.668 \text{ GPa}} = 940.082 \text{ mm}^2$$

$$As_4 = \frac{Pw_4 \cdot \eta}{0.9 \cdot f_y} = \frac{88009.466 \text{ kgf} \cdot 1.500}{0.9 \cdot 1.668 \text{ GPa}} = 862.331 \text{ mm}^2$$

$$As_5 = \frac{Pw_5 \cdot \eta}{0.9 \cdot f_y} = \frac{85754.588 \text{ kgf} \cdot 1.500}{0.9 \cdot 1.668 \text{ GPa}} = 840.237 \text{ mm}^2$$

Con dichas áreas es posible calcula un número teórico de torones de 6''

$$n_1 = \frac{As_1}{a_s} = \frac{772.309 \text{ mm}^2}{140.000 \text{ mm}^2} = 5.516$$

$$n_2 = \frac{As_2}{a_s} = \frac{925.945 \text{ mm}^2}{140.000 \text{ mm}^2} = 6.614$$

$$n_3 = \frac{As_3}{a_s} = \frac{940.082 \text{ mm}^2}{140.000 \text{ mm}^2} = 6.715$$

$$n_4 = \frac{As_4}{a_s} = \frac{862.331 \text{ mm}^2}{140.000 \text{ mm}^2} = 6.160$$

$$n_5 = \frac{As_5}{a_s} = \frac{840.237 \text{ mm}^2}{140.000 \text{ mm}^2} = 6.002$$

Queda defino el número de torones:

$$n_1 = 6 \text{ torones de } 0.6''$$

$$n_2 = 7 \text{ torones de } 0.6''$$

$$n_3 = 7 \text{ torones de } 0.6''$$

$$n_4 = 6 \text{ torones de } 0.6''$$

$$n_5 = 6 \text{ torones de } 0.6''$$

5 Diseño de la Longitud del Bulbo:

$$L_b = \frac{Pw_i}{\pi \cdot D \cdot \tau_w}$$

L_b : Longitud del bulbo del anclaje

Pw_i : Carga de trabajo del anclaje

D : Diámetro de perforación

τ_w : Capacidad de adherencia del trabajo en el contacto suelo - material cementante

$$\tau_w = \frac{\tau_{ult}}{FS}$$

$$FS \geq 2$$

τ_u : Esfuerzo de adherencia promedio último para suelos No cohesivos

$\tau_u = 0.28 - 1.38$ MPa para Arena Gravosa Densa (según PTI DC35.1-14)

$$\tau = 690.000 \text{ kPa} \quad D = 11.400 \text{ cm} \quad FS = 2$$

$$L_{b_1} = \frac{Pw_1 \cdot FS}{\pi \cdot D \cdot \tau} = \frac{78821.901 \text{ kgf} \cdot 2}{3.142 \cdot 11.400 \text{ cm} \cdot 690.000 \text{ kPa}} = 6.256 \text{ m}$$

$$L_{b_2} = \frac{Pw_2 \cdot FS}{\pi \cdot D \cdot \tau} = \frac{94501.968 \text{ kgf} \cdot 2}{3.142 \cdot 11.400 \text{ cm} \cdot 690.000 \text{ kPa}} = 7.500 \text{ m}$$

$$L_{b_3} = \frac{Pw_3 \cdot FS}{\pi \cdot D \cdot \tau} = \frac{95944.746 \text{ kgf} \cdot 2}{3.142 \cdot 11.400 \text{ cm} \cdot 690.000 \text{ kPa}} = 7.615 \text{ m}$$

$$L_{b_4} = \frac{Pw_4 \cdot FS}{\pi \cdot D \cdot \tau} = \frac{88009.466 \text{ kgf} \cdot 2}{3.142 \cdot 11.400 \text{ cm} \cdot 690.000 \text{ kPa}} = 6.985 \text{ m}$$

$$L_{b_5} = \frac{Pw_5 \cdot FS}{\pi \cdot D \cdot \tau} = \frac{85754.588 \text{ kgf} \cdot 2}{3.142 \cdot 11.400 \text{ cm} \cdot 690.000 \text{ kPa}} = 6.806 \text{ m}$$