

1. Ejemplo Práctico - Cálculo del Diseño de un Muro de Retención de Concreto Ciclópeo

1.1. Datos

1. Materiales - Piedra de cimentación, perfectamente limpia, adecuadamente asentada y sin juntas verticales superpuestas.

Las unidades de piedras de cimentación deberán quedar envueltas por una capa de concreto con un espesor mínimo de 15 cm, sirviendo como material ligante. Esto significa ocupar los vacíos de la masa de concreto con piedras de diámetros hasta mayores que los usuales en la serie granulométrica.

El concreto empleado deberá ser proporcionado para que ofrezca una resistencia mínima de $f_{c28} = 160 \text{ kgf/cm}^2$.

2. Drenaje - Tubos de fibrocemento o de PVC - rígido, $\varnothing = 75 \text{ mm}$ ó 100 mm , atravesando el muro, dispuestos en espaciamientos a cada 2.00 m en el sentido horizontal y a cada 1.00 m a lo largo de la altura.

Del lado de la tierra estos tubos deberán de ser tapados con tela de nailon o latón, malla 1/8" (3 mm), para evitar la fuga del material filtrante, compuesto de piedra triturada $\varnothing_{m\acute{a}x} = 25 \text{ mm}$ y grava de 1/2" adecuadamente colocado.

3. Elementos para el diseño:

- Altura del muro $h = 5.00 \text{ m}$
- Inclinación del terreno adyacente $\alpha = 0$ (horizontal)
- Carga aplicada en la parte superior $G_0 = 0$
- Sobrecarga en el terreno junto al muro $q = 400 \text{ kgf/m}^2$
- Ángulo del talud natural $\phi = 30^\circ$
- Paramento interno vertical $\theta_i = 0^\circ$
- Ángulo de rugosidad (paramento interno liso) $\phi_1 = 0^\circ$
- Masa específica aparente del terreno $\gamma_t = 1.6 \text{ tf/m}^3$
- Masa específica aparente del concreto $\gamma = 2.2 \text{ tf/m}^3$
- Capacidad del terreno de la cimentación $\bar{\sigma}_s = 2 \text{ kgf/cm}^2$
- Tensión admisible del concreto $f_{cd} = 30 \text{ kgf/cm}^2$
- Coeficientes de fricción
 - $\frac{\text{concreto}}{\text{concreto}} \dots \mu = 0.70$
 - $\frac{\text{concreto}}{\text{suelo}} \dots \mu = 0.55$
- Coeficientes de seguridad
 - Seguridad contra el deslizamiento $\varepsilon_1 \geq 1.5$
 - Seguridad contra la rotación $\varepsilon_2 \geq 1.5$

1.2. Fijación de las dimensiones

Por la norma brasileña de concreto, NBR 6118-82:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1.65s_d$$

Donde f_{ck} es la resistencia característica del concreto a compresión y s_d es la desviación estándar, asumida de 70 kgf/cm². f_{cj} es la resistencia a la compresión del concreto a los j días. Si se propone una resistencia $f_{cj} = 160$ kgf/cm², despejando para f_{ck} :

$$f_{ck} = f_{cj} - 1.65s_d = 160 - 1.65(70) = 44.5 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión del concreto para usarse en los cálculos f_{cd} será de:

$$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 44.5/1.5 = 29.6$$

Donde γ_c es un coeficiente de ponderación de la resistencia del concreto. Adoptaremos un valor $f_{cd} = 30$. Por esta norma, este valor será igual al esfuerzo resistente a tensión del concreto.

1.2.1. Fórmulas Empíricas

$$b_0 = 0.14h$$

$$b = b_0 + h/3$$

b_0 es el ancho de la parte superior.

b es el ancho de la base.

h es la altura del muro

h_s es el tramo enterrado, que sirve como zapata (depende del suelo).

Adoptaremos: $b = 2.50$ m y $h_s = 0.30$ m

$$b_0 = 0.14(5.00 \text{ m}) = 0.70 \text{ m}$$

$$b = 0.70 + 5.00/3 = 2.37 \text{ m}$$

1.2.2. Verificación de la Estabilidad

Parte 1 - Verificación de la estabilidad del conjunto - (Junta del terreno con la cimentación)

CÁLCULO DEL EMPUJE

1. Coeficiente de Coulomb

a) $\alpha = 0^\circ$

b) $\theta_i = 0^\circ$

c) $\phi_1 = 0^\circ$

d) $\phi = 30^\circ$

e) $K = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 30/2) = 1/3 = 0.333$.

2. Altura de tierra equivalente a la sobrecarga:

$$h_0 = q/\gamma_t = (0.4 \text{ tonf/m}^2) / (1.6 \text{ tonf/m}^3) = 0.25 \text{ m.}$$

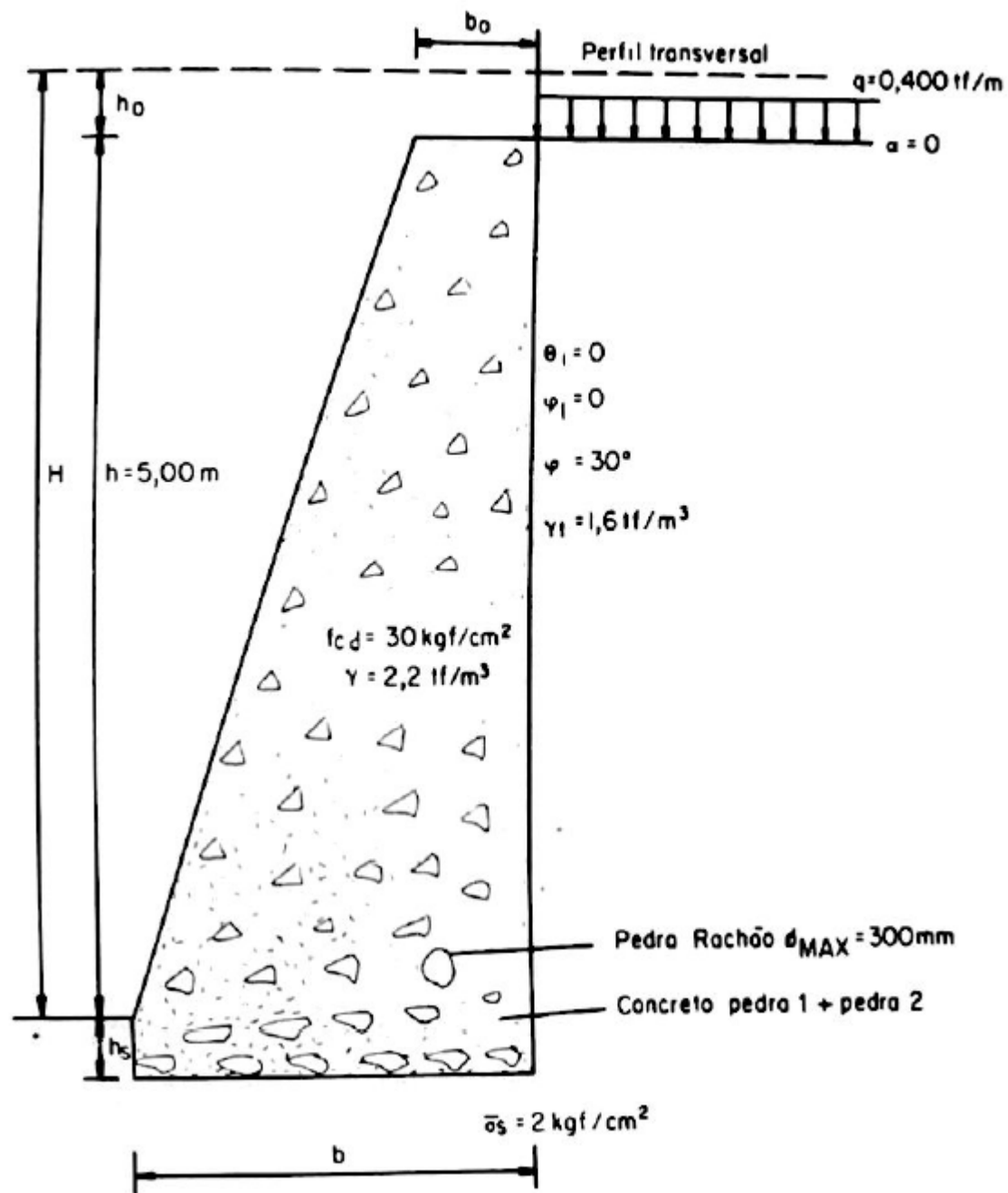


Figura 1: Perfil transversal. Piedra de cimentación $\phi_{m\acute{a}x} = 300 \text{ mm}$.

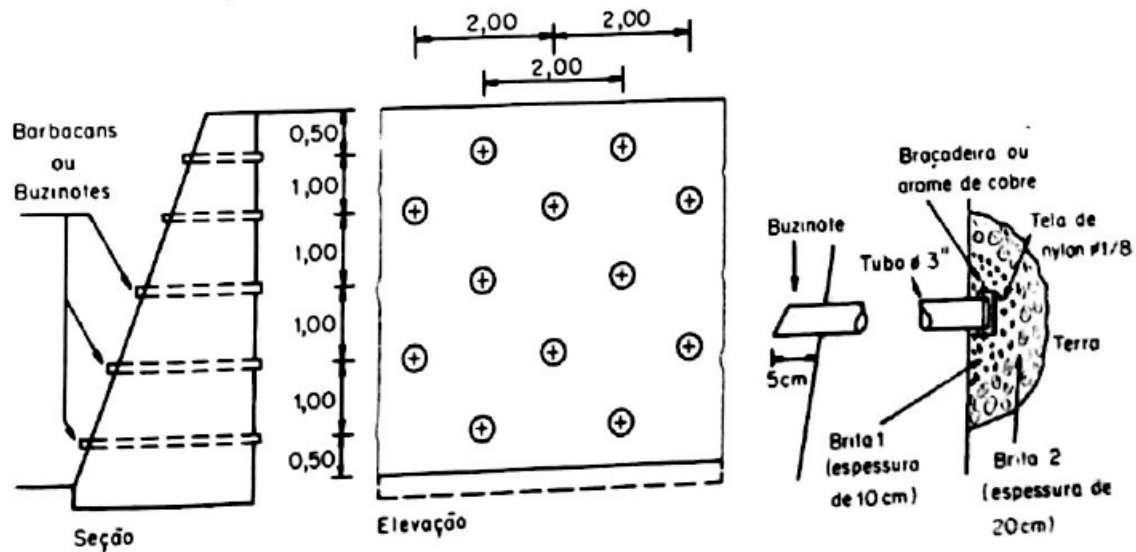


Figura 2: Detalle del drenaje. Barbacanas o Tubos de flujo de aguas. Sección. Elevación. Abrazadera o alambre de cobre. Tela de nailon $\varnothing = 1/8$. Tubería que permite el flujo de aguas. Tubo de $\varnothing = 3''$. Tierra. Triturado 1 (espesor de 10 cm). Triturado 2 (espesor de 20 cm).

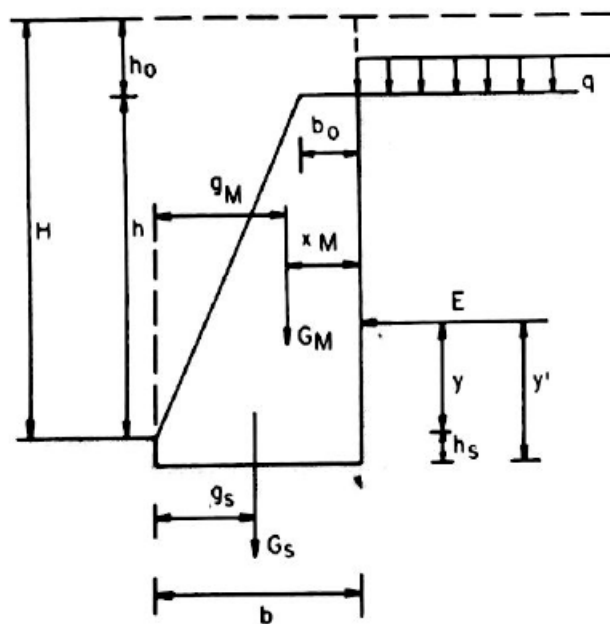


Figura 3: Dimensiones.

3. Altura total:

$$H = h + h_0 = 5.00 + 0.25 = 5.25 \text{ m}$$

4. Magnitud:

$$E = \frac{1}{2} K \gamma_t (H^2 - h_0^2) = \frac{1}{2} (0.333) (1.6 \text{ tonf/m}^2) (5.25^2 - 0.25^2) = 7.33 \text{ tonf/m.}$$

5. Punto de aplicación:

$$y = \frac{h}{3} \times \frac{2h_0 + H}{h_0 + H} = \frac{5.00}{3} \times \frac{2(0.25) + 5.25}{0.25 + 5.25} = 1.75 \text{ m}$$

6. Dirección:

$$\delta = \phi_1 + \theta_i = 0^\circ.$$

7. Componentes:

$$E_V = E \sin \delta = 0$$

$$E_H = E \cos \delta = 7.33 \text{ tonf/m.}$$

8. Brazo de palanca:

$$y' = y + h_s = 1.75 + 0.30 = 2.05 \text{ m}$$

CARGAS Y RESPECTIVOS BRAZOS

1. Muro

$$G_M = \frac{1}{2} h \gamma (b_0 + b) = \frac{1}{2} \times 5.00 \times 2.2 (0.70 + 2.50) = 17.6 \text{ tonf/m.}$$

Punto de aplicación

$$x_M = \frac{b_0^2 + bb_0 + b^2}{3(b+b_0)} = \frac{0.49 + 0.7 \times 2.50 + 6.25}{3(2.5 + 0.7)} = 0.88 \text{ m}$$

Brazo

$$g_M = b - x_m = 2.50 - 0.88 = 1.62 \text{ m}$$

2. Zapata

$$G_S = h_s \gamma b = 0.30 \times 2.2 \times 2.50 = 1.65 \text{ tonf/m}$$

Brazo

$$g_S = b/2 = 2.50/2 = 1.25 \text{ m}$$

MOMENTOS

$$M_i = G_M g_M + G_S g_S = 17.6 \times 1.62 + 1.65 \times 1.25 = 30.57 \text{ tfm}$$

$$M_e = E y' = -7.3 \times 2.05 = -14.96 \text{ tfm}$$

$$M = 30.57 - 14.96 = 15.61 \text{ tfm}$$

POSICIÓN DEL CENTRO DE PRESIONES

$$N = G_M + G_S = 17.6 + 1.65 = 19.25 \text{ tonf}$$

$$u = M/N = 15.61/19.25 = 0.81 \text{ m}$$

EXCENTRICIDAD

$$e = b/2 - u = 2.50/2 - 0.81 = 0.44 \text{ m}$$

EQUILIBRIO ESTÁTICO

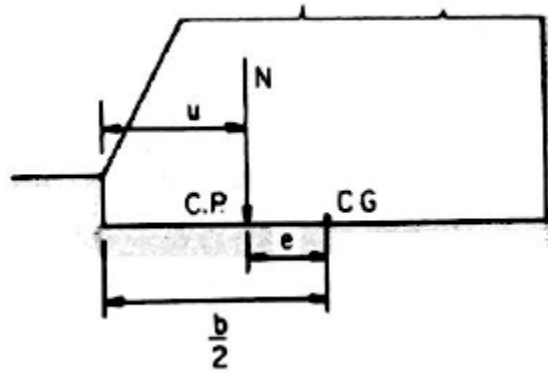


Figura 4: Posición del Centro de Presiones.

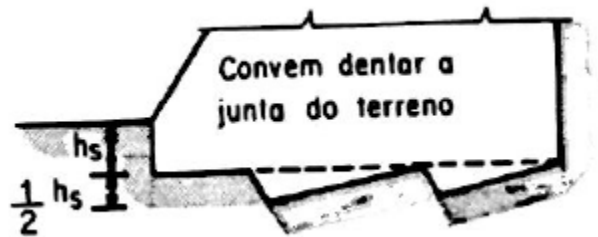


Figura 5: Conviene dentar la junta del terreno.

1. Coeficiente de seguridad contra el desplazamiento

$$T = E$$

$$\varepsilon_1 = \mu \frac{N}{T} = 0.55 \times \frac{19.25}{7.3} = 1.45$$

Condición: $\varepsilon_1 \geq 1.5$ – Aceptable.

Para evitar volver a hacer todos los cálculos, en este caso aceptaremos el resultado.

Convenga dentar la junta del terreno.

2. Coeficiente de seguridad contra la rotación

$$\varepsilon_2 = \frac{G_{MG} + G_{SGS}}{Ey'} = \frac{M_i}{M_e} = \frac{30.57}{14.96} = 2.0 > 1.5 \therefore \text{Satisfecho.}$$

EQUILIBRIO ELÁSTICO: CÁLCULOS AUXILIARES

$$N/S = N/b = 19.25/2.50 = 7.7 \text{ tonf/m}^2$$

$$6e/b = 6 \times 0.44/2.50 = 1.06$$

EQUILIBRIO ELÁSTICO: ESFUERZOS

$$\text{Máximo} \quad \sigma_1 = \frac{N}{S} \left(1 + \frac{6e}{b} \right) = 7.7 (1 + 1.06) = 15.8 \text{ tonf/m}^2 < \bar{\sigma}_s$$

$$\text{Mínimo} \quad \sigma_2 = \frac{N}{S} \left(1 - \frac{6e}{b} \right) = 7.7 (1 - 1.06) = -0.5 \text{ tonf/m}^2 < 0 \text{ (Tensión)}$$

Despreciando la tensión:

$$\sigma_{máx} = \frac{2N}{3u} = \frac{2 \times 19.25}{3 \times 0.81} = 16 \text{ tonf/m}^2 < \bar{\sigma}_s = 20 \text{ tonf/m}^2$$

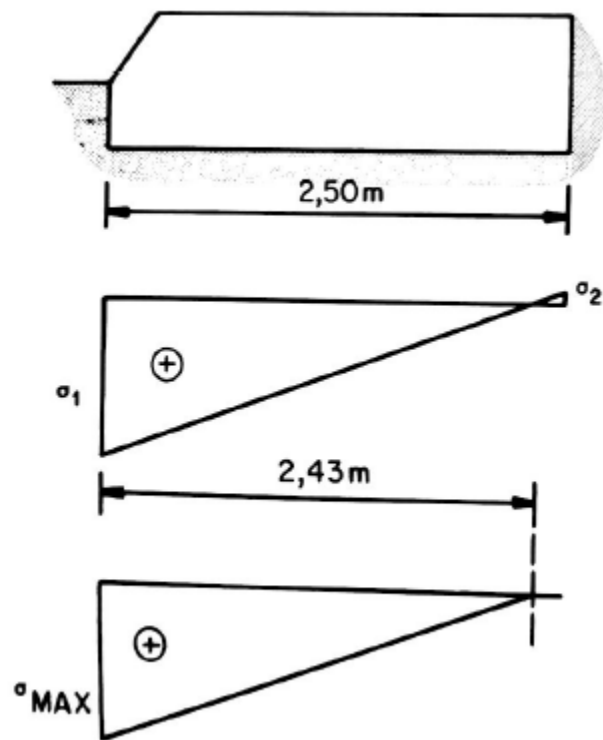


Figura 6: Esfuerzos finales.