

PROBLEMA RESUELTO 1.

Sea un muro de 6 m de altura que soporta un terreno con las siguientes características:

$$\varphi = 30^\circ \quad c = 0 \quad \gamma = 18 \text{ kN/m}^3 \text{ (sobre n.f.)} \quad \gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (bajo n.f.)}$$

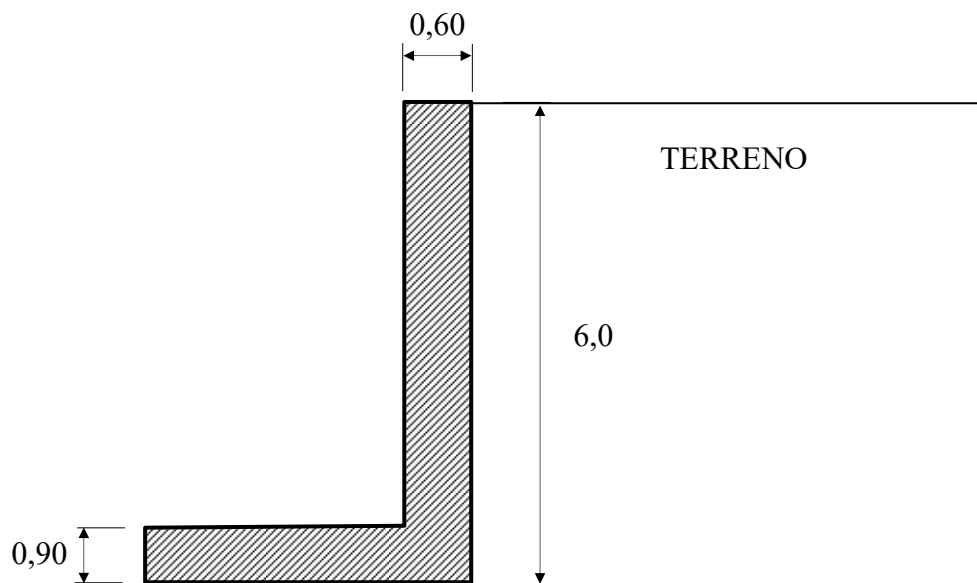
El nivel freático se encuentra bajo el plano de cimentación del muro. Después de unas fuertes lluvias, el nivel freático asciende a la mitad de la altura del muro (3 m).

Se pide:

- 1) Calcular los empujes en el trasdós antes de la estación lluviosa y en la situación de altura máxima de nivel freático.

Recomendación: Descomponer los empujes en distribuciones triangulares y rectangulares.

- 2) Dimensionar la armadura, para el E.L.U. a flexión, de la sección de arranque del alzado del muro en la situación más desfavorable de las anteriores. El alzado tiene un ancho de 0,60 m y la cimentación un canto de 0,90 m.

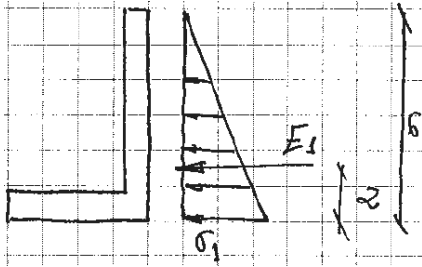


Datos:

- Acero B 500 SD
- Nivel de control de ejecución normal
- Peso específico del hormigón armado 25 kN/m³

1) Empujes en el trasdós antes de las lluvias y en situación de altura máx. n.f.

Situación I (n.f. bajo cimentación)

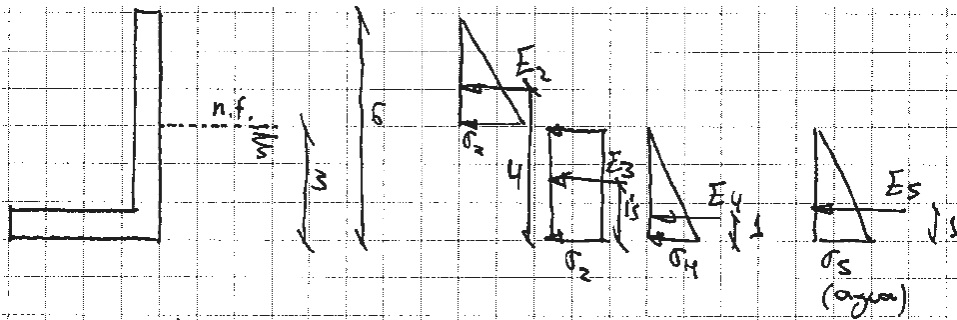


$$K_a = (1 - \sin\phi)/(1 + \sin\phi) = (1 - \sin 30)/(1 + \sin 30) = 1/3$$

$$\sigma_1 = K_a \gamma h = 1/3 \cdot 18 \cdot 6 = 36 \text{ kN/m}^2$$

$$E_1 = 1/2 \sigma_1 h = 1/2 \cdot 36 \cdot 6 = \boxed{108 \text{ kN/ml}}$$

Situación II (n.f. a 3 m)



$$\sigma_2 = K_a \gamma z = 1/3 \cdot 18 \cdot 3 = 18 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_4 = K_a \gamma' z = 1/3 \cdot (20 - 10) \cdot 3 = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_5 = \gamma_w z = 10 \cdot 3 = 30 \text{ kN/m}^2$$

$$E_2 = 1/2 \sigma_2 z = 1/2 \cdot 18 \cdot 3 = 27 \text{ kN/ml}$$

$$E_3 = \sigma_4 z = 18 \cdot 3 = 54 \text{ kN/ml}$$

$$E_4 = 1/2 \sigma_4 z = 1/2 \cdot 10 \cdot 3 = 15 \text{ kN/ml}$$

$$E_5 = 1/2 \sigma_5 z = 1/2 \cdot 30 \cdot 3 = 45 \text{ kN/ml}$$

$$E_{\text{TOT}} = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = \boxed{141 \text{ kN/ml}}$$

2) ELU flexión (sección arranque)

La cimentación del muro es un elemento enterrado (ambiente IIa).

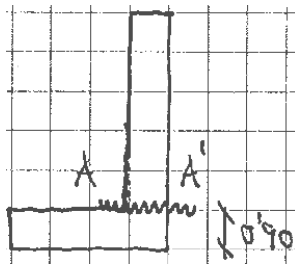
El alzado del muro es un elemento expuesto a la lluvia (ambiente IIa para precipitación media anual superior a 600 mm; o IIb si es inferior a 600 mm; suponemos IIb) $\rightarrow f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Se puede tipificar el hormigón como HA-30/B/20/IIb

Para ambiente IIb, vida útil de 50 años, cualquier tipo de cemento, $f_{ck} < 40 \text{ MPa}$ el recubrimiento mínimo es 25 mm

$$r_{nom} = r_{mín} + \Delta r = 25 + 10 = 35 \text{ mm} \rightarrow d' = 50 \text{ mm}$$

La situación pésima es la II. Tomando momentos en la sección de arranque A-A':



$$\begin{aligned} \Sigma M_{A-A'} &= E_2(4-0,9) + E_3(1,5-0,9) + E_4(1-0,9) + E_5(1-0,9) = \\ &= 83,7 + 32,4 + 1,5 + 4,5 = 122,1 \text{ kN m/ml} \end{aligned}$$

$$M_{d,A-A'} = 1,5 \cdot 122,1 = 183,15 \text{ kN m/ml}$$

Con este valor $M_{d,A-A'}$ se ha de calcular la armadura en una sección rectangular de $0,60 \times 1,00 \text{ m}$ (canto \times ancho).

El cortante de cálculo en el borde del apoyo (sección de arranque) es:

$$V_{d,A-A'} = 1,5 E_{TOT} = 211,5 \text{ kN/ml}$$

En términos de empujes resultantes, el cortante de cálculo a un canto útil d del borde del apoyo es:

$$V_{d,d} = 1,5(E_2 + E_3) = 121,5 \text{ kN/ml}$$

Aplicando el anejo 7 de la EHE-08 se obtiene:

$$A'_s = 0$$

$$A_s = 778 \text{ mm}^2$$

Los cortantes de agotamiento son:

$$V_{u1} = 3300 \text{ kN}$$

$$V_{u2} = 305,71 \text{ kN}$$

$$V_{cu} = 305,71 \text{ kN}$$

$$V_{su} = 0 \rightarrow \text{No es necesaria armadura a cortante } (A_{\alpha} = 0)$$

Regla del decalaje: A_{s1} se incrementa, debido al cortante, hasta $A_{s1} = 1264 \text{ mm}^2$

Suponiendo que se dispongan juntas verticales de contracción cada 7,5 m como máximo, y con la armadura horizontal interrumpida, se obtiene las siguientes armaduras mínimas:

$$\text{Armadura mínima vertical de compresión} = 379 \text{ mm}^2 \text{ (30 \% } A_s = 1264 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Armadura mínima vertical de tracción} = 1104 \text{ mm}^2 \text{ (0,04 } A_c f_{cd}/f_{yd})$$

$$\text{Armadura mín. horizontal en cada cara} = 500 \text{ mm}^2 \text{ (2 \% } A_c \text{ repartida en ambas caras)}$$

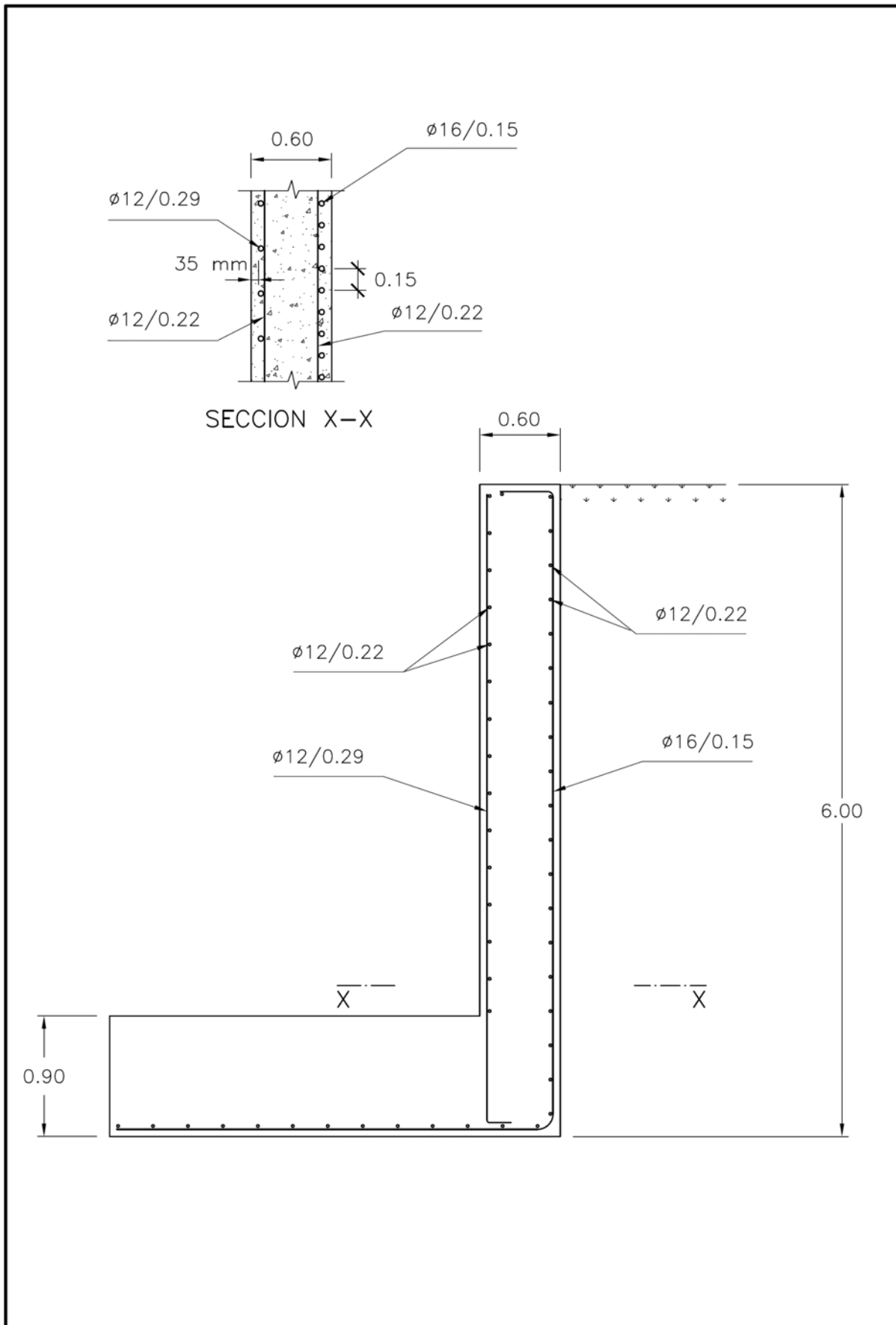
$$\text{La armadura de tracción definitiva } A_{s1} \text{ resulta } 1264 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Ø16/15 cm}$$

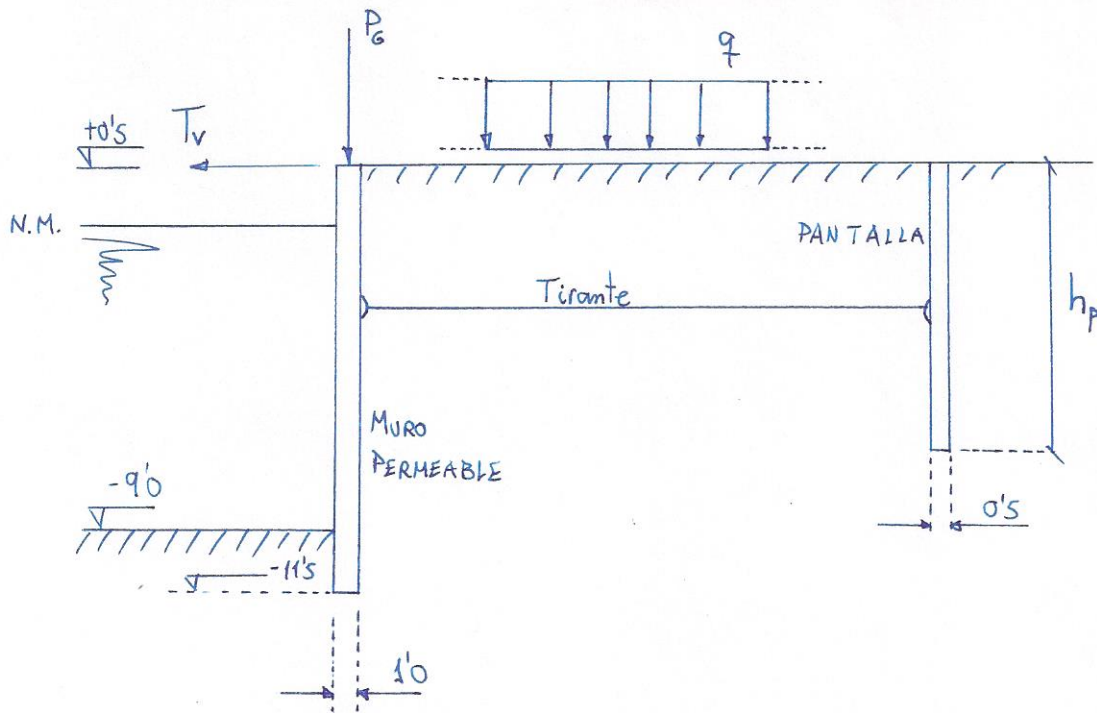
$$\text{La armadura de compresión } A_{s2} \text{ resulta } 379 \text{ mm}^2 \text{ (30 \% } A_{s1}) \rightarrow \text{Ø12/29 cm}$$

$$\text{Las armaduras horizontales en cada cara resultan } 500 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Ø12/22 cm}$$

En el caso de no haber dispuesto juntas verticales de contracción cada 7,5 m como máximo, y con la armadura horizontal interrumpida, se hubieran obtenido las siguientes armaduras horizontales en cada cara: $800 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Ø12/14 cm}$

A continuación se representa el croquis de armado.





SEA EL MUELLE PERMEABLE DE LA FIGURA QUE ESTÁ UNIDO A UNA PANTALLA MEDIANTE UN TIRANTE.

SE PIDE:

- 1) DISTANCIA MINIMA RECOMENDABLE ENTRE EL MUELLE Y LA PANTALLA
- 2) DIMENSIONAR LA PROFUNDIDAD (h_p) DE LA PANTALLA UTILIZANDO UN METODO SIMPLIFICADO Y UN COEFICIENTE DE SEGURIDAD EN EMPUJES $F=2$
- 3) CALCULAR F MEDIANTE UN METODO RIGUROSO
- 4) FUERZA SOBRE EL TIRANTE

DATOS:

$$q = 5 \text{ t/m}^2 \text{ (SOBRECARGA DE USO)}$$

$$P_G = 10 \text{ t/m (CARGA DE UNA GRUA)}$$

$$T_v = 5 \text{ t/m (TIRO DE BOLARDOS)}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2 \text{ t/m}^3$$

$$c = 0.5 \text{ t/m}^2$$

$$\phi = 30^\circ$$

SUPONER EL NIVEL DEL MAR CONSTANTE

$$\gamma_{\text{horm}} = 2.4 \text{ t/m}^3$$

$$F = \frac{\text{EMPUJES ESTABILIZADORES}}{\text{EMPUJES DESESTABILIZADORES}} = 2$$

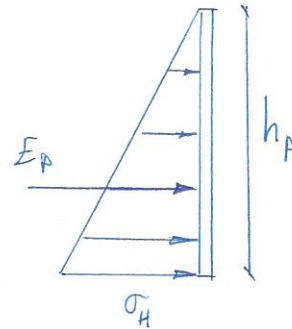
* EMPUJES ESTABILIZADORES \longrightarrow Empuje Pasivo en la pantalla

$$\sigma_H = K_p \cdot \gamma' \cdot h_p$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 2 - 1 = 1 \text{ t/m}^3 \quad \left. \vphantom{\gamma'} \right\} \sigma_H = 3 \cdot h_p$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sigma_H \cdot h_p = \frac{3}{2} \cdot h_p^2 = 1.5 \cdot h_p^2$$



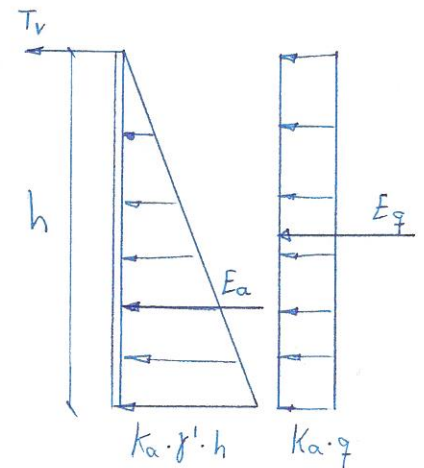
* EMPUJES DESESTABILIZADORES \longrightarrow Empuje Activo sobre el muro + Empuje debido a la sobrecarga (q) + T_v

$$E_a = \frac{1}{2} (K_a \cdot \gamma' \cdot h) \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot h^2 = \frac{12}{6} = 24 \text{ t}$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = 0.33$$

$$E_q = K_a \cdot q \cdot h = \frac{1}{3} \cdot 5 \cdot 12 = 20 \text{ t}$$

$$T_v = 5 \text{ t}$$

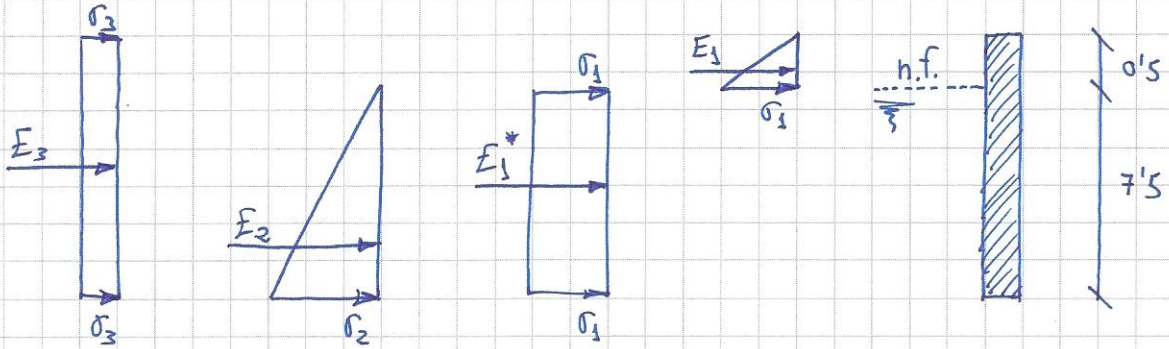


$$F = \frac{1.5 \cdot h_p^2}{24 + 20 + 5} = 2 \quad \longrightarrow \quad h_p = 8 \text{ m}$$



③ CALCULO DEL COEF. SEG. F MEDIANTE MÉTODO RIGUROSO

* OBTENCIÓN DE EMPUJES ESTABILIZADORES



$$\sigma_1 = k_p \cdot \gamma_{sat} \cdot z_1 = 3 \cdot 2 \cdot 0.5 = 3 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_2 = k_p \cdot \gamma' \cdot z_2 = 3 \cdot 1 \cdot 7.5 = 22.5 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_3 = c \cdot (k_p - 1) \cot \phi = 0.5 (3 - 1) \cdot \cot 30^\circ = 1.73 \text{ t/m}^2$$

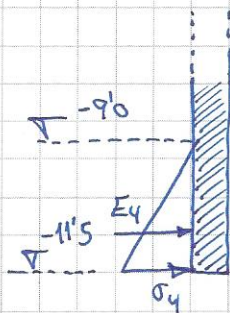
$$E_1 = \frac{1}{2} \sigma_1 \cdot z_1 = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 0.5 = 0.75 \text{ t/ml}$$

$$E_1^* = \sigma_1 \cdot z_1^* = 3 \cdot 7.5 = 22.5 \text{ t/ml}$$

$$E_2 = \frac{1}{2} \sigma_2 \cdot z_2 = \frac{1}{2} \cdot 22.5 \cdot 7.5 = 84.38 \text{ t/ml}$$

$$E_3 = \sigma_3 \cdot z_{tot} = 1.73 \cdot 8 = 13.84 \text{ t/ml}$$

Además tenemos el empuje pasivo en el muro:



$$\sigma_4 = k_p \cdot \gamma' \cdot z_4 = 3 \cdot 1 \cdot 2.5 = 7.5 \text{ t/m}^2$$

$$E_4 = \frac{1}{2} \cdot \sigma_4 \cdot z_4 = \frac{1}{2} \cdot 7.5 \cdot 2.5 = 9.38 \text{ t/ml}$$



Y también hay que contar con la fuerza de rozamiento en la base de la pantalla y del muro:

$$F_r = \mu \cdot N$$

$$\mu = \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}\varphi\right) = \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}30^\circ\right) = 0'354$$

$$N = \text{peso} - \text{Desplaz. agua} = \gamma_{\text{horm}} \cdot l \cdot \text{esp} - \int_{u'} \cdot l_{\text{sum}} \cdot \text{esp}$$

$$N_{\text{pant}} = 2'4 \cdot 8 \cdot 0'5 - 1 \cdot 7'5 \cdot 0'5 = 5'85 \text{ t/ml}$$

$$N_{\text{muro}} = 2'4 \cdot 12 \cdot 1 - 1 \cdot 11'5 \cdot 1 = 17'3 \text{ t/ml}$$

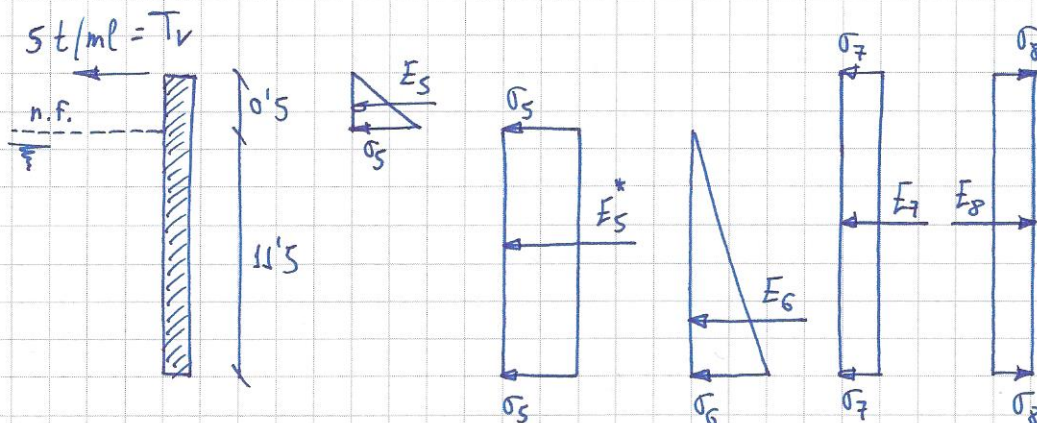
$$F_{r, \text{pant}} = 0'354 \cdot 5'85 = 2'13 \text{ t/ml} \quad (\text{se ha despreciado la cohesión})$$

$$F_{r, \text{muro}} = 0'354 \cdot 17'3 = 6'30 \text{ t/ml} \quad (\text{se considera que la grúa no actúa})$$

El total de empujes estabilizadores es:

$$E_{\text{est}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5^* + F_{r, \text{pant}} + F_{r, \text{muro}} = \underline{139'28 \text{ t/ml}}$$

* OBTENCIÓN DE EMPUJES DESTABILIZADORES



$$\sigma_5 = k_a \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot z_5 = 1/3 \cdot 2 \cdot 0'5 = 0'33 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_6 = k_a \cdot \gamma' \cdot z_6 = 1/3 \cdot 1 \cdot 11'5 = 3'83 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_7 = k_a \cdot q = 1/3 \cdot 5 = 1'67 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_8 = c(k_a - 1) \cot \varphi = 0'5(1/3 - 1) \cot 30 = -0'58 \text{ t/m}^2$$



$$E_5 = \frac{1}{2} \sigma_5 \cdot z_5 = \frac{1}{2} \cdot 0'33 \cdot 0'5 = 0'083 \text{ t/ml}$$

$$E_5^* = \sigma_5 \cdot z_5^* = 0'33 \cdot 11'5 = 3'80 \text{ t/ml}$$

$$E_6 = 1/2 \cdot \sigma_6 \cdot z_6 = 1/2 \cdot 3'83 \cdot 11'5 = 22'02 \text{ t/ml}$$

$$E_7 = \sigma_7 \cdot z_{tot} = 1'67 \cdot 12 = 20'04 \text{ t/ml}$$

$$E_8 = \sigma_8 \cdot z_{tot} = -0'58 \cdot 12 = -6'96 \text{ t/ml}$$

El total de empujes desestabilizadores es:

$$\underline{E_{desest}} = E_5 + E_5^* + E_6 + E_7 + E_8 + T_v = \underline{43'98 \text{ t/ml}}$$

El coef. de seguridad resulta:

$$F = \frac{E_{est}}{E_{desest}} = \frac{139'28}{43'98} = \underline{3'17}$$

④ FUERZA SOBRE EL TIRANTE

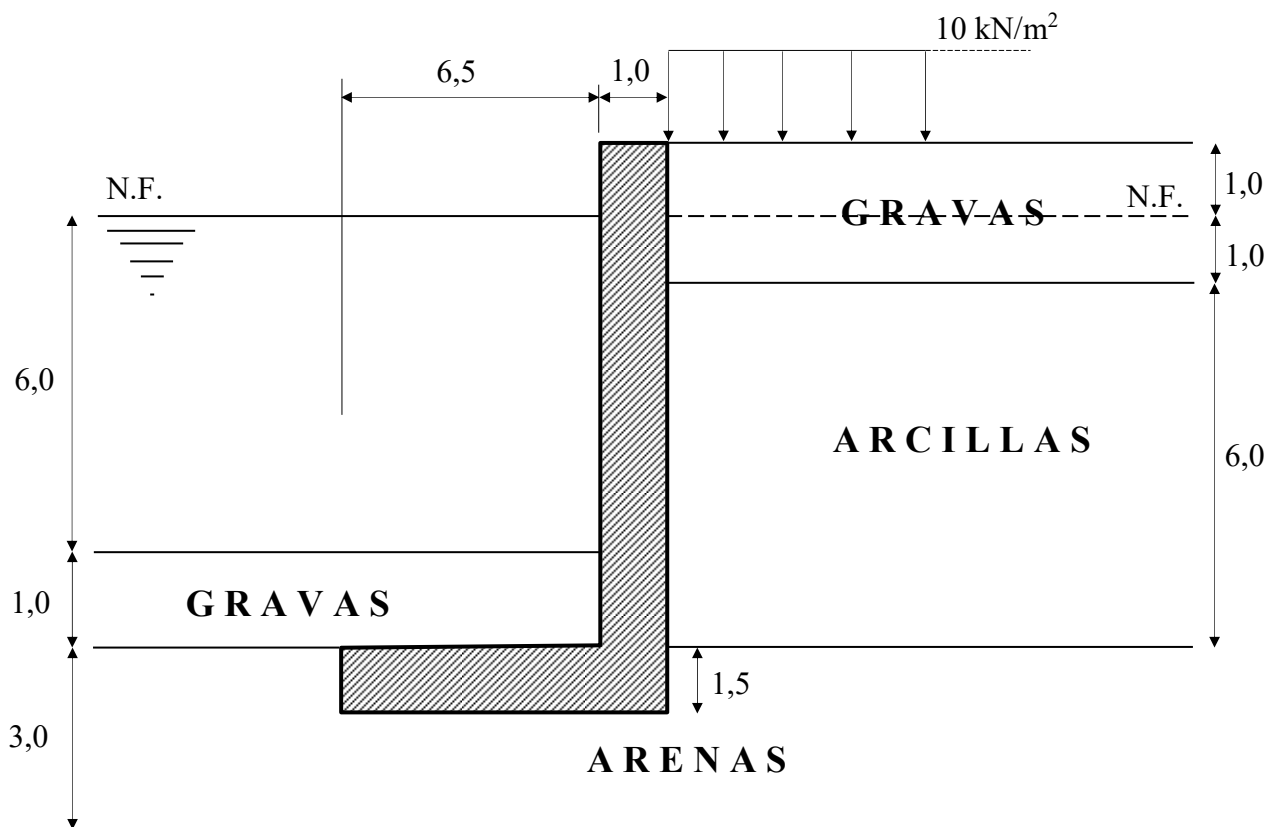
En condiciones normales, sobre el tirante actuará el empuje activo, esto es el empuje desestabilizador 43'98 t/ml.

Ahora bien, si quisiéramos dimensionar el tirante, deberíamos hacerlo para que soportara todo el empuje estabilizador, o sea 139'28 t/ml.

Problema propuesto.

Se quiere diseñar el muro portuario cuyas características se indican en la figura adjunta, para lo cual se pide:

- 1) Calcular la resultante de los empujes sobre el trasdós del muro.
- 2) Comprobar la seguridad del muro frente a vuelco y a deslizamiento.
- 3) Dimensionar la armadura de la sección de arranque del alzado del muro.

Datos:

Gravas: $\gamma_{sat} = 19,4 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 40^\circ$

Arcillas: $\gamma_{sat} = 16,0 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 15^\circ$ $c = 10 \text{ kN/m}^2$

Arenas: $\gamma_{sat} = 19,0 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 36^\circ$

Hormigón: $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$