

UNIDAD DIDÁCTICA V

REGIONES D Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN

Y CIMENTACIÓN

LECCIÓN 23

MUROS

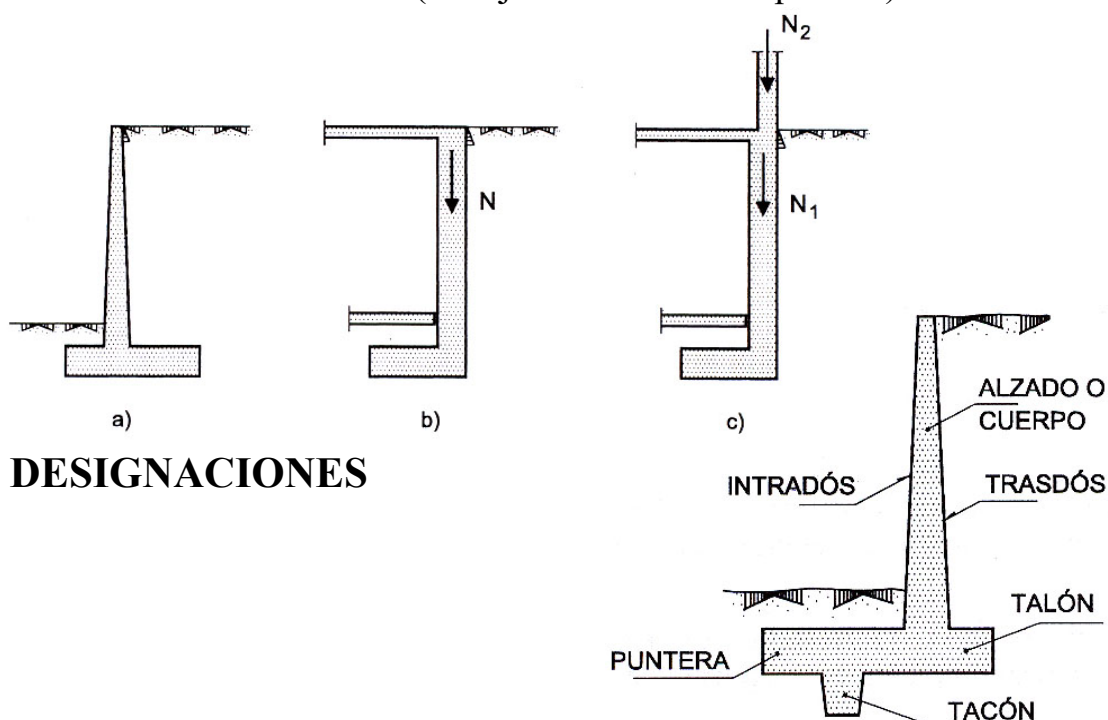
1. TIPOLOGÍA
2. FORMAS DE AGOTAMIENTO. INTRODUCCIÓN DE LA SEGURIDAD
3. EMPUJES DEL TERRENO
4. ARMADO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS
5. PREDIMENSIONAMIENTO DE MUROS

1. TIPOLOGÍA

• INTRODUCCIÓN

Muro de contención: Contención de un terreno (trabajo a flexión)

Muro de sótano: Contención de un terreno + transmisión de cargas verticales al terreno (trabajo a flexión + compresión)



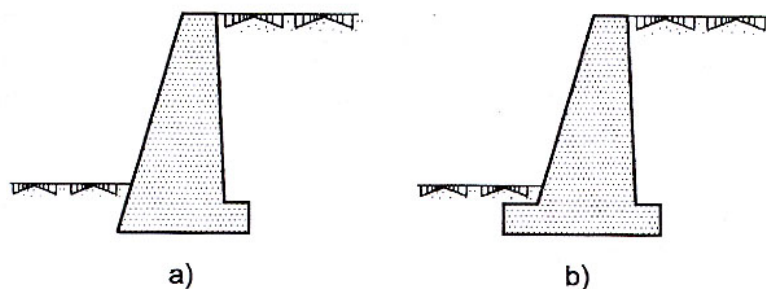
• DESIGNACIONES

• TIPOS DE MUROS DE CONTENCION

Fuente: Calavera, 2001

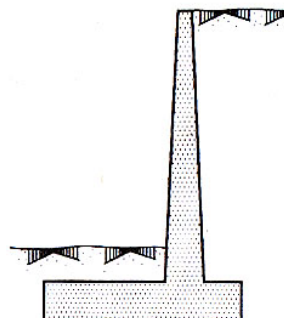
Muro de gravedad

- Son de hormigón en masa
- Resisten por peso propio



Muro ménsula

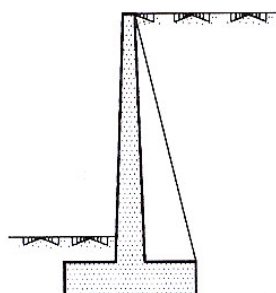
Solución + común hasta $h = 10 - 12$ m



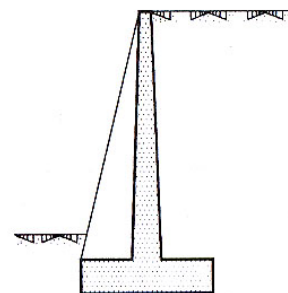
Fuente: Calavera, 2001

Muro de contrafuertes

- Para $h > 10-12$ m
- Aligerado de piezas
- Encofrado, ferralla y hormigonado + complicado



a)



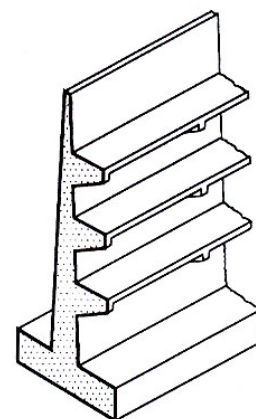
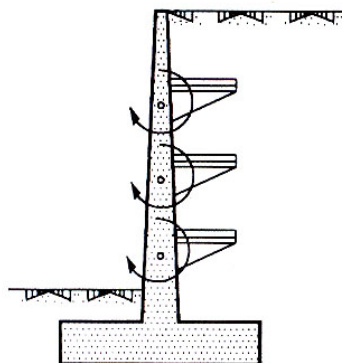
b)

Fuente: Calavera, 2001

- Mejor contrafuertes en trasdós

Muro de bandejas

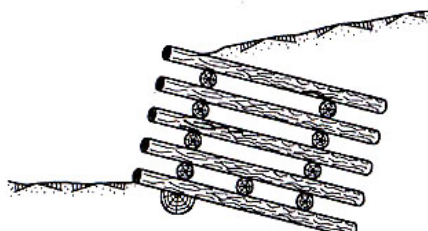
- Alternativa a los contrafuertes para $\gg$ alturas
- Construcción compleja



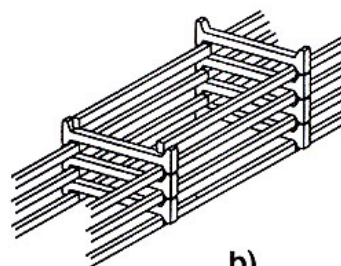
Fuente: Calavera, 2001

Muro criba de piezas prefabricadas

- Obtención de red espacial a rellenar con el propio terreno



a)



b)

Fuente: Calavera, 2001

2. FORMAS DE AGOTAMIENTO. INTRODUCCIÓN DE LA SEGURIDAD

Coefficientes seguridad $\Rightarrow$ **Tabla 2.1 CTE DB SE-C**

Hundimiento

Tensiones transmitidas al terreno. Se minora la carga de hundimiento:

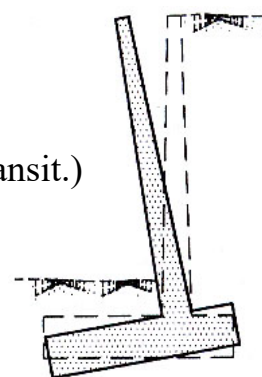
$$\sigma_{adm} = q_h/3 \text{ (comb. persistente o transitoria)} \quad \sigma_{adm} = q_h/2 \text{ (comb. extraordinaria)}$$

Giro excesivo (vuelco)

$$\gamma = \frac{\sum M_{est} \times 0,9}{\sum M_{desest} \times 1,8} \geq 1 \Rightarrow \frac{\sum M_{est}}{\sum M_{desest}} \geq 2 \text{ (comb. persist. o transit.)}$$

¡Ojo! En $\sum M_{est}$ no se considera el empuje pasivo

$$2,0 \text{ (comb. persist. o transit.)} \quad 1,33 \text{ (comb. extraordinaria)}$$



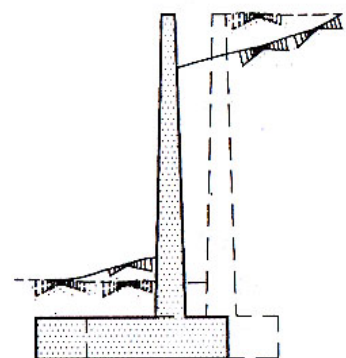
Fuente: Calavera, 2001

Deslizamiento

Sólo se minora la resistencia a deslizamiento del material:

$$1,5 \text{ (comb. persist. o transit.)} \quad 1,1 \text{ (comb. extraordinar.)}$$

No considerar el emp. pasivo estabilizador, salvo justificación

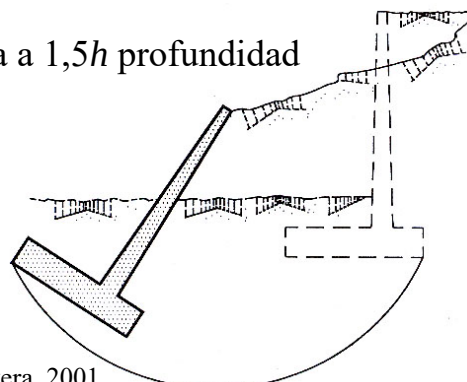


Deslizamiento profundo (estabilidad global)

Superf. circular de deslizam. Estudiar capa blanda a $1,5h$ profundidad

Se minora la propiedad a deslizam. del material:

$$1,8 \text{ (comb. pers./trans.)} \quad 1,2 \text{ (comb. extraord.)}$$



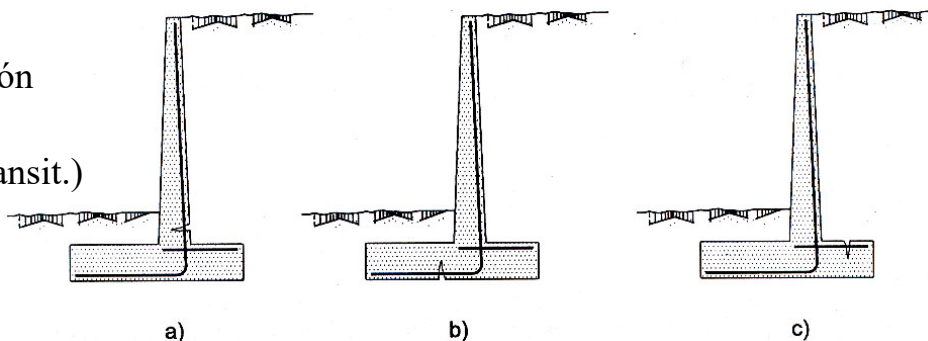
Fuente: Calavera, 2001

Rotura por flexión

En alzado, puntera o talón

1,6* (comb. persist. o transit.)

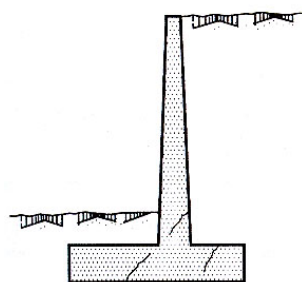
1,0 (comb. extraord.)



Rotura por esfuerzo cortante

En alzado, puntera, talón o tacón

1,6* (comb. pers./trans.) 1,0 (comb. extraord.)

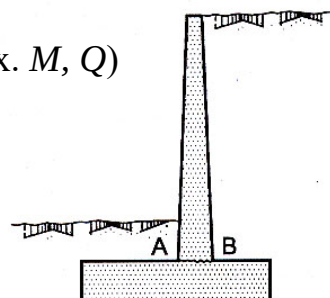


Rotura por esfuerzo rasante

En la junta de hormigonado del arranque del alzado (máx. M , Q)

1,6* (comb. persist. o transit.) 1,0 (comb. extraord.)

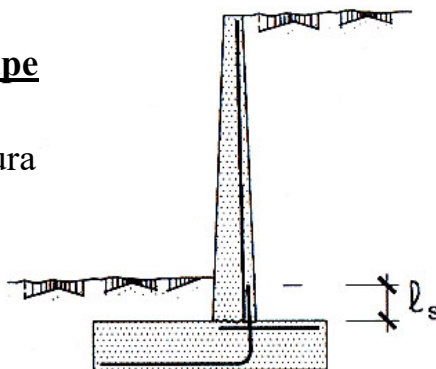
Nota: EHE-08 $\rightarrow 1,35 (G)$ ó $1,5 (G^, Q)^1$



Rotura por fallo de solape

En arranque de la armadura

de tracción en el alzado



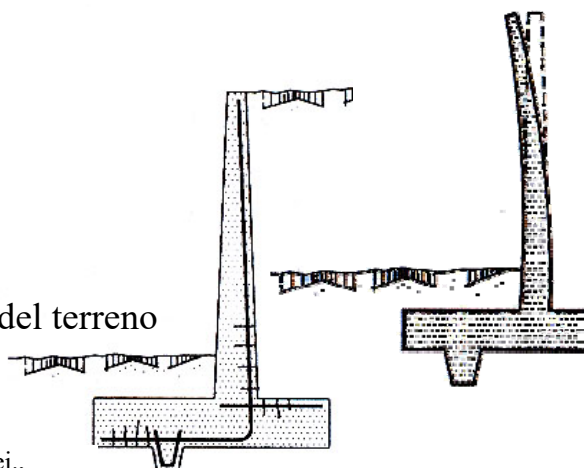
Fuente: Calavera, 2001

Deformación excesiva del alzado

Muros esbeltos

Fisuración excesiva

En zonas traccionadas. Grave por la humedad del terreno



(1) El empuje del terreno se considera G o G^* , según normas. P.ej., en el CTE es G . En las instrucciones de acciones en puentes es G^* .

Fuente: Calavera, 2001

3. EMPUJES DEL TERRENO

• DEFINICIONES PREVIAS

Porosidad (n) Peso específico aparente (γ) P. e. Suelo Saturado (γ_{sat})

$$n = \frac{V_H}{V_T} \quad \gamma = \frac{P_T}{V_T} = \frac{P_S + P_W}{V_T} \quad \gamma_{sat} = \frac{P_S + P'_W}{V_T}$$

P. e. Suelo seco (γ_d) P. e. Partículas (γ_s) P. e. Suelo Sumergido (γ')

$$\gamma_d = \frac{P_S}{V_T} \quad \gamma_s = \frac{P_S}{V_S} \quad \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Ángulo de rozamiento interno de un suelo $\rightarrow$ φ

Ángulo de rozamiento tierras - muro $\rightarrow$ δ

Cohesión de un suelo $\rightarrow$ c [kN/m² ó kPa] 10 kN/m² = 1 t/m²

Resistencia al corte de un suelo en ausencia de presión normal ($\sigma = 0$)

Valores habituales aproximados:

$$\gamma_w = 9,81 \approx 10 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma_s \approx 27 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma_{sat} = 18-21 \approx 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d \approx 14-18 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma \approx 16-21 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma' = 8-11 \approx 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi = 30-36^\circ \text{ (arenas)} \quad 34-45^\circ \text{ (gravas)}$$

$$\text{A largo plazo} \Rightarrow 25-32^\circ \text{ (limos)} \quad 16-28^\circ \text{ (arcillas)}$$

$$\delta \leq 2\varphi/3 \text{ Contacto rugoso, emp. activo (muro encofrado contra el terreno)}$$

$$\varphi/3 \text{ C. liso, emp. activo (muro encofrado a doble cara) y emp. pasivo}$$

$$c = 10 - 100 \text{ kN/m}^2 \text{ (s. cohesivos)} \quad 0 \text{ (s. granulares)}$$

• TIPOS DE EMPUJES

Empuje al reposo

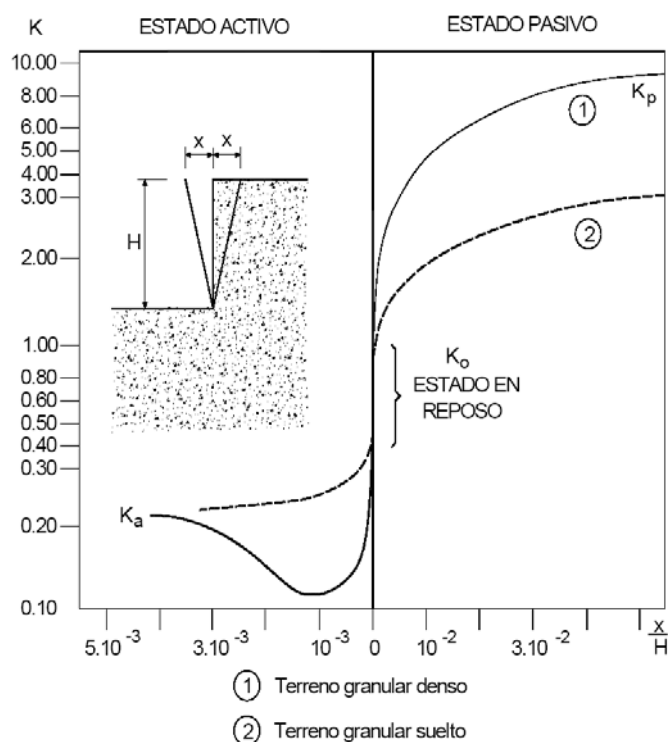
- Se produce si las deformaciones laterales son prácticamente nulas (ej. muro de sótano)

Empuje activo

- Es el mínimo de los empujes posibles
- Se produce si el muro sufre pequeñas deformaciones ($x \geq H/1000$) en el sentido del empuje (ej. muro ménsula)

Empuje pasivo

- Es el máximo de los empujes posibles
- Se produce si sobre el muro se aplican fuerzas de forma que éste empuje al terreno provocándole grandes deformaciones ($x \geq H/100$)

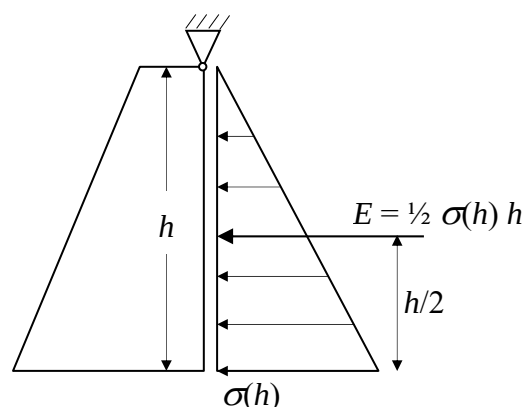
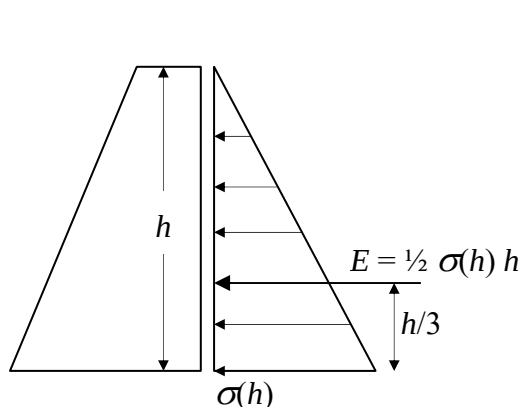


Fuente: CTE DB SE-C, 2006

• CÁLCULO DE EMPUJES

Para una profundidad z :

$$\sigma(z) = K\gamma z + c(K-1)\cot g\varphi$$



Obtención del coeficiente K

Empuje al reposo (K_0) $K_0 = 1 - \sin \varphi$ (s. granulares)

$K_0 = 0,5 - 0,75$ (s. cohesivos)

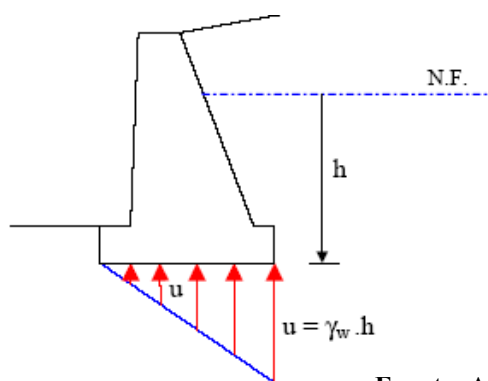
Empuje activo (K_a) $K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$

Empuje pasivo (K_p) $K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$

- Para un valor típico de $\varphi = 30^\circ$: $K_0 = 0,50$ $K_a = 0,33$ $K_p = 3,00$
- Para paramento de **trasdós inclinado**, la resultante de los empujes forma un ángulo δ con la normal al paramento.
- Si existe **nivel freático** $\Rightarrow$ Utilizar γ' y sumar el empuje del agua

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_w(z) = \gamma_w z \\ \sigma(z) = K\gamma' z + c(K-1)\cot g\varphi \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{total}(z) = \sigma(z) + \sigma_w(z)$$

Además, existe una **subpresión** bajo la cimentación, con unos valores para la presión que son función de la altura del agua a cada lado del muro:



Fuente: AA.VV., 2005

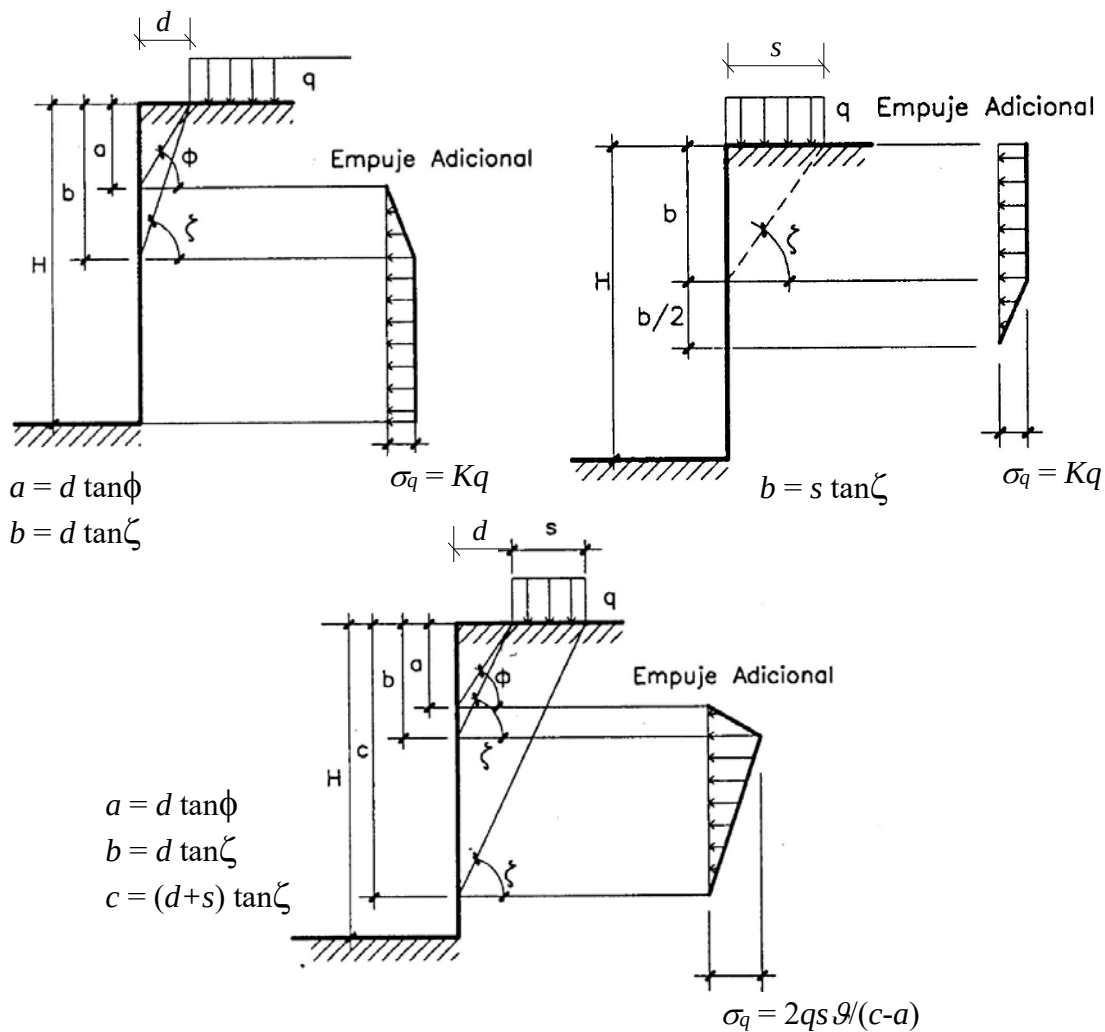
- La **fuerza de rozamiento** en la base es: $\mu N + 0,5cB$

$\mu = \operatorname{tg} \delta$ N = fuerza normal c = cohesión B = ancho de la base del muro

- Si existe **sobrecarga uniforme indefinida** q sobre la superficie del terreno, se añade una distribución uniforme:

$$\sigma_q = Kq$$

- Para el caso de **sobrecarga parcial**:



Fuente: ROM 0.5-05, 2005

$$\mathcal{G} = \frac{\sin(\zeta - \phi) \cos \delta}{\cos(\zeta - \phi - \delta)}$$

ϕ ángulo de rozamiento interno

$\zeta = 45 + \frac{\phi}{2}$ ángulo de la superficie de rotura del empuje activo

4. ARMADO Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

• DIMENSIONAMIENTO SEGÚN ELU Y ELS

Armado de una sección rectangular de hormigón armado

• ARMADURAS MÍNIMAS

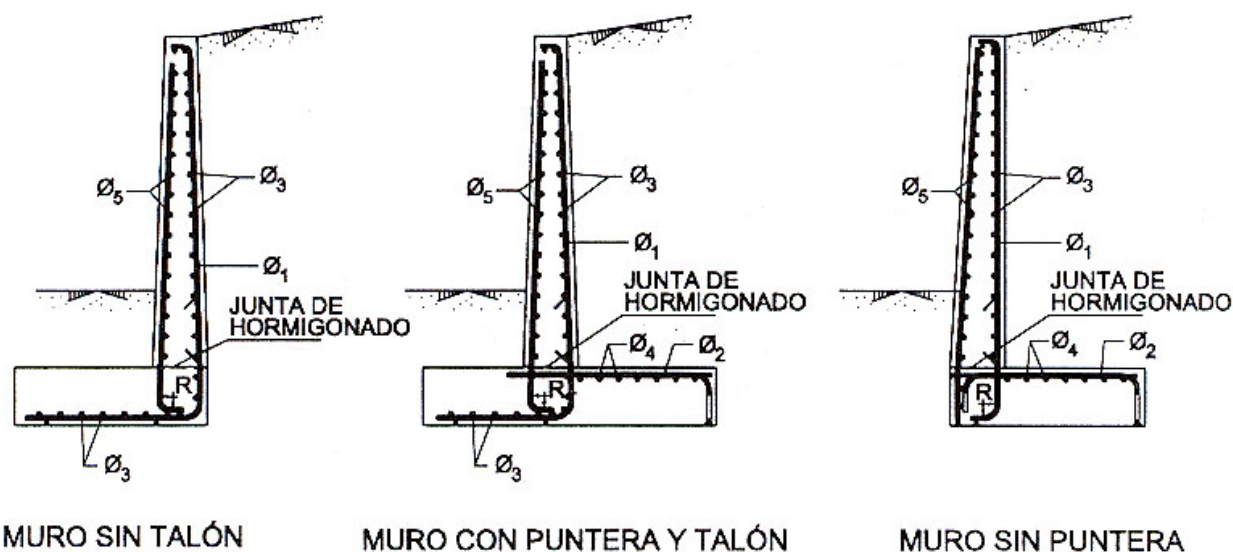
Tabla 42.3.5

Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón

Tipo de elemento estructural		Tipo de acero	
		B 400 S	B 500 S
Pilares (armadura total)		4,0	4,0
Losas ⁽¹⁾		2,0	1,8
Forjados unidireccionales	Nervios ⁽²⁾	4,0	3,0
	Arm. reparto $\perp$ nervios ⁽³⁾	1,4	1,1
	Arm. reparto $\parallel$ nervios ⁽³⁾	0,7	0,6
Vigas ⁽⁴⁾		3,3	2,8
Muros ⁽⁵⁾	Armadura horizontal	4,0	3,2
	Armadura vertical	1,2	0,9

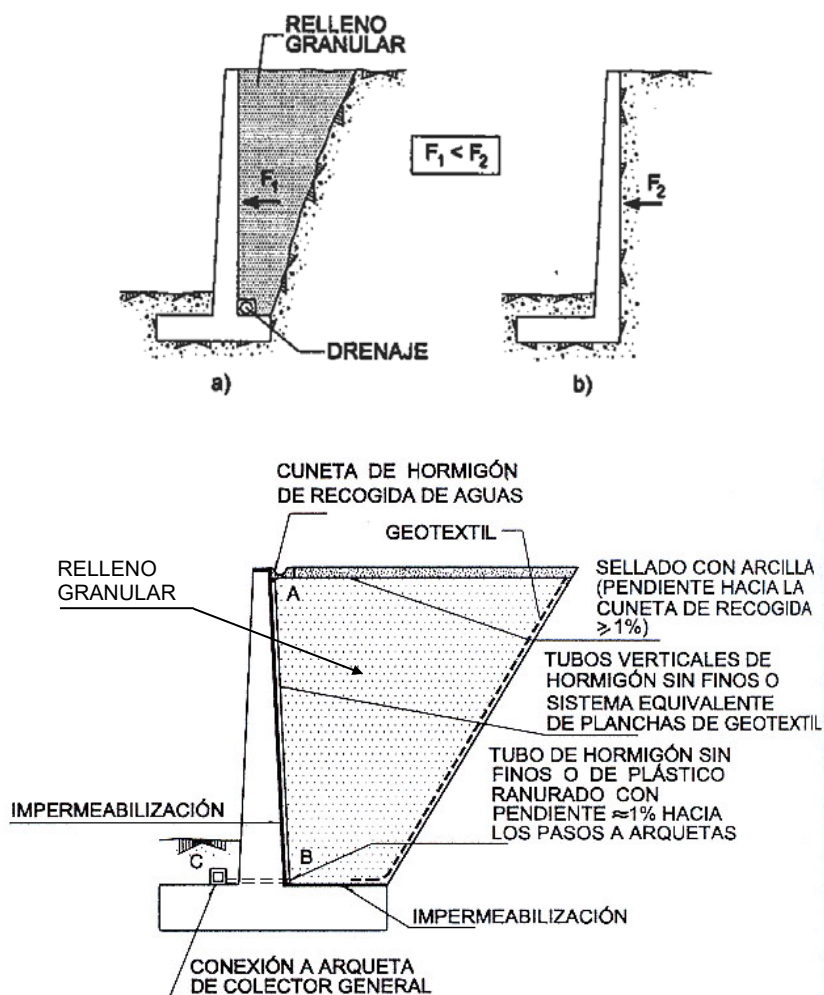
- (1) Cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal repartida en las dos caras. Para losas de cimentación y zapatas armadas, se adoptará la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.
- (2) Cuantía mínima referida a una sección rectangular de ancho b_w y canto h del forjado de acuerdo con la Figura 42.3.5. Esta cuantía se aplica estrictamente en los nervios y no en las zonas macizadas. Todas las viguetas deben tener en la cabeza inferior, al menos, dos armaduras activas o pasivas longitudinales simétricas respecto al plano medio vertical.
- (3) Cuantía mínima referida al espesor de la capa de compresión hormigonada in situ.
- (4) Cuantía mínima correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
- (5) La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura mínima igual al 30% de la consignada.
A partir de los 2,5 m de altura del fuste del muro y siempre que esta distancia no sea menor que la mitad de la altura del muro podrá reducirse la cuantía horizontal a un 2%. En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2%. La armadura mínima horizontal deberá repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara. En el caso de muros con espesores superiores a 50 cm, se considerará un área efectiva de espesor máximo 50 cm distribuidos en 25 cm a cada cara, ignorando la zona central que queda entre estas capas superficiales.

• ESQUEMAS DE ARMADO



Fuente: Calavera, 2001

• DRENAJE



Fuente: Calavera, 2001

5. PREDIMENSIONAMIENTO DE MUROS

Reglas prácticas de predimensionamiento según el blog del Dr. Víctor Yepes:

<https://victoryepes.blogs.upv.es/>

Siendo h la altura total del muro (distancia entre la parte inferior de la zapata y la parte superior del alzado), y para rangos habituales de h entre 4 y 10 m:

- Canto de la zapata y espesor del alzado: $h/10$
- Ancho de la zapata: $2h/3$
- Longitud del talón: $h/5 + 1 \text{ m}$
- Volumen hormigón en proporción 3:2 entre alzado y zapata: $h^2/6$
- Acero: 60 kg/m^3 de hormigón