



POLITÉCNICA

“Ingeniamos el futuro”

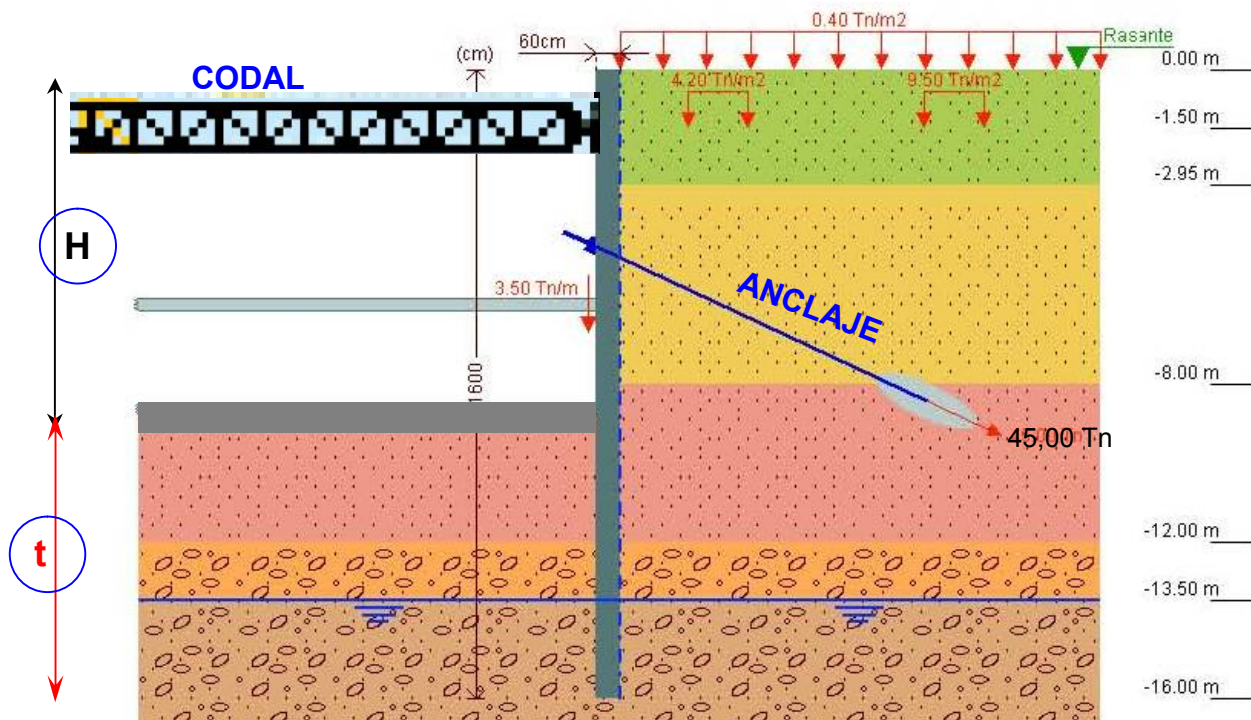
CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL



E.T.S.E.M.

Escuela Técnica Superior de Edificación Madrid

MUROS PANTALLA DE HORMIGÓN: método de Blum



Son estructuras de retención del tipo flexible.

Cumplen su función estabilizadora experimentando deformaciones apreciables de flexión.

Estas deformaciones influyen en la distribución y magnitud de los empujes .

Información técnica para el Proyecto:

1. Características del terreno.
2. Solicitaciones que ha de soportar.
3. Condiciones del entorno.
4. Tipos posibles de solución.
5. Fases de ejecución.
6. Comprobaciones y controles en obra.

La elección de la solución en cada caso, es consecuencia del correcto análisis y estudio de todos los aspectos anteriores

Predimensionado:

El predimensionado del espesor de la pantalla se suele realizar con $H / 20$. Siendo H la profundidad de la excavación. El espesor usual de la pantalla está entre los 45 y los 150 cm. (una serie comercial en cm puede ser: 45 - 60 - 80 - 100 - 125 - 150)

(algunos programas informáticos como Cype limitan el ancho a un metro) 🐸

Como longitud total de la pantalla $H + t$ puede tomarse como referencia: 2 H a 3 H.

MUROS PANTALLA DE HORMIGÓN

Métodos de Análisis de pantallas:

Actualmente, para el diseño de las pantallas se pueden utilizar diversos métodos de cálculo, que pertenecen a los siguientes tipos:

1. **Métodos de estado límite.**
 2. **Métodos semi-empíricos.**
- Métodos manuales para la 1ª aproximación
3. Métodos de tensión-deformación. (**módulo de Winkler** con coeficientes de balasto)
 4. Métodos de elementos finitos.

Los métodos de estado límite son los que contemplan una situación de la pantalla en la que el terreno ha alcanzado su estado límite de resistencia, alejándonos de dicha situación mediante los adecuados coeficientes de seguridad.

Los métodos semi-empíricos son parecidos a los anteriores, pero con modificaciones de los empujes basadas en ensayos en modelo reducido, o en ensayos a gran escala, o en los resultados de la experiencia práctica.

Los métodos basados en el binomio: tensión-deformación se diferencian de los anteriores en que para la determinación de los empujes sobre la pantalla, tienen en cuenta la deformación del terreno.

Estos métodos se aplican mediante programas en ordenador. (Tricalc, Cype etc...)

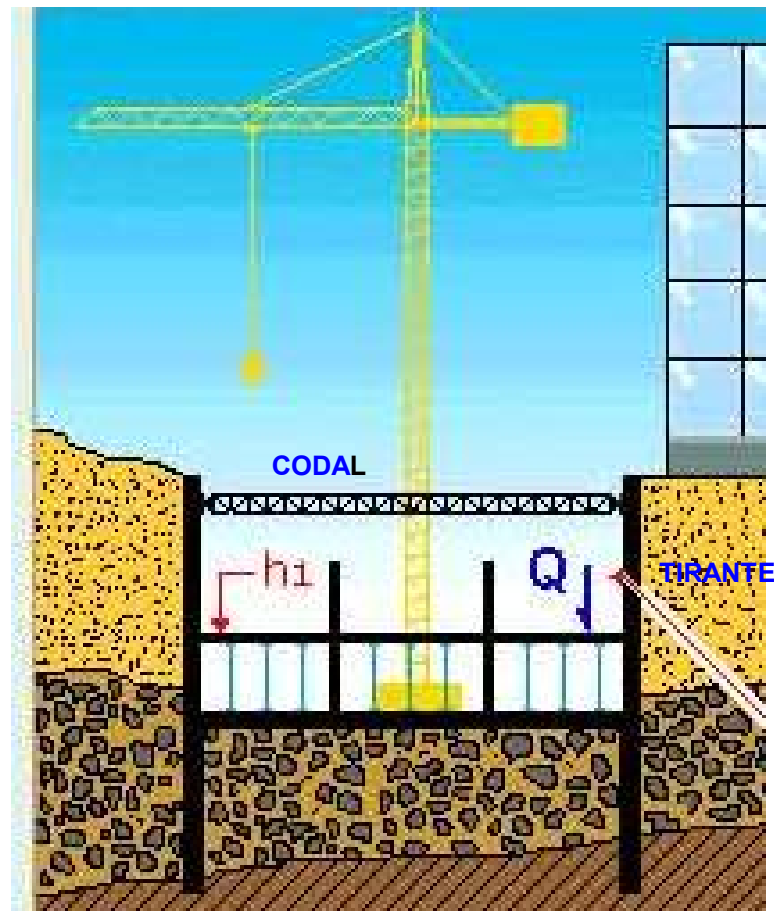
Finalmente, los métodos por elementos finitos permiten analizar el problema con toda generalidad y se acercan en mayor medida al comportamiento real de la pantalla. No obstante, estos métodos son también aproximados, debido a las limitaciones del modelo matemático de cálculo, .

Método de los estados límite:

El contemplado en el presente estudio.

La pantalla debe verificar

1. Situación adecuada (planta y alzado) respecto al entorno.
2. Resistencia estructural del muro pantalla y de su arriostramiento. (codales y tirantes)
3. Seguridad frente al hundimiento o rotura del terreno.
4. Asientos y movimientos de la pantalla compatibles con la propia estructura.
5. Repercusión en las estructuras próximas.



Acciones del terreno en el trasdos – intrados del muro pantalla

Comprobaciones de cálculo en las pantallas:

1. Estabilidad del muro pantalla frente a empujes y cargas verticales.
2. Estabilidad de los elementos de arriostramiento. (codales y tirantes)
3. Estabilidad del fondo de la excavación por rotura o sifonamiento por nivel freático.
4. Estabilidad del conjunto.
5. Evaluación y control del riesgo de daños en las edificaciones próximas.

1. Estabilidad del la pantalla:

Se tratará, ahora, con detalle, el cálculo del muro pantalla frente a los empujes del terreno, a partir del cual se obtiene el primer dimensionamiento.

El estudio de la pantalla frente a cargas verticales es análogo al de una cimentación profunda mediante pilotes, con las diferencias propias que se derivan de su configuración.

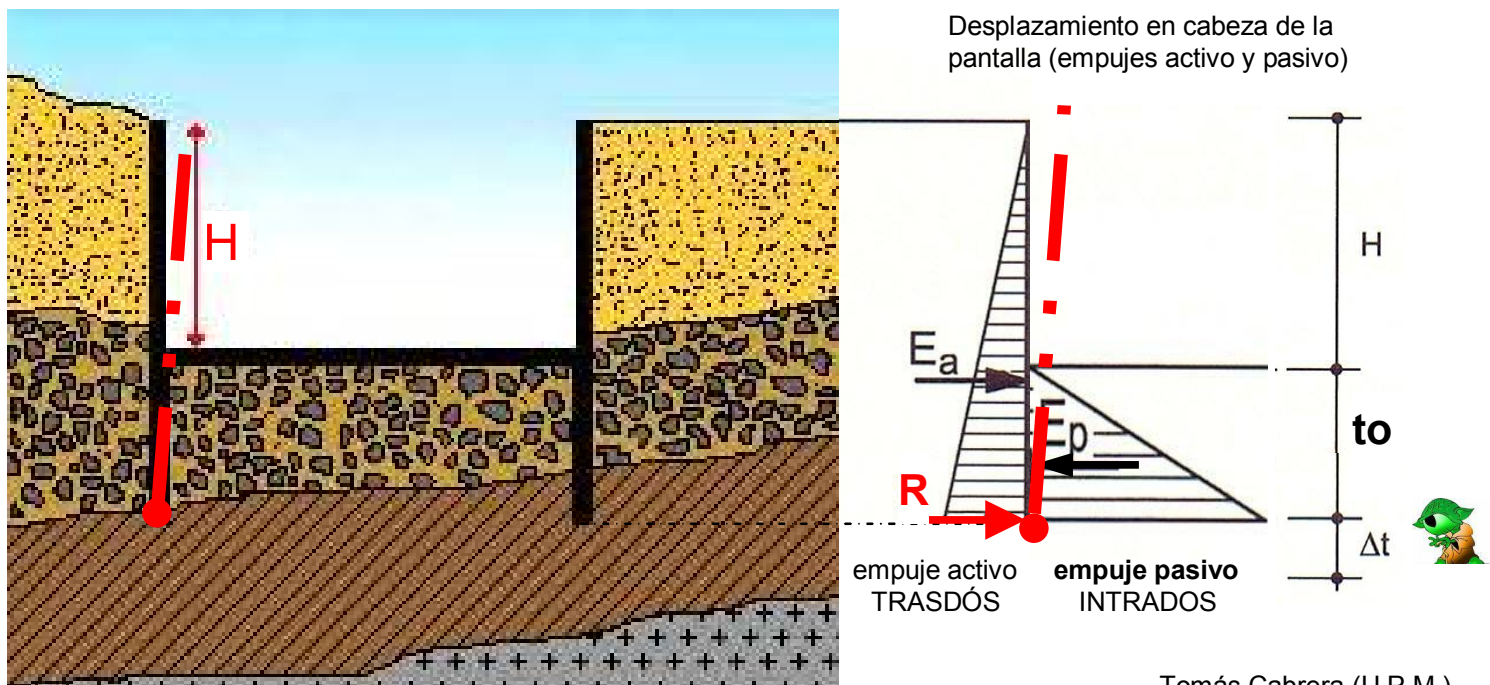
Acciones del terreno que intervienen en el cálculo.

En los métodos de estado límite se supone que, al efectuar la excavación:

- 1/ El terreno que inicialmente se encontraba en un estado de empuje en reposo, pasa al estado límite de empuje activo en el trasdós del muro pantalla.

(Debe hacerse la observación de que la situación de empuje activo se alcanza con relativa facilidad en el caso de pantallas hormigonadas in situ, ya que durante la perforación de los paneles, se permite el movimiento suficiente del terreno para alcanzar dicho estado, tal y como se ha constatado en la realidad.)

- 2/ En el intrados y por debajo del fondo de la excavación se alcanza estado límite de empuje pasivo



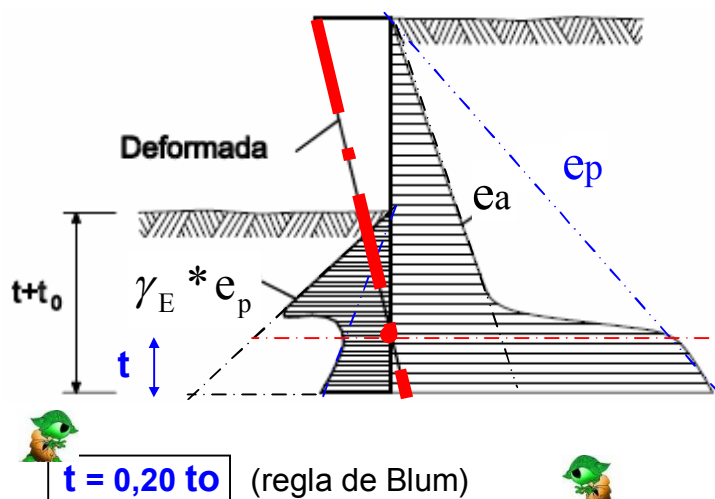
1º EMPUJES SOBRE PANTALLAS

En general la **fase crítica de la vida de la pantalla es la de ejecución**. Siendo el peso propio de la pantalla un factor de influencia muy escasa o nula. Para el caso habitual de terreno horizontal, los diferentes empujes que se consideran en el cálculo, son los siguientes:

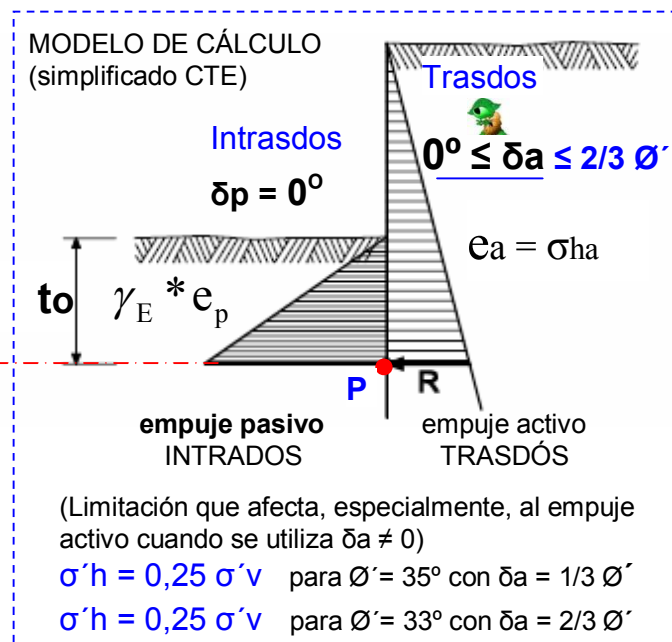
Trasdós:

Como **empuje activo**, se considerará el empuje de Coulomb (CTE), es tradición considerar rozamiento nulo entre pantalla y terreno $\delta a = 0^\circ$, (con lo que resulta entonces el empuje de Rankine, que está del lado de la seguridad). Si se realiza un cálculo más fino y se considera el rozamiento terreno muro en el trasdós, entonces el ángulo $\delta a \leq 2/3 \phi'$. (Con lodos tixotrópicos $\delta a = 0^\circ$)

También se ha de tener en cuenta la presencia del agua por nivel freático y las sobrecargas superficiales próximas (calzadas, edificaciones etc.)



Además CTE: $\sigma'_{ha} \geq 0,25 \sigma'_{hv}$ ($\phi' \leq 37^\circ$)



Intrasdós:

En cuanto al **empuje pasivo**, se considerará la hipótesis del empuje de Rankine con rozamiento nulo entre pantalla y terreno $\delta p = 0$ (CTE).

Además el empuje de cálculo se reduce a **0,6** (algo menos de 2/3) del valor máximo posible, como seguridad adicional, por la dificultad de movilizar en la práctica todo el empuje pasivo. (Estos son los criterios seguidos en CTE).

Nota: Se reduce el coeficiente de empuje pasivo a 0,6 de su valor. máximo
NO se reduce el ángulo de rozamiento interno a 2/3 del real tal como se hace en la comprobación a deslizamiento en los muros de contención y sótano.

Tabla 2.1. Coeficientes de seguridad parciales

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
Persistente o transitoria	Pantallas				
	<u>Estabilidad fondo excavación</u>	1,0	2,5 ⁽⁶⁾	1,0	1,0
	Sifonamiento	1,0	2,0	1,0	1,0
	Rotación o traslación				
	<u>Equilibrio límite</u>	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0
	Modelo de Winkler	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0
	Elementos finitos	1,0	1,5	1,0	1,0

⁽⁷⁾ Afecta al empuje pasivo

Tomás Cabrera (U.P.M.)

PANTALLAS EN VOLADIZO

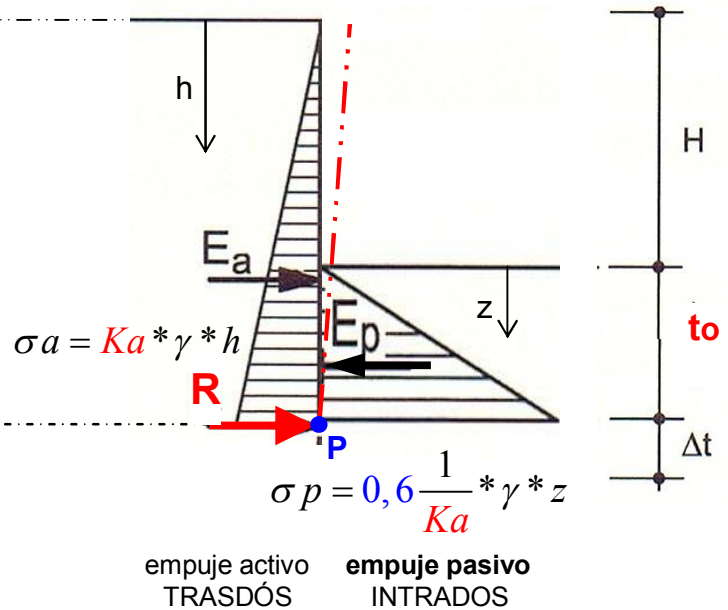
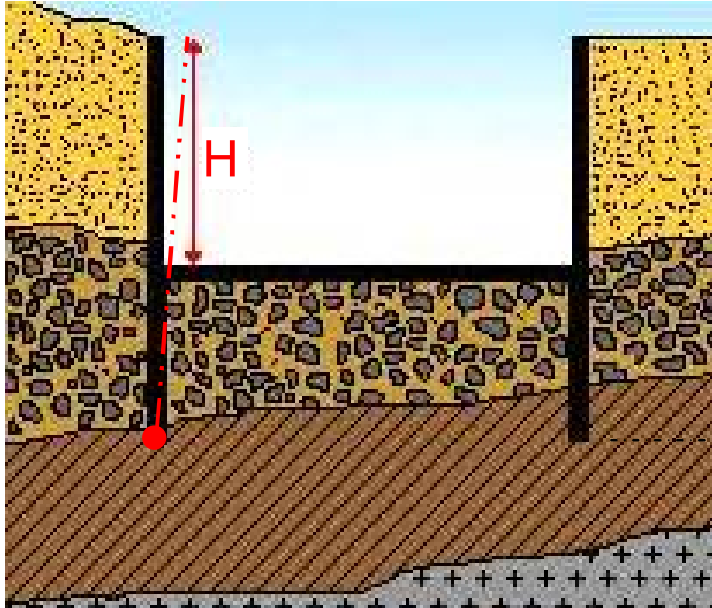
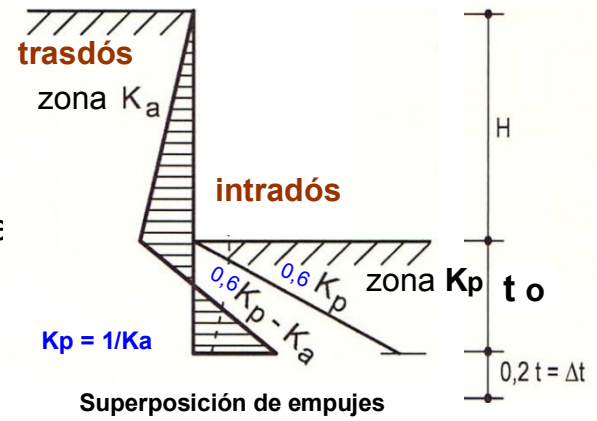
El método de cálculo se debe a H. Blum (1931). Propone un modelo isostático de análisis límite que toma como incógnitas.

t_o = parte de la pantalla enterrada. } Incógnitas
R = reacción en la base de la pantalla. }

Para el análisis límite del equilibrio utiliza dos ecuaciones

Σ fuerzas horizontales = 0. es decir: $R + E_a + E_p = 0$

Σ momentos en el punto **P** = 0



Con un terreno homogéneo en altura y sin nivel freático, tenemos:

Valores máximos de las leyes de tensiones con teoría de Rankine:

$$\sigma_{a_{\max}} = K_a * \gamma * (H + t_o) \qquad \sigma_{p_{\max}} = 0,6 * \frac{1}{K_a} * \gamma * t_o$$

Σ fuerzas horizontales = 0. es decir: $R + E_a + E_p = 0 \rightarrow R = E_p - E_a$

$$E_p = \frac{1}{2} * 0,6 * \frac{1}{K_a} * \gamma * t_o^2 \qquad E_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * (H + t_o)^2$$

Σ momentos en el punto **P** = 0

$$\frac{1}{6} * \gamma * K_a * (H + t_o)^3 = \frac{1}{6} * \gamma * \frac{0,6}{K_a} * t_o^3$$

Despejando la variable **t** queda en general una ecuación cúbica de la forma:

$$t_o^3 * \left(1 - \frac{0,6}{K_a}\right) + t_o^2 * (3H) + t_o * (3H^2) + H^3 = 0$$

Ecuación que es necesario plantear y resolver para cada caso concreto.



PANTALLAS EN VOLADIZO

Para el caso propuesto, con terreno homogéneo y sin nivel freático, la única raíz positiva es:

$$t_o = \frac{H}{\left(\sqrt[3]{\frac{0,6 * K_p}{K_a}}\right) - 1}$$

Tradicionalmente como medida de seguridad adicional la longitud total enterrada debe tomarse igual a: $\Delta t + t_o = 1,20 t$.

Es decir $\Delta t = 0,2 t_o$ (también recogido por CTE)

Ejemplo para terreno homogéneo y alturas H entre 3 y 6 m:

Terreno homogéneo	H = 3 m	H = 4 m	H = 5 m	H = 6 m
$\phi = 30^\circ$ $t_o = 1,33 H$	3,98	5,30 m	7,02 m	7,95 m
$t_o + t = 1,20 t_o$	4,8 m	6,40 m	8,45 m	9,55 m
$\phi = 20^\circ$ $t_o = 2,81 H$	8,42 m	11,22 m	14,02 m	16,83 m
$t_o + t = 1,20 t_o$	10 m	13,50 m	16,85 m	20,20 m

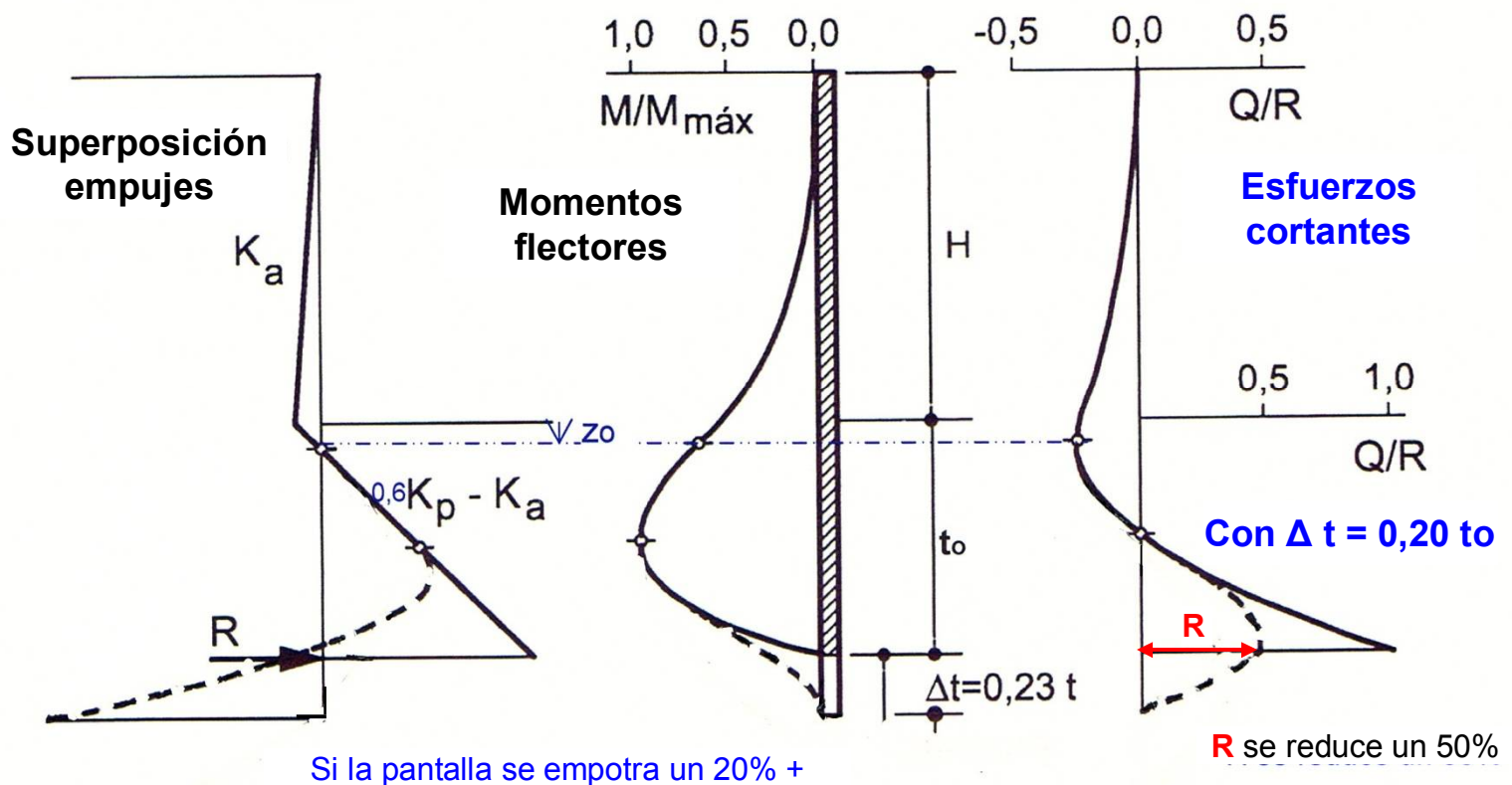
Leyes de Esfuerzos debidas al empuje del terreno:

1/ **Máximo relativo de la ley de Esfuerzo cortante.** (No cortante máximo, que es = **R**)

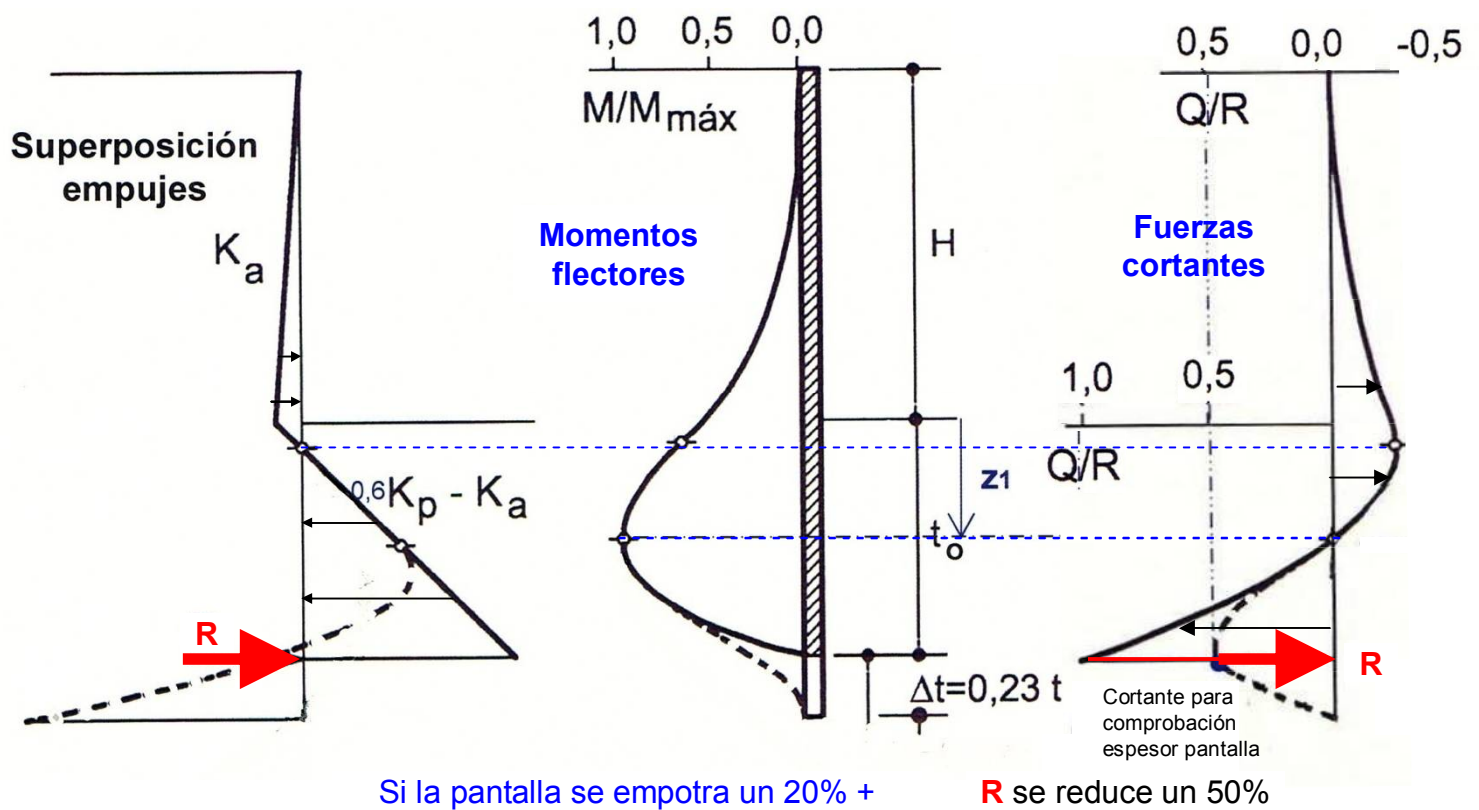
Se produce donde el empuje unitario es nulo ($e = 0$), a la profundidad z_o bajo el fondo de excavación: $K_a * \gamma * (H + z_o) - [0,6 K_p * \gamma * z_o] = 0$

$$z_o = H * \frac{1}{\left(\frac{0,6}{K_a}\right) - 1}$$

$$Q_{\max,r} = \frac{1}{2} * \gamma * \frac{0,6}{K_a} * \frac{H^2}{\left(\frac{0,6}{K_a}\right) - 1}$$



PANTALLAS EN VOLADIZO



El mayor valor del esfuerzo cortante aparece en la base con un valor teórico igual a **R**. Sin embargo, el aumento de la longitud de la pantalla en un 20% reduce el valor máximo del cortante aproximadamente en un 50 %. Es con este valor reducido con el que se comprueba el espesor de la pantalla, ya que no es adecuado disponer armaduras de cortante.

2/ Momento flector máximo.:

Se produce donde el esfuerzo cortante es nulo ($Q = 0$), a la profundidad z_1 bajo el fondo.

$$z_1 = H * \frac{1}{\left(\sqrt[2]{\frac{0,6}{Ka^2}} \right) - 1}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{2} * \gamma * \frac{0,6}{Ka} * \frac{H^3}{\left(\left(\sqrt[2]{\frac{0,6}{Ka^2}} \right) - 1 \right)^2}$$

En la figura se recoge en primer lugar, el resultado de un cálculo efectuado por el método de Blum, representando de manera adimensional las leyes de empujes unitarios, esfuerzos cortantes y momentos flectores.

La seguridad al utilizar el modelo de Blum se introduce, según CTE, de manera doble en el método.

Por un lado **aumentando la profundidad de pantalla en un 20%** (Blum) y por otro reduciendo el **empuje pasivo a 0,6 de su valor máximo (CTE)**. (esto último lleva consigo un aumento de los momentos flectores, que no se dan en la realidad, por lo que algunos autores no lo comparten).

Si interesa reducir los movimientos de la pantalla, entonces, aumentar la profundidad de la pantalla y aumentar el espesor, colaboran a aumentar su rigidez y a reducir en consecuencia los movimientos de la pantalla

PANTALLA CON UN APOYO

La pantalla arriostrada requiere menos longitud de empotramiento y está sometida a menores esfuerzos, siendo más conveniente cuando hay edificaciones próximas, pues en general, los movimientos disminuyen. Para el cálculo de pantallas con un apoyo, existen dos métodos, denominados:

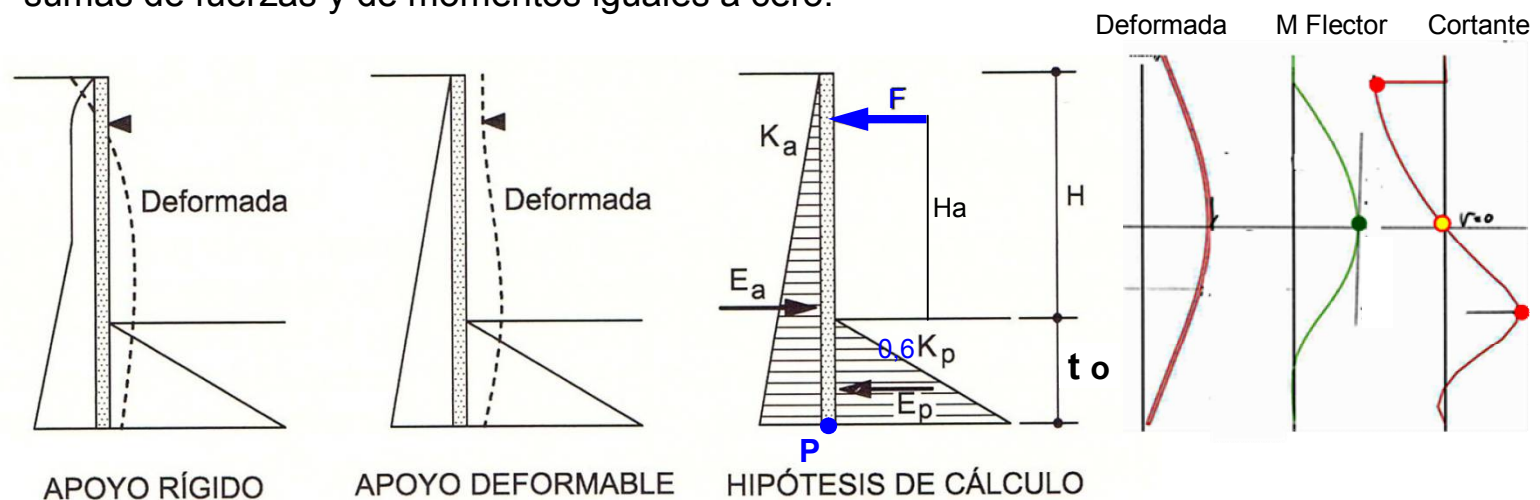
1/ **Método del soporte apoyado o libre.** (Hagerty y Nofal 1992)

2/ **Método del soporte empotrado .**

1/ **Método del soporte libre.** (llamado también método americano).



Este método, cuyo esquema de cálculo aparece en la figura inferior, está estáticamente determinado, ya que tiene dos incógnitas, la profundidad de empotramiento **t_o** y la reacción en el apoyo **F** y disponemos de las dos ecuaciones de equilibrio anteriormente indicadas, sumas de fuerzas y de momentos iguales a cero.



Las ecuaciones de equilibrio son:

Σ fuerzas horizontales = 0. es decir: $F + E_a + E_p = 0$

$$\frac{1}{2} * K_a * \gamma * (H + t_o)^2 = F + \left[\frac{1}{2} * \frac{0,6}{K_a} * \gamma * t_o^2 \right]$$

Σ momentos en el punto **P** = 0

$$\frac{1}{6} * \gamma * K_a * (H + t_o)^3 = F * (H_a + t_o) + \frac{1}{6} * \gamma * \frac{0,6}{K_a} * t^3$$

La ecuación de momentos puede hacerse también tomando momentos respecto al apoyo. De esta manera es nulo el momento de la fuerza **F** y desaparece de la ecuación.

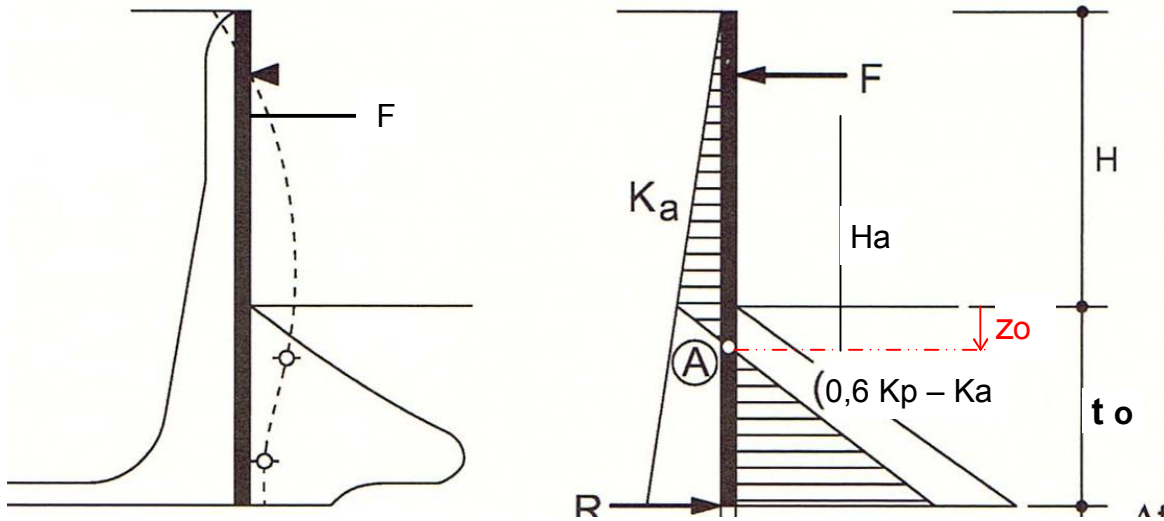
El resultado vuelve a ser una ecuación cúbica de incógnita **t_o**, que hay que resolver en cualquier caso.

La longitud enterrada de la pantalla ha de ser: **t_o + t = 1,20 t_o**

PANTALLA EMPOTRADA CON UN APOYO

2/ Método de soporte empotrado. (llamado también método europeo).

Este método toma en consideración el hecho de que, cuando la profundidad de empotramiento aumenta, **aparece un cierto momento de empotramiento en la base** utiliza la hipótesis de Blum (el punto de momento nulo coincide aproximadamente con el punto de empuje nulo a la profundidad z_0).



Ⓐ Punto de empuje nulo donde se supone $M = 0$

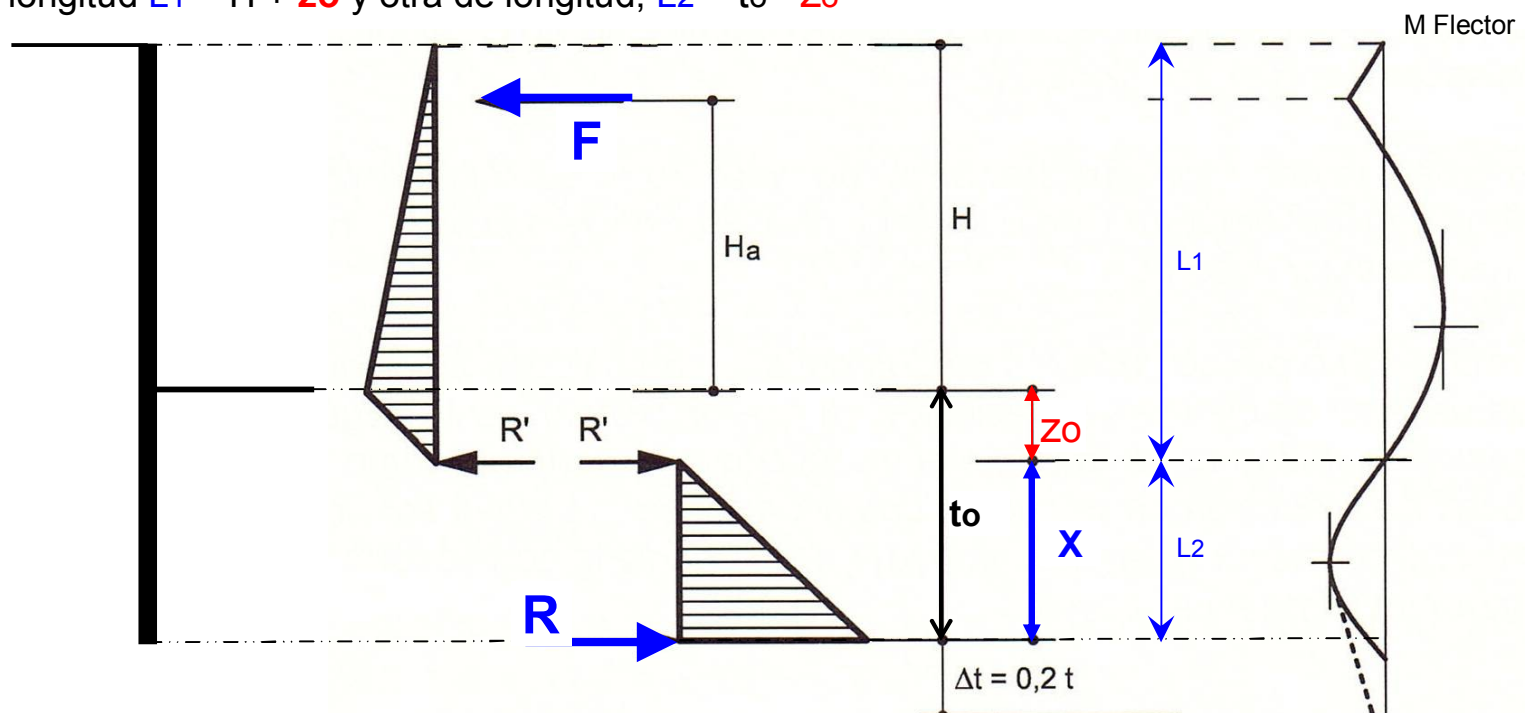
Primero cálculo de z_0

En terreno homogéneo este punto está situado a la profundidad: $z_0 = H * K_a / (0,6 K_p - K_a)$

Con la teoría de Rankine: $K_p = 1/K_a$, también: $z_0 = H * \frac{1}{\left(0,6 / K_a^2\right) - 1}$

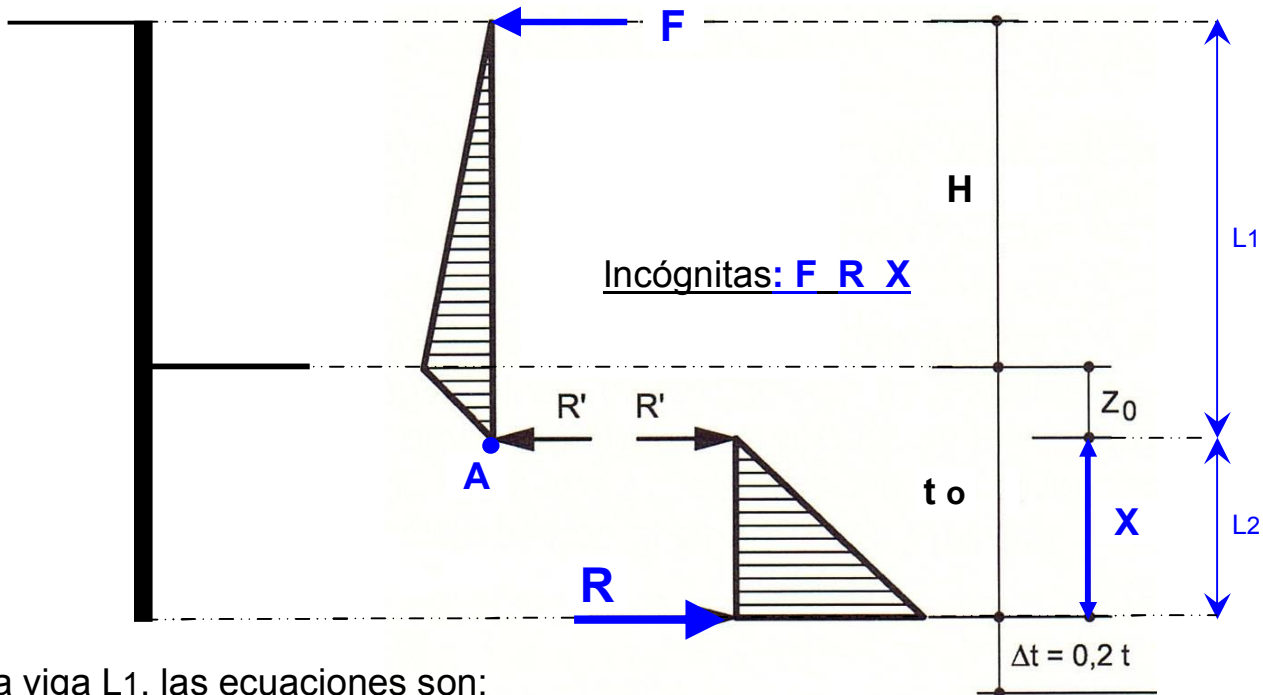
En este caso las incógnitas son: además de t_0 ($z_0 + X$) y F como en el método del apoyo libre, la reacción en la base R .

El equilibrio límite se plantea considerando por separado el equilibrio de dos vigas, una de longitud $L_1 = H + z_0$ y otra de longitud, $L_2 = t_0 - z_0$



PANTALLA EMPOTRADA CON UN APOYO

Cuando el apoyo esta en cabeza $H_a = H$ y el terreno es homogéneo, teniendo en cuenta que por ser triangular la ley de cargas en la viga L2, se verifica que $R = 2R'$.



En la viga L1, las ecuaciones son:

$$\Sigma \text{ momentos en el punto } A = \bullet \quad F = \frac{1}{6} * K_a * \gamma * H * \left(\frac{H^2 + 3H z_0 + 2z_0^2}{H + z_0} \right)$$

$$\Sigma \text{ fuerzas horizontales} = 0 \quad R' + F - E_a = 0 \quad R' = \frac{1}{6} * K_a * \gamma * H * \left(\frac{2H^2 + z_0^2 + 3H z_0}{H + z_0} \right)$$

En la viga L2, la ecuación es:

$$\Sigma \text{ fuerzas horizontales} = 0. \text{ es decir: } R' + R - E_p = 0 \quad E_p = \frac{1}{2} * 0,6 * K_p * \gamma * x^2$$

$$X = \sqrt[2]{\frac{6R'}{\gamma * \left(\frac{0,6}{K_a} - K_a \right)}}$$

La longitud total enterrada de la pantalla ha de ser:
 $t_o + t = 1,20 t_o = (z_0 + x) * 1,2$

Con este método, en comparación con el de base libre, se obtiene mayor profundidad de empotramiento, menor reacción en el apoyo y menor momento flector máximo

Los dos métodos de cálculo no son distintos, sino que responden a distintas situaciones.

Si partimos como dato de un valor arbitrario **F** en el apoyo, las situaciones son:

- 1/ **Método del voladizo** con **F = 0** (situación extrema mínimo valor de F)
- 2/ **Método del soporte empotrado** con valor F intermedio. (situación intermedia)
- 3/ **Método del soporte libre** con **F = máximo** en el apoyo. (situación extrema máximo valor de F). (método americano)

PANTALLAS CON VARIOS APOYOS

En este caso, el problema se encuentra estáticamente indeterminado y se complica además, al no desarrollarse exactamente las leyes teóricas de empuje que dependen de los movimientos absolutos y relativos de los apoyos.

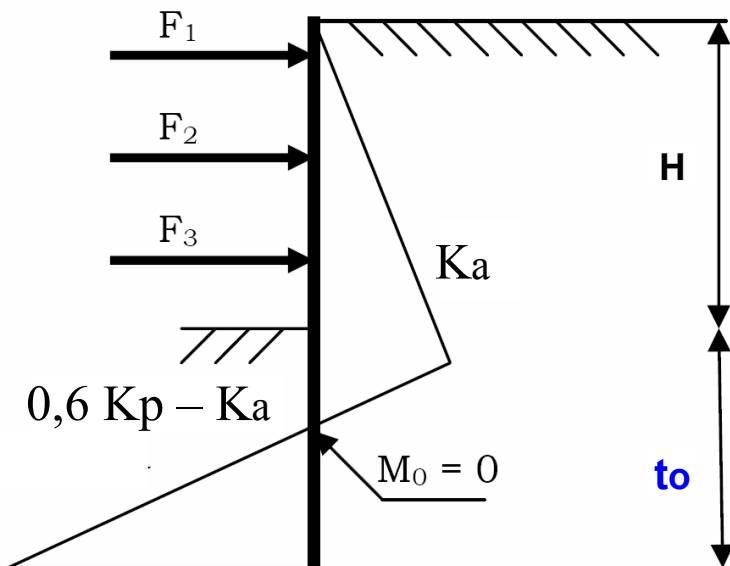
Todo ello está influido fundamentalmente por el proceso constructivo de excavación y colocación de arriostramientos, proceso que no puede evitar el movimiento del terreno.

Resulta pues muy difícil dar normas empíricas sobre el método de cálculo.

Lo más frecuente es considerar los empujes tal como se ha indicado en los apartados anteriores.

En esta hipótesis, es frecuente realizar una comprobación de la pantalla como viga continua, lo que supone que existe alineación de los apoyos.

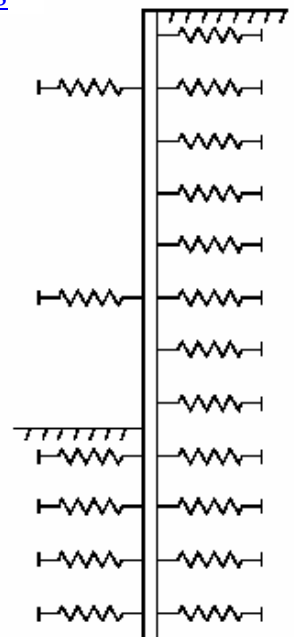
Modelo de viga continua apoyo en puntos fijos



Modelo de Winkler apoyo sobre muelles



Emil Winkler 1835 –1888



Si éstos fueran muy flexibles y mantuvieran la carga constante, podría casi afirmarse que la pantalla se deformaría hasta que el terreno empujara con la ley inicialmente supuesta.

Concretamente en este ejemplo:

Este sistema resulta conservador para la situación final.

Sin embargo hay que tener en cuenta las fases de excavación.

Esto es, una posible fase de excavación en voladizo antes de colocar el primer apoyo.

También en la fase siguiente en que sólo actúa éste, antes de colocar el segundo, ya que durante esas fases los esfuerzos en la pantalla y anclaje pueden ser superiores (o de distinto signo) que los obtenidos en el calculo representativo de la solución final

Con la ayuda del ordenador (programas Cype y Tricalc) pueden utilizarse modelos basados en el módulo de Winkler para el estudio de la deformabilidad y estabilidad de la pantalla. La pantalla se modeliza como una viga elástica sobre muelles.

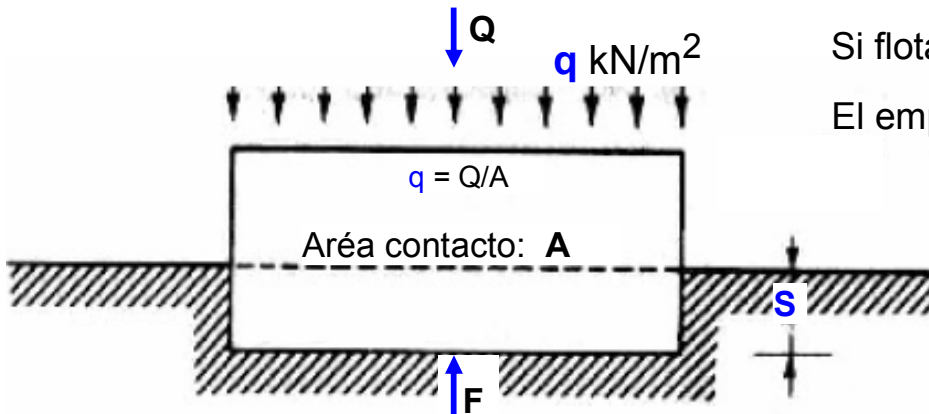
Semiespacio de Winkler

Este semiespacio elástico esta basado en la teoría del coeficiente de balasto, debida Winkler (1875), donde el asiento vertical “s” de la superficie sometida a presión “q”, es proporcional a esta.

El coeficiente de balasto es: $K_s = q / s$. Es la constante de proporcionalidad, con dimensiones de peso específico.

$$K_s \text{ (KN/m}^3\text{)} = q \text{ (KN/m}^2\text{)} / s \text{ (m)}$$

Una cimentación sometida a una presión uniforme “q” se hunde en el semiespacio de Winkler como si flotase en un líquido de densidad K_s .



Si flotase en un líquido de densidad K_s

El empuje ascendente: $F = A * s * K_s$

$$\sigma = s * K_s$$

$$K_s = \sigma / s$$

El valor del módulo de balasto o de Winker se determina experimentalmente “in situ” en el terreno a cimentar mediante ensayos de placa de carga.

La placa utilizada originalmente era de 30 x 30 cm (12 x 12 pulgadas) y a su valor se le denomina: K30 . Actualmente en el ensayo estático se usan placas circulares: $\varnothing = 30 \text{ cm}$, $\varnothing = 60 \text{ cm}$ y $\varnothing = 76,2 \text{ cm}$. También está normalizado el ensayo dinámico más fácil de realizar.



Ensayo dinámico



Ensayo estático

E.5 Modelos de interacción. Módulo de balasto

1 El módulo de balasto k_s se define como el cociente entre la presión vertical, q , aplicada sobre un determinado punto de un cimiento directo y el asiento, s , experimentado por dicho punto:

$$k_s = \frac{q}{s} \tag{E.5}$$

2 El módulo de balasto así definido, tiene unidades de densidad, lo que indica que la hipótesis efectuada equivale a suponer que el terreno es un líquido de densidad k_s , sobre el que “flota” la cimentación.

3 La estimación del módulo de balasto podrá realizarse:

- a) A partir de ensayos de carga con placa (véase tabla D.7). De acuerdo con los efectos descritos en el apartado E.4.2 y dado que las placas de ensayo son necesariamente de pequeño tamaño, se debe prestar especial atención a la conversión del módulo obtenido en el ensayo, k_{sp} , al módulo de cálculo representativo de la anchura, B , real del cimiento, k_{sB} . A este respecto se recomienda emplear placas de diámetro equivalente igual o superior a 60 cm.
- b) A partir de la determinación de parámetros de deformabilidad representativos del terreno bajo la zona de influencia de la cimentación, ya sea mediante ensayos in situ o de laboratorio, y el posterior cálculo geotécnico de asientos.

4 La conversión del módulo para placa de 30 cm, k_{s30} , al coeficiente de referencia, k_{sB} , se puede obtener mediante las siguientes expresiones: (véase tabla D.29)

5 Para zapata cuadrada de ancho B:

a) Para terrenos cohesivos:

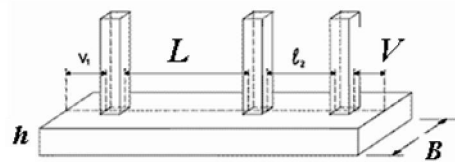
$$k_{sB} = k_{sp30} \frac{0,3}{B} \qquad K_{sp30} \text{ en N/cm}^3$$

b) Para terrenos granulares:

$$k_{sB} = k_{sp30} \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2 \qquad \text{ancho B en m}$$

6 Para zapata rectangular de ancho B, en cualquier tipo de terreno

$$k_{sBL} = k_{sB} \left(1 + \frac{B}{2L} \right)$$



Zapatas combinadas

$$L \leq \frac{\pi}{2} * \sqrt[4]{\frac{4 * E_c * I}{K_{sB} * B}}$$

$$V \leq \frac{\pi}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * E_c * I}{K_{sB} * B}}$$

$$I = B * h^3 / 12$$

J.Calvera recomienda $E_c = 20000 \text{ N/mm}^2$

Tabla D.29. Valores orientativos del coeficiente de balasto, K_{30}

Tipo de suelo	K_{30} (MN/m ³)	K_{30} (N/cm ³)
Arcilla blanda	15 – 30	
Arcilla media	30 – 60	
Arcilla dura	60 – 200	
Limo	15 – 45	
Arena floja	10 – 30	
Arena media	30 – 90	
Arena compacta	90 – 200	
Grava arenosa floja	70 – 120	
Grava arenosa compacta	120 – 300	
Margas arcillosas	200 – 400	
Rocas algo alteradas	300 – 5.000	
Rocas sanas	>5.000	

Ensayo de carga con placa⁽¹⁾
ENV-199-3

Modulo de balasto CTE

7 La conversión del módulo para placa de 60 cm (k_{sp60}) al coeficiente de referencia k_{sB} se puede obtener mediante las siguientes expresiones:

8 Para zapata cuadrada de ancho B:

a) Para terrenos cohesivos:

$$k_{sB} = k_{sp60} \frac{0,6}{B} \quad (E.9)$$

b) Para terrenos granulares:

$$k_{sB} = \frac{k_{sp60}}{\left(\frac{0,6 + 0,3}{2 \cdot 0,6}\right)^2} \left(\frac{B + 0,3}{2B}\right)^2 \quad (E.10)$$

k_{sp60} en N/cm^3 ancho B en m



9 Para la cimentación de losas y emparrillados la fiabilidad de los módulos de balasto obtenidos a partir de ensayos de carga puede resultar insuficiente, dados los efectos de escala implicados (véase el apartado E.4.2). En estas circunstancias, se recomienda recurrir a la comprobación de dichos módulos siguiendo los criterios del párrafo 3.b) anterior o, alternativamente, recurrir al empleo de métodos y modelos del terreno más avanzados.

10 La observación anterior puede cobrar especial importancia en el caso de existir terrenos heterogéneos en la vertical (terrenos estratificados), cuando bajo un estrato rígido surge otro más deformable. En estas circunstancias (véase la Figura E.8) el reducido bulbo de tensiones de la placa de ensayo puede quedar limitado a las zonas más competentes del terreno, y no reflejar la deformabilidad del conjunto terreno-cimentación.

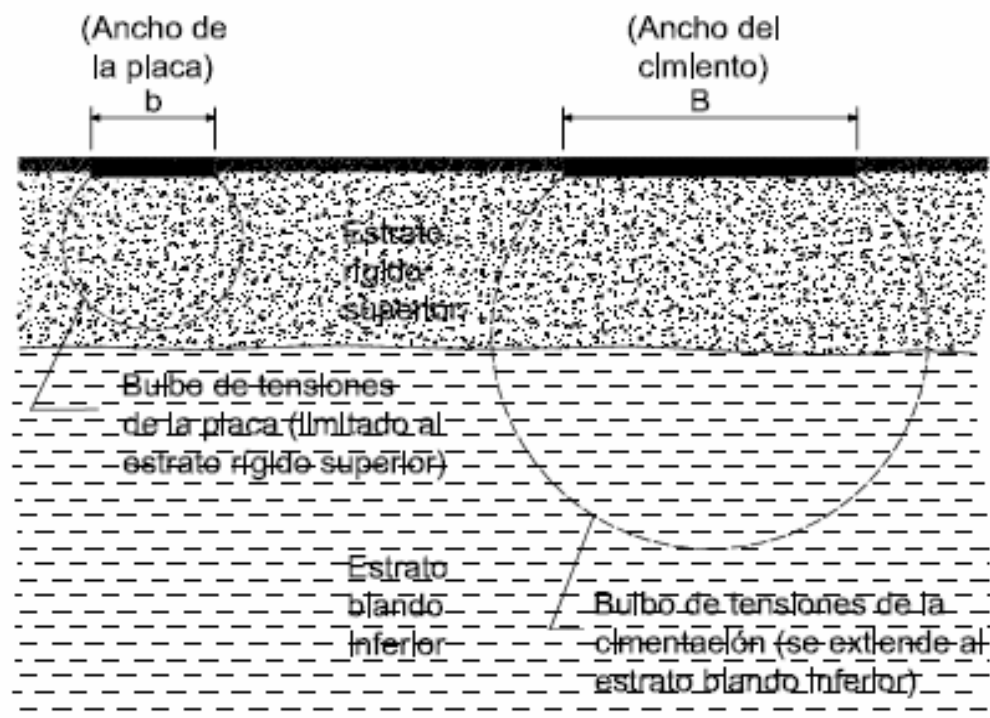
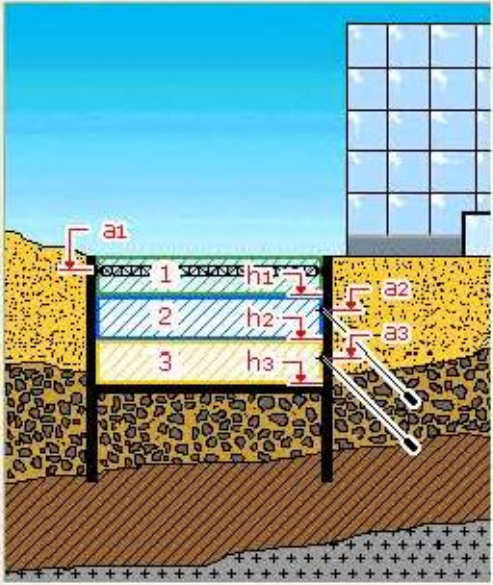


Figura E.8. Limitaciones del ensayo de carga con placa en terrenos estratificados

Etapas intermedias en pantallas con varios apoyos.

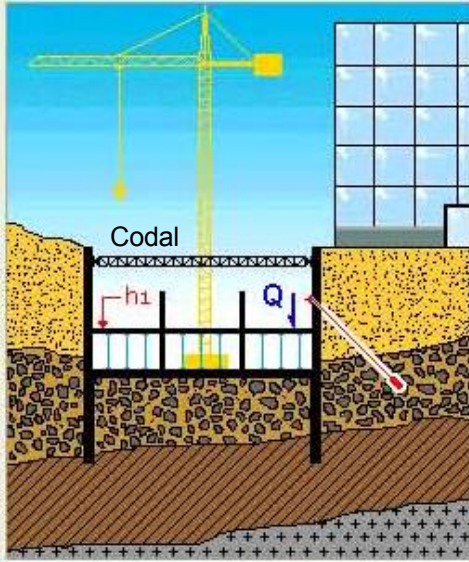
Etapas intermedias de excavación



Etapas	Cota excavación (h)	Tipo anclaje	Cota anclaje (a)
1	-3,00	Codal	-1,50
2	-6,00	Anclaje provisional	-4,50
3	-8,90	Anclaje provisional	-7,50

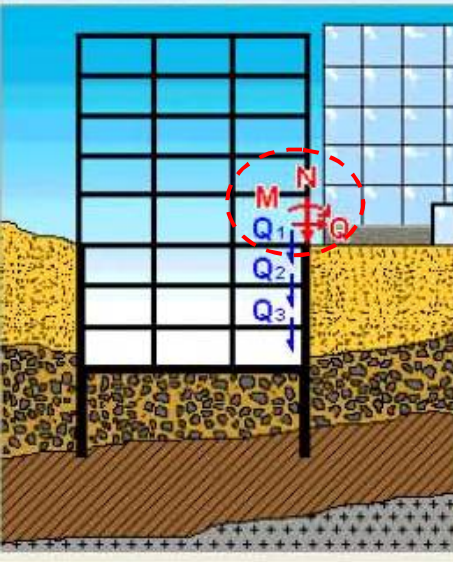
Cancelar < Anterior Siguiendo > Terminar

Forjados (fases de construcción)



Forjado	Cota superior (h)	Canto
1	0.00	30
2	-2.70	30
3	-5.40	30
4	-8.10	80

Fase de servicio (obra terminada)



Cancelar < Anterior Siguiendo > Terminar

CTE (anexo F)

F.3.1.3 Pantalla con más de un punto de sujeción

- 1 El problema de la estabilidad es estáticamente indeterminado, aún en el caso de que la pantalla se proyecte sin soporte fijo en la zona de empotramiento. Los empujes sobre la pantalla se definirán según los criterios definidos en el apartado 6.2.
- 2 En cuanto a las fuerzas de sujeción, será necesario hacer hipótesis suplementarias razonables, sobre qué parte de los empujes activos absorbe cada anclaje o elemento de sujeción, siendo conveniente efectuar los cálculos por procedimientos que tomen en consideración la interacción terreno - pantalla (basados en el modelo de Winkler o mediante métodos de elementos finitos o diferencias finitas).
- 3 La deformada real, en cada caso, dependerá de la magnitud de los empujes (o de la naturaleza del terreno), de la flexibilidad de la pantalla, del tipo de sujeción y del momento en que empiece a actuar con relación a la excavación.

Ver ahora NTE CCP (cimentaciones, contenciones, pantallas)

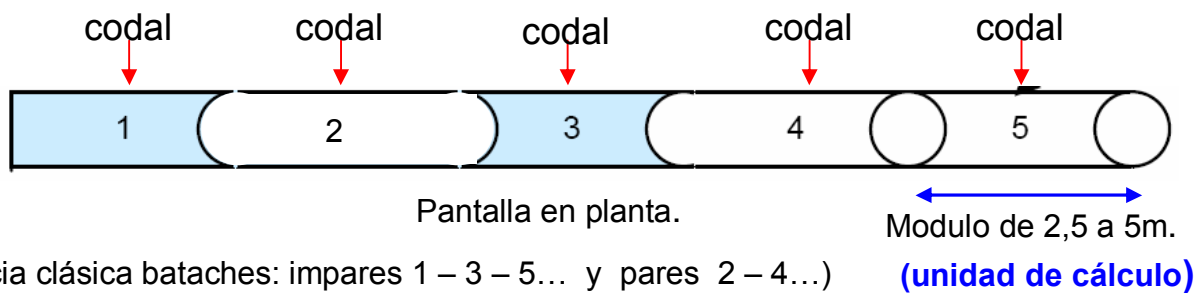
2/ Comprobación estabilidad de codales y anclajes

Del cálculo de estabilidad de la pantalla, a mano o con ordenador, obtenemos la fuerzas necesarias que han de aportar los codales y/o anclajes a utilizar.

2.1 **Codales:** son estructuras espaciales de nudos articulados.



Usualmente se coloca uno en cada módulo de hormigonado y se arriostran entre si para formar una estructura espacial.

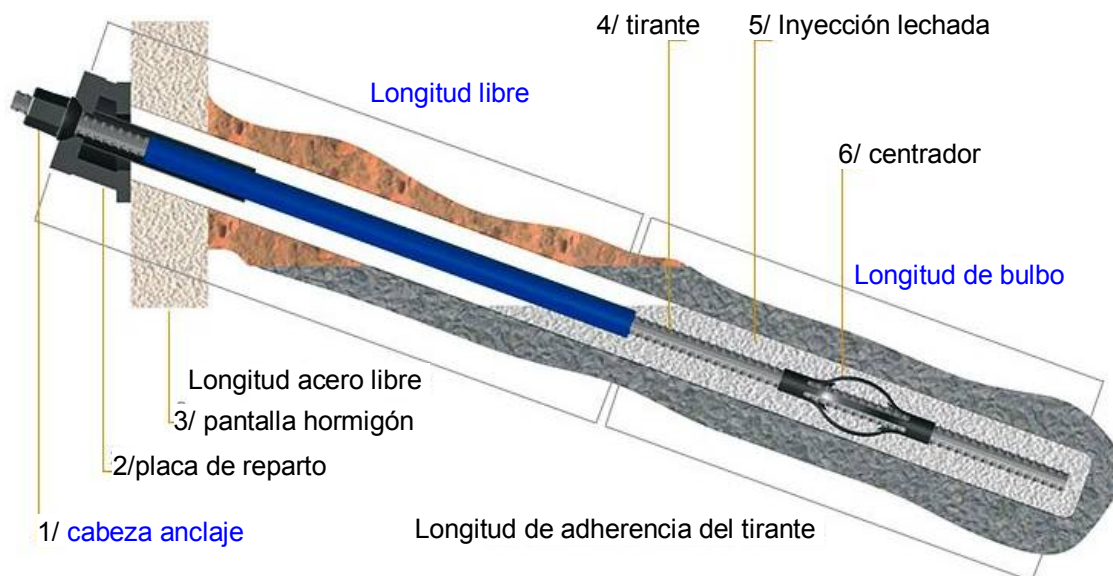


2.2 **Anclajes:** (Guía para el diseño y ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera)

Elemento capaz de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta la zona interior del mismo.

Consta de: **cabeza**, **zona libre** y bulbo o **zona de anclaje**.

El tirante puede estar constituido por cables o un bulón con barra de acero de alta resistencia que transmite la carga desde la cabeza al bulbo de anclaje.



Tomás Cabrera (U.P.M.)

Células de carga y gatos para tesado de cables:

Las células de carga, son dispositivos de control de carga, situados en la cabeza del anclaje.

La célula de carga hidráulica consiste en una célula sellada formada por dos placas soldadas por su periferia y que dejan una cámara interior llena de aceite. Está conectada a un transductor de presión, que da información con un manómetro de lectura manual o a un transductor de presión eléctrico.



Células hidráulicas.



Gato de tesado cables

Cabeza de anclaje con barra roscada y tuerca

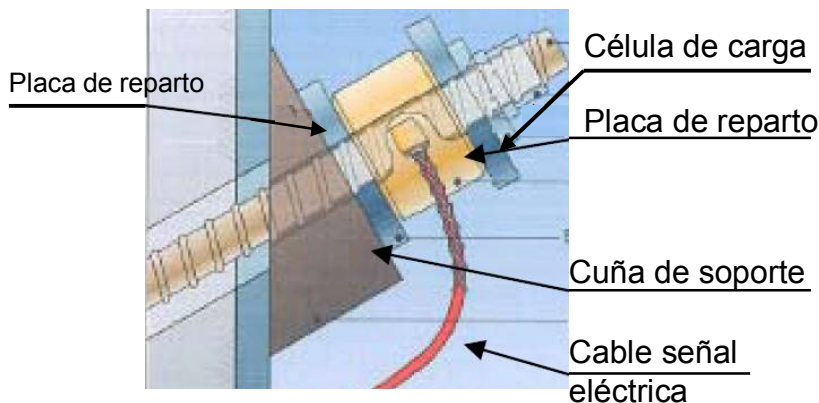
La célula de carga eléctrica tiene un cuerpo toroidal de acero inoxidable, sensibilizado por medio de extensómetros tipo resistivos. Convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible.

Célula de carga eléctrica



Ancho mínimo de la placa reparto:

- a) doble del $\varnothing$ de la perforación.
- b) 20 x 20 x 1 cm



Las células de carga eléctricas deben colocarse entre dos placas rígidas.



Célula de carga y pruebas de anclaje en la estación 4 de Metronorte (Madrid)



Portacables

Colocación portacables 7 cables y gato de tesado

Tipos de anclajes por su forma de trabajo:



Activos: Sometido a carga de tesado, tras de su ejecución, no inferior al 50% de la prevista en proyecto. El terreno se encuentra en su estado natural con máxima resistencia y mínima deformación. Es más adecuado para edificación.

Pasivos: Sometido a una carga inicial de tesado baja, entre el 10 y el 25% de la prevista en proyecto. Requiere el movimiento de la pantalla para su trabajo eficaz y por ello el terreno se moviliza descomprimiéndose, disminuyendo su resistencia. Además resulta menos adecuado con edificaciones próximas.

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Clasificación de anclajes (Guía diseño y ejecución anclajes al terreno en obras de carretera)

Por su duración distinguimos entre:

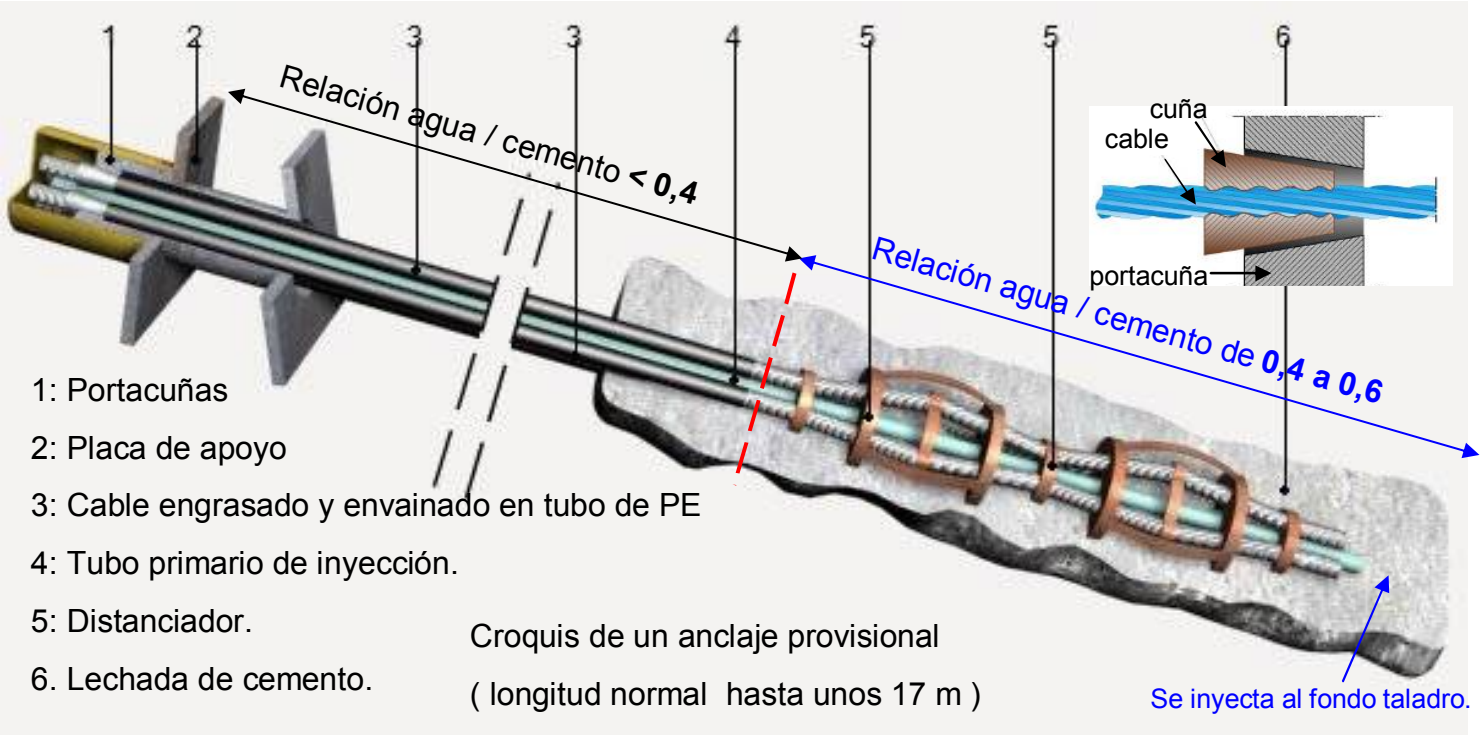
Permanentes con duración > 2 años..

Provisionales generalizados en **edificación**, se eliminan al levantar los forjados de sótano.

DIÁMETROS MÍNIMOS DE PERFORACIÓN PARA ANCLAJES DE CABLES

Tipo 1 Anclajes provisiones con inyección única global (IU)

Nº DE CABLES	Ø mínimo exterior de la entubación	Ø mínimo de la perforación no entubada	
	(mm)	(mm)	
2 a 5 cables	114	85	(usualmente para cargas > 40 toneladas longitud > 12m)
6 o 7 cables	133	105	
8 a 12 cables	152	125	



En cuanto a la facultad de efectuar operaciones que varíen la carga sobre los anclajes durante su vida útil se clasifican en:

Retesables. (usualmente los permanentes)

No retesables. (usualmente los provisionales)

Finamente según se efectúe o no la reinyección del bulbo como

Inyección única (IU). (usualmente los provisionales)

Inyección repetitiva (IR). (usualmente los permanentes)

Inyección repetitiva y selectiva. (IRS). Mejoran la capacidad del bulbo de anclaje al poderse reinyectar determinadas zonas del tirante.

DIÁMETROS MÍNIMOS DE PERFORACIÓN PARA ANCLAJES DE BARRA

Tipo 5 Anclajes provisiones con inyección única global (IU)

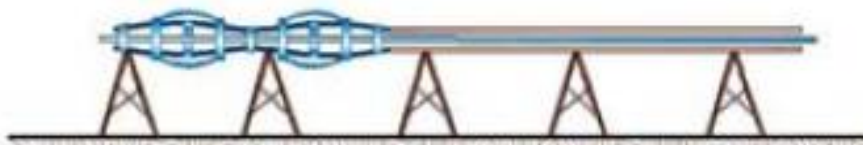
Ø DE LA BARRA (mm)	Ø mínimo exterior de la entubación	Ø mínimo de la perforación no entubada	
	(mm)	(mm)	
Ø ≤ 25	90	68	(cargas < 40 toneladas longitud < 12m)
25 < Ø ≤ 40	101	85	

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Proceso esquemático ejecución de anclaje

1/ Fabricación del anclaje y transporte a obra

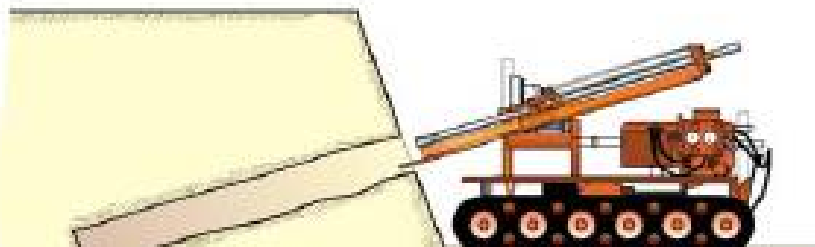
A medida, hasta unos 150 m en grandes obras públicas



Los **torones** se suministran a obra en bobinas de hasta 3,5 Tn



2/ Perforación taladro (por vía húmeda)

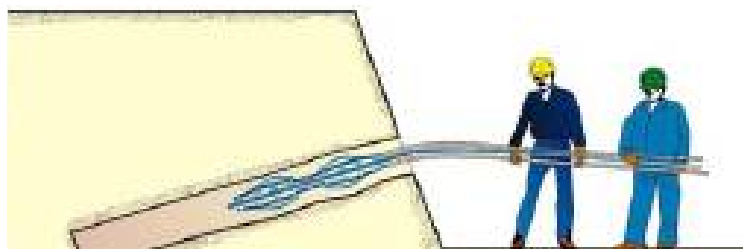


Ø de **70** – 100 mm barra

Ø de 85 – **150** mm cables



3/ Colocación anclaje in situ



Al menos dos operarios

Longitudes usuales ente 10 y 17 m



4/ Inyección a presión

p_i = presión inyección

Se inyecta en el fondo



Bomba + mezcladora

($0,5 \text{ MPa} < p_i < 1 \text{ MPa} < p_{\text{lim terreno en ensayo presiométrico}}$)

Bulbo: Relación agua / cemento = 0,4 a 0,6



Bomba inyección



mezcladora

5/ Colocación cabeza anclaje y tesado



Portacúñas



Tomás Cabrera (U.P.M.)

3/ COMPROBACIÓN ESTABILIDAD FONDO EXCAVACIÓN

- 1 En suelos cohesivos puede producirse la rotura del fondo de la excavación debida al descenso de la tensión vertical por efecto de la excavación (véase Figura 6.11). Asimismo, en suelos muy preconsolidados, la tensión efectiva horizontal bajo el fondo de la excavación se reduce en menor proporción que la vertical pudiendo alcanzarse estados de plastificación.
- 2 Deberá comprobarse la seguridad respecto a un levantamiento del fondo de la excavación por agotamiento de la resistencia a esfuerzo cortante por efecto de las presiones verticales del terreno.
- 3 Se prestará especial atención a posibles fenómenos de sifonamiento, subpresión o erosión interna.
- 4 Salvo que se efectúe un análisis específico, la comprobación de la estabilidad se efectuará considerando el terreno situado sobre el nivel final de excavación como una sobrecarga y despreciando su resistencia así como la resistencia de la pantalla bajo el fondo de la excavación.
- 5 La seguridad frente a este tipo de rotura, en suelos coherentes, puede evaluarse mediante la siguiente expresión:

$$\sigma \leq N_{cb} \cdot \frac{c_u}{\gamma_M} \rightarrow \sigma + q = (\gamma * H) + q \leq 7,5 \frac{C_u}{2,0} \quad cu = \frac{qu}{2} \quad (6.14)$$

σ la tensión vertical total a nivel del fondo de la excavación.

c_u la resistencia al corte sin drenaje del terreno existente bajo el fondo de la excavación y

N_{cb} un factor de capacidad de carga que se define en la Figura 6.12 en función de la anchura, B, la longitud, L, y la profundidad, H, de la excavación.

γ_M en situaciones persistente o transitoria, 2,0 si no existen edificios o servicios sensibles a los movimientos en las proximidades de la pantalla, y a 2,5 en caso contrario.

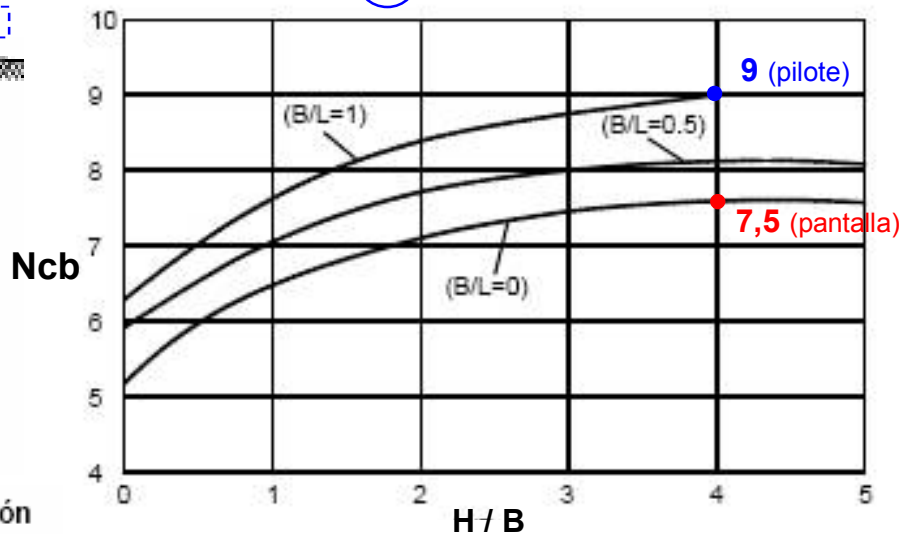
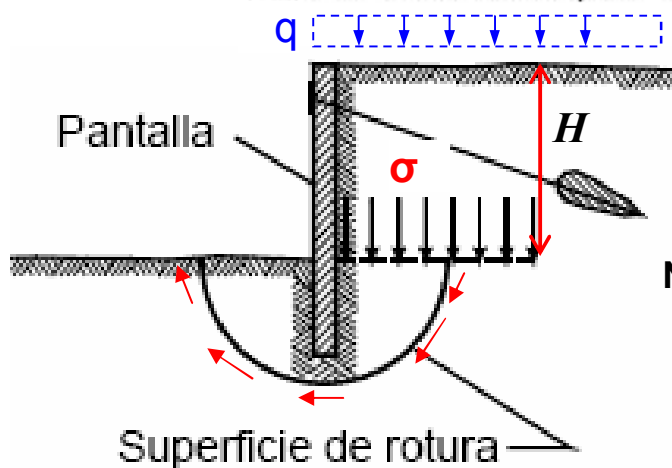


Figura 6.11. Estabilidad del fondo de la excavación

Figura 6.12. Factor de capacidad de carga para análisis de estabilidad del fondo de la excavación

- 6 Cuando se trate de excavaciones, superiores a 6m, debe tenerse en cuenta el levantamiento del fondo por efecto de la descarga del terreno excavado. Para ello se podrán emplear métodos elásticos o plásticos a través de los parámetros deducidos de ensayos de consolidación o placa de carga, en ciclos de carga y descarga.

- 7 Si la excavación se hace en un terreno saturado y por debajo del nivel freático, se establecerá una corriente de filtración de agua a través del terreno que aflorará en el fondo de la excavación o irá a parar a los elementos de drenaje y agotamiento que se dispongan para dejar en seco la excavación. En este caso, es necesario comprobar que no se va a producir sifonamiento ni arrastre del material.

- 8 La seguridad frente al sifonamiento se estudiará minorando el gradiente crítico del terreno, i_{cr} , por un factor $\gamma_M = 2$.

$$i_r \leq i_{cr} / \gamma_M$$

siendo

i_r el gradiente real en sentido vertical, en un determinado punto;

i_{cr} el gradiente que anula la tensión efectiva vertical en dicho punto.

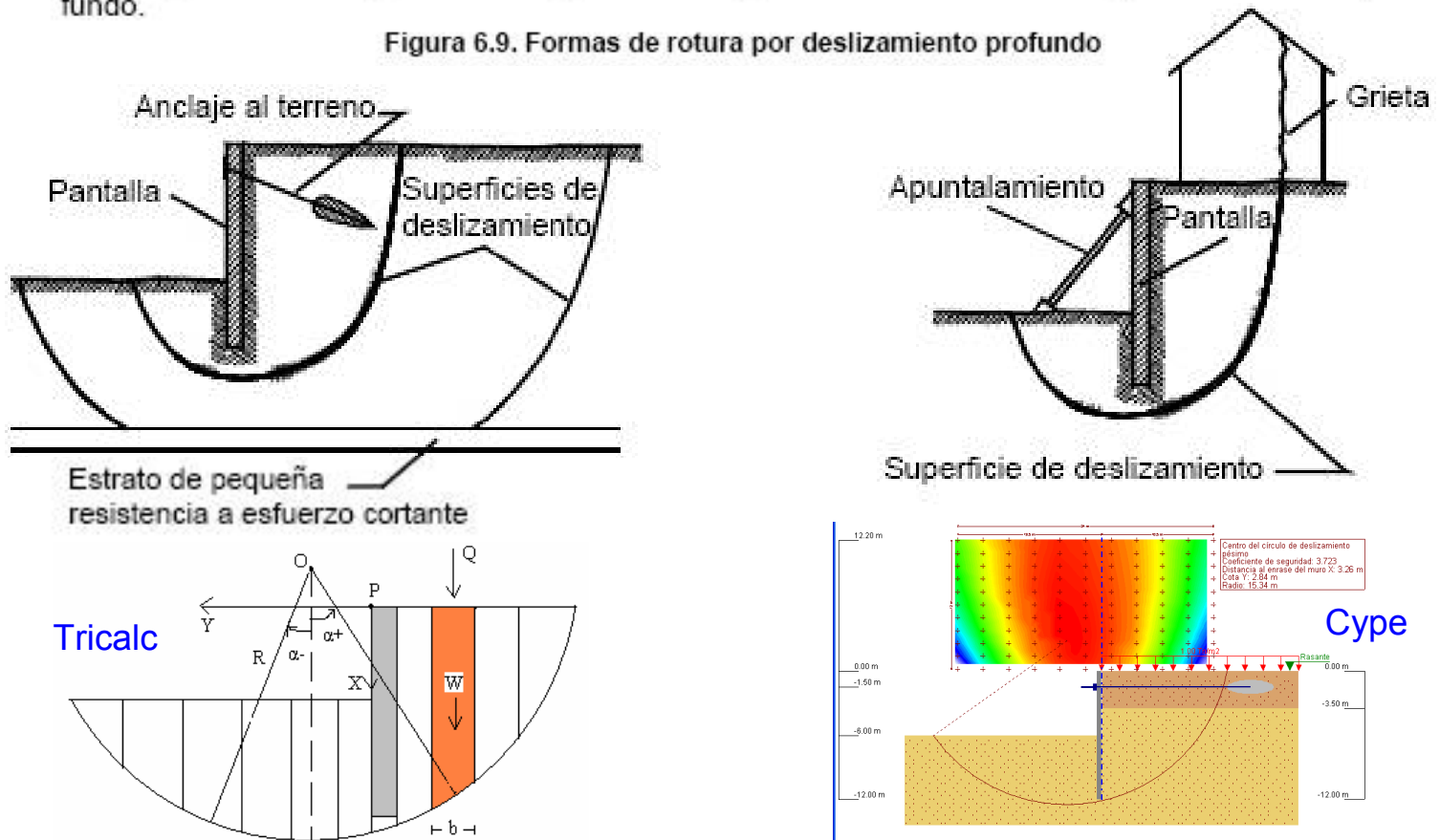
$$\text{Ver tema 1º: para evitar sifonamiento, según casos } H \leq t \leq 2H \quad (6.15)$$

4/ COMPROBACIÓN ESTABILIDAD GENERAL (CTE)

6.3.2.2.1 Estabilidad global y fallo combinado del terreno y del elemento estructural

- 1 El conjunto de la estructura y la pantalla pueden fallar mediante un mecanismo de rotura aún más profundo que la pantalla, o que no siendo tan profundo pudiera cortar a ésta.
- 2 Debe comprobarse que la seguridad al deslizamiento a lo largo de la superficie pésima posible, que incluya en la masa deslizante a la pantalla completa y a sus elementos de sujeción, no es inferior al establecido.
- 3 Las acciones de los elementos de sujeción de la pantalla que queden incluidos por completo en las superficies de rotura no deben ser consideradas.
- 4 En la Figura 6.9 se esquematizan algunas de las posibles formas de rotura, por deslizamiento profundo.

Figura 6.9. Formas de rotura por deslizamiento profundo



- 5 Debe comprobarse también los mecanismos de rotura a lo largo de superficies de deslizamiento que corten a los elementos de anclaje o que no incluyan en la masa deslizante a los sistemas de apuntalamiento por completo. En la Figura 6.10 se indican esquemáticamente algunas de estas posibles formas de rotura.
- 6 En tales casos se contará con las fuerzas de los anclajes o de los apuntalamientos, con su valor de trabajo sin afectar de coeficiente de seguridad alguno, como fuerzas exteriores. Además, puede ser necesario, como en el caso de anclajes cortados por la superficie deslizante, tener en cuenta las tensiones provocadas por los anclajes sobre la pantalla.

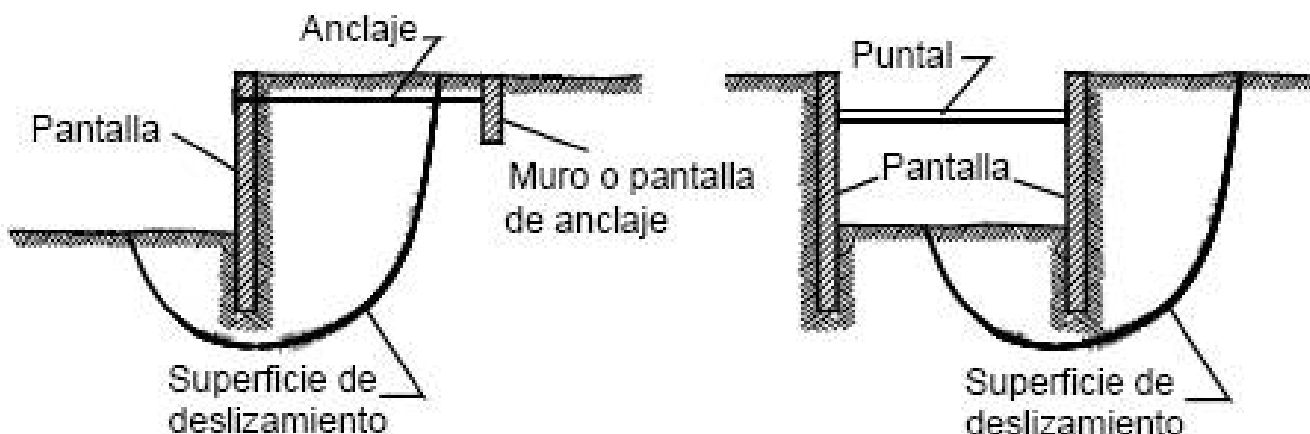


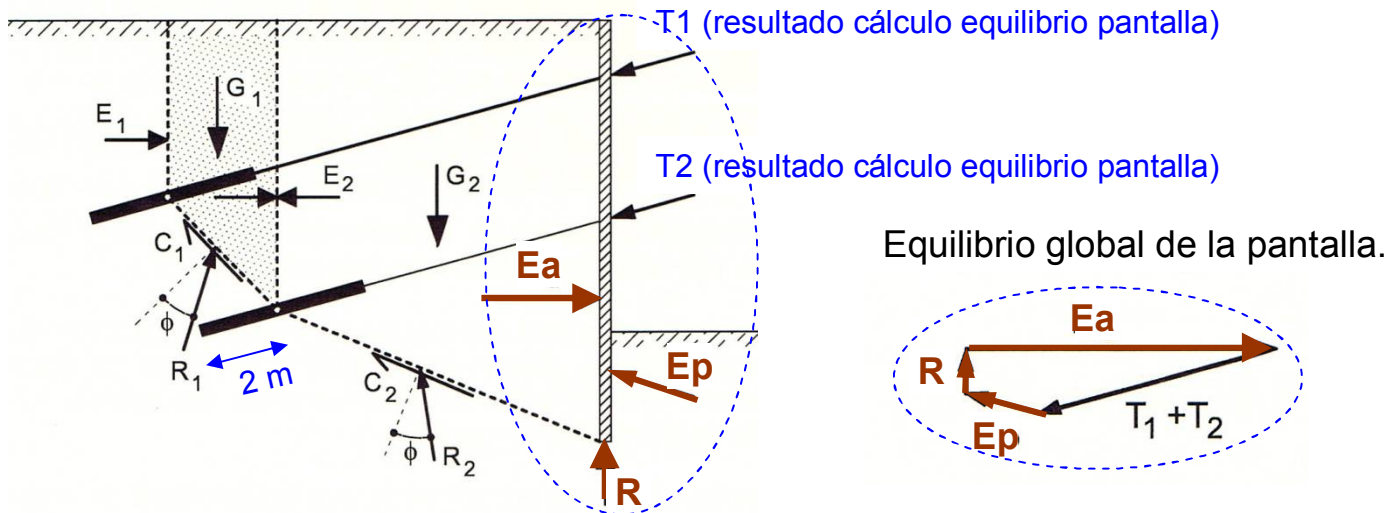
Figura 6.10. Ejemplos de deslizamientos profundos que interceptan elementos de sujeción

MÉTODO DE KRANT (comprobación estabilidad general)

La estabilidad del conjunto tiene gran interés cuando el arriostramiento del muro pantalla se realiza mediante tirantes anclados al terreno.

En otros casos, la estabilidad general debe comprobarse cuando el terreno es arcilla saturada, pudiendo utilizar los mismos métodos de estudio que para estabilidad de taludes, considerando superficies de rotura que pasen por el pie de la pantalla.

En el caso de un muro pantalla anclado, se dispone del método de Kranz, cuyo detalle aparece en la figura siguiente para una pantalla con dos filas de anclajes.



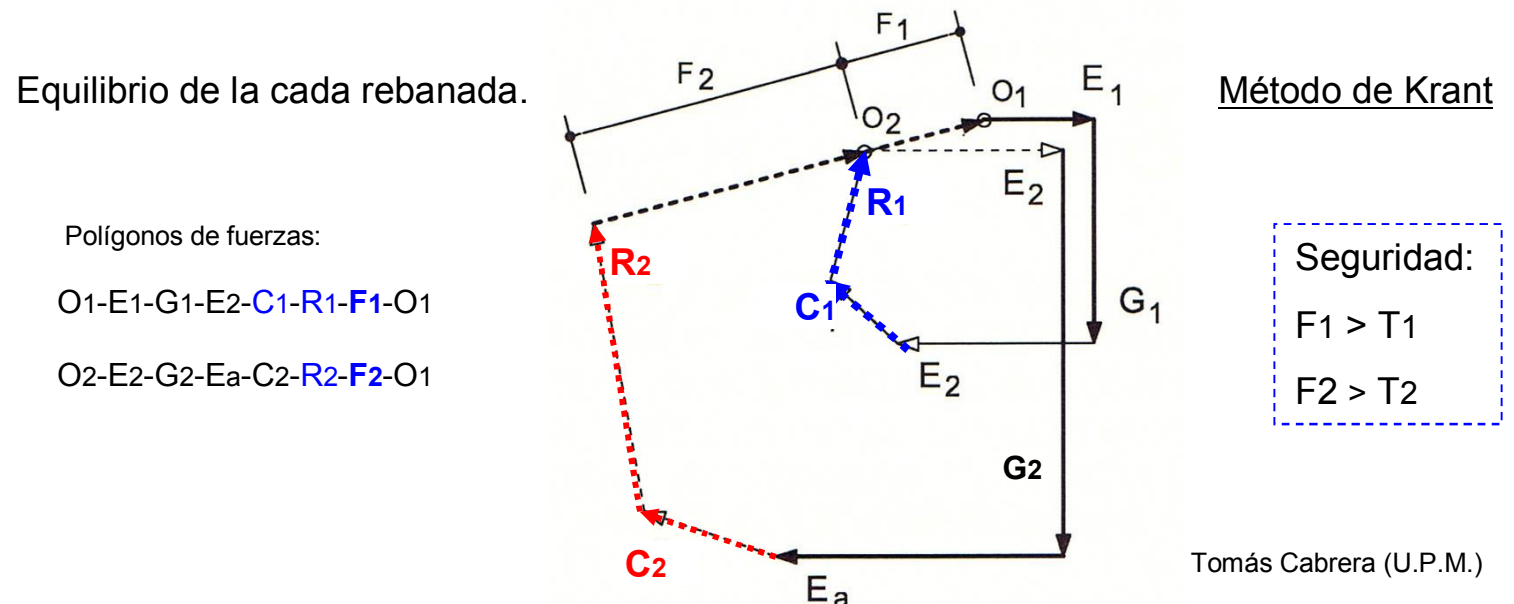
Este método sirve para determinar la longitud que conviene dar a los anclajes, hasta conseguir que las dos filas de anclaje tengan el mismo coeficiente de seguridad.

Tal como aparece en la figura el equilibrio se establece en dos rebanadas verticales, de las cuales, la primera (más alejada de la pantalla) está definida por dos secciones verticales que pasan por el punto medio de los dos bulbos de anclaje y la segunda rebanada está definida por la sección vertical que pasa por el centro del bulbo inferior y el intradós de la pantalla.

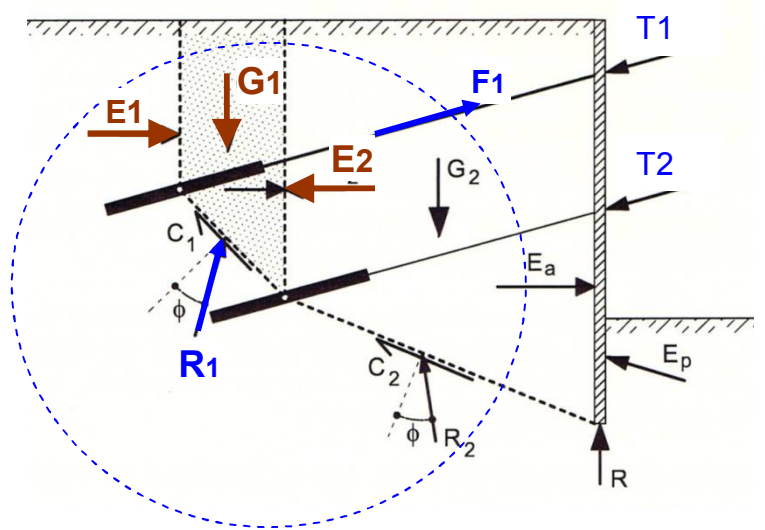
Al establecer el equilibrio de pantalla, actúan como fuerzas conocidas, los empujes a un lado y a otro de la misma: E_1 , E_2 y E_p , así como sus pesos: G_1 y G_2 .

En la base de cada rebanada se conoce la fuerza resistente debida a la cohesión C_1 y C_2 , como producto de la misma por su longitud de actuación.

De las reacciones debidas al rozamiento R_1 y R_2 se conoce únicamente su dirección



Método de Krant (coeficiente de seguridad)



O2-E2-G2-Ea-C2-R2-F2-O1

01-E1-G1-E2-C1-R1-F1-01

En cada uno de los polígonos de fuerzas, con origen en O_1 y O_2 , colocando todos los vectores conocidos en dirección y magnitud y cerrando con las paralelas a las direcciones de los tirantes T_i (T_1 y T_2) y las paralelas a las direcciones R (R_1 y R_2).

Se obtienen, así, los valores de las fuerzas F_1 y F_2 que cierran cada uno de los polígonos.

Estas fuerzas “F1 y F2” representan el valor máximo con el que cada anclaje puede tirar de la correspondiente rebanada y que de alcanzarse produciría la rotura general en el terreno.

Los valores calculados para anclar la pantalla se han nombrado como T1 y T2.

El cociente entre el máximo valor para el anclaje y el realmente calculado para la estabilidad de la pantalla nos da el coeficiente de seguridad “ α ” frente a una rotura global del terreno

Coeficiente de seguridad:

En este caso con dos anclajes:

$$\alpha_1 = F_1 / T_1 \quad \alpha_2 = F_2 / T_2$$

El valor medio de los anclajes:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = F_1 + F_2 / T_1 + T_2$$



El ideal es que ambos coeficientes sean iguales o muy parecidos y además $\alpha_i \geq 1,5$

Puede comprobarse que la manera de aumentar el coeficiente de seguridad consiste precisamente, en aumentar la longitud libre de los anclajes.

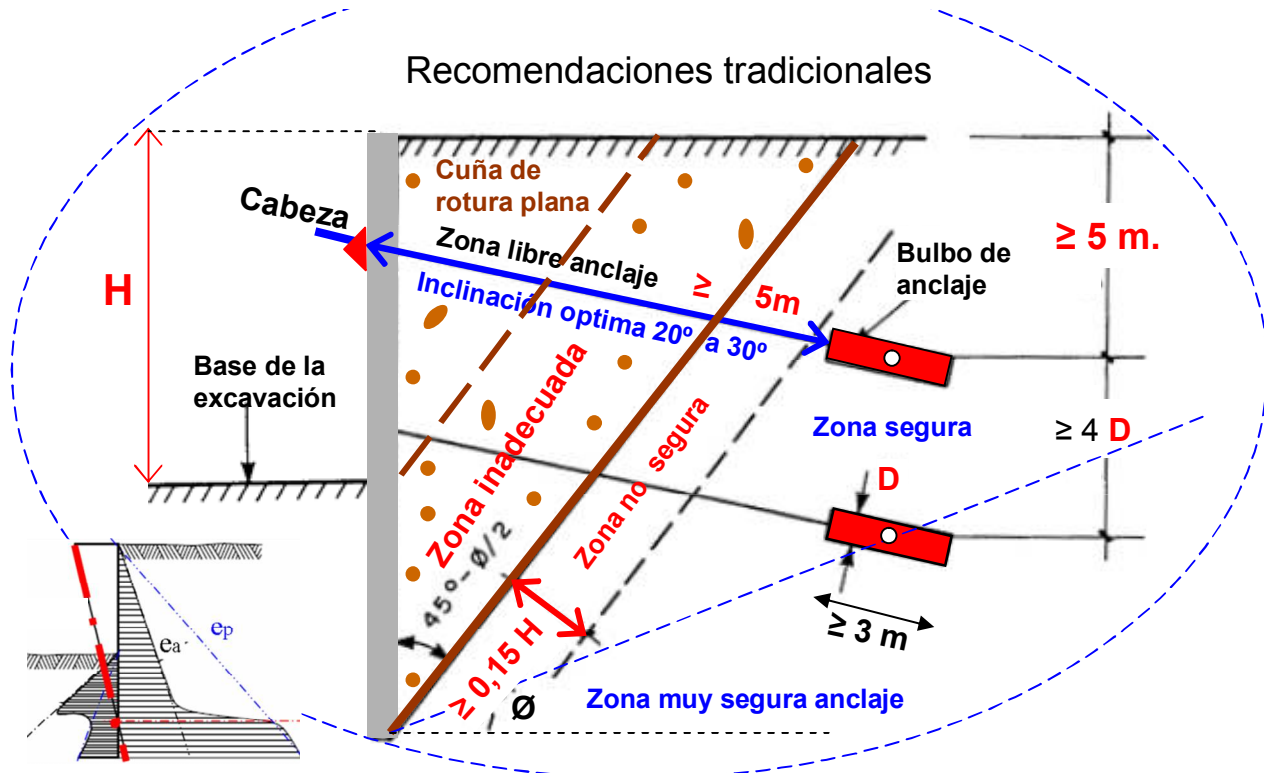
Esto es debido a que la base de cada rebanada se hace más horizontal y en consecuencia, la dirección de la reacción del terreno se modifica, aumentando así el valor de las fuerzas que calculamos en el equilibrio global F_1 y F_2 .

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Recomendaciones en la Disposición de anclajes

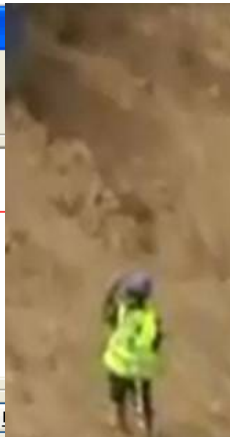
Con objeto de que las tensiones de la zona del bulbo de anclaje se transfieran con seguridad al terreno y no influyan en el trasdós de la pantalla, los anclajes deben separarse unas distancias mínimas entre sí y de la pantalla.



Edición (Anclaje activo) CYPE

Fase inicial	FC-4/A. Activo 1
Fase final	FC-10/Forjado 2ª Sót.

Cota	-4.50 m
Rigidez axil	60000 Tn/m
Ángulo (θ)	25 grados
Carga de tesado inicial (q)	45.00 Tn
Separación	2.5 m
☒ Carga de plastificación	100 Tn



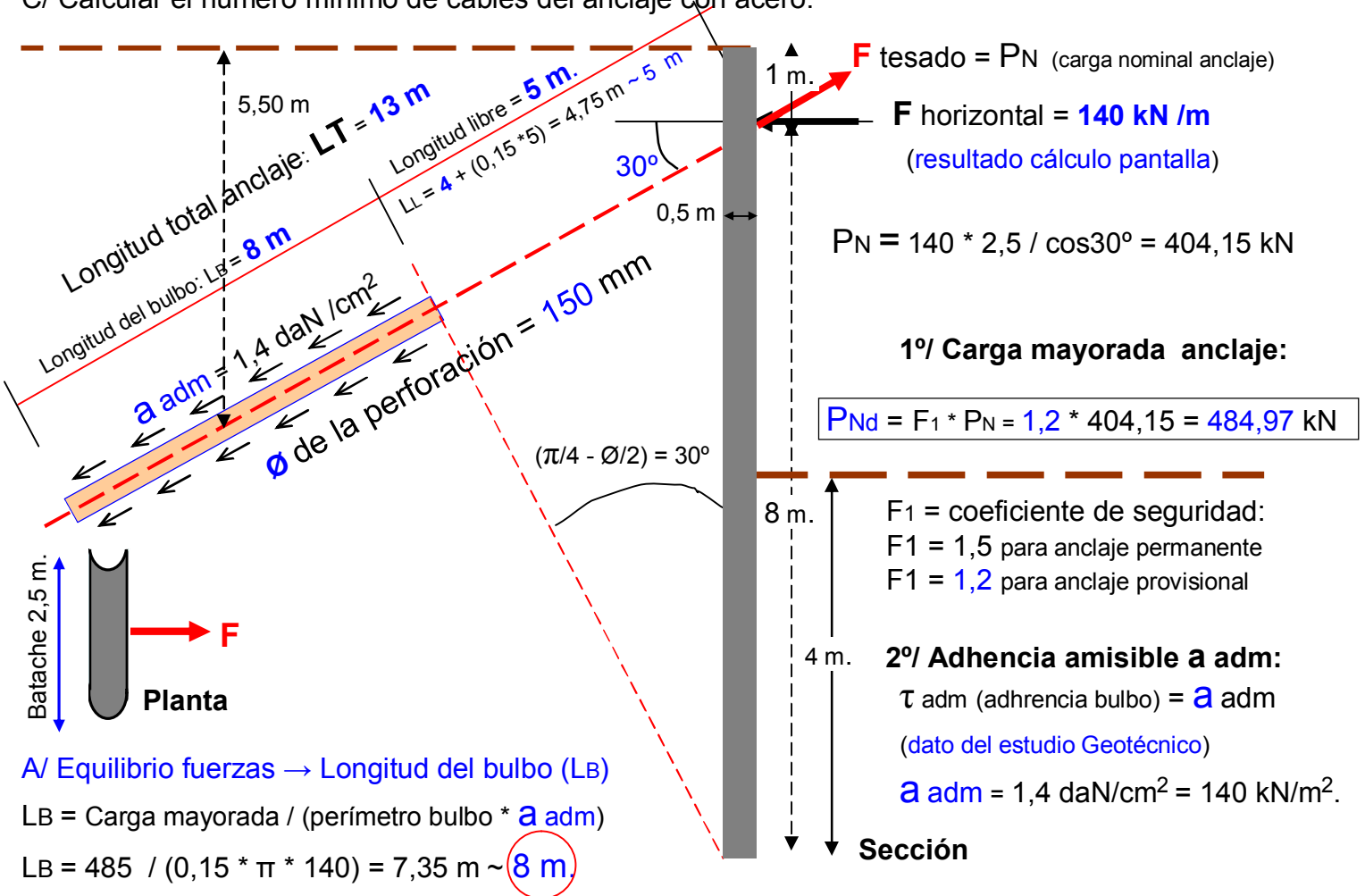
(medida usual hasta unos 17 m)



Tomás Cabrera (U.P.M.)

Ejemplo de cálculo de un anclaje provisional, duración ≤ 2 años

- A/ Estimar la longitud del bulbo de un anclaje a 30° , sabiendo que: $\phi = 30^\circ$ $a_{adm} = 1 \text{ daN/cm}^2$.
 B/ Comprobar la longitud, para inyección lechada de cemento $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ para compresión simple.
 C/ Calcular el número mínimo de cables del anclaje con acero.



A/ Equilibrio fuerzas $\rightarrow$ Longitud del bulbo (L_B)

$$L_B = \text{Carga mayorada} / (\text{perímetro bulbo} \cdot a_{adm})$$

$$L_B = 485 / (0,15 \cdot \pi \cdot 140) = 7,35 \text{ m} \sim 8 \text{ m}$$

B/ Comprobación (L_B): $P_{Nd} / (L_B \cdot p_T) \leq \tau_{lim} / 1,2$ $\tau_{lim} = 6,9 (f_{ck} / 22,5)^{2/3} = 6,37 \text{ MPa}$

A_T = sección del alambre ($15,2 \text{ mm}$) = 140 mm^2

$$p_T = \text{perímetro nominal tirante} \quad p_T = 2\sqrt{\pi \cdot A_T} = 2\sqrt{\pi \cdot 140} = 41,94 \text{ mm}$$

$$P_{Nd} / (L_B \cdot p_T) = 485 \cdot 10^3 / (8000 \cdot 41,94) = 1,44 \leq \tau_{lim} / 1,2 = 6,37 / 1,2 = 5,30 \text{ MPa} \text{ (OK)}$$

C/ Número mínimo alambres necesarios por cordón o torón:

Cordón más usual: **Y 1860 S7 15,2 mm**. $\sim 0,6''$ (ϕ nominal cable = $15,2 \text{ mm} = 0,6''$)

Carga rotura = 1860 MPa Carga límite elástico = 1670 MPa Número de alambres: **7**

Área = 140 mm^2 . $E = 200 \text{ GPa}$



Guía para el diseño y ejecución de anclajes al terreno: "Para la comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se minorará la tensión en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones".

Anclajes provisionales:

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{pk} / 1,25 = 1860 / 1,25 = 1488 \text{ MPa}$$

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{vk} / 1,10 = 1670 / 1,10 = 1518,18 \text{ MPa}$$

siendo: P_{Nd} = carga nominal mayorada de cada anclaje.
 A_T = sección del tirante.

Anclajes permanentes:

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{pk} / 1,30 = 1860 / 1,3 = 1430,77 \text{ MPa}$$

$$P_{Nd} / A_T \leq f_{yk} / 1,15 = 1670 / 1,15 = 1452,17 \text{ MPa}$$

f_{pk} = límite de rotura del acero del tirante.

f_{yk} = límite elástico del acero del tirante.



Fuerza soportada por un alambre: $(1488 \cdot 0,140) = 208,32 \text{ kN}$

Mínimo número de alambres del cordón: $485 \text{ kN} / 208,32 \text{ kN} = 2,33 \sim 3 \times 0,6''$

Tradicionalmente los anclajes provisionales deben trabajar por debajo del 75% de su límite elástico y los permanentes del 60%.
 Combinando los coeficientes de seguridad, los provisionales: $[1 / (1,2 \cdot 1,10)] = 0,76$ y los permanentes: $[1 / (1,5 \cdot 1,15)] = 0,58$
 se comprueba que la norma da continuidad a la tradición.

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Cálculo a_{adm} :

1º Con datos del Estudio Geotécnico: (Guía diseño y ejecución anclajes al terreno en obras de carretera)

$$a_{adm} = \frac{c'}{F_{2c}} + \sigma' * \frac{tg\phi'}{F_{2\phi}} \leq a_{lim}$$

En ningún caso se usarán valores mayores que la adherencia límite " a_{lim} " indicados en la Guía y basados en los ensayos de Bustamante.

siendo:

c' = cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo.

ϕ' = ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en el contacto terreno-bulbo.

σ' = presión efectiva del terreno en el centro del bulbo más una tercera parte de la

presión de inyección aplicada. ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$ presión inyección = bar $\rightarrow a_{adm} = 142,13 \text{ kN/m}^2$)

$F_{2c} = 1,60$; coeficiente de minoración de la cohesión.

$$a_{adm} \leq (10^3) * 0,4 / 1,45 = 285 \text{ kN/m}^2$$

$F_{2\phi} = 1,35$; coeficiente de minoración de la fricción.

2º Por correlaciones empíricas: (Guía diseño y ejecución anclajes al terreno en obras de carretera)

$$a_{adm} = a_{lim} / F_3$$

Siendo: $F_3 = 1,45$ para anclajes provisionales y $F_3 = 1,65$ para definitivos

Como ejemplo para inyección única en arenas y gravas $a_{lim} = 0,4 \text{ MPa}$ y $a_{lim} = 0,2 \text{ MPa}$ en arcillas.

Finalmente aunque en el caso de anclajes es más difícil que existan limitaciones en el tamaño de los equipos a utilizar para su ejecución. **Se deben evitar diseñar anclajes poco realistas:**

1/ Ejecución de **anclajes de mas de 75 toneladas** en terrenos areno arcillosos en zonas urbanas.

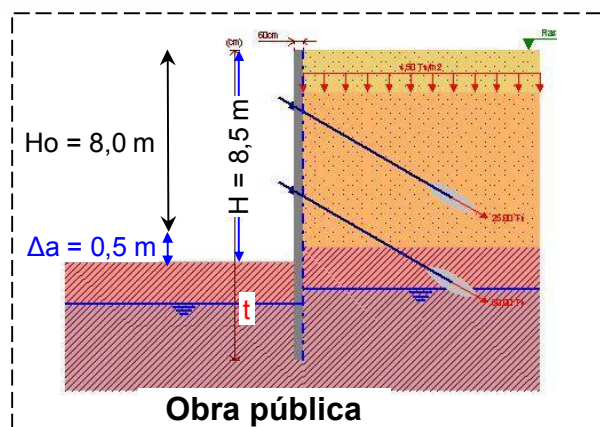
2/ **Diámetros de perforación superiores a 150 mm.**

3/ **Bulbos de anclaje de mas de 14 m de largo**, donde antes de que se transmita la carga al extremo inferior del bulbo ya se está experimentando el arrancado del extremo superior. (conforme a CTE el exceso sobre los 14 metros de longitud se minorará por el coeficiente de seguridad = 0,7).

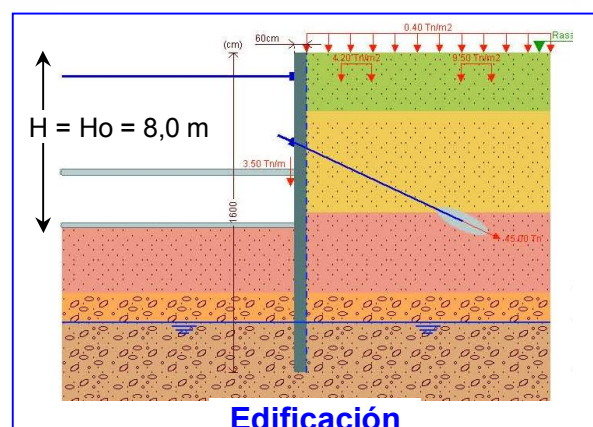
Imprecisión geométrica del nivel superior e inferior terreno

6.2.2 Datos geométricos

- 1 La confirmación geométrica de cálculo debe tomar en consideración las variaciones futuras previsibles del nivel del terreno, especialmente en coronación o en el pie del elemento de contención.
- 2 En cálculos de estados límite últimos en los que la estabilidad del elemento de contención dependa de la resistencia del terreno frente al mismo, la cota del suelo estabilizante debe reducirse del valor nominal en un valor Δa , que se definirá tomando en consideración el grado de control existente sobre la permanencia de dicho material. En general y salvo justificación, se considerarán los siguientes valores de Δa :
 - a) pantallas: se considerará un valor de Δa igual al 10% de la altura de la pantalla sobre el fondo de excavación, con un máximo de 0,5m;
 - b) muros: se considerará un valor de Δa igual al 10% de la distancia entre el plano de apoyo y el fondo de excavación, con un máximo de 0,5m.
- 3 Podrán emplearse valores inferiores de Δa , o incluso 0, cuando pueda garantizarse la permanencia en el tiempo del terreno. Por el contrario, deben emplearse valores superiores de Δa si la geometría del terreno en el fondo de la excavación es especialmente dudosa.



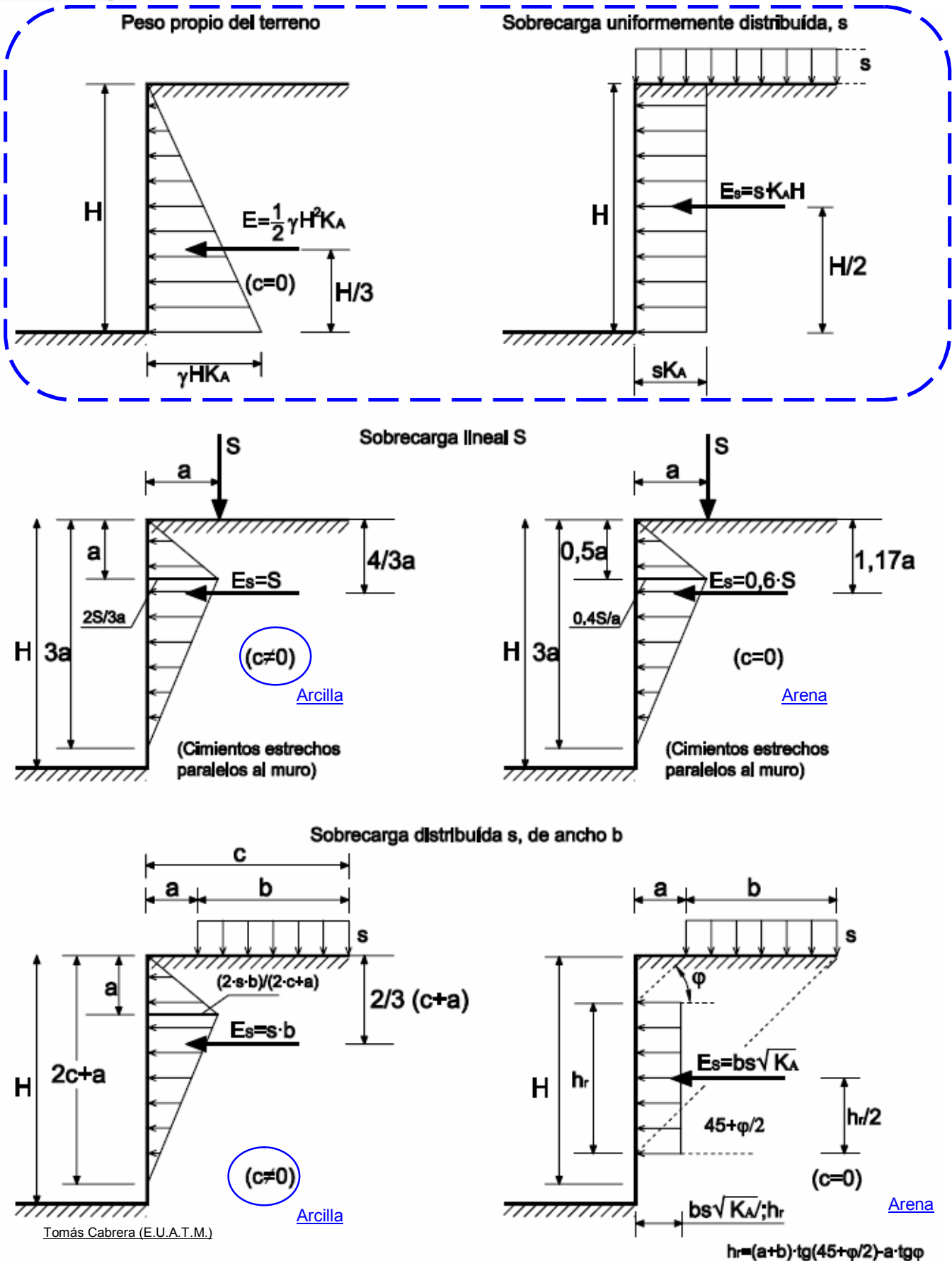
Altura total pantalla
 $H_o + \Delta a + t$





6.2.7 Empujes debidos a sobrecargas

- 1 Cuando la magnitud de las sobrecargas es reducida en comparación con el empuje total sobre el elemento de contención (sobrecarga inferior al 30% del empuje total), la obtención de los empujes debidos a éstas puede efectuarse mediante la Teoría de la Elasticidad. Se admite la validez del principio de superposición. Si el elemento de contención se considera fijo, la tensión horizontal determinada por procedimientos elásticos debe duplicarse.
- 2 En casos de sobrecargas moderadas, habituales de edificación, como simplificación se podrán adoptar los criterios de la Figura 6.8 superponiendo los empujes debidos al terreno y los debidos a la sobrecarga.



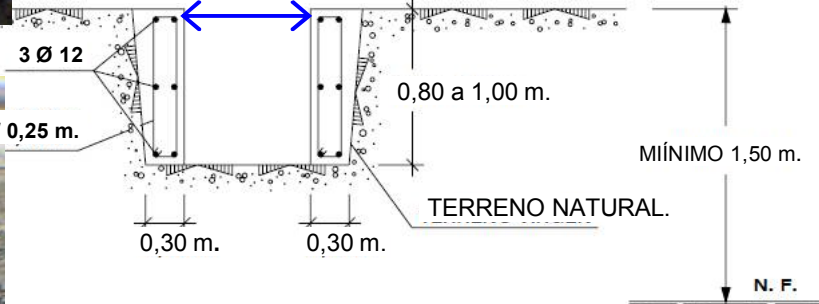
Muros guías



Ancho pantalla + 3 cm.



Cercos Ø 6 / 0,25 m.

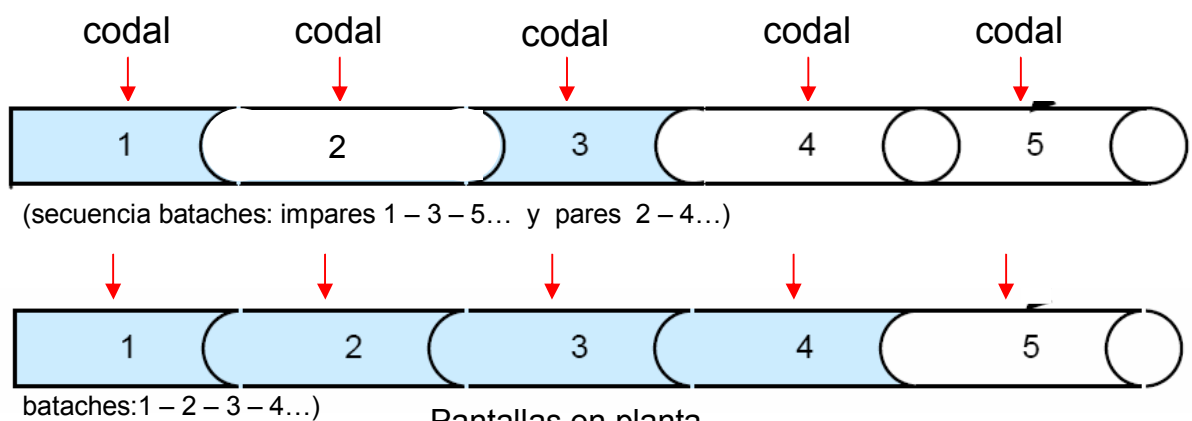


Separación mínima con un edificio 25 cm



Tomás Cabrera (U.P.M.)

Excavación por bataches



Pantallas en planta.

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Colocación de la armadura en batache y de los tubos de junta





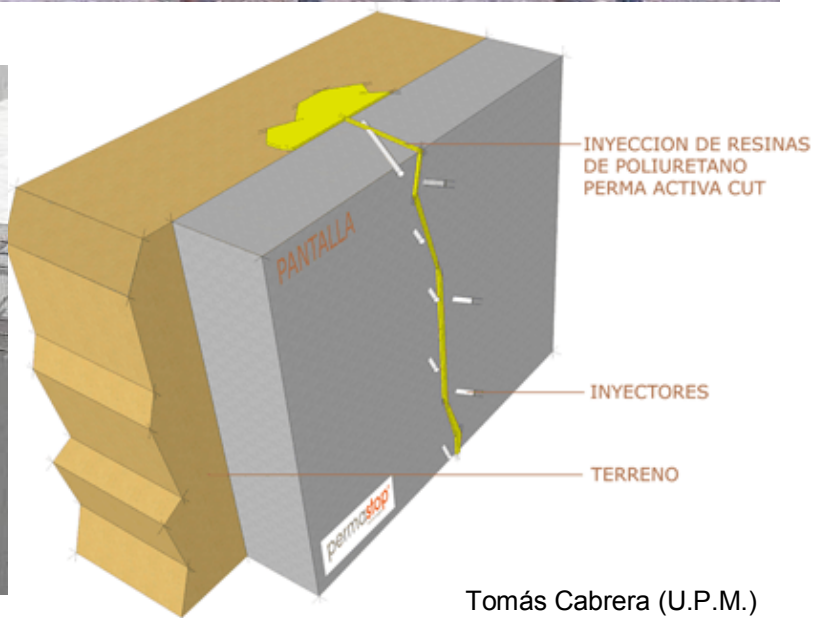
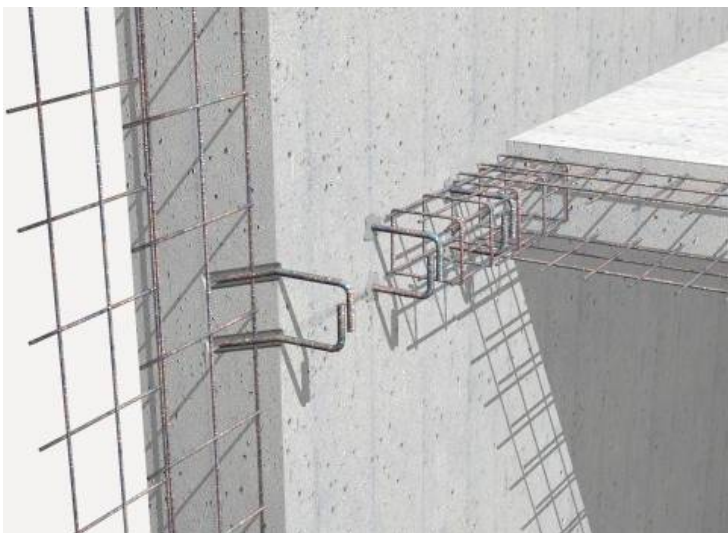


Ejecución anclajes



Influencia de cimentaciones próximas (CTE)

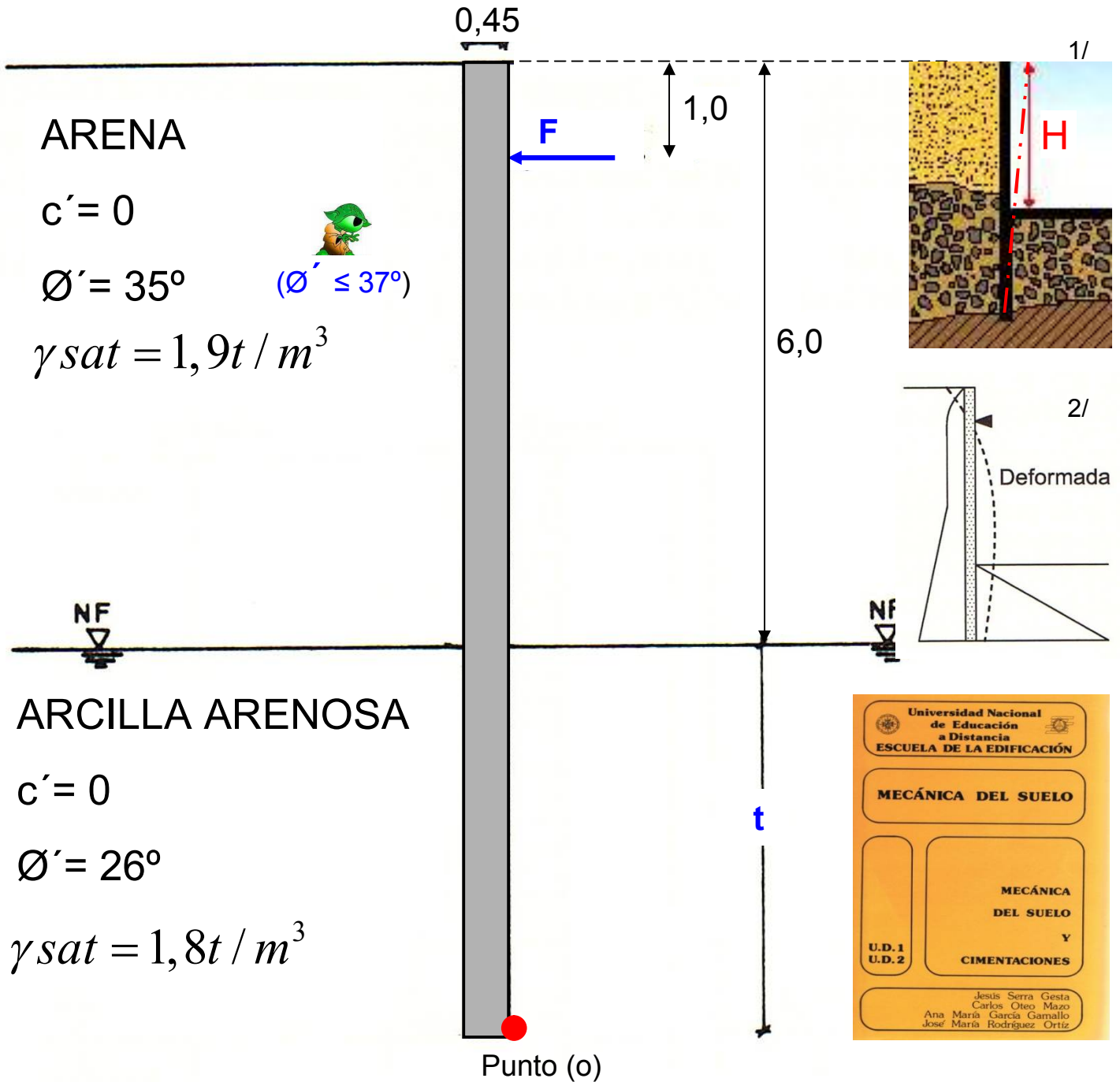




Ejemplo cálculo de pantalla terrenos arenosos

Una pantalla de hormigón armado contiene al terreno croquizado de la figura. Se pide:

- 1/ Calcular las leyes de tensiones verticales y empujes y horizontales
- 2/ Calcular la profundidad total (t) de empotramiento de una pantalla en ménsula y el momento flector máximo M_d con el que se calculará la pantalla ($\gamma_E = 1,6$)
- 3/ Calcular la profundidad total (t) de empotramiento de la pantalla anclada con anclaje F situado a 1,00 m. de profundidad y suponiendo el borde inferior libre. (Método del apoyo Libre o americano).
- 4/ Calcular el momento flector máximo de cálculo "Md" en la pantalla.



Tomado de Mecánica de suelo y cimentaciones de Serra Gesta J. y otros.(1986). Ed: E.E.

Antes de CTE, sin minorar el empuje pasivo por el factor 0,6. Los resultados del ejercicio:

Pantalla en voladizo: $t = 1,2 * 11,15 = 13,38 \text{ m}$. $M_{\text{max. pantalla}}: M_p = 73,2 \text{ mt/m}$.

Pantalla anclada: $t = 1,2 * 5,3 = 6,36 \text{ m}$ $F = 8,39 \text{ t/m}$ $M_p = - 23,6 \text{ mt/m}$.

Ejemplo de cálculo presiones verticales

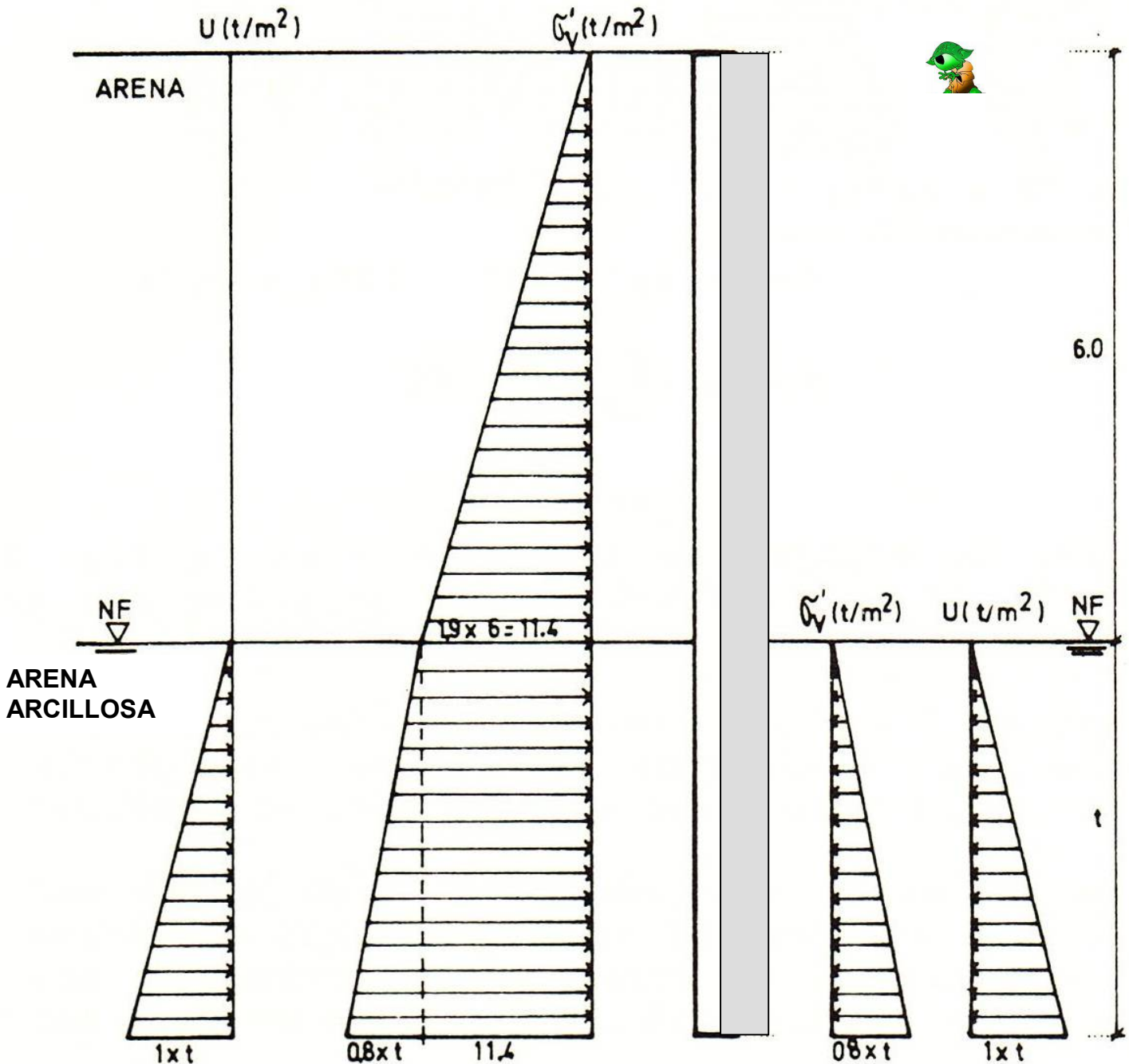
1º/ Primeramente se calculan la ley de tensiones verticales en el terreno y la ley de empujes que actúan sobre la pantalla.

En la siguiente figura se representan:

Las tensiones verticales efectivas (σ'_v)

y

Las presiones intersticiales (U) del terreno, en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla.



Los empujes unitarios se obtienen multiplicando las tensiones verticales calculadas por los coeficientes de empujes correspondientes (K_a y/o K_p para el terreno y $K = 1$ para el agua).

Ejemplo cálculo, presiones horizontales, con CTE

En el lado izquierdo de la pantalla (terreno sin excavar), debemos calcular empujes activos para los dos terrenos (arena y arcilla).

En el lado derecho (terreno excavado), se tiene empuje pasivo para el estrato de arcilla.

Los coeficientes de empujes correspondientes se obtienen por la teoría de Rankine a partir de las expresiones:

Coeficiente de empuje activo: $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi'/2)$.

Coeficiente de empuje pasivo: $K_p = \tan^2 (45^\circ + \phi'/2)$.

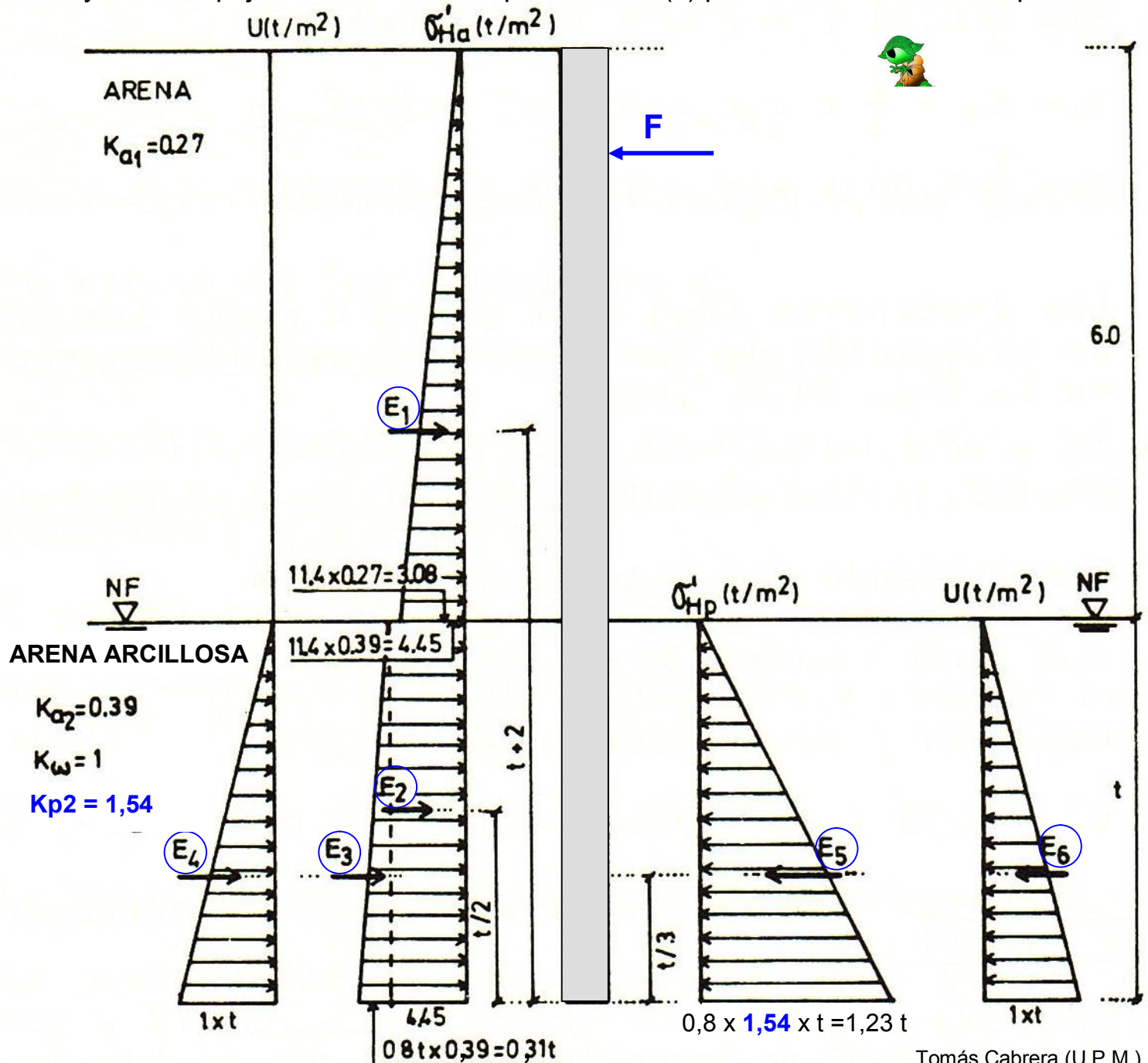
Sustituyendo con los dos terrenos: Arena ($\phi' = 35^\circ$): $K_{a1} = \tan^2 (45^\circ - 17,5^\circ) = 0,27$

Arcilla ($\phi' = 26^\circ$): $K_{a2} = \tan^2 (45^\circ - 13^\circ) = 0,39$

$K_{p2} = 1,54$

(nota: con CTE: $K_{p2} = 0,6 * \tan^2 [(45 + (\phi'/2))] = 0,6 * \tan^2 (45 + 13) = 0,6 * 2,56 = 1,54$)

Las leyes de empujes en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla:



Cálculo longitudes empotramiento pantalla

2º PANTALLA EN MÉNSULA.

Para el calcular la profundidad (t) de empotramiento se establece el equilibrio de momentos respecto de un punto (o) ($\Sigma M_o = 0$). (en este caso el punto está en la base de la pantalla)

Las áreas de los diagramas o leyes de empujes unitarios son los empujes señalados y se encuentran aplicados en los correspondientes centros de gravedad. Sus valores son:

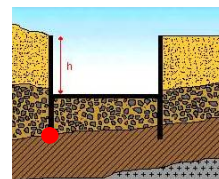
$$E_1 = \frac{1}{2} * 3,08 * 6 = 9,24 \text{ (t/m)}$$

$$E_2 = 4,45 * t \text{ (t/m)}$$

$$E_3 = \frac{1}{2} * 0,31 t * t = 0,155 t^2 \text{ (t/m)}$$

$$E_4 = E_6 = \frac{1}{2} * t * t = 0,5 t^2 \text{ (t/m)}$$

$$E_5 = \frac{1}{2} * 1,23 t * t = 0,615 t^2 \text{ (t/m)}$$



Las distancias (do) a un punto (o) desde los puntos de aplicación de las fuerzas E se indican también en la figura anterior, luego:

$$\Sigma M_o = 0 = E_1 * (t+2) + E_2 * 0,5t + E_3 * 0,33t + \cancel{E_4 * 0,33t} - E_5 * 0,33t - \cancel{E_6 * 0,33t}$$

Sustituyendo los valores de E:

$$9,24 * (t+2) + 4,45t * 0,5t + 0,155t^2 * 0,333t - 0,615t^2 * 0,333t = 0$$

E	Momento (m.t.)	t ³	t ²	t	
E1	(9,24) * (t+2)			9,24t	18,48
E2	(4,45 t) * (0,5 t)		2,225 t ²		
E3	(0,155 t ²) * (0,333 t)	0,0517 t ³			
E4	(0,5 t ²) * (0,333 t)	0,1667 t³			
E5	- (0,615 t ²) * (0,333 t)	- 0,2050 t ³			
E6	- (0,5 t ²) * (0,333 t)	- 0,1667 t³			
	Suma momentos =	- 0,1533 t ³	2,225 t ²	9,24 t	18,48

Operando y simplificando se obtiene: $t^3 - 14,51 t^2 - 60,26 t - 120,52 = 0$



La única raíz positiva de esta ecuación es t = 18,20 m

La profundidad de empotramiento total será: $t_o + \Delta t = 18,20 * 1,2 = 21,84 \approx 21,90 \text{ m}$ **(22 m)**

El Mf máximo de la pantalla se sitúa donde se anula el cortante (cambiando t por z).

$$9,24 + 4,45 z + 0,155 z^2 - 0,615 z^2 = 0 \rightarrow - 0,46 z^2 + 4,45 z + 9,24 = 0$$

$$\text{Simplificando: } z^2 - 9,674z - 20,087 = 0$$

La raíz positiva de la ecuación de 2º grado es: z = 11,4311 m

El momento flector máximo en la pantalla (Mp) es:

$$M_p = - 0,1533 * (11,43)^3 + 2,225 * (11,43)^2 + 9,24 * (11,43) + 18,48 = 185,86 \text{ mt /m}$$



El momento flector **de cálculo** en la pantalla vale: $M_d = 1,6 * 185,86 = 297,38 \text{ mt /m}$

Longitud total de la pantalla = 22 + 6 = 28 m

Cálculo longitudes empotramiento pantalla

3º/ PANTALLA ANCLADA. (1) (método del apoyo libre o americano)

Con anclaje **F** (situado a 1 m de profundidad) se necesitan dos ecuaciones para t y F.

El método considera que el borde inferior de la pantalla (punto o) puede girar, luego: se tienen dos ecuaciones: $\Sigma Q_o = 0$ y $\Sigma M_o = 0 \rightarrow$ Momento nulo en el punto (o)

Con estas condiciones y los valores de E calculados se establecen dos ecuaciones.

$$\Sigma Q_o = 0 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 - F - E_5 - E_6$$

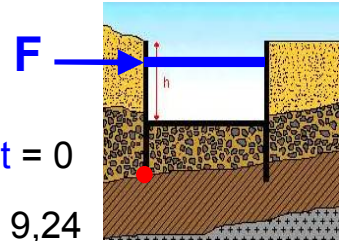
$$\Sigma M_o = 0 = E_1 * (t+2) + E_2 * 0,5t + E_3 * 0,33t + E_4 * 0,33t - F * (5 + t) - E_5 * 0,33t - E_6 * 0,33t$$

Sustituyendo los valores de E:

$$9,24 + 4,45t + 0,155 t^2 - F - 0,615 t^2 = 0$$

$$9,24 * (t+2) + 4,45t * 0,5t + 0,155t^2 * 0,33t - F * (5 + t) - 0,615t^2 * 0,33t = 0$$

Despejando F en la primera ecuación, se tiene: $F = -0,46t^2 + 4,45t + 9,24$



E	Momento (m.t.)	t ³	t ²	t	
E1	(9,24) * (t+2)			9,24t	18,48
E2	(4,45 t) * (0,5 t)		2,225 t ²		
E3	(0,155 t ²) * (0,333 t)	0,0517 t ³			
E4	(0,5 t ²) * (0,333 t)	0,1667 t ³			
E5	-(0,615 t ²) * (0,333 t)	-0,2050 t ³			
E6	-(0,5 t ²) * (0,333 t)	-0,1667 t ³			
F	-(-0,46t ² + 4,45t + 9,24) * (t+5)	0,46 t ³	(+2,3 - 4,45) t ²	(-22,25 - 9,24) t	-46,20
	Suma momentos =	0,3067 t ³	0,0750 t ²	-22,25 t	-27,72

Simplificando: $t^3 + 0,245t^2 - 73,37t - 90,39 = 0$

La única raíz positiva de esta ecuación es $t = 9,1$ m.

La profundidad de empotramiento total será: $t_o + \Delta t = 1,2 \times 9,1 = 10,9 \approx (11 \text{ m})$

El anclaje aporta la fuerza horizontal: $F = 9,24 + (4,45 * 9,1) - (0,46 * 9,1^2) = (11,64 \text{ t/m})$

Ecuación de cortante: $V = 9,24 + 4,45z + 0,155 z^2 - 11,64 + 0,615z^2 \rightarrow z^2 - 9,674 z + 5,227 = 0$

Las raíces positivas de la ecuación de 2º grado son: $z = 0,5733$ m. $z = 9,10$ m

El momento flector máximo en la pantalla (Mp) es:

$$M_p = 0,3067 * (0,5733)^3 + 0,075 * (0,5733)^2 - 22,25 * (0,5733) - 27,72 = -40,39 \text{ mt/m.}$$

El momento flector **de cálculo** en la pantalla vale: $M_d = 1,6 * -40,39 = -64,62 \text{ mt/m.}$

Longitud total de la pantalla = 11 + 6 = 17 m

Cálculo longitudes empotramiento pantalla

3º/ PANTALLA ANCLADA. (2) (variante con suma de momentos nulo en el codal)

Con anclaje **F** (situado a 1 m de profundidad) se necesitan dos ecuaciones para t y F.

$\Sigma Q_0 = 0 \rightarrow$ Equilibrio de fuerzas horizontales

$\Sigma M_0 = 0 \rightarrow$ Equilibrio de momentos respecto del apoyo puntal.

Con estas condiciones y los valores de E calculados se establecen dos ecuaciones.

$$\Sigma Q_0 = 0 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 - F - E_5 - E_6$$

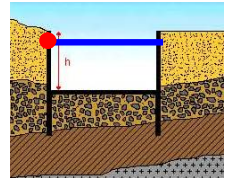
$$\Sigma M_0 = 0 = E_1 * (3) + E_2 * (0,5 t + 5) + E_3 * (0,66 t + 5) + E_4 * (0,66 t + 5) - E_5 * (0,66 t + 5) - E_6 * (0,66 t + 5)$$

Sustituyendo los valores de E:

$$9,24 + 4,45t + 0,155 t^2 - F - 0,615 t^2 = 0$$

$$9,24 * (t+2) + 4,45t * 0,5t + 0,155t^2 * 0,33t - F * (5 + t) - 0,615t^2 * 0,33t = 0$$

Despejando F en la primera ecuación, se tiene: $F = -0,46t^2 + 4,45t + 9,24$



E	Momento (m.t.)	t ³	t ²	t	
E1	(9,24) * (3)				27,72
E2	(4,45 t) * (0,5 t + 5)		2,225 t ²	22,25 t	
E3	(0,155 t ²) * (0,666 t + 5)	0,1033 t ³	0,775 t ²		
E4	(0,5 t ²) * (0,666 t + 5)	0,3333 t ³	2,5 t ²		
E5	-(0,615 t ²) * (0,666t + 5)	-0,4100 t ³	-3,075 t ²	-	
E6	-(0,5 t ²) * (0,666 t + 5)	-0,1667 t ³	-2,5 t ²		
	Suma momentos =	-0,3067 t ³	-0,0750 t ²	22,25 t	27,72

Simplificando: $t^3 + 0,245t^2 - 73,37t - 90,39 = 0$

La única raíz positiva de esta ecuación es $t = 9,1$ m.

La profundidad de empotramiento total será: $t_0 + \Delta t = 1,2 \times 9,1 = 10,9 \approx (11 \text{ m.})$



El anclaje aporta la fuerza horizontal: $F = 9,24 + (4,45 * 9,1) - (0,46 * 9,1^2) = (11,64 \text{ t/m})$

Ecuación de cortante:

$$V = 9,24 + 4,45z + 0,155 z^2 - 11,64 + 0,615z^2 \rightarrow z^2 - 9,674 z + 5,227 = 0$$

Las raíces positivas de la ecuación de 2º grado son: $z = 0,5733 \text{ m.}$ $z = 9,10 \text{ m}$

El momento flector máximo en la pantalla (Mp) es:

$$M_p = -0,3067 * (0,5733)^3 + 0,075 * (0,5733)^2 + 22,25 * (0,5733) + 27,72 = +40,39 \text{ mt /m.}$$

El momento flector **de cálculo** en la pantalla vale: $M_d = 1,6 * + 40,39 = + 64,62 \text{ mt /m.}$

Longitud total de la pantalla = 11 + 6 = 17 m

Hay que interpretar el signo

Tabla 2.1. Coeficientes de seguridad parciales

Situación de dimensionado	Tipo	Materiales		Acciones	
		γ_R	γ_M	γ_E	γ_F
Persistente o transitoria	Hundimiento	3,0 ⁽¹⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,5 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9 ⁽³⁾	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,8	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,8	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁵⁾	1,0
	Pilotes				
	Arrancamiento	3,5	1,0	1,0	1,0
	Rotura horizontal	3,5	1,0	1,0	1,0
	Pantallas				
	Estabilidad fondo excavación	1,0	2,5 ⁽⁶⁾	1,0	1,0
	Sifonamiento	1,0	2,0	1,0	1,0
	Rotación o traslación				
	Equilibrio límite	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0
	Modelo de Winkler	1	1,0	0,6 ⁽⁷⁾	1,0
	Elementos finitos	1,0	1,5	1,0	1,0
Extraordinaria	Hundimiento	2,0 ⁽⁸⁾	1,0	1,0	1,0
	Deslizamiento	1,1 ⁽²⁾	1,0	1,0	1,0
	Vuelco ⁽²⁾				
	Acciones estabilizadoras	1,0	1,0	0,9	1,0
	Acciones desestabilizadoras	1,0	1,0	1,2	1,0
	Estabilidad global	1,0	1,2	1,0	1,0
	Capacidad estructural	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾	1,0	1,0
	Pilotes				
	Arrancamiento	2,3	1,0	1,0	1,0
	Rotura horizontal	2,3	1,0	1,0	1,0
	Pantallas				
	Rotación o traslación				
	Equilibrio límite	-	-	-	-
	Modelo de Winkler	1,0	1,0	0,8	1,0
	Elementos finitos	1,0	1,2	1,0	1,0

γ_R coeficiente parcial de resistencia

γ_E coeficiente parcial para el efecto de las acciones;

γ_F coeficiente parcial para las acciones;

γ_M coeficiente parcial propiedades de los materiales

(1) En pilotes se refiere a métodos basados en ensayos de campo o fórmulas analíticas (largo plazo), para métodos basados en fórmulas analíticas (corto plazo), métodos basados en pruebas de carga hasta rotura y métodos basados en pruebas dinámicas de hincas con control electrónico de la hincas y contraste con pruebas de carga, se podrá tomar 2,0.

(2) De aplicación en cimentaciones directas y muros.

(3) En cimentaciones directas, salvo justificación en contrario, no se considerará el empuje pasivo.

(4) Los correspondientes de los Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE.

(5) Aplicable a elementos de hormigón estructural cuyo nivel de ejecución es intenso o normal, según la Instrucción EHE. En los casos en los que el nivel de control de ejecución sea reducido, el coeficiente γ_E debe tomarse, para situaciones persistentes o transitorias, igual a 1,8.

(6) El coeficiente γ_M será igual a 2,0 si no existen edificios o servicios sensibles a los movimientos en las proximidades de la pantalla.

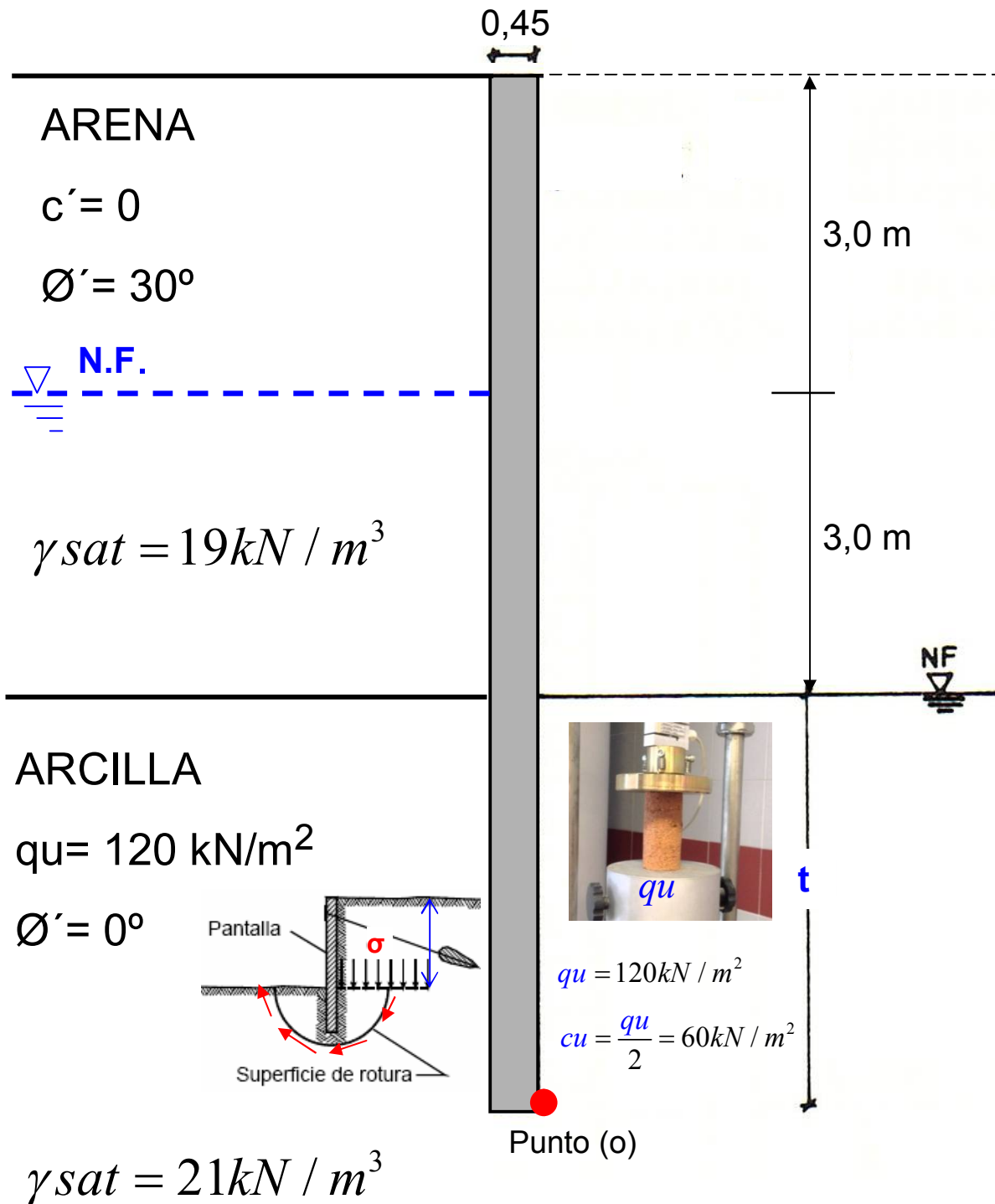
(7) Afecta al empuje pasivo

(8) En pilotes, se refiere a métodos basados en ensayos de campo o fórmulas analíticas; para métodos basados en pruebas de carga hasta rotura y métodos basados en pruebas dinámicas de hincas con control electrónico de la hincas y contraste con pruebas de carga, se podrá tomar 1,5

Pantalla terreno arcilloso

Una pantalla de hormigón armado contiene al terreno croquizado de la figura. Se pide:

- 1/ Calcular las leyes de tensiones verticales y empujes y horizontales.
- 2/ Calcular la profundidad total (t) de empotramiento de una pantalla en ménsula.
- 3/ Calcular la profundidad total de excavación de la pantalla
- 4/ Comprobar estabilidad fondo cimentación. (resistencia compresión simple: $q_u = 1,2 \text{ kp/cm}^2$)

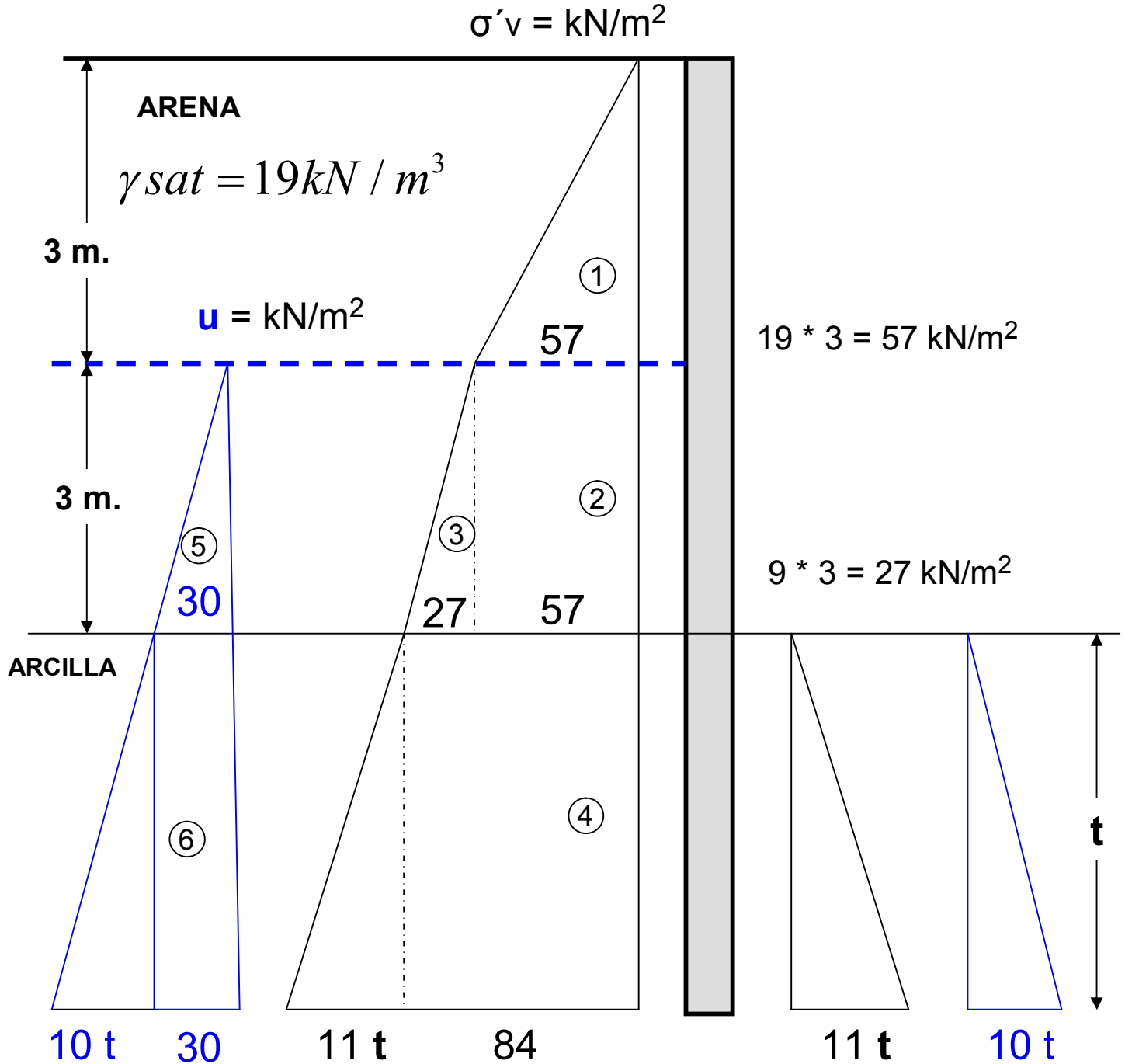


Presiones verticales

1º/ Se calcula la ley de tensiones verticales en el terreno y la ley de empujes que actúan sobre la pantalla.

En la siguiente figura se representan:

Las tensiones verticales efectivas ($\sigma' v$) y Las presiones intersticiales (u) del terreno, en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla.



Los empujes unitarios, activo y pasivo cuando existe cohesión (terreno arcilloso) son:

EMPUJE ACTIVO Unitario $\rightarrow$
$$aa = \sigma' h_a = K_a * \sigma' v - (2c * \sqrt{K_a})$$



EMPUJE PASIVO Unitario $\rightarrow$
$$ep = \sigma' h_p = K_p * \sigma' v + (2c * \sqrt{K_p})$$

Presiones horizontales

Arena ($\phi = 30^\circ$) Coeficiente de empuje activo: $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi'/2)$.

Con $\varnothing' = 30^\circ$: **$K_{a1} = \tan^2 (45^\circ - 15^\circ) = 1/3$**

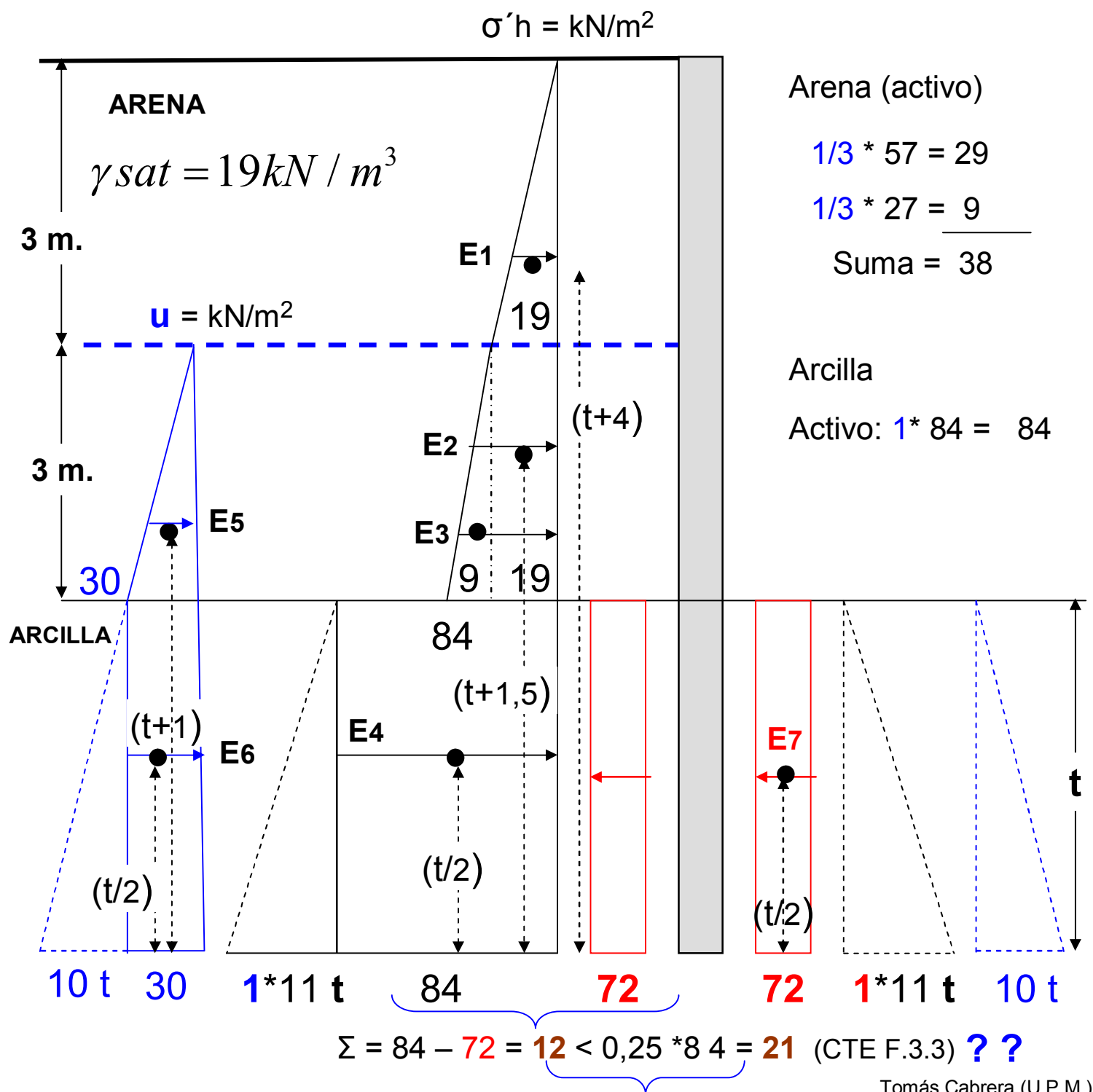
Arcilla ($\theta' = 0^\circ$): $K_{a2} = \tan^2 (45^\circ - 0^\circ) = 1$

$$K_{p2} = \tan^2 (45^\circ + 0^\circ) = 1$$
$$(c = c_u = 60 \text{ kN/m}^2) \rightarrow 0,6 * 2c_u = 0,6 * 2 * 60 = 72 \text{ kN/m}^2$$

EMPUJE ACTIVO Unitario $\rightarrow ea = \sigma' ha = 1 * \sigma' v - (0,6 * 2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma' v - 72 \text{ kN/m}^2$

EMPUJE PASIVO Unitario $\rightarrow ep = \sigma' h_p = 1 * \sigma' v + (0,6 * 2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma' v + 72 \text{ kN/m}^2$

Las leyes de empujes en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla:



Presiones horizontales

Arena ($\phi = 30^\circ$) Coeficiente de empuje activo: $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$.

Con $\phi = 30^\circ$: **$K_{a1} = \tan^2 (45^\circ - 15^\circ) = 1/3$**

Arcilla ($\phi' = 0^\circ$): $K_{a2} = \tan^2 (45^\circ - 0^\circ) = 1$

$K_{p2} = \tan^2 (45^\circ + 0^\circ) = 1$

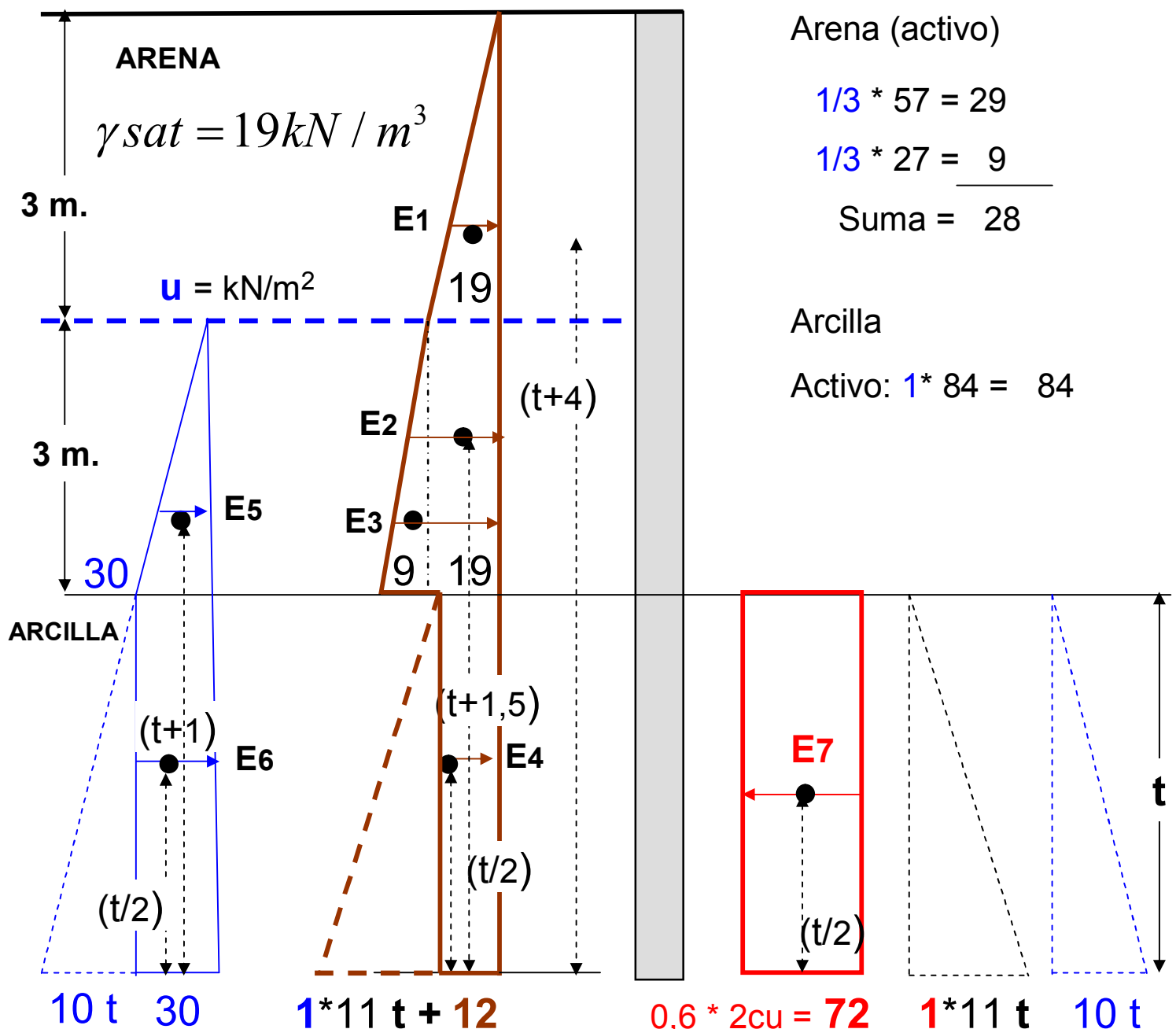
($c = c_u = 50 \text{ kN/m}^2$) $\rightarrow 0,6 * 2c_u = 0,6 * 2 * 60 = 72 \text{ kN/m}^2$

EMPUJE ACTIVO Unitario $\rightarrow ea = \sigma'_{ha} = 1 * \sigma'_v - (2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma'_v - 120 \text{ kN/m}^2$

EMPUJE PASIVO Unitario $\rightarrow ep = \sigma'_{hp} = 1 * \sigma'_v + (0,6 * 2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma'_v + 72 \text{ kN/m}^2$

Las leyes de empujes en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla:

$\sigma'_h = \text{kN/m}^2$



$0,25 * 84 = 21 > 12$ (CTE F.3.3)

Presiones horizontales agrupando la cohesión: $2c_u + 2c_u = 4c_u$

Arena ($\phi = 30^\circ$) Coeficiente de empuje activo: $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$.

Con $\phi = 30^\circ$: **$K_{a1} = \tan^2 (45^\circ - 15^\circ) = 1/3$**

Arcilla ($\phi' = 0^\circ$): $K_{a2} = \tan^2 (45^\circ - 0^\circ) = 1$

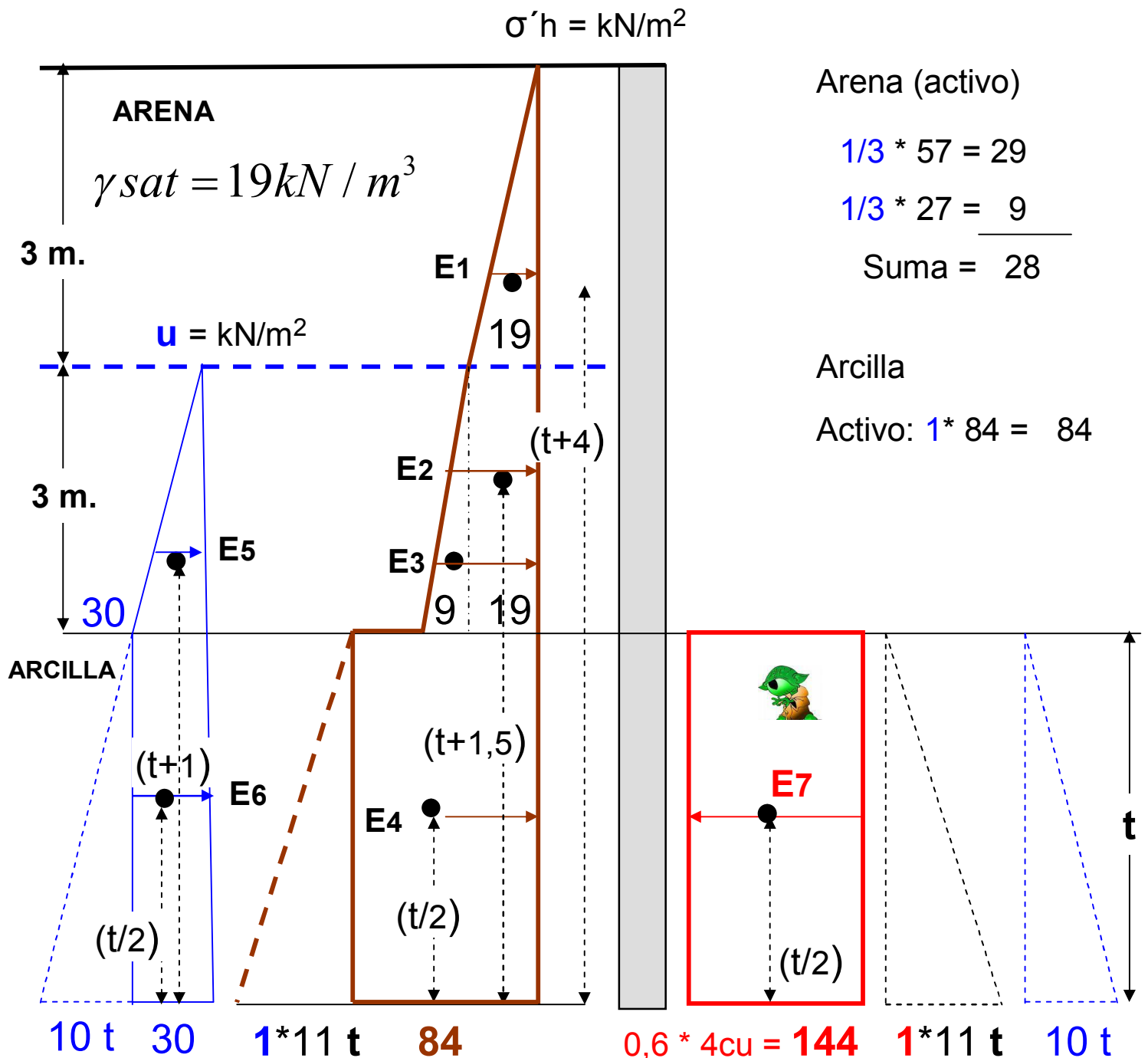
$K_{p2} = \tan^2 (45^\circ + 0^\circ) = 1$

($c = c_u = 50 \text{ kN/m}^2$) $\rightarrow 0,6 * 2c_u = 0,6 * 2 * 60 = 72 \text{ kN/m}^2$

EMPUJE ACTIVO Unitario $\rightarrow e_a = \sigma' h_a = 1 * \sigma' v - (0,6 * 2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma' v - 72 \text{ kN/m}^2$

EMPUJE PASIVO Unitario $\rightarrow e_p = \sigma' h_p = 1 * \sigma' v + (0,6 * 2 * 60 * \sqrt{1}) = \sigma' v + 72 \text{ kN/m}^2$

Las leyes de empujes en función de la profundidad (z) para los dos lados de la pantalla:



Pantallas en arcillas

PANTALLA EN MÉNSULA.

Para el calcular la profundidad (t) de empotramiento se establece el equilibrio de momentos respecto de un punto (o) ($\Sigma M_o = 0$). (en este caso el punto está en la base de la pantalla)

Las áreas de los diagramas o leyes de empujes unitarios son los empujes señalados y se encuentran aplicados en los correspondientes centros de gravedad. Sus valores son:

$$E_1 = \frac{1}{2} * 19 * 3 = 28,50 \text{ (kN/m)}$$

$$E_2 = 19 * 3 = 57,00 \text{ (kN/m)}$$

$$E_3 = \frac{1}{2} * 9 * 3 = 13,50 \text{ (kN/m)}$$

$$E_4 = 84 * t = 84,00 \text{ t (kN/m)}$$

$$E_5 = \frac{1}{2} * 30 * 3 = 45,00 \text{ (kN/m)}$$

$$E_6 = 30 * t = 30 \text{ t (kN/m)}$$

$$E_7 = - 144 * t = - 144 \text{ t (kN/m)}$$

Las distancias (do) a un punto (o) desde los puntos de aplicación de las fuerzas E se indican también en la figura anterior, luego:

E	Momento (m.t.)	t ³	t ²	t	
E1	(28,5) * (t+4)			28,5	114
E2	(57) * (t +1,5)			57	85,5
E3	(13,5) * (t +1)			13,5	13,5
E4	(84 t) * (t/2)		42		
E5	(45 t) * (t +1)			45	45
E6	(30 t) * (t/2)		15		
E7	- (144 t) * (t/2)		-72 t ²		
	Suma momentos =		- 15 t ²	144 t	258

La ecuación de equilibrio de momentos queda educida en este caso a una ecuación de segundo grado: **-15 t² +144 t + 258 = 0**

La solución matemática: t =11,14 m → con seguridad 1,2 (método de Blum)

$$t = 1,2 * 11,14 = 13,37 \text{ m} \approx 14 \text{ m} \quad \text{🌱 OK!}$$

(a mi modo de ver esta es la interpretación correcta de CTE – F.3.3 y F.3.4)

3º/ La profundidad total a excavar de la pantalla : 14 + 6 = 20m.



4º/ Comprobación estabilidad fondo excavación (CTE):

$$\sigma = \gamma * H \leq 7,5 \frac{C_u}{2,5}$$

$$\sigma = 19 * 6 = 114 \text{ kN} / \text{m}^2 \leq 7,5 \frac{60}{2,5} = 180 \text{ kN} / \text{m}^2$$

OK!



POLITÉCNICA

CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL

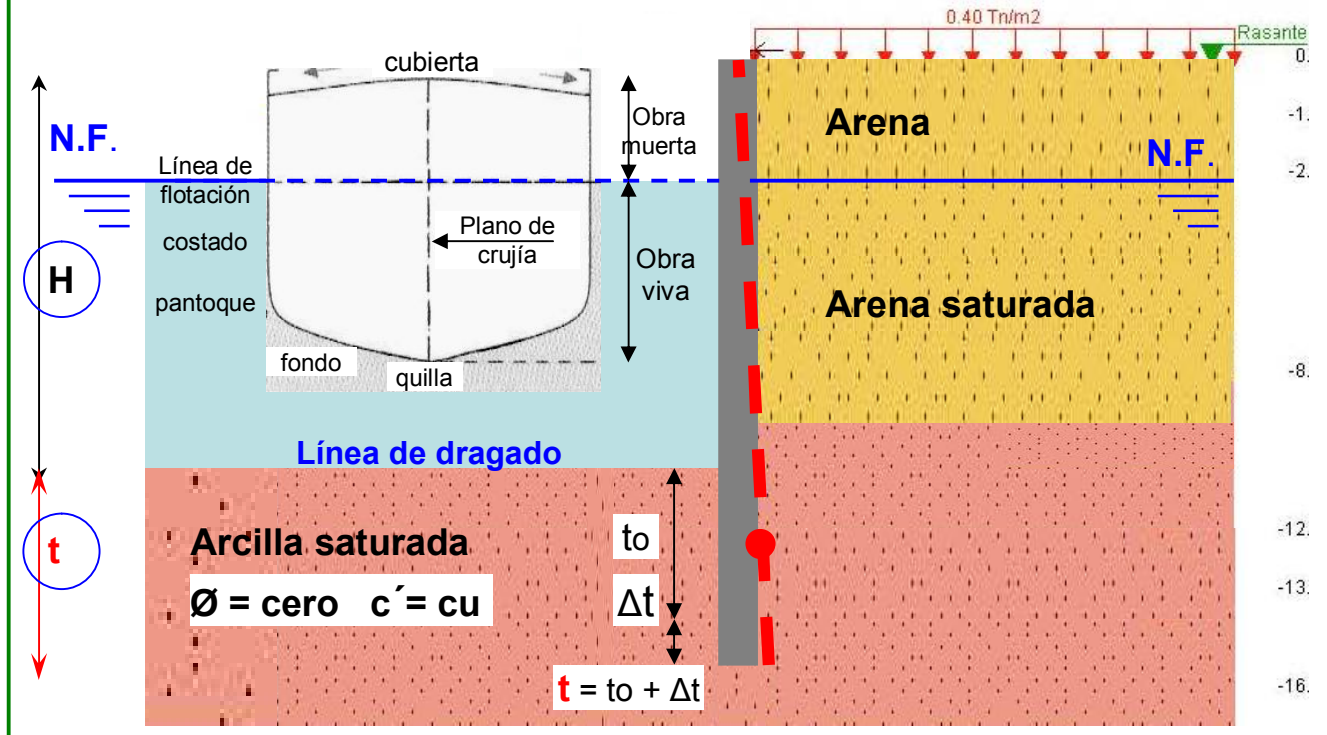
"Ingeniamos el futuro"



E.T.S.E.M.

Escuela Técnica Superior de Edificación Madrid

Ejemplo MURO PANTALLA DE HORMIGÓN: arcilla saturada



Muro pantalla o tablestaca en arcilla saturada (Ø = cero, c' = cu)

Se trata de un caso especial en edificación, pero usual en obra pública.

En un puerto el método constructivo sería:

- 1º Realizar el muro pantalla con lodos bentoníticos.
- 2º Realizar el dragado del lateral inundado.

La novedad radica en que del terreno arcilloso se puede extraer una muestra inalterada y ensayarla. Se se puede obtener un resultado de rotura a compresión los valores de cálculo serán:

Ángulo de rozamiento interno: Ø = cero.

Cohesión efectiva sin drenaje c' = cu.

En edificación puede también darse este caso, CTE proporciona la formulación:

Empuje activo

$$ea = \sigma' ha = Ka * \sigma' v - \left(2c * \sqrt{Ka} \right)$$

Con: c = cu y Ka = 1 (al ser Ø = 0)

Empuje pasivo

$$ep = \sigma' hp = Kp * \sigma' v + \left(2c * \sqrt{Kp} \right)$$

Con: c = cu y Kp = 1 (al ser Ø = 0)

