

GEOTECNIA APLICADA 94.09

EXCAVACIONES

MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA



MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA



MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Origen del problema

Se desea aprovechar al máximo la superficie del terreno por debajo del nivel de terreno natural (subsuelos)





INTRODUCCIÓN

Origen del problema

Diseñar una excavación implica definir y diseñar:

- ✓ Campaña geotécnica
- ✓ Sistema de sostenimiento
- ✓ Sistema de apuntalamientos
- ✓ Sistema de manejo de aguas
- ✓ Procedimiento constructivo
- ✓ Sistemas de auscultación y planes de contingencia

INTRODUCCIÓN

Origen del problema

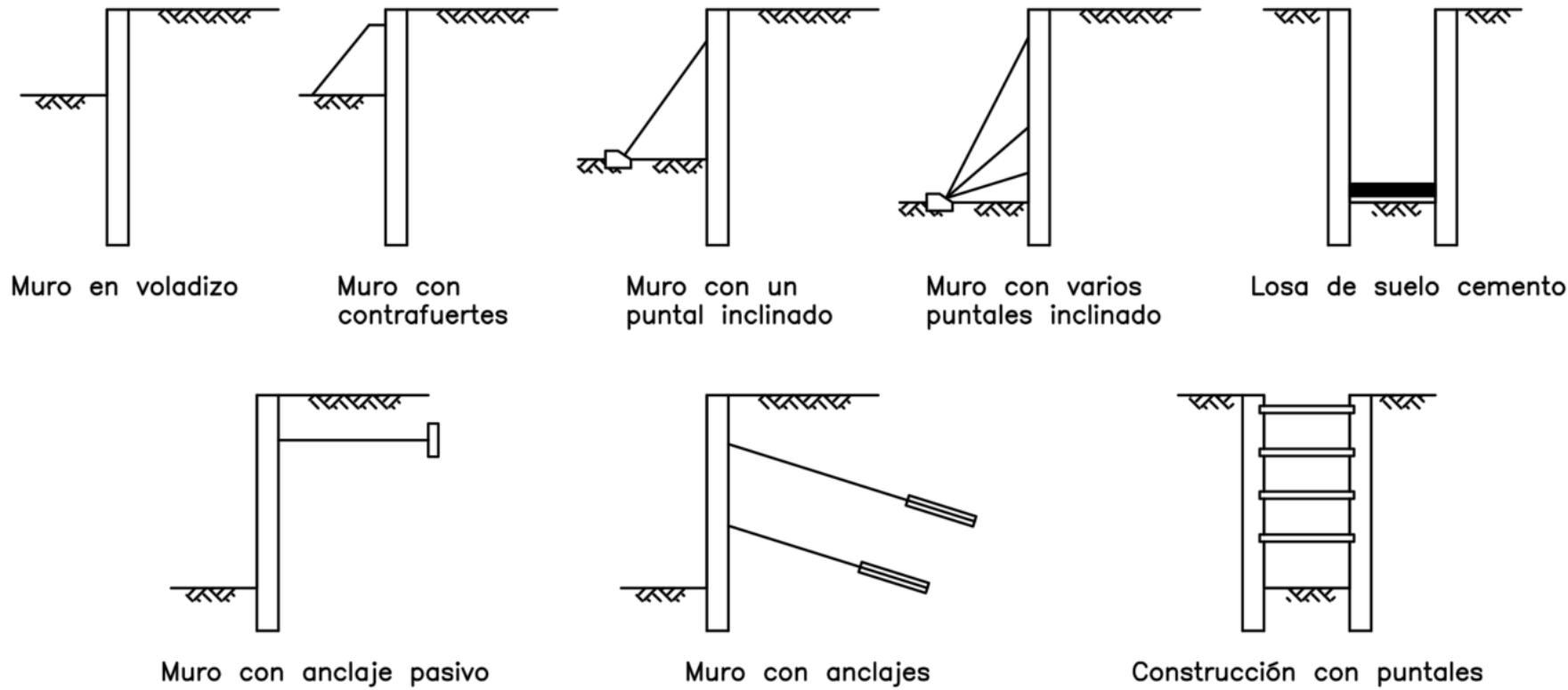
Diseñar una excavación implica definir y diseñar:

- ✓ Campaña geotécnica
- ✓ **Sistema de sostenimiento**
- ✓ Sistema de apuntalamientos
- ✓ Sistema de manejo de aguas
- ✓ Procedimiento constructivo
- ✓ Sistemas de auscultación y planes de contingencia

- 
- Taludes
 - Anclajes pasivos
 - Anclajes activos
 - Pantalla de pilotes
 - Muros colados
 - Tablestacas
 - Monocodales
 - Muro Berlinés

INTRODUCCIÓN

Tipos de entibamientos



TALUDES Y MUROS CON ANCLAJES

➤ Taludes

- Siempre la opción más económica si el problema lo permite.

➤ Anclajes pasivos

- Solución de baja tecnología, económica y rápida pero pobre control de deformaciones.

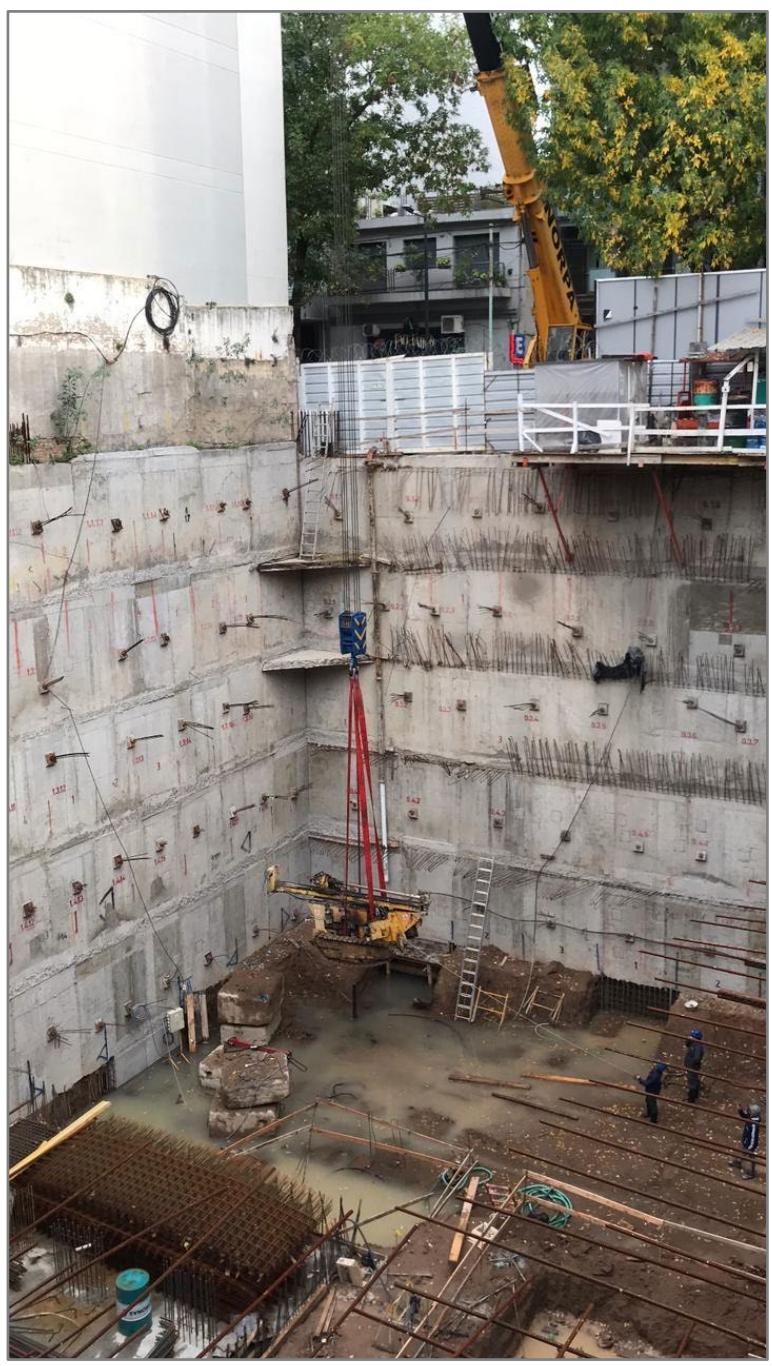
➤ Anclajes activos

- Solución con mayor control de deformaciones laterales.



MUROS CON ANCLAJES





PANTALLAS DE PILOTES

Buena solución, **acelera excavación** y reduce la **cantidad de anclajes**.

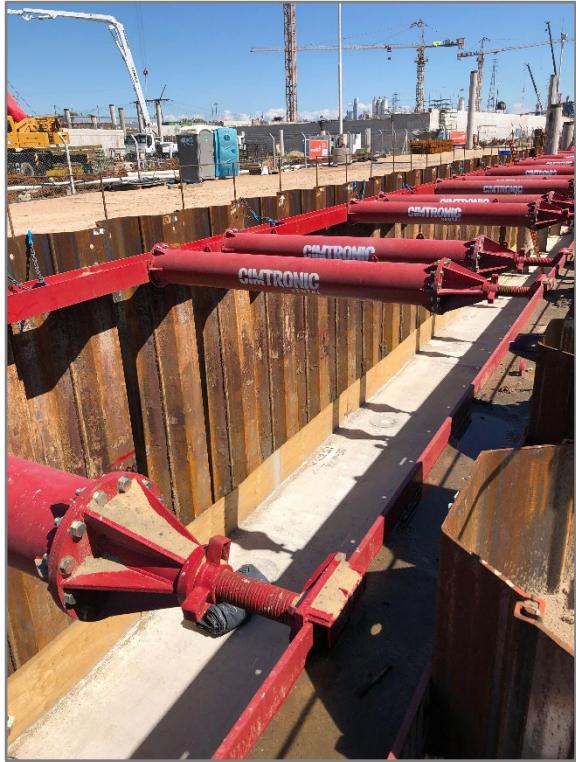
- Discontinua, tangentes o secantes (duro-blando).



TABLESTACAS

Buena solución
para **excavaciones
lineales** temporarias.

- Apuntaladas o en
voladizo





INTRODUCCIÓN

Sistemas instalados **antes** de la excavación

Los sistemas de sostenimiento **más seguros** se instalan antes de la excavación, con/sin abatimiento de napa.

➤ **Sostenimiento continuo:**

- Muros colados / premoldeados
- Tablestacas

➤ **Sostenimiento discontinuo:**

- Pilas/pilotes anclados
- Muro berlínés

Excepto por las tablestacas (no aptas para suelos duros) estos sistemas sirven para cualquier terreno.



INTRODUCCIÓN

Sistemas instalados durante de la excavación

Algunos suelos (de grano fino cementados) permiten la ejecución del sostenimiento **junto con la excavación**:

- Soil nailing
- Anclajes activos/pasivos
- Puntales

Estos sistemas **exigen**:

- ✓ Abatimiento de la napa
- ✓ Cementación y/o succión que sostenga el terreno hasta que se instale el sostenimiento



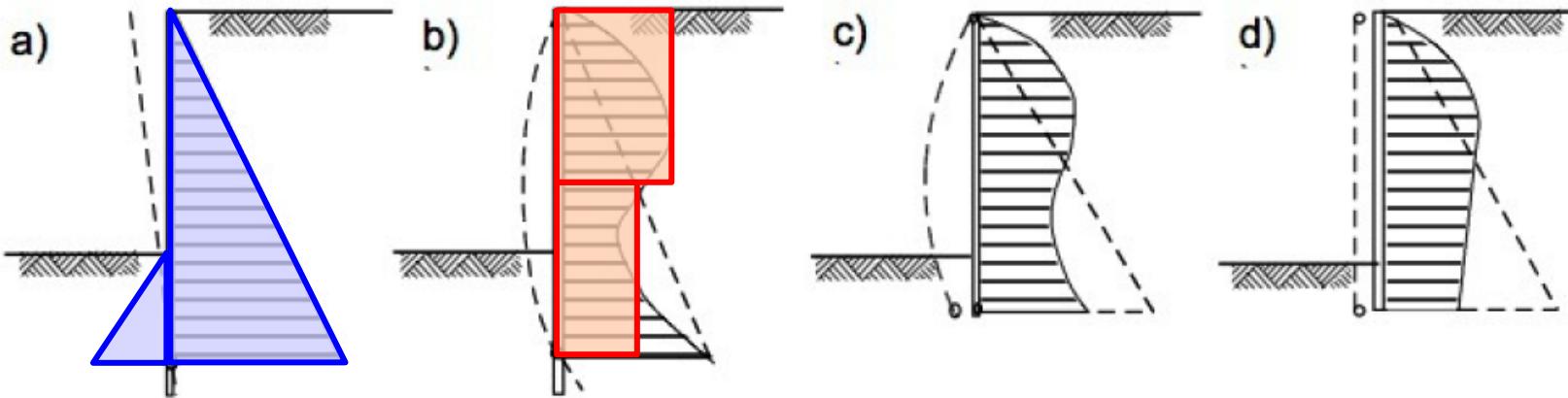
INTRODUCCIÓN

Datos necesarios

- **Estudios de Suelos:**
 - ✓ Parámetros del suelo (ϕ' , c' , γ' , E , etc.)
 - ✓ Diagramas de empuje
 - ✓ Nivel freático
- **Entorno:**
 - ✓ Estado de los muros
 - ✓ Existencia de subsuelos y estructuras existentes
 - ✓ Presencia de instalaciones
 - ✓ Aspectos legislativos
- **Método constructivo**
- **Proyecto de arquitectura/ingeniería**
 - ✓ Características de la estructura
 - ✓ Presencia de obstrucciones

INTRODUCCIÓN

La distribución de presiones depende del procedimiento constructivo y del grado de deformación.



Muro Cantiléver: “Empotrado” (Cabeza libre de rotar)

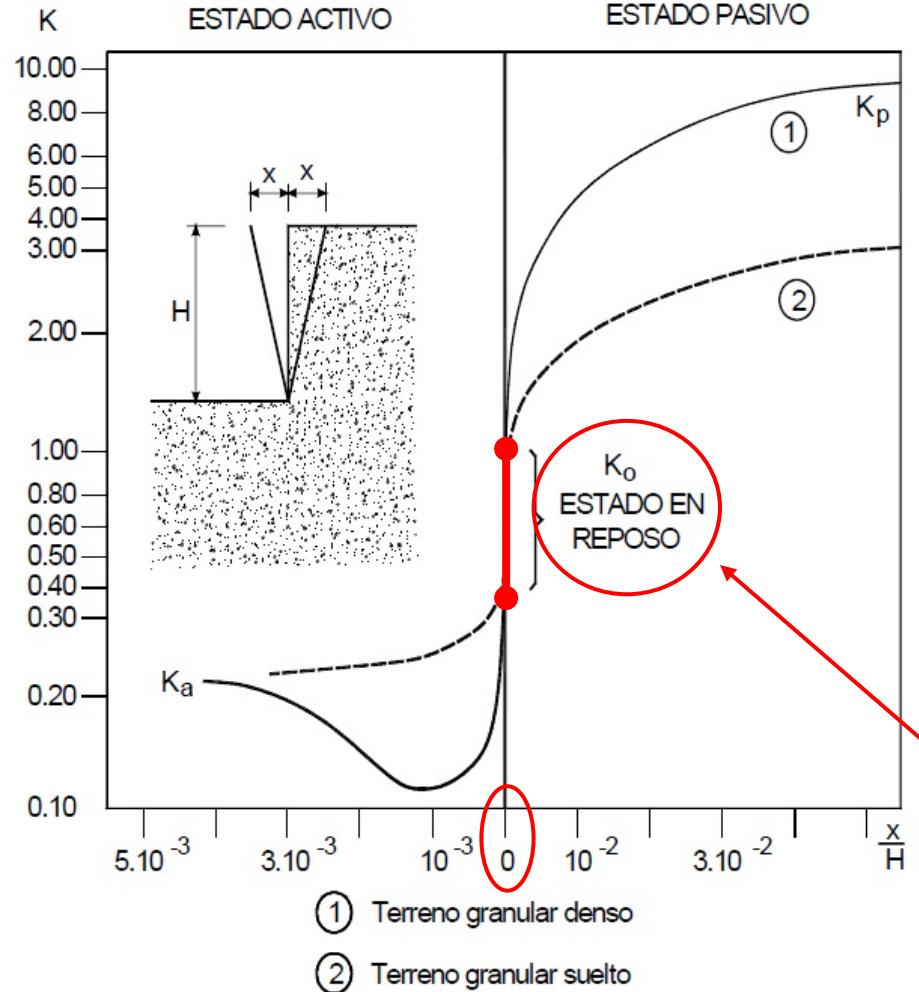
Muro con Anclajes: Mayor empuje en zonas de menor deformación (Anclajes)

El empuje sobre la pantalla depende de la ubicación y rigidez de los anclajes, y de los desplazamientos de la pantalla.

Aunque **la resultante del diagrama es siempre la misma**, hay menor carga en el tramo y mayor carga en los apoyos

INTRODUCCIÓN

Empujes sobre estructuras de contención



Los empujes dependen del grado de deformación.

A medida que el suelo se relaja, disminuye la presión del terreno hasta el límite del estado activo.

Buscamos reducir las deformaciones, a costa de un mayor empuje sobre la estructura de contención.

- Utilizaremos: K_0



MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

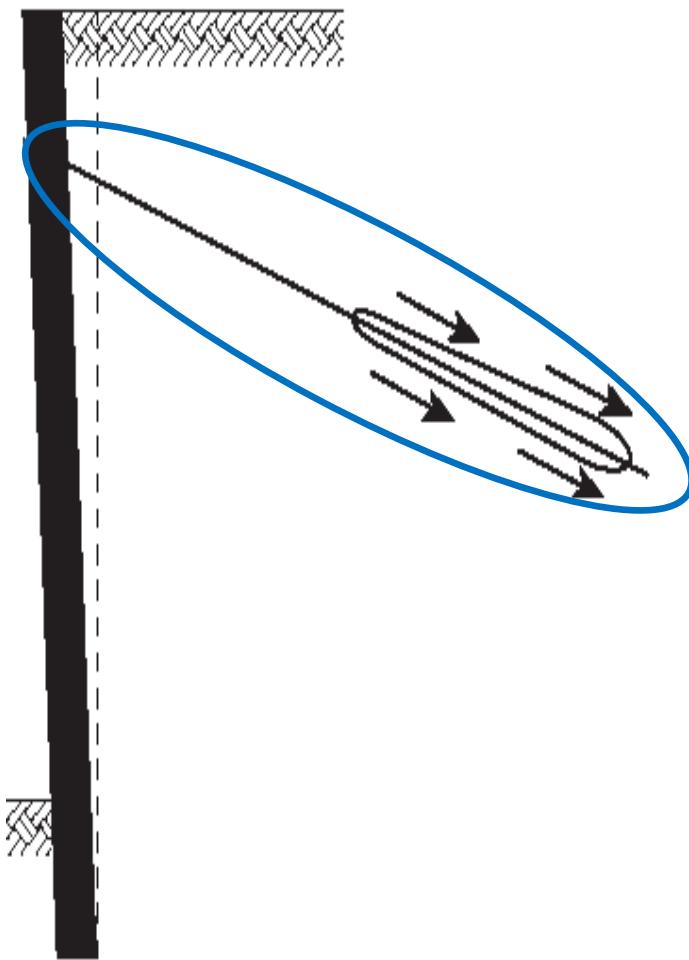
ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

ANCLAJES E INYECCIONES

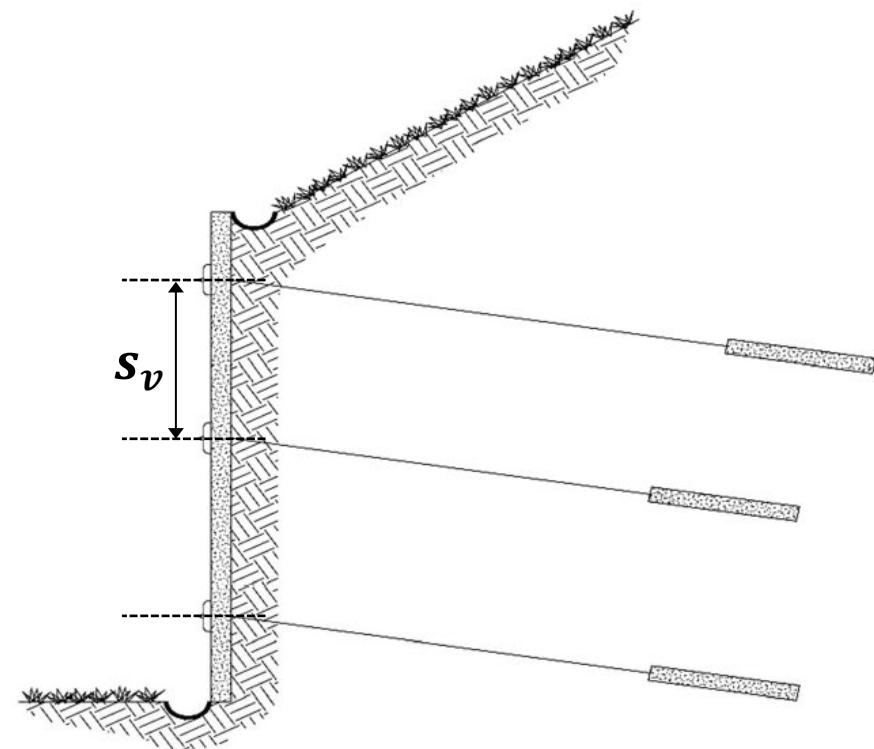
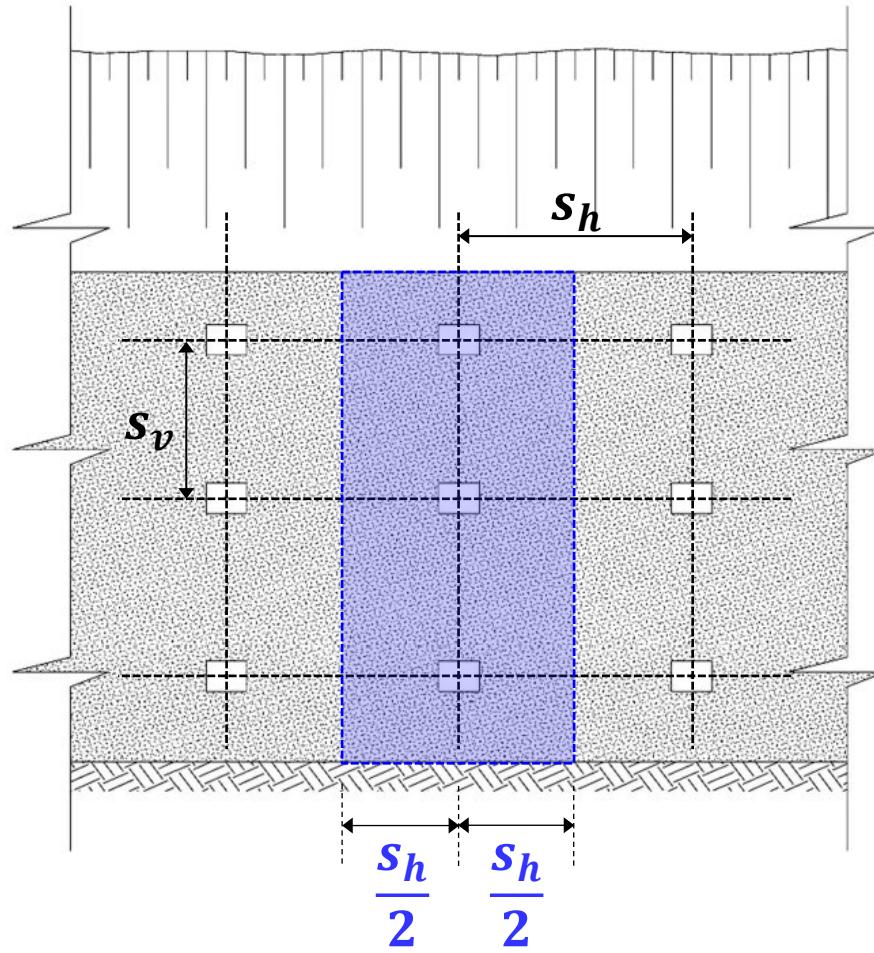
Definición

- Un anclaje es una estructura de fundación para cargas de tracción.
- Está constituido por barras o cables instalados en una perforación, que se rellena con pasta de cemento.
- La carga se transfiere al terreno por corte a través del relleno de la perforación (bulbo) o, en casos menos frecuentes, mediante el empuje pasivo, como el caso de "muertos de anclaje".



ANCLAJES E INYECCIONES

Características: Disposición general





ANCLAJES E INYECCIONES

Características: Durabilidad

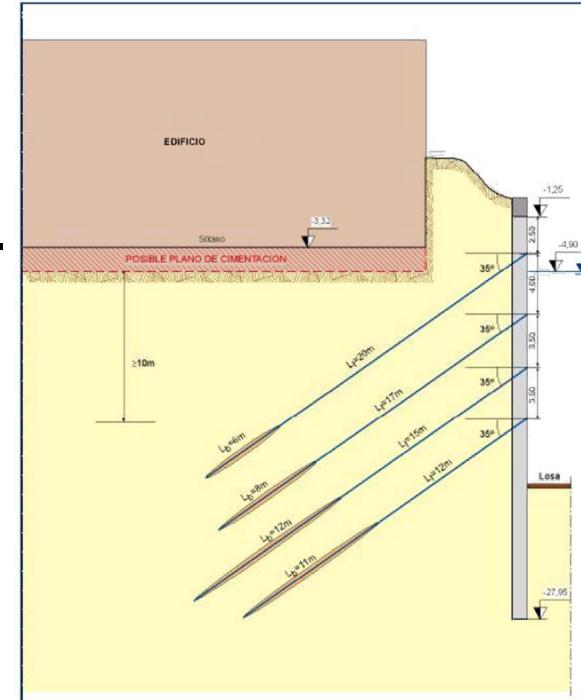
- Anclajes **temporales** o provisarios:
 - Vida de servicio limitada, según la duración de la construcción.
 - Menor protección contra la corrosión.
- Anclajes **permanentes**:
 - Tiempo mayor al temporal o superior a la vida útil del proyecto de origen.
 - Mayores coeficientes de seguridad.
 - Mayor protección contra el deterioro.
 - Reemplazabilidad.

ANCLAJES E INYECCIONES

Características: Inclinación

Generalmente **descendente** para:

- Alcanzar niveles de terreno más profundos, en general más resistentes.
- Facilitar el proceso de colada e inyección, evitando la necesidad de obturar la boca del taladro y colocar tubos de salida del aire.
- Alejar la perforación de cimentaciones o estructuras enterradas cercanas.



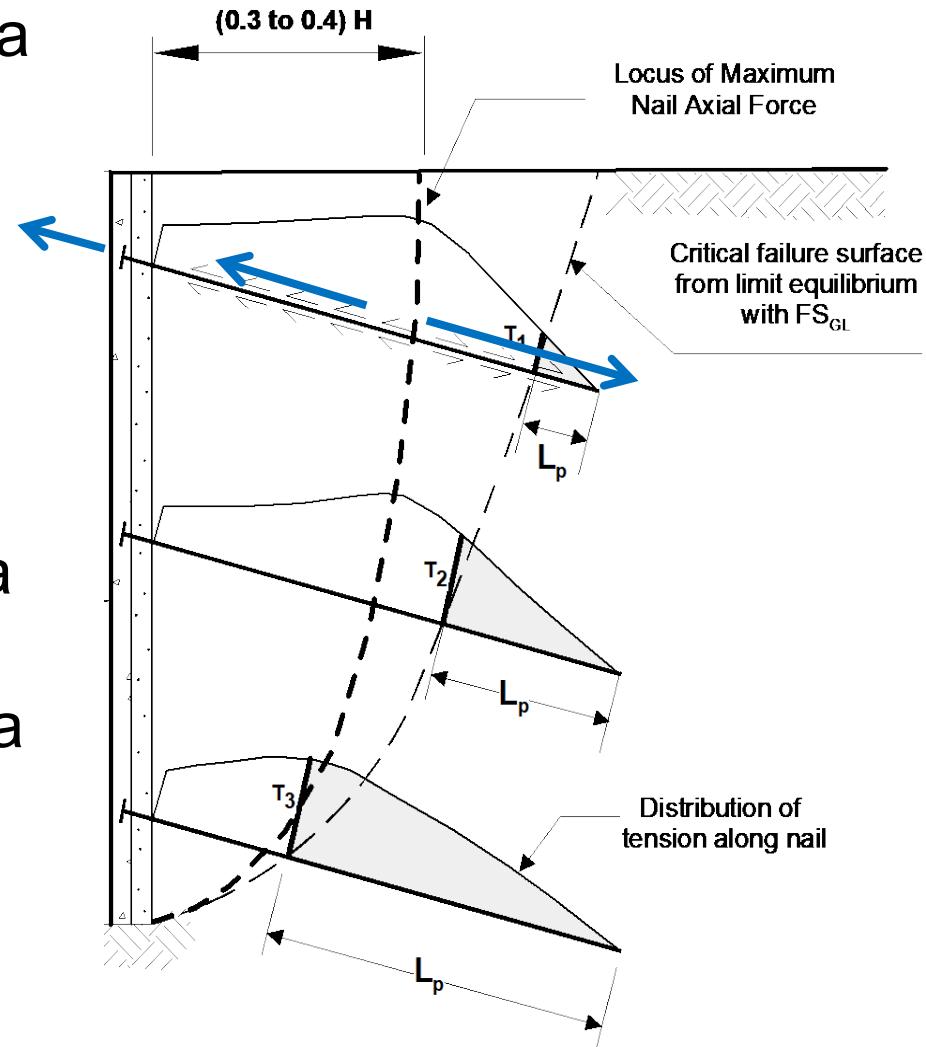
- ✓ Se recomienda un ángulo de inclinación de 15° a 35° .
- ✓ A partir de 45° la fuerza horizontal del anclaje es muy poco aprovechada (baja eficiencia).
- ✓ Con mayores inclinaciones aumenta la carga vertical.

ANCLAJES E INYECCIONES

Anclajes activos y pasivos

- Un **anclaje pasivo** se carga cuando se deforma la estructura que sostiene
 - La carga máxima no llega a la cabeza del anclaje.

- Un **anclaje activo** se carga mediante postesado.
 - La carga máxima llega a la cabeza del anclaje.
 - Siempre requiere una placa de cabeza.



ANCLAJES E INYECCIONES

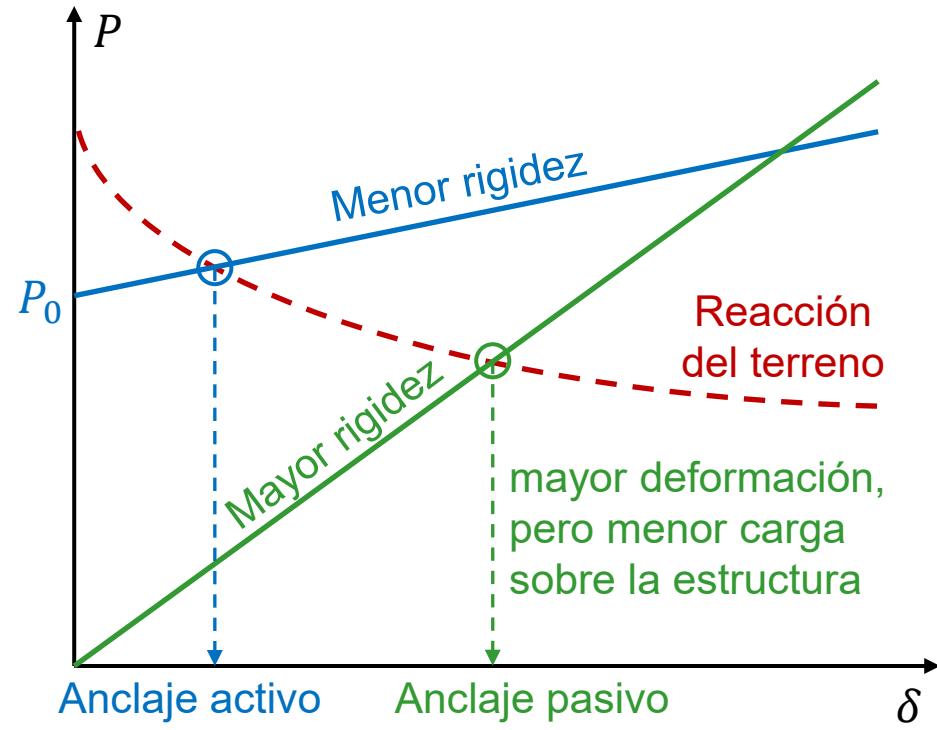
Anclajes activos y pasivos

Anclajes pasivos

- Material: barra, placa, hélice de acero dúctil.
- No tienen longitud libre
- Tienen alta rigidez
- $P_0 \cong 0kN$

Anclajes activos

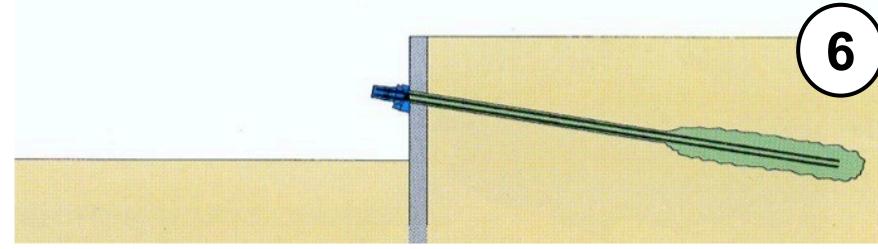
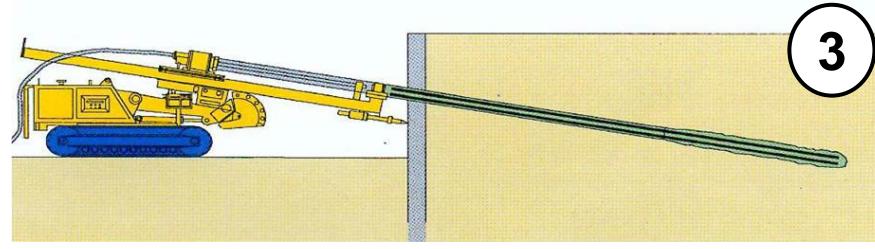
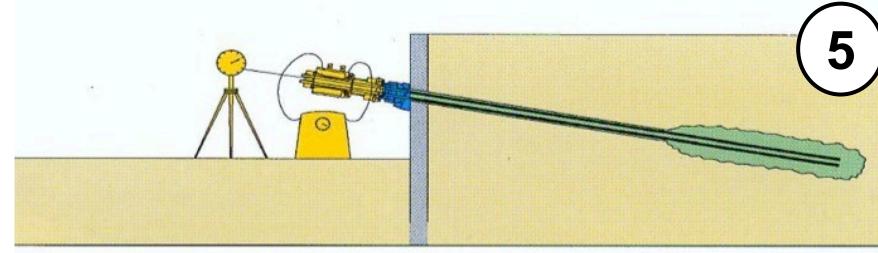
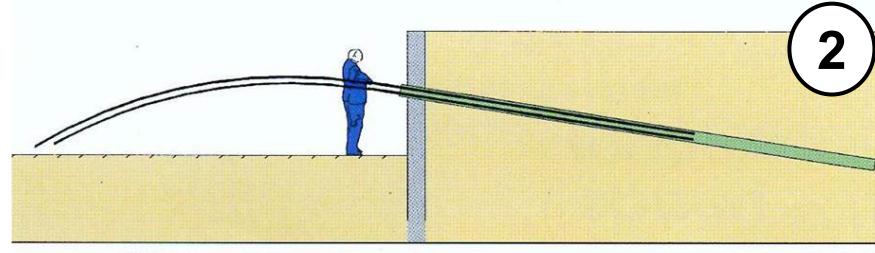
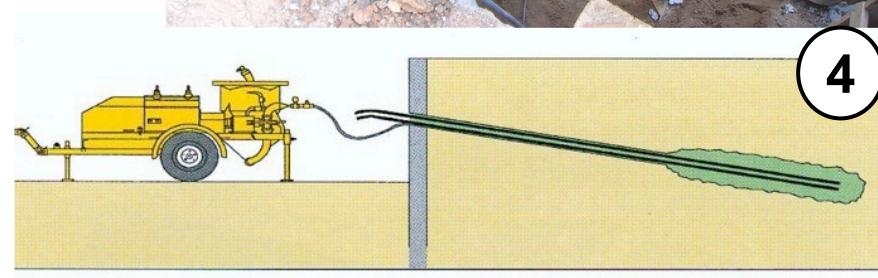
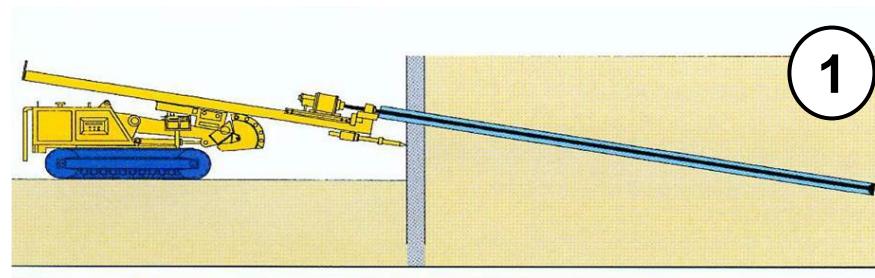
- Material: cable o barra de alta resistencia.
- Tienen longitud libre
- Tienen baja rigidez
- $P_0 \cong 65\% P_{max}$



ANCLAJES E INYECCIONES

Anclajes activos

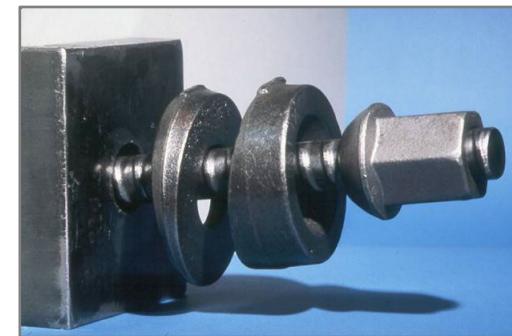
Procedimiento de ejecución



ANCLAJES E INYECCIONES

Anclajes activos

- Los anclajes activos entran en **carga** mediante técnicas de **postesado**, de manera que tienen carga desde el momento en que se **instalan**.
- Es muy importante realizar un correcto **bloqueo**.





ANCLAJES E INYECCIONES

Selección de tipo de anclaje según terreno

Terreno	Barra	Cable	Placa o hélice
Roca	Si	Si	No
Arcillas y limos plásticos	Si	Si	Si, suelos no cementados
Arenas	Si, mejor autoperforante	Si, lodos o camisas	Si
Gravas	Si, mejor autoperforante	Si, lodos o camisas	No



ANCLAJES E INYECCIONES

Tipologías de inyección

Anclajes con inyección única global (IU) ó (IGU): Se realiza de una sola vez, rellenando el taladro a baja presión mediante un conducto que llega hasta el fondo.

Anclajes con inyección repetitiva (IR): Se inyecta en varias fases y a través de varios puntos. Previamente se realiza una inyección IU.

Anclajes con inyección repetitiva selectiva (IRS): La inyección se ejecuta en varias fases y a través de varios puntos, pudiéndose controlar en cada uno de ellos la presión y volumen alcanzados en cada fase de inyección. Previamente se realiza una inyección IU.



ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (verificar con ensayos)

Table 6. Presumptive ultimate values of load transfer for preliminary design of small diameter straight shaft gravity-grouted ground anchors in soil.

Longitud < 12m

Soil type	Relative density/Consistency (SPT range) ⁽¹⁾	Estimated ultimate transfer load (kN/m)
Sand and Gravel	Loose (4-10)	145
	Medium dense (11-30)	220
	Dense (31-50)	290
Sand	Loose (4-10)	100
	Medium dense (11-30)	145
	Dense (31-50)	190
Sand and Silt	Loose (4-10)	70
	Medium dense (11-30)	100
	Dense (31-50)	130
Silt-clay mixture with low plasticity or fine micaceous sand or silt mixtures	Stiff (10-20)	30
	Hard (21-40)	60

FHWA. *Ground Anchors and Anchored Systems*



ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (verificar con ensayos)

Table 7. Presumptive average ultimate bond stress for ground/grout interface along anchor bond zone (after PTI, 1996).

Rock		Cohesive Soil		Cohesionless Soil	
Rock type	Average ultimate bond stress (MPa)	Anchor type	Average ultimate bond stress (MPa)	Anchor type	Average ultimate bond stress (MPa)
Granite and basalt	1.7 - 3.1	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.03 - 0.07	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.07 - 0.14
Dolomitic limestone	1.4 - 2.1	Pressure-grouted anchors (straight shaft)		Pressure-grouted anchors (straight shaft)	
Soft limestone	1.0 - 1.4	<ul style="list-style-type: none"> Soft silty clay 	0.03 - 0.07	<ul style="list-style-type: none"> Fine-med. sand, med. dense - dense 	0.08 - 0.38
Slates and hard shales	0.8 - 1.4	<ul style="list-style-type: none"> Silty clay 	0.03 - 0.07	<ul style="list-style-type: none"> Med.-coarse sand (w/gravel), med. dense 	0.11 - 0.66
Soft shales	0.2 - 0.8	<ul style="list-style-type: none"> Stiff clay, med. to high plasticity 	0.03 - 0.10	<ul style="list-style-type: none"> Med.-coarse sand (w/gravel), dense - very dense 	0.25 - 0.97
Sandstones	0.8 - 1.7	<ul style="list-style-type: none"> Very stiff clay, med. to high plasticity 	0.07 - 0.17	<ul style="list-style-type: none"> Silty sands 	0.17 - 0.41
Weathered Sandstones	0.7 - 0.8	<ul style="list-style-type: none"> Stiff clay, med. plasticity 	0.10 - 0.25	<ul style="list-style-type: none"> Dense glacial till 	0.30 - 0.52
Chalk	0.2 - 1.1	<ul style="list-style-type: none"> Very stiff clay, med. plasticity 	0.14 - 0.35	<ul style="list-style-type: none"> Sandy gravel, med. dense-dense 	0.21 - 1.38
Weathered Marl	0.15 - 0.25	<ul style="list-style-type: none"> Very stiff sandy silt, med. plasticity 	0.28 - 0.38	<ul style="list-style-type: none"> Sandy gravel, dense-very dense 	0.28 - 1.38
Concrete	1.4 - 2.8				

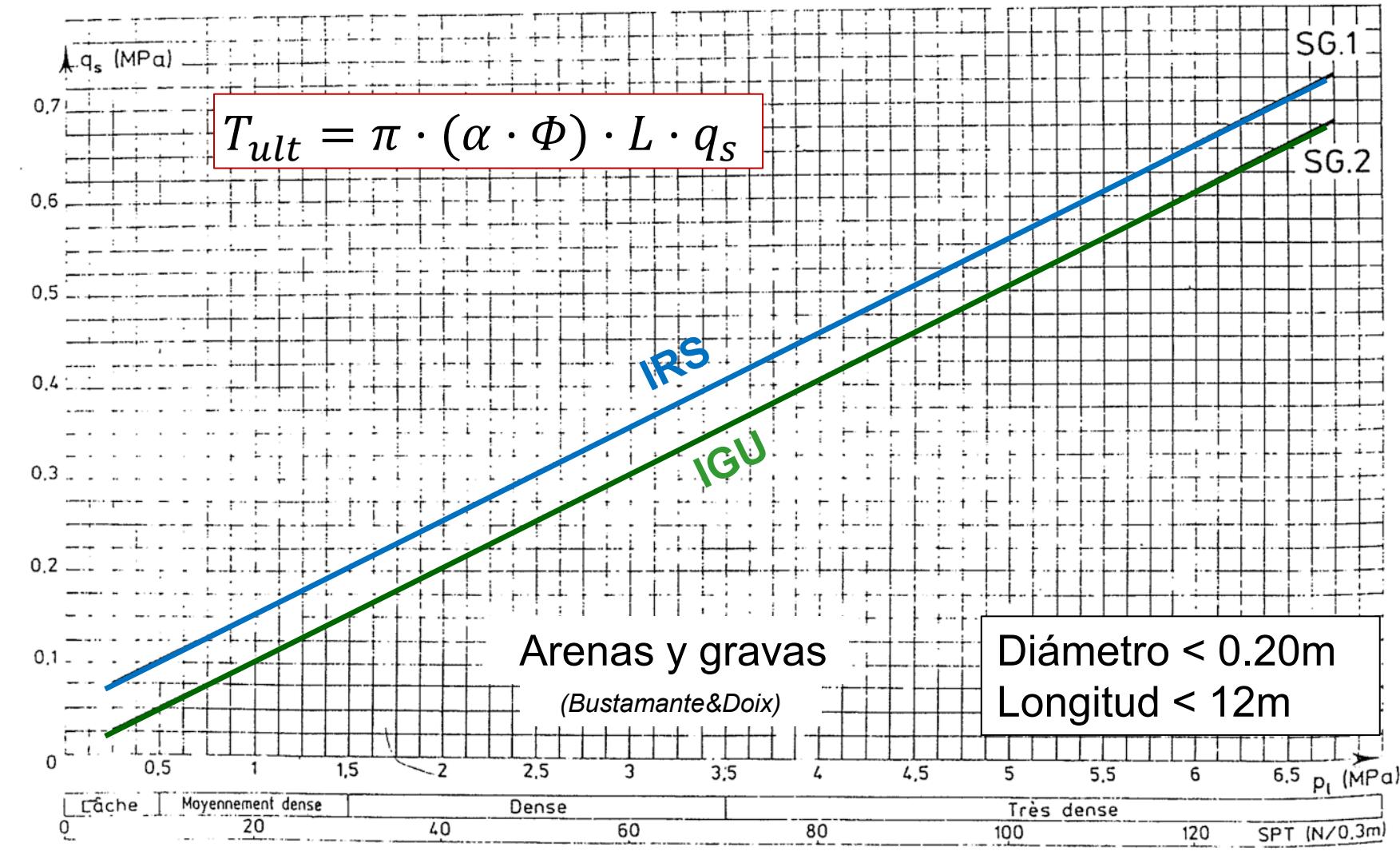
FHWA. Ground Anchors and Anchored Systems

Diámetro < 0.20m | Longitud < 12m

$$T_{ult} = \pi \cdot \Phi \cdot L \cdot q_s$$

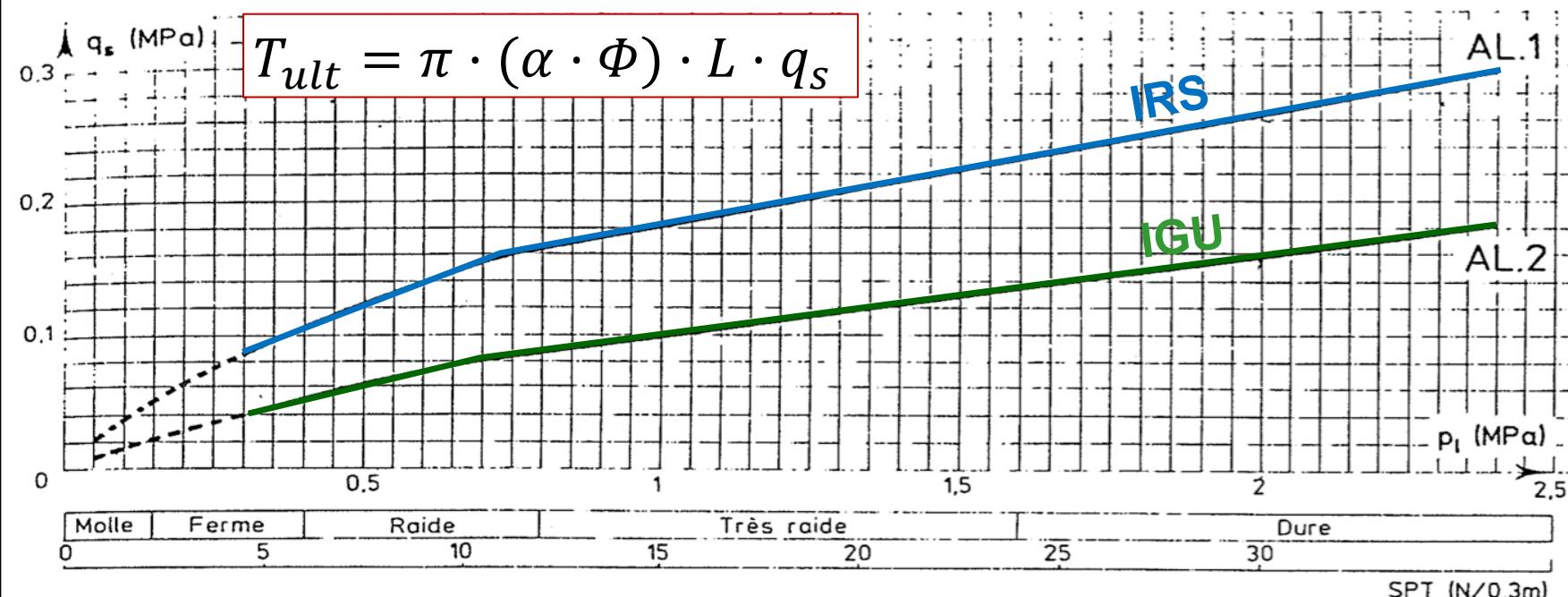
ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (verificar con ensayos)



ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (verificar con ensayos)

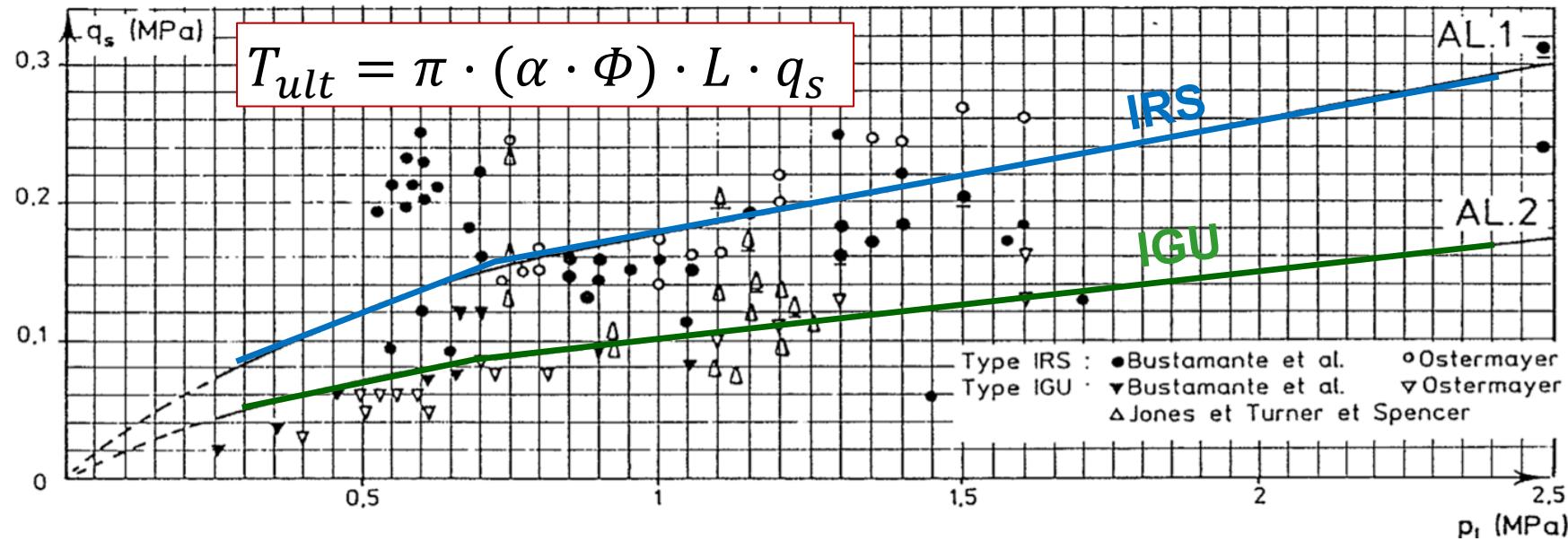


Limos y arcillas
(Bustamante&Doix)

Diámetro < 0.20m
Longitud < 12m

ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (ver la data de base)



Limos y arcillas
(Bustamante&Doix)

Diámetro < 0.20m
Longitud < 12m



ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Diseño de longitud fija (verificar con ensayos)

SOLS	Coefficient α		Quantité minimale de coulis conseillée V_i
	IRS*	IGU**	
Grave	1,8	1,3 à 1,4	1,5 V_s^*
Grave sableuse	1,6 à 1,8	1,2 à 1,4	1,5 V_s
Sable graveux	1,5 à 1,6	1,2 à 1,3	1,5 V_s
Sable grossier	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable moyen	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable fin	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 V_s
Sable limoneux	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	{ 1,5 à 2 V_s pour IRS 1,5 V_s pour IGU
Limon	1,4 à 1,6	1,1 à 1,2	{ 2 V_s pour IRS 1,5 V_s pour IGU
Argile	1,8 à 2	1,2	{ 2,5 à 3 V_s pour IRS 1,5 à 2 V_s pour IGU
Marne	1,8	1,1 à 1,2	1,5 à 2 V_s pour couche compacte
Marno-calcaire	1,8	1,1 à 1,2	
Craie altérée ou fragmentée	1,8	1,1 à 1,2	2 à 6 V_s ou plus, si couche fracturée
Rocher altérée ou fragmenté	1,2	1,1	1,1 à 1,5 V_s si couche finement fissurée 2 ou plus si couche fracturée

V_s : volume du bulle de scellement.

IRS : injection répétitive et sélective.

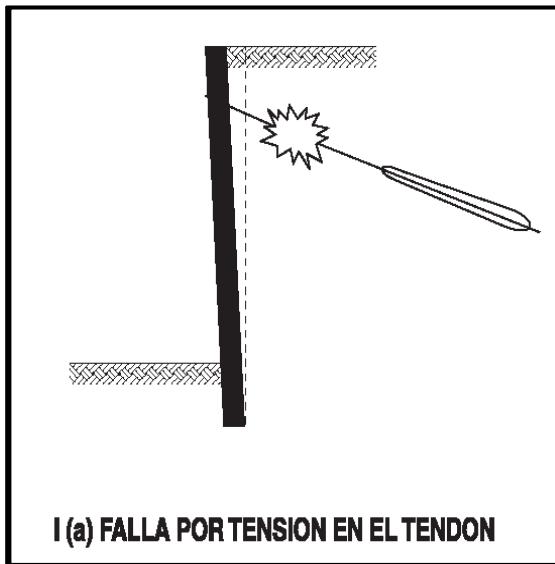
IGU : injection globale en presse unifiée.

* : avec $p_i \geq p_f$

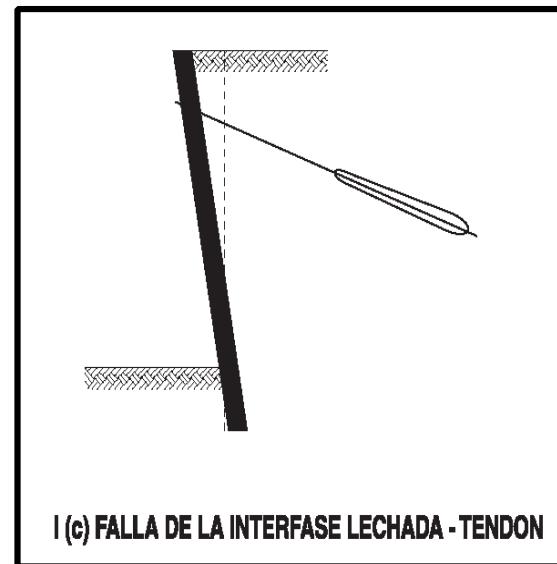
** : avec $0,5 p_f < p_i < p_f$

(Bustamante & Doix)

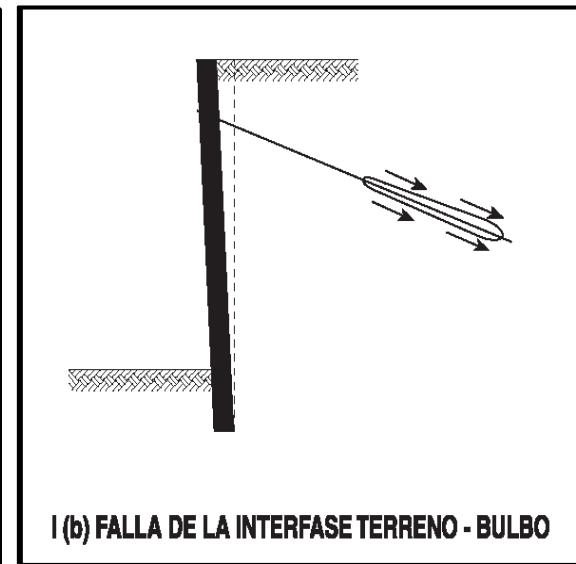
MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES



I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



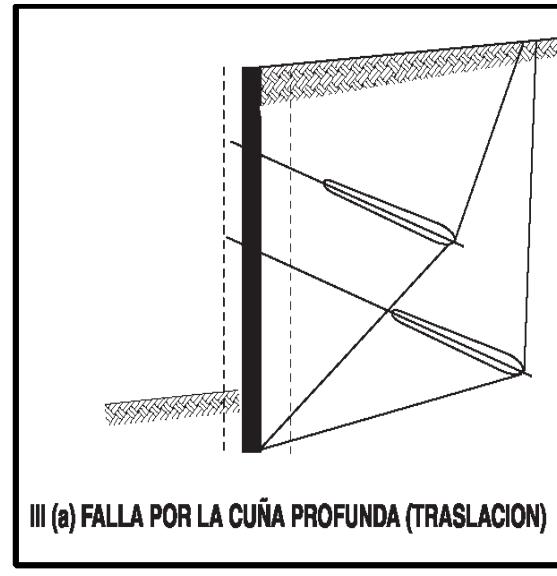
I (c) FALLA DE LA INTERFASE LECHADA - TENDON



I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO



I (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE

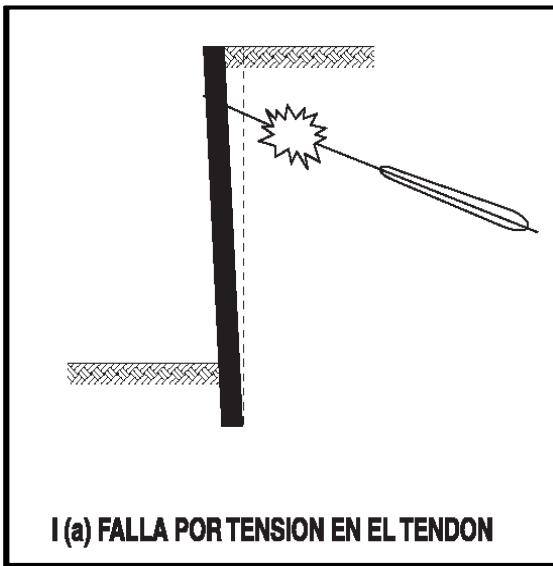


III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)



III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

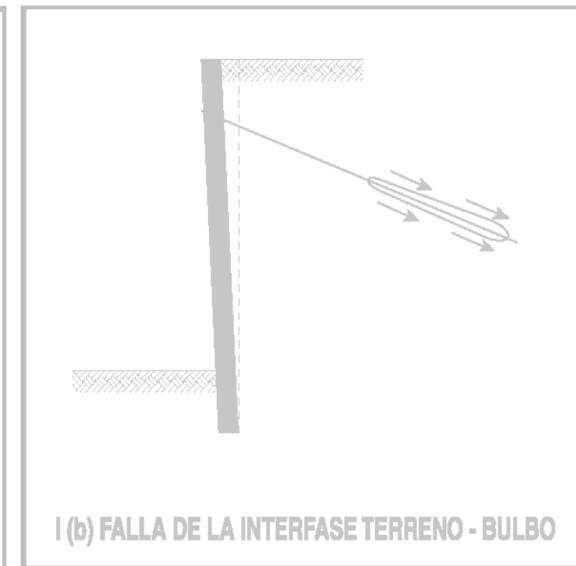
MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES



I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



I (c) FALLA DE LA INTERFASE LECHADA - TENDON



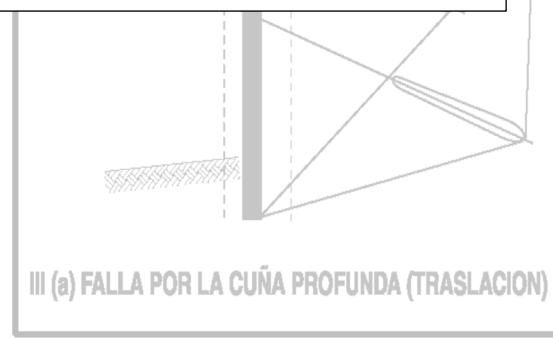
I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO

Posibles **soluciones**:

- ✓ Aumentar área de acero.
- ✓ Colocar protección anticorrosiva.



I (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE

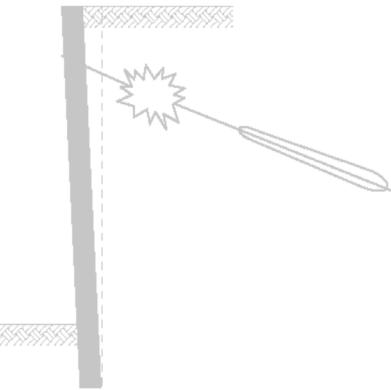


III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)



III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

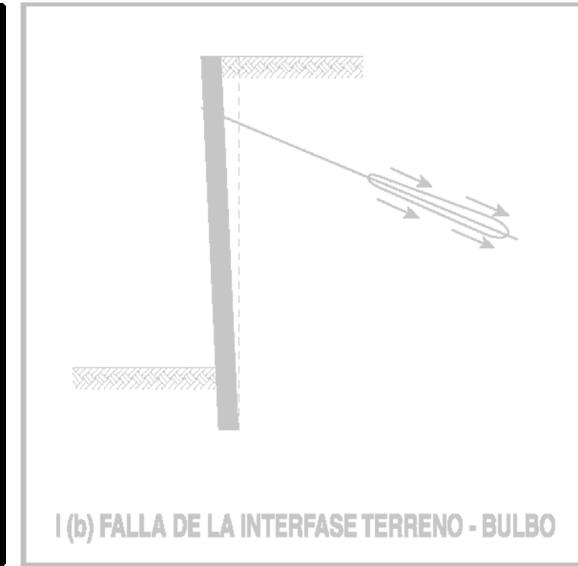
MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES



I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



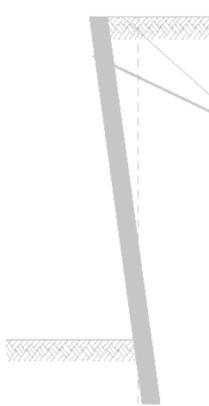
I (c) FALLA DE LA INTERFASE LECHADA - TENDON



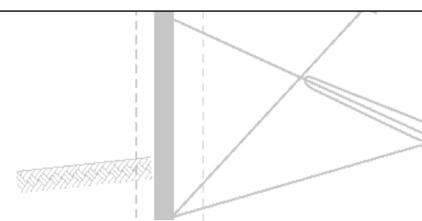
I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO

Posibles **soluciones**:

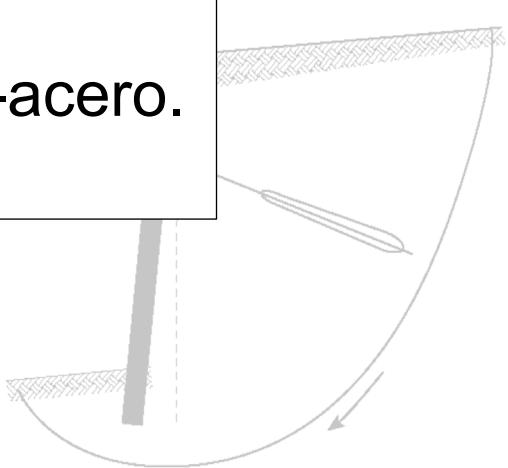
- ✓ Mejorar adherencia lechada-acero.
- ✓ Aumentar la longitud fija.



I (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE

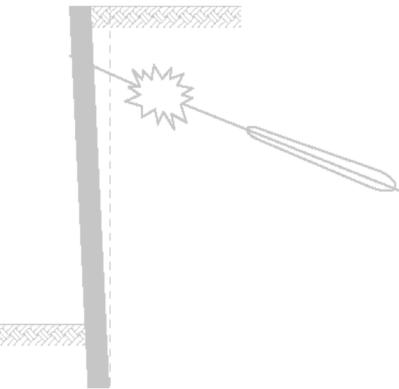


III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)

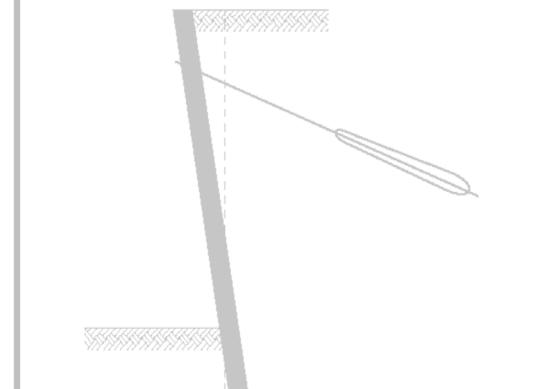


III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

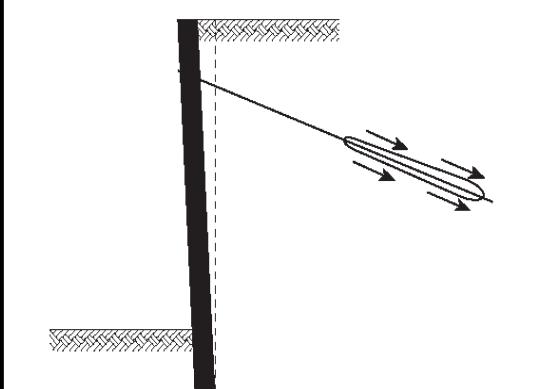
MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES



I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



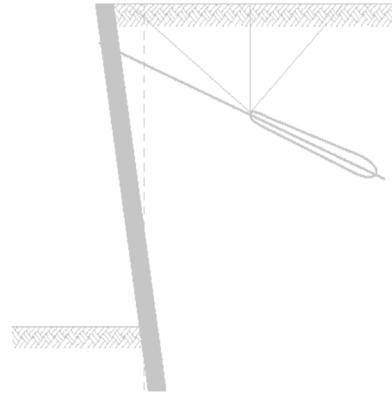
I (c) FALLA DE LA INTERFASE LECHADA - TENDON



I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO

Posibles soluciones:

- ✓ Aumentar el diámetro de la perforación.
- ✓ Mayor presión de inyección.
- ✓ Inyecciones repetitivas.
- ✓ Aumentar la longitud fija.



I (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE

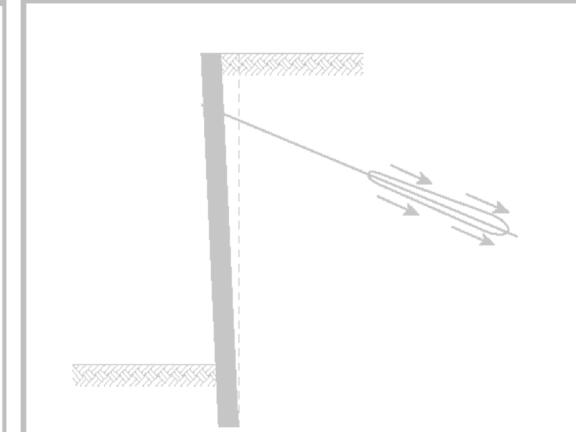
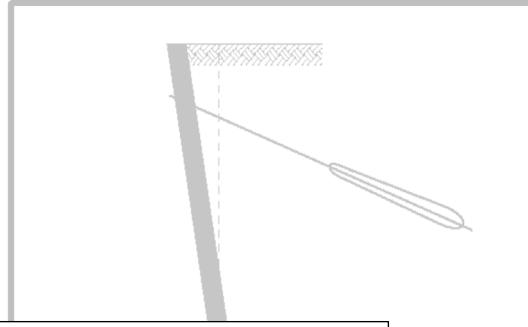
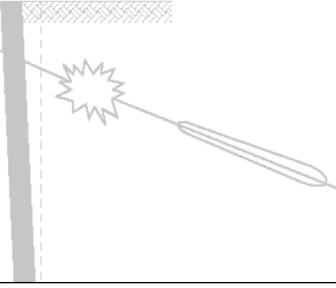


III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)



III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES

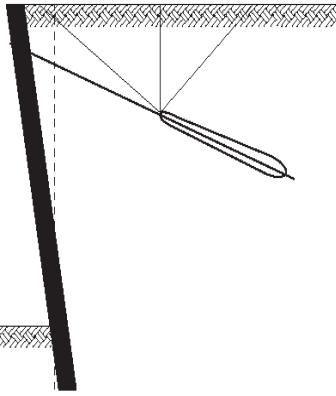


Posibles **soluciones**:

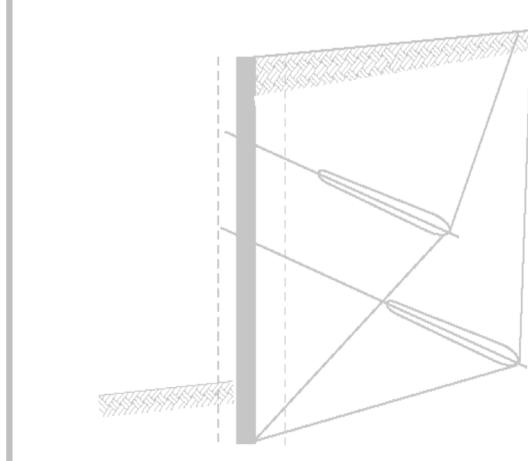
- ✓ Aumentar la tapada sobre el anclaje (mayor profundidad).

I (a) FALLA - TENDON

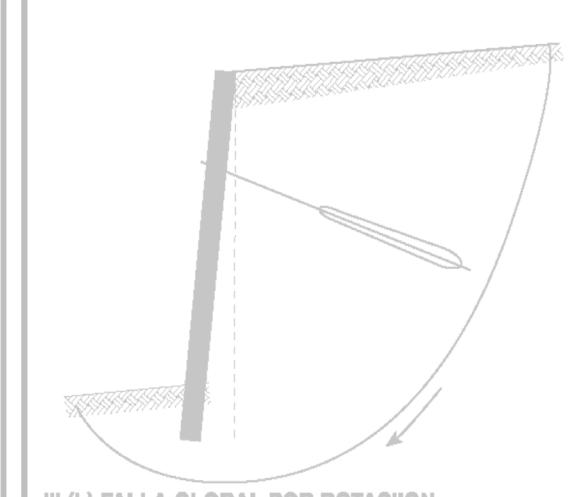
I (b) FALLA DE LA INTERFASE TERRENO - BULBO



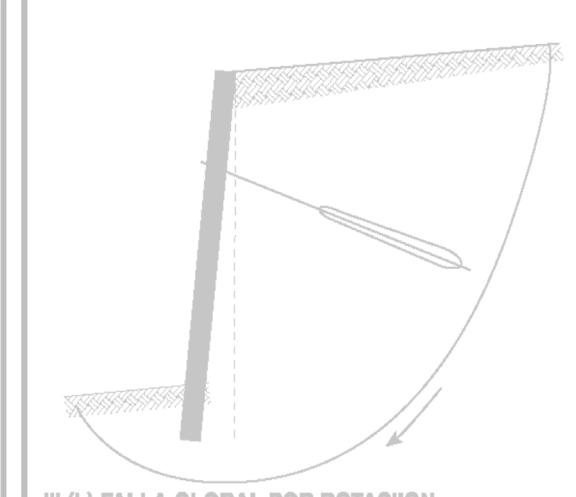
II (a) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE



II (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

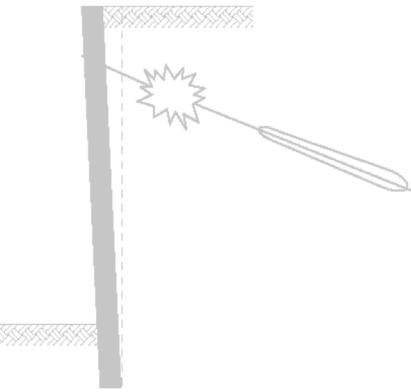


III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)

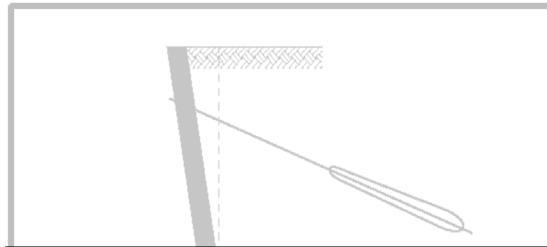


III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION

MECANISMOS DE FALLA: ANCLAJES



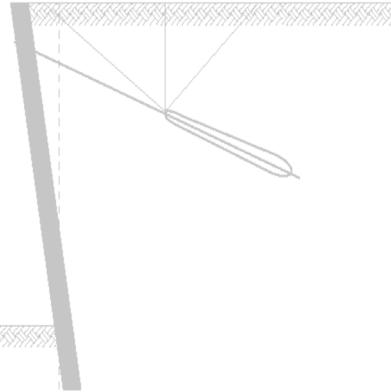
I (a) FALLA POR TENSION EN EL TENDON



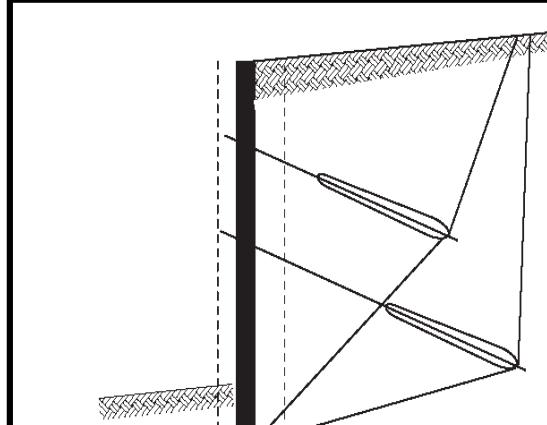
SE TERRENO - BULBO

Posibles soluciones:

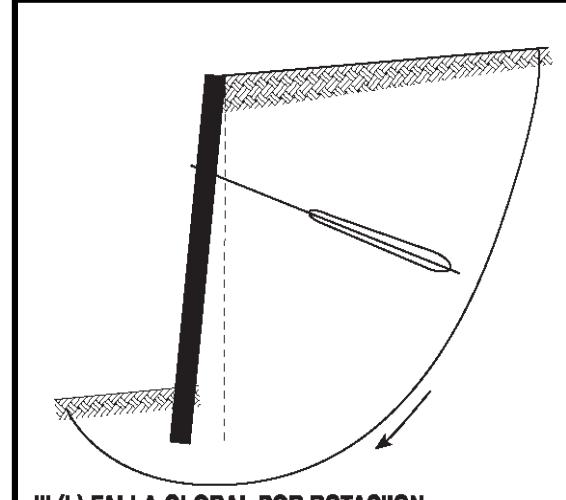
- ✓ Aumentar la longitud libre.
- ✓ Modificar la disposición de filas de anclajes.



I (d) FALLA DEL SUELO POR DELANTE DEL ANCLAJE



III (a) FALLA POR LA CUÑA PROFUNDA (TRASLACION)



III (b) FALLA GLOBAL POR ROTACION



MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

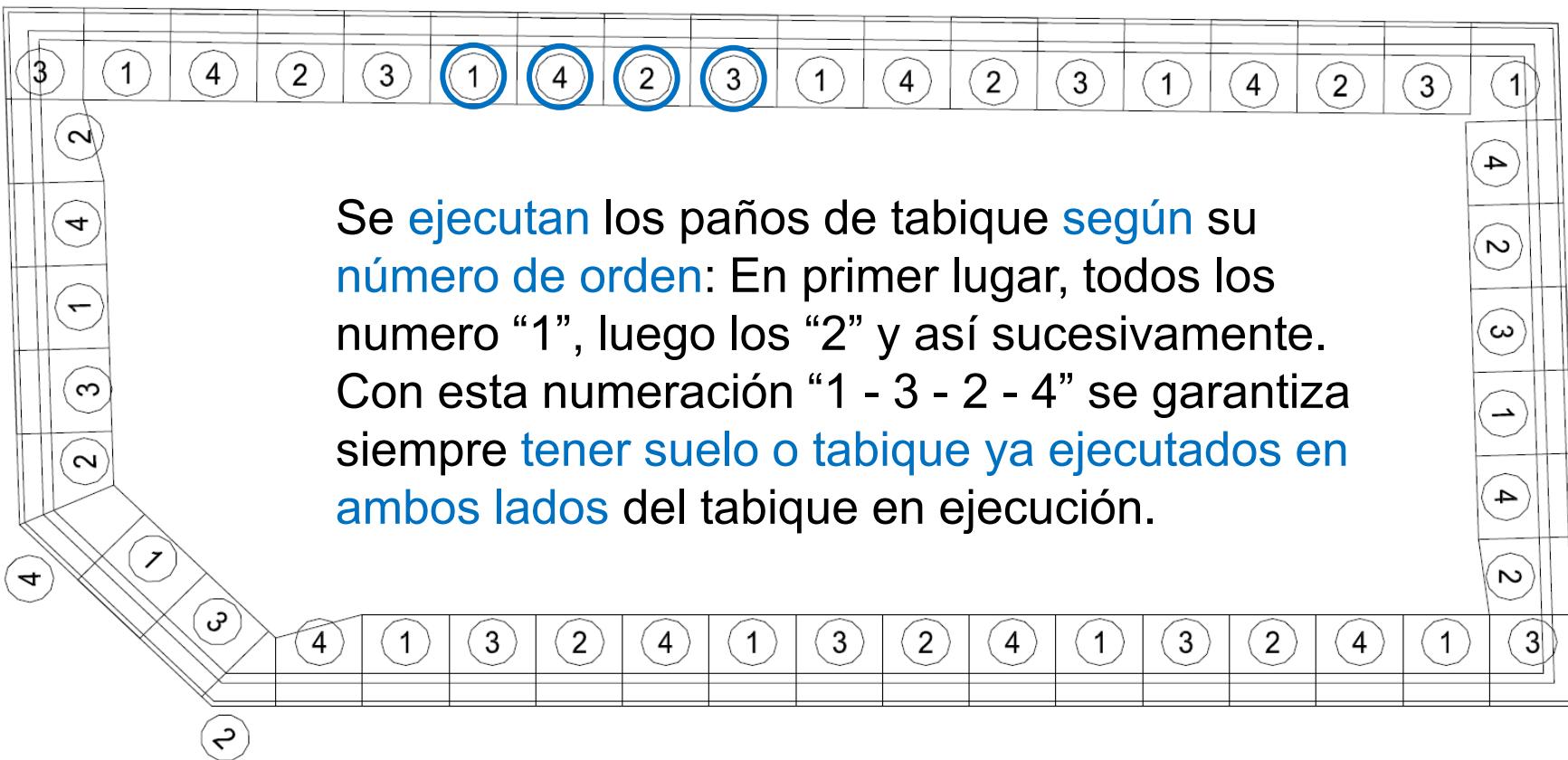
ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Planificación de la excavación

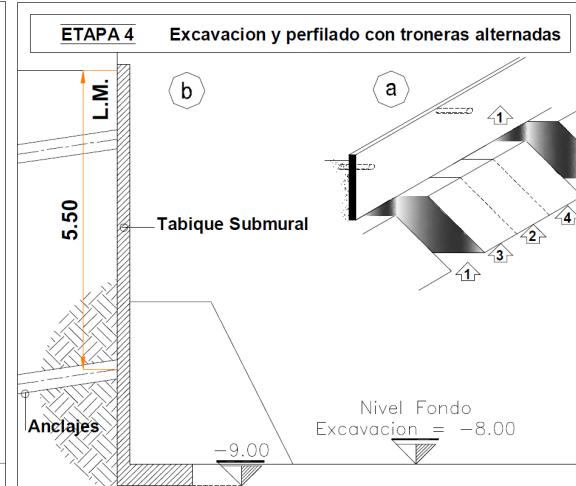
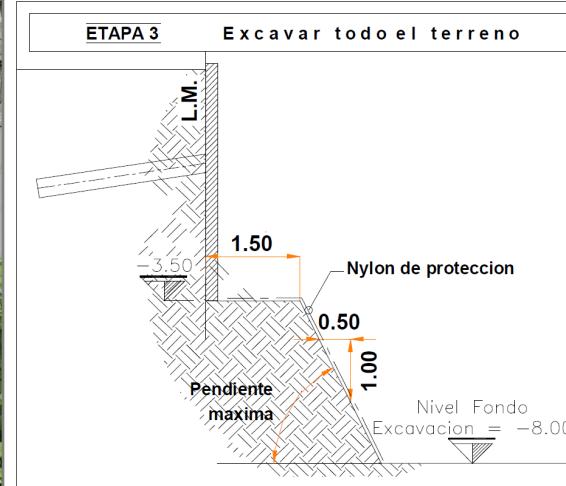
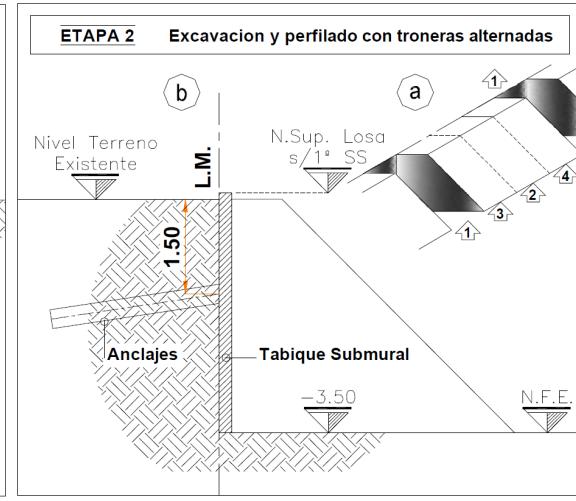
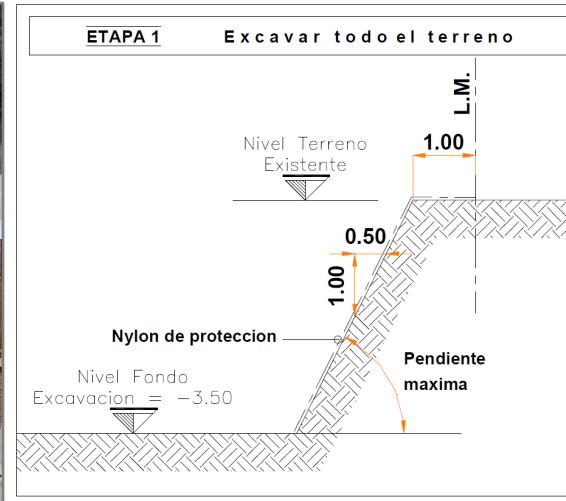
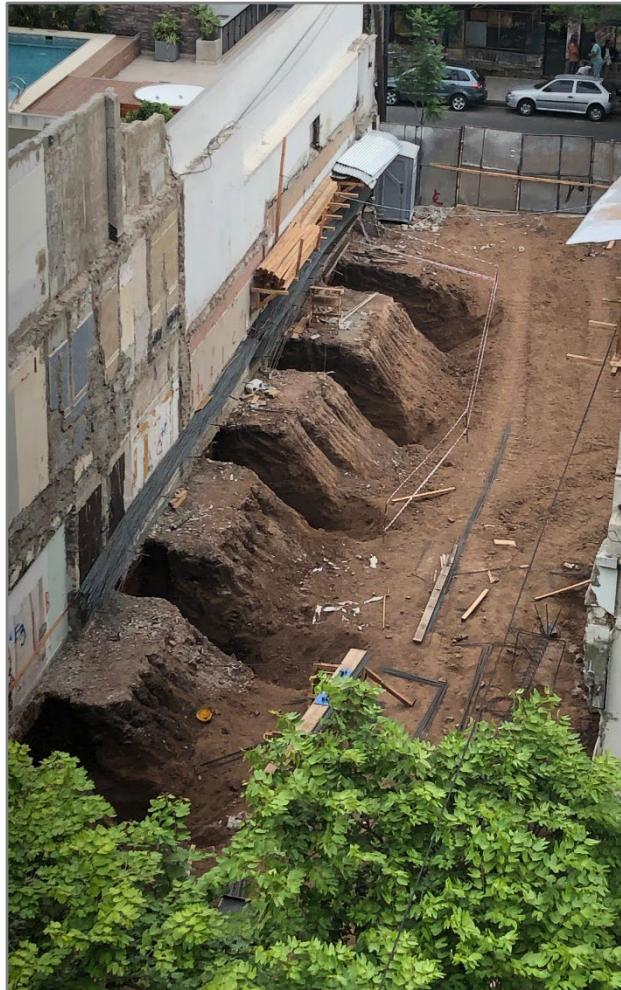
- Ancho habitual de frente de ataque: 2.00 a 2.50 m
- Altura máxima de excavación: 3.00 m



Se ejecutan los paños de tabique según su número de orden: En primer lugar, todos los numero “1”, luego los “2” y así sucesivamente. Con esta numeración “1 - 3 - 2 - 4” se garantiza siempre tener suelo o tabique ya ejecutados en ambos lados del tabique en ejecución.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Planificación de la excavación

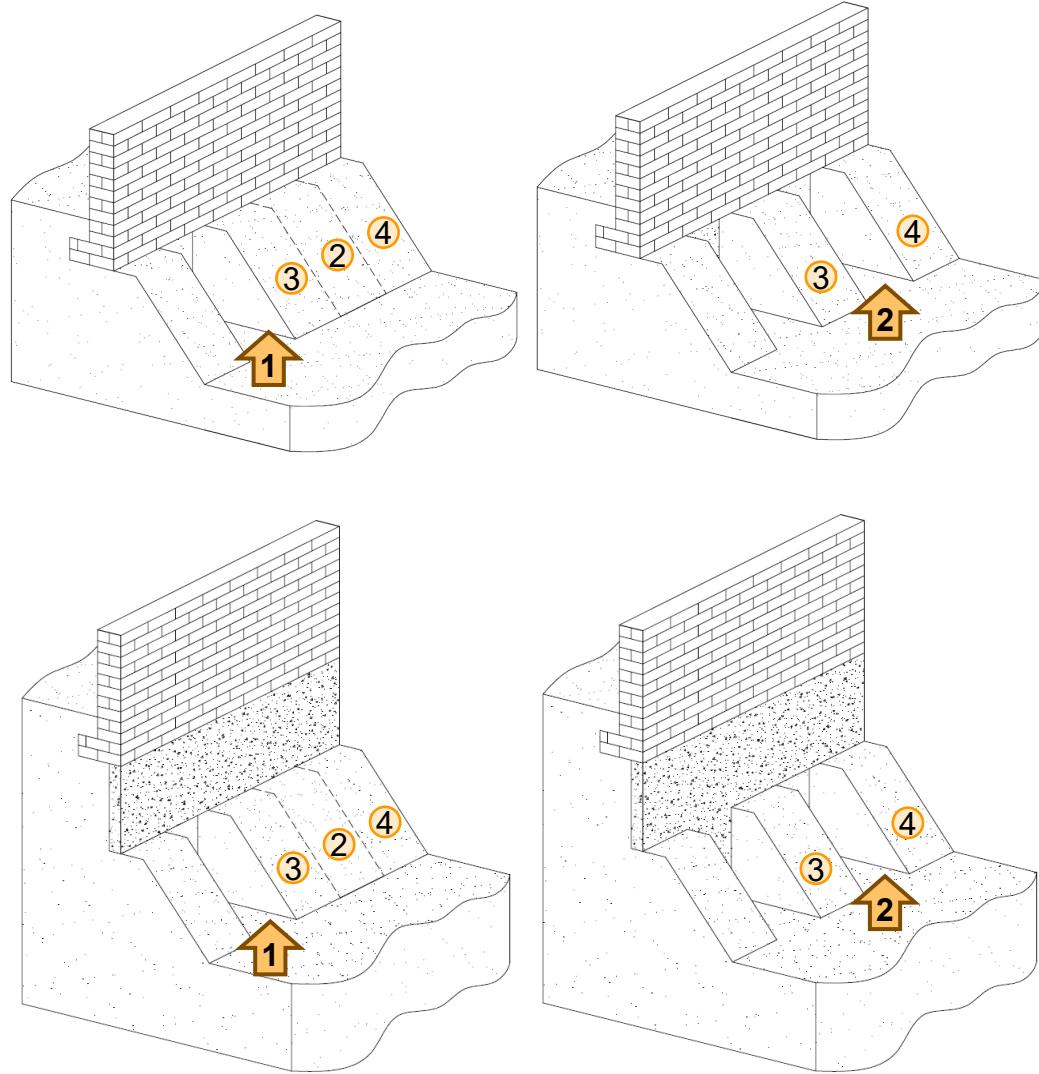


PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

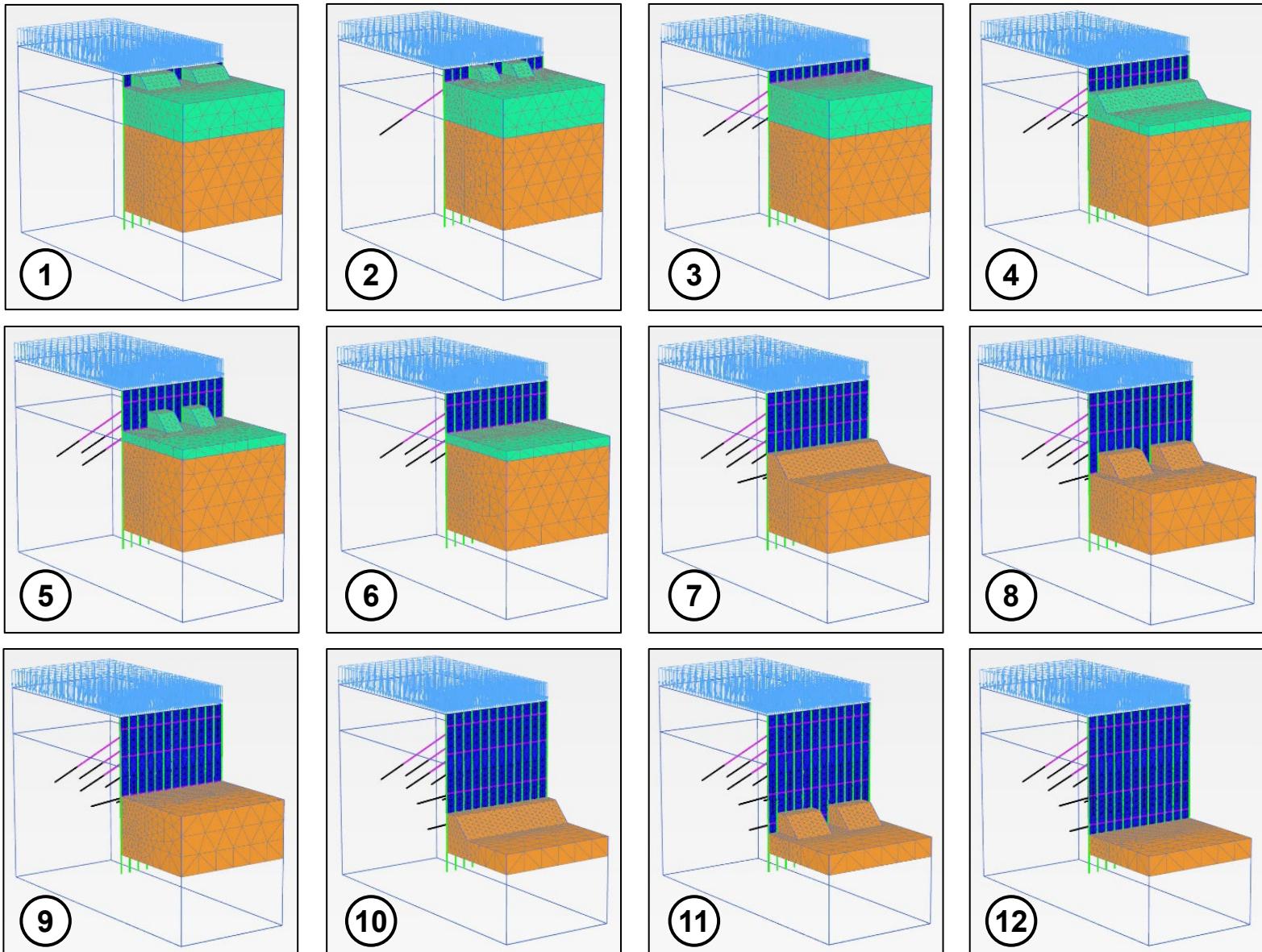
Etapas de trabajo

Secuencia constructiva:

1. Depresión de napa por debajo de cota de excavación y excavación general previendo berma;
2. Excavación de berma en un ancho limitado;
3. Ejecución de sostenimiento y anclajes;
4. Una vez completada la secuencia, se repiten las etapas 1 a 3 hasta el siguiente nivel de excavación.



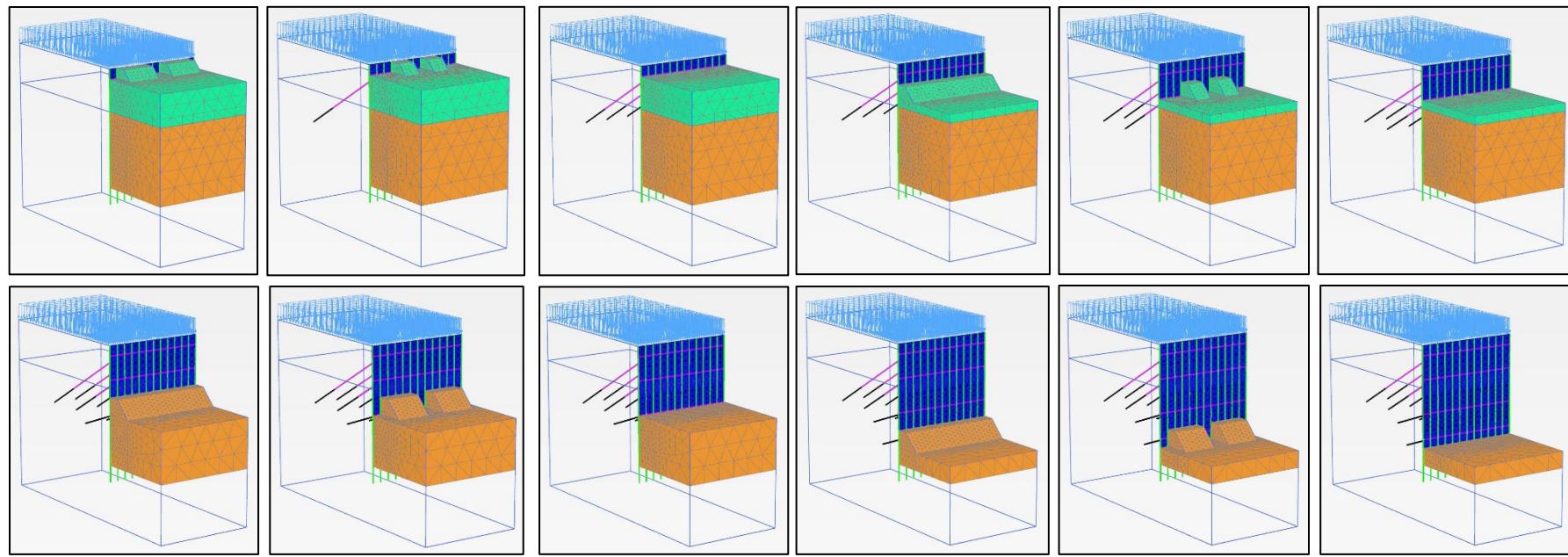
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La secuencia constructiva determina:

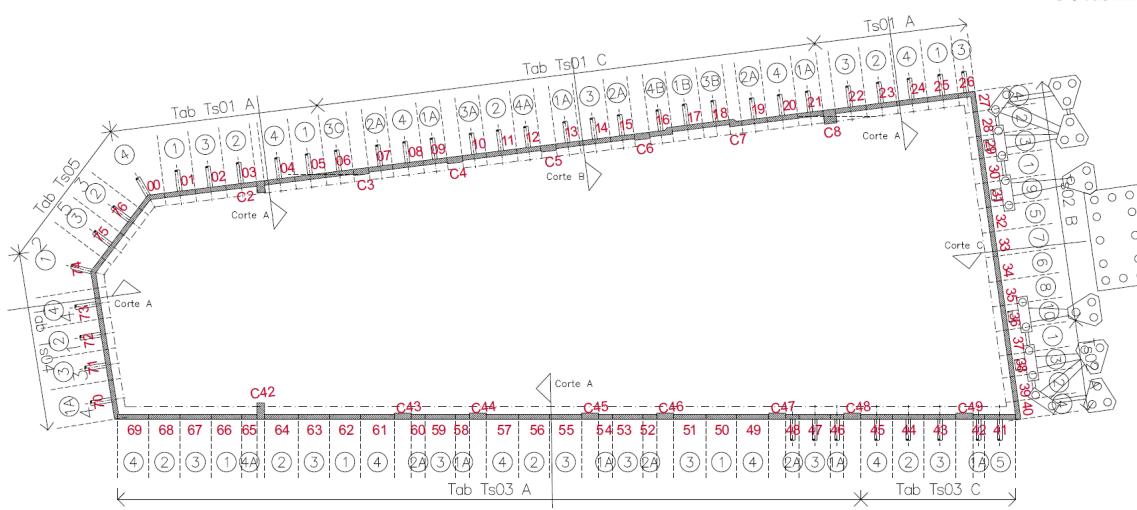
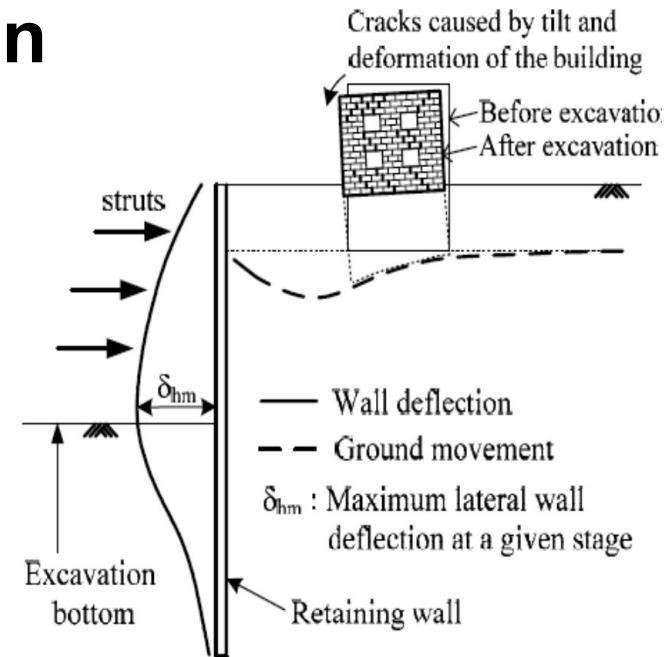
- ✓ Los **desplazamientos** del conjunto.
- ✓ Las **solicitudes** de los elementos estructurales.
- ✓ La **seguridad** de las **etapas intermedias**.
(no determina la seguridad de la forma final)



PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Planificación de la excavación

Las excavaciones generan **deformaciones** en los terrenos vecinos. Los procedimientos constructivos deben ser estudiados de forma tal de **limitar los daños** en las estructuras existentes.





ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES

Limiting Angular Distortions to Avoid
Potential Damages (Data from Items 53, 65, TM 5-818-1)

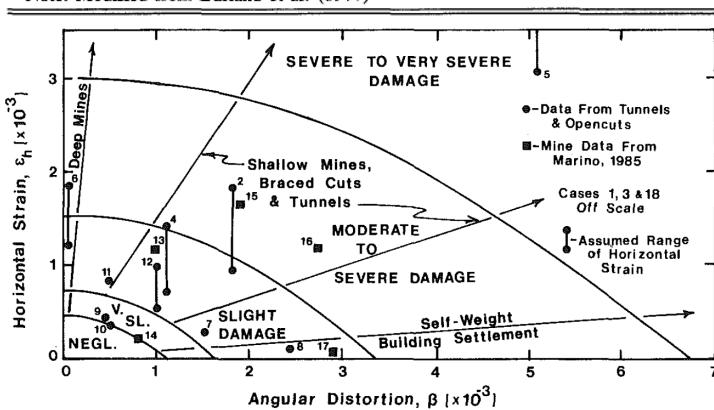
Situation	Length Height	Allowable Angular Distortion, $\beta = \delta/l$
Hogging of unreinforced load-bearing walls		1/2000
Load bearing brick, tile, or concrete block walls	≥ 5 ≤ 3	1/1250 1/2500
Sagging of unreinforced load-bearing walls		1/1000
Machinery sensitive to settlement		1/750
Frames with diagonals		1/600
No cracking in buildings; tilt of bridge abutments; tall slender structures such as stacks, silos, and water tanks on a rigid mat		1/500
Steel or reinforced concrete frame with brick, block, plaster or stucco finish	≥ 5 ≤ 3	1/500 1/1000
Circular steel tanks on flexible base with floating top; steel or reinforced concrete frames with insensitive finish such as dry wall, glass, panels		1/300 - 1/500
Cracking in panel walls; problems with overhead cranes		1/300
Tilting of high rigid buildings		1/250
Structural damage in buildings; flexible brick walls with length/height ratio > 4		1/150
Circular steel tanks on flexible base with fixed top; steel framing with flexible siding		1/125

Class of damage (1)	Description of damage ^a (2)	Approximate width ^b of cracks, mm (3)
Negligible	Hairline cracks	<0.1
Very Slight	Fine cracks easily treated during normal redecoration. Perhaps isolated slight fracture in building. Cracks in exterior brickwork visible upon close inspection.	<1
Slight	Cracks easily filled. Re-decoration probably required. Several slight fractures inside building. Exterior cracks visible, some repointing may be required for weathertightness. Doors and windows may stick slightly.	<5
Moderate	Cracks may require cutting out and patching. Recurrent cracks can be masked by suitable linings. Tuck-pointing and possibly replacement of a small amount of exterior brickwork may be required. Doors and windows sticking. Utility service may be interrupted. Weathertightness often impaired.	5 to 15 or several cracks > 3 mm
Severe	Extensive repair involving removal and replacement of sections of walls, especially over doors and windows required. Windows and door frames distorted, floor slopes noticeably. Walls lean or bulge noticeably, some loss of bearing in beams. Utility service disrupted.	15 to 25 also depends on number of cracks
Very Severe	Major repair required involving partial or complete re-construction. Beams lose bearing, walls lean badly and require shoring. Windows broken by distortion. Danger of instability.	usually >25 depends on number of cracks

^aLocation of damage in the building or structure must be considered when classifying degree of damage.

^bCrack width is only one aspect of damage and should not be used on alone as a direct measure of it.

Note: Modified from Burland et al. (1977)



Boscardini & Cording (1989)

USACE. Settlement Analysis

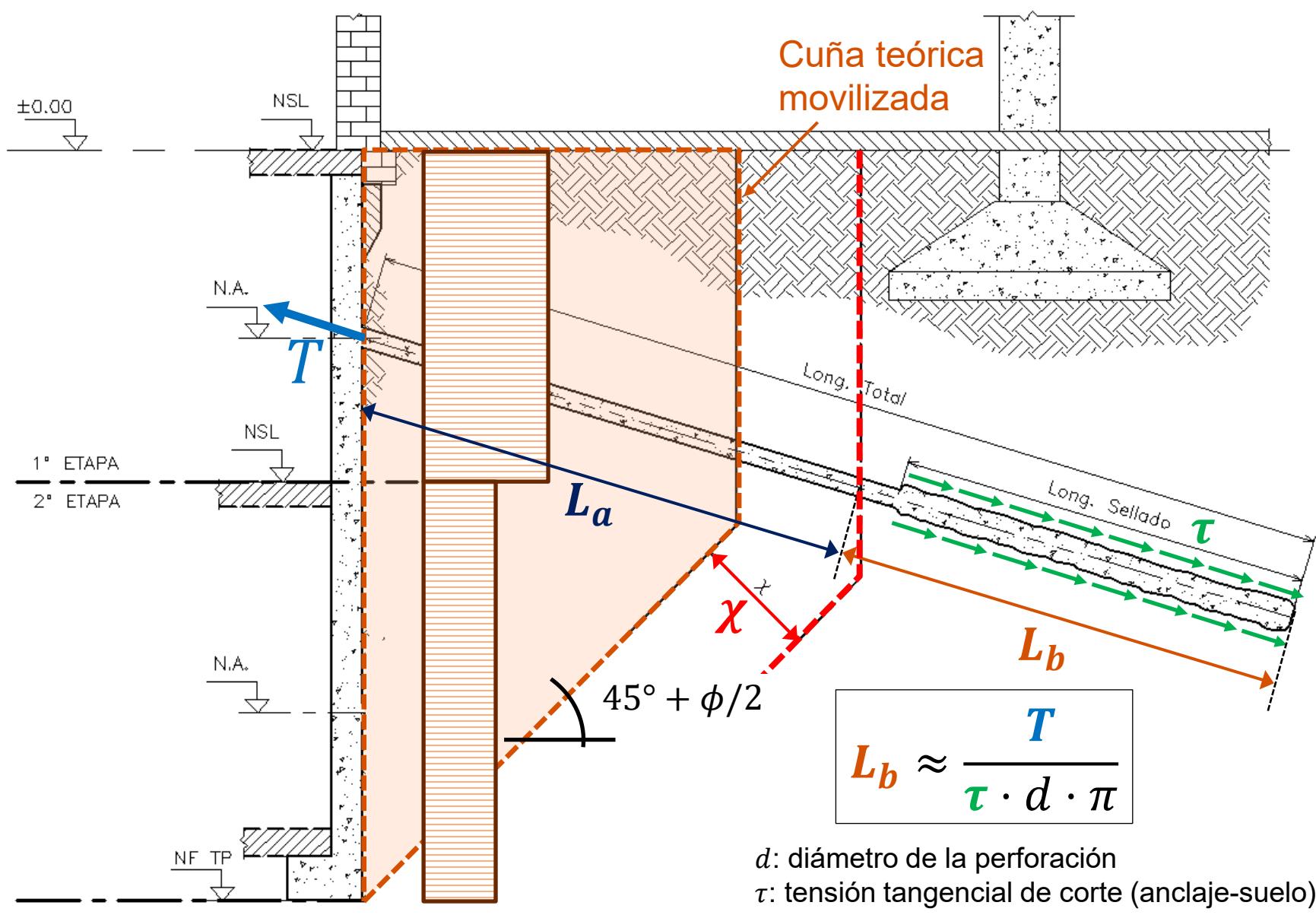


MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

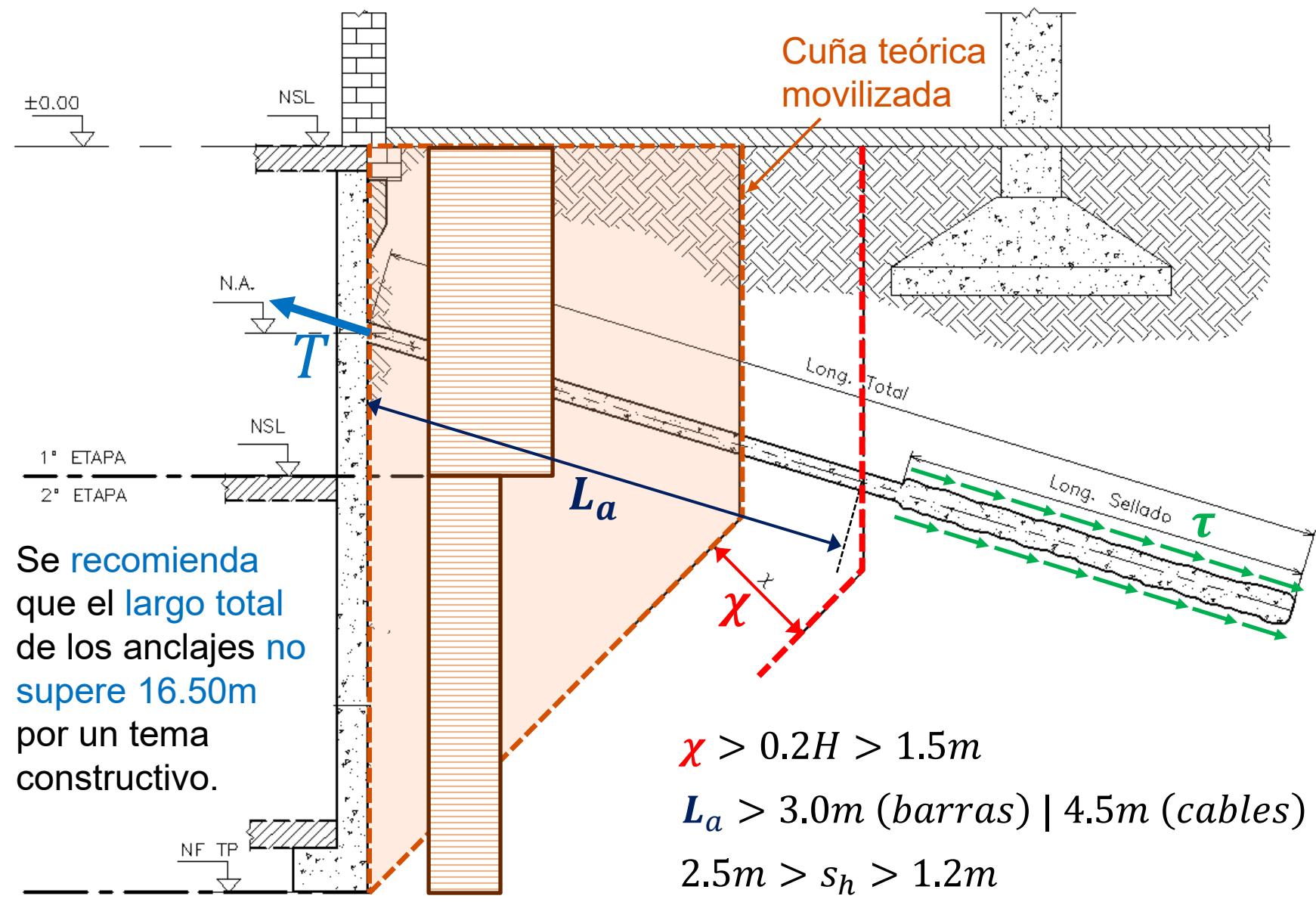
ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD



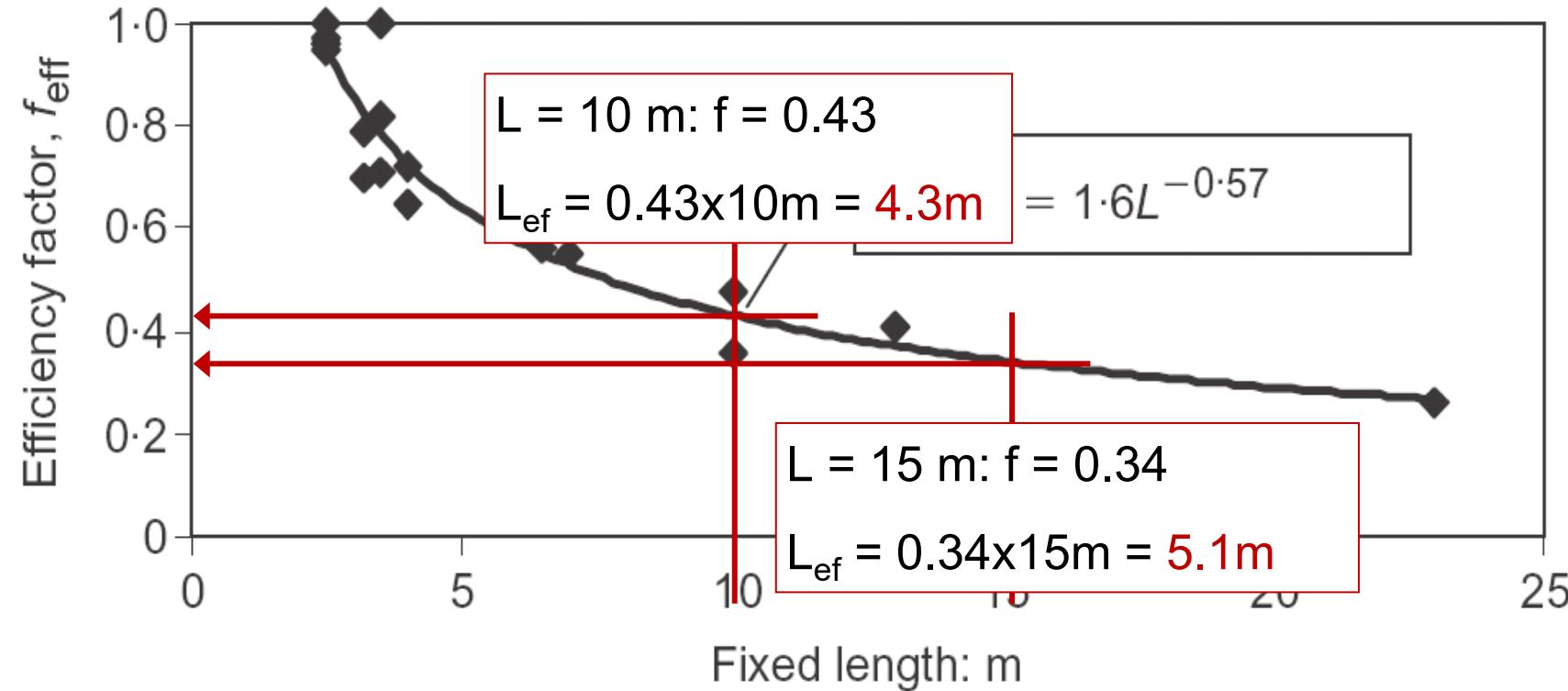
ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD



ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

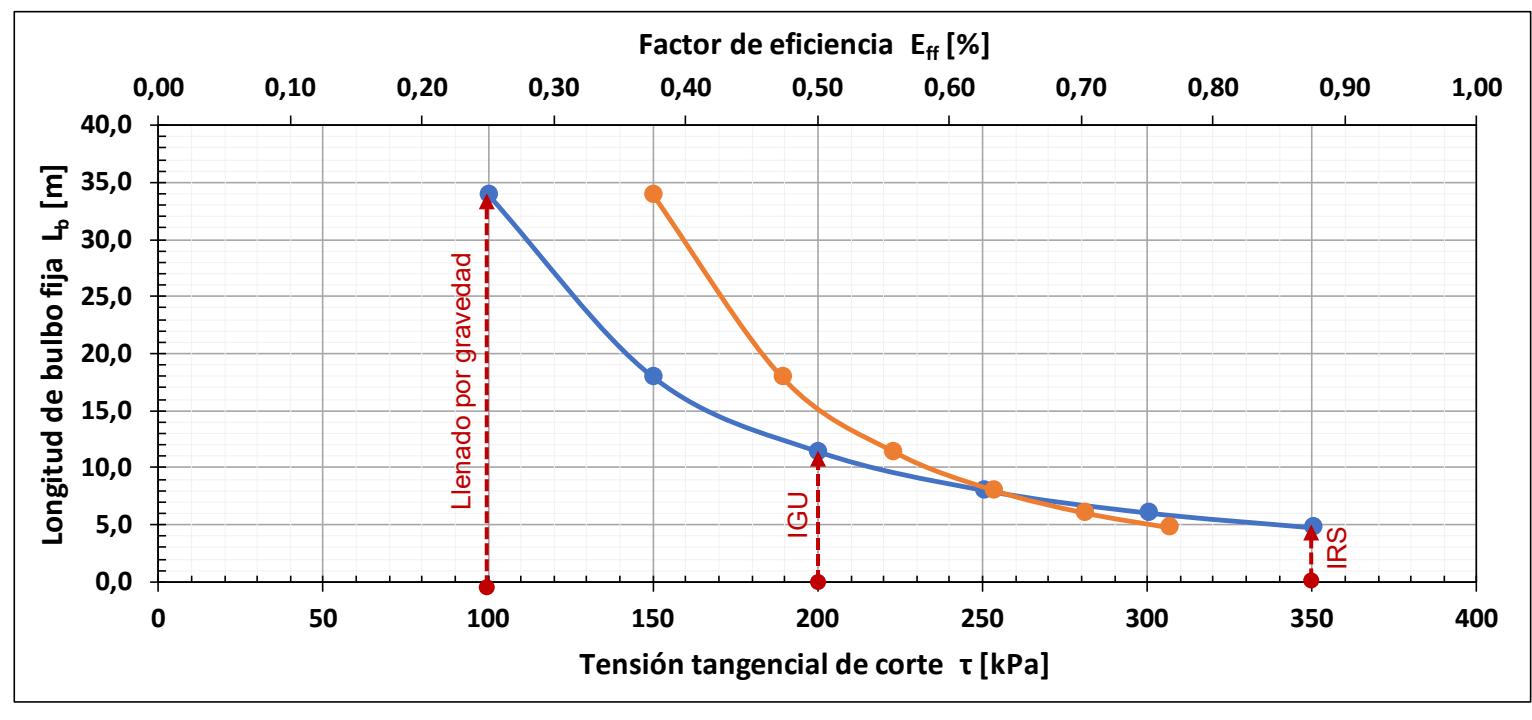
Eficiencia de los anclajes

Es importante tener en cuenta que a medida que aumenta la **longitud del bulbo**, se reduce la **eficiencia del anclaje**.



ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD: EJEMPLO

Carga de diseño:	P	[kN]	300	300	300	300	300	300	300
Diámetro teórico del anclaje:	d	[cm]	15	15	15	15	15	15	15
Tensión tangencial de corte última:	τ_u	[kPa]	100	150	200	250	300	350	
Factor de seguridad:	FoS	[-]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Resistencia por fricción admisible:	Fr	[kN/m]	23,6	35,3	47,1	58,9	70,7	82,5	
Longitud de bulbo fija teórica:	$L_{b,t}$	[m]	12,7	8,5	6,4	5,1	4,2	3,6	
Factor de eficiencia:	E_{ff}	[%]	0,38	0,47	0,56	0,63	0,70	0,77	
Longitud de bulbo fija necesaria:	L_b	[m]	33,9	18,0	11,4	8,1	6,0	4,7	





ANCLAJES: ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD

Conclusiones prácticas

La carga última:

- ✓ Crece poco con el diámetro de la perforación.
- ✓ Crece poco con la longitud fija, para $L > 12m$ (eficiencia).
- ✓ Crece mucho con la presión de inyección:
 - Crece 20% a 50% por cada ciclo de posinyección (hasta tres ciclos).



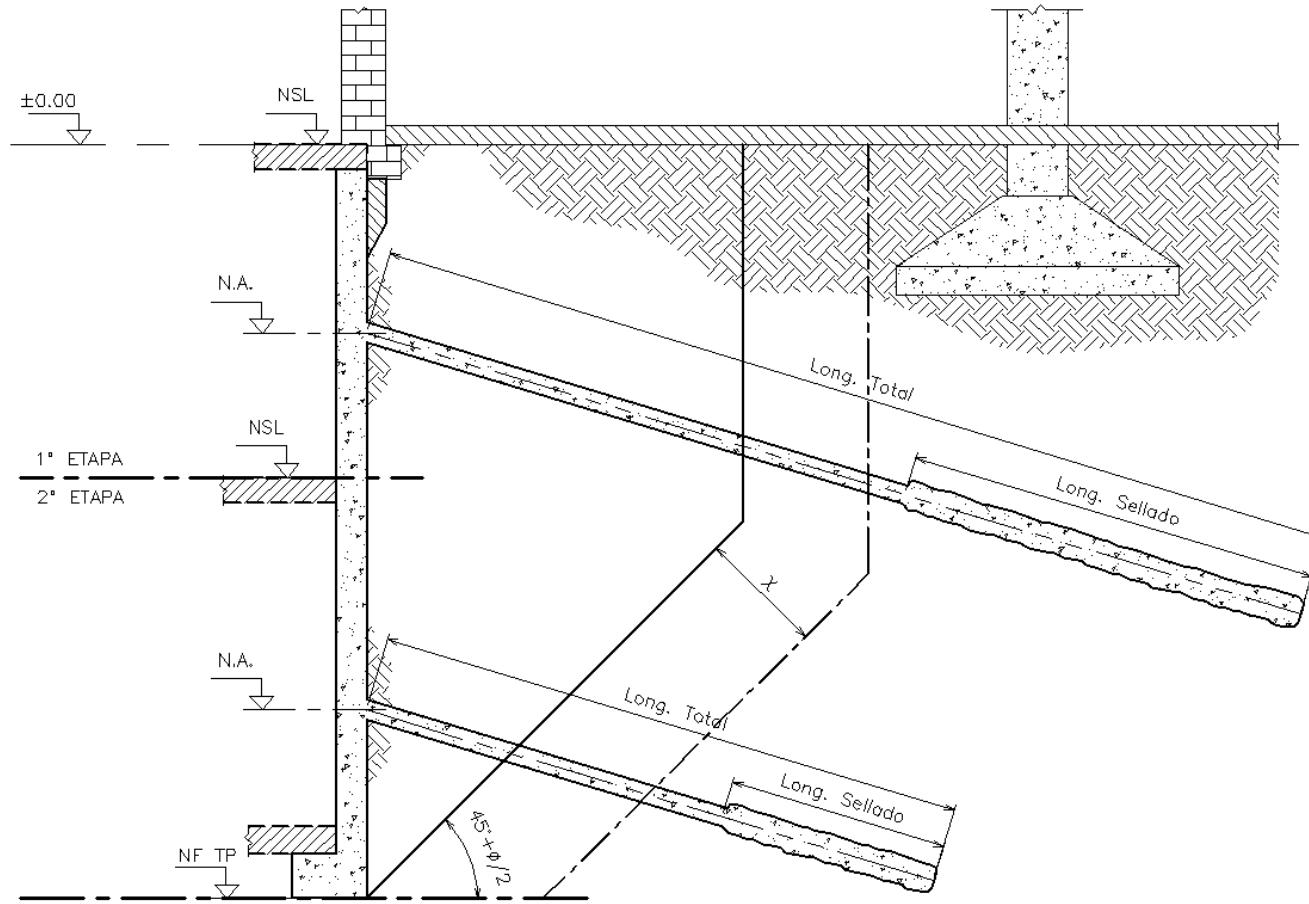
MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Caso 1 analizado



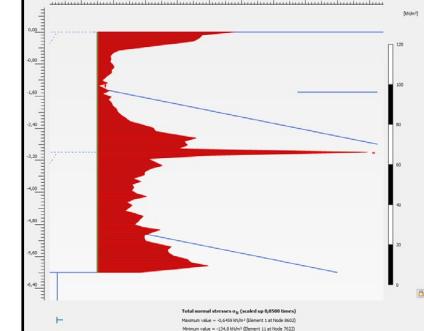
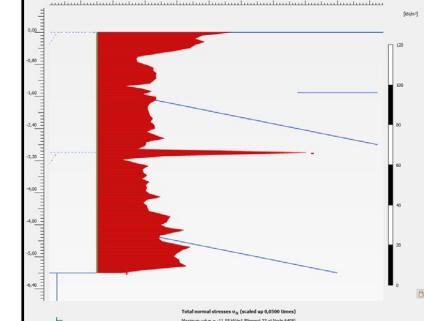
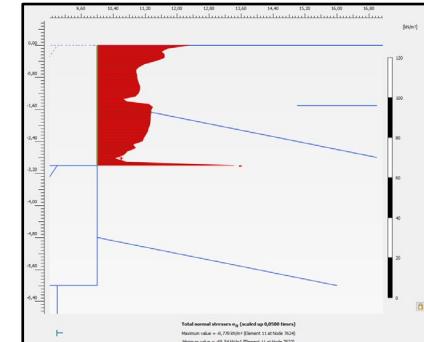
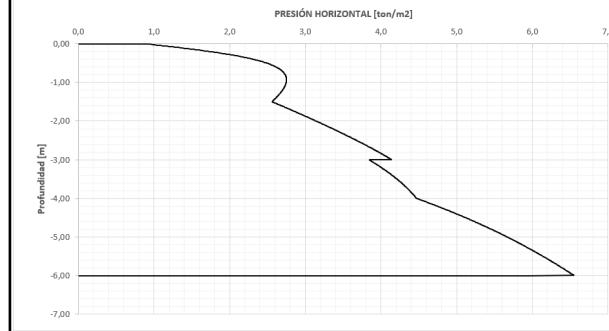
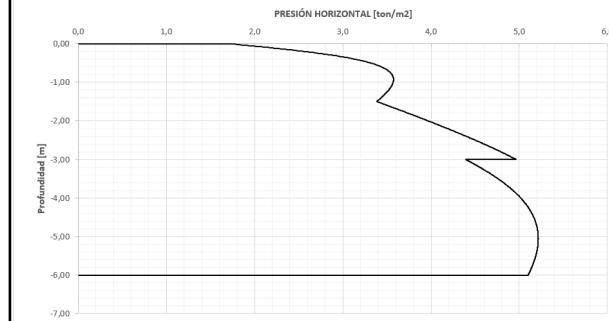
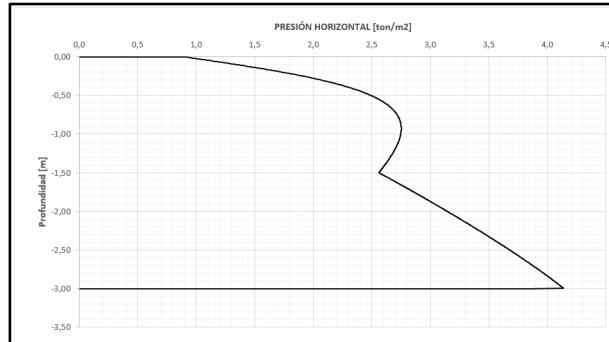
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Diagramas de empuje

ETAPA CONSTRUCTIVA 1:

Empuje estimado: $2,90 \text{ ton/m}^2$

Empuje numérico: $2,40 \text{ ton/m}^2$



ETAPA DEFINITIVA:

Empuje estimado: $4,02 \text{ ton/m}^2$

Empuje numérico: $2,14 \text{ ton/m}^2$

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Esfuerzos de momento y corte

ETAPA CONSTRUCTIVA 1:

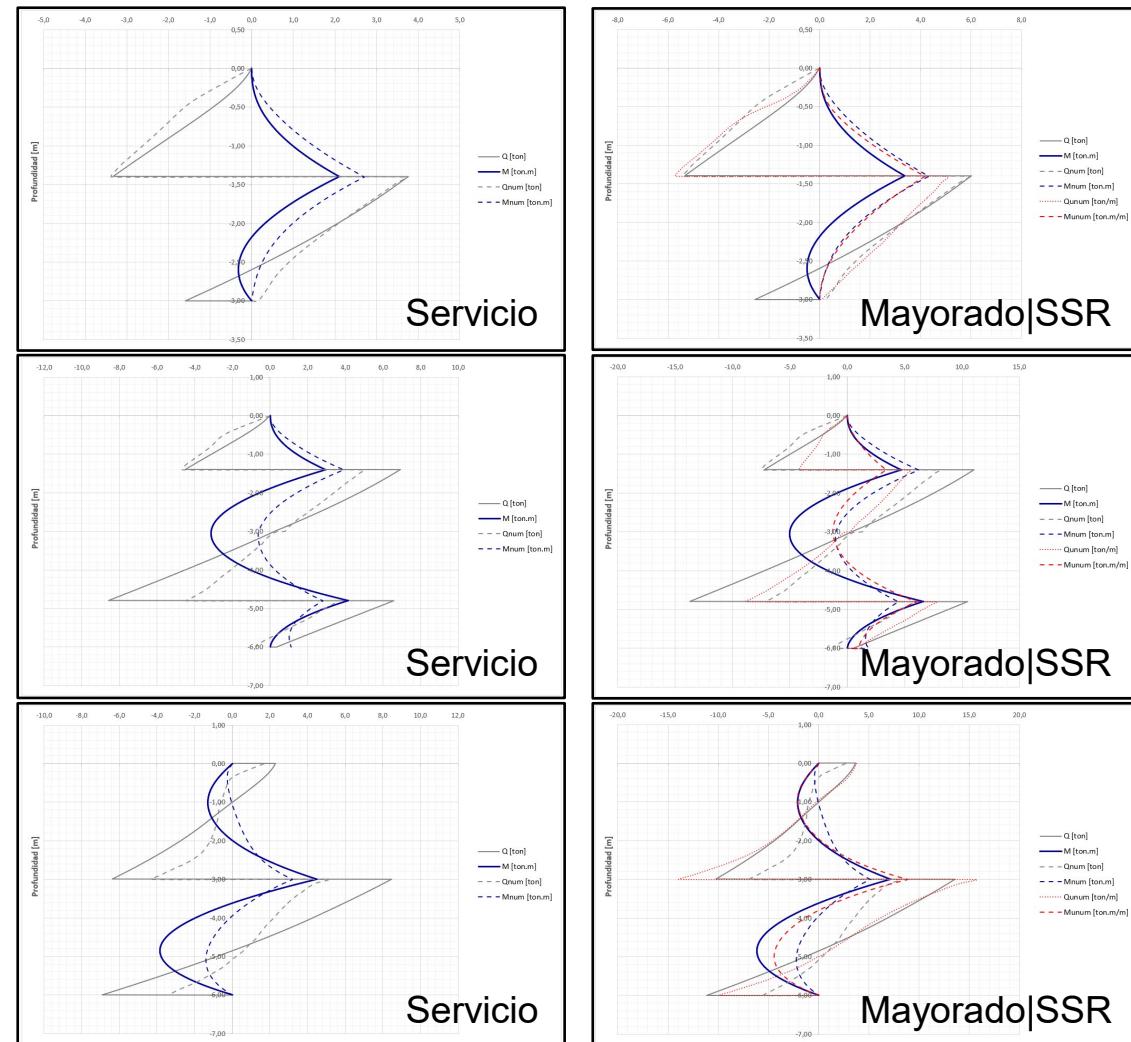
M^- analítico: $-3,37 \text{ ton. m}$
 M^- numérico: $-4,33 \text{ ton. m}$
 M^+ analítico: $+0,50 \text{ ton. m}$
 M^+ numérico: $+0,00 \text{ ton. m}$

ETAPA CONSTRUCTIVA 2:

M^- analítico: $-6,62 \text{ ton. m}$
 M^- numérico: $-6,03 \text{ ton. m}$
 M^+ analítico: $+5,04 \text{ ton. m}$
 M^+ numérico: $+1,27 \text{ ton. m}$

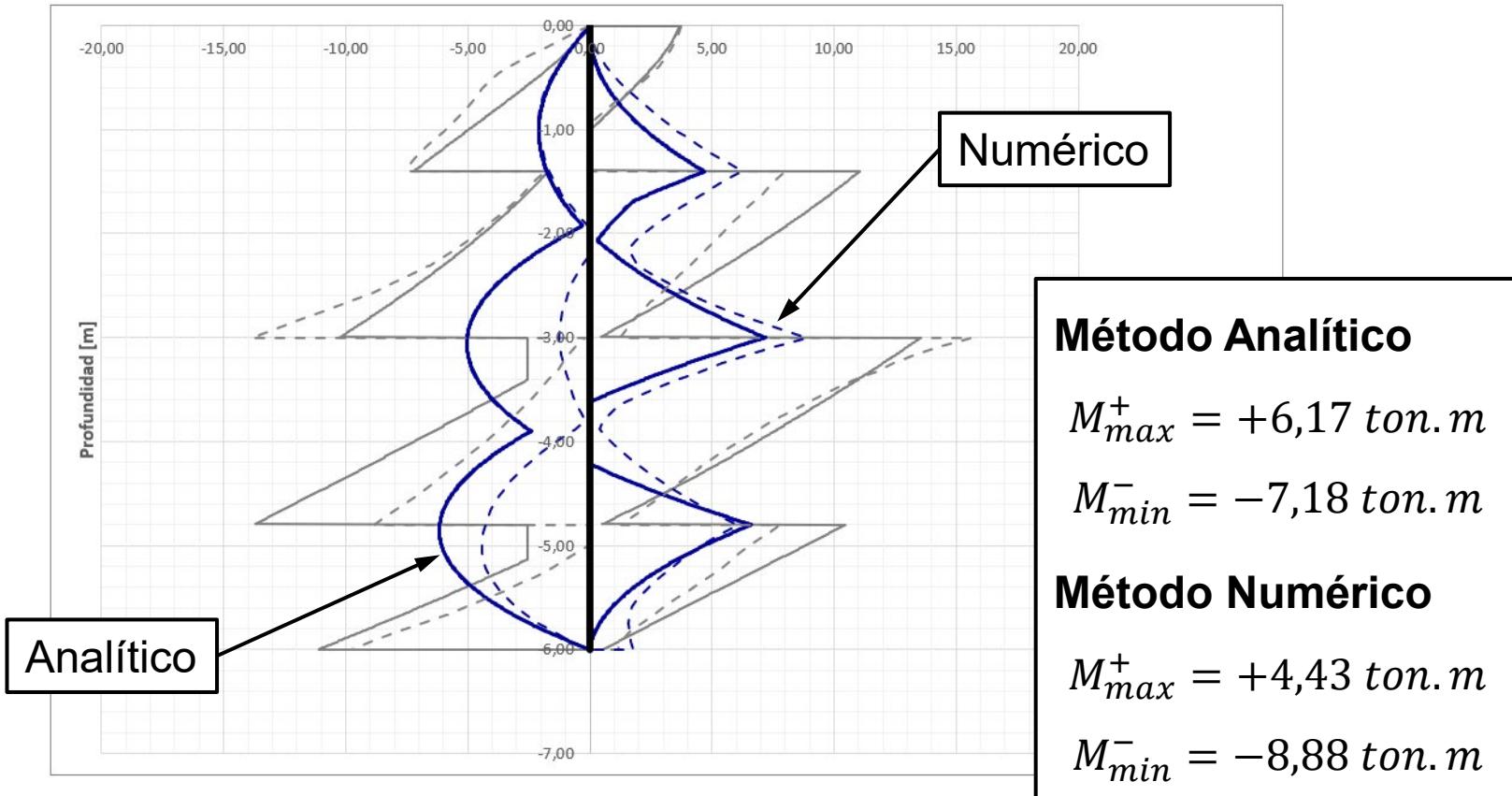
ETAPA DEFINITIVA:

M^- analítico: $-7,18 \text{ ton. m}$
 M^- numérico: $-8,88 \text{ ton. m}$
 M^+ analítico: $+6,17 \text{ ton. m}$
 M^+ numérico: $+4,43 \text{ ton. m}$



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

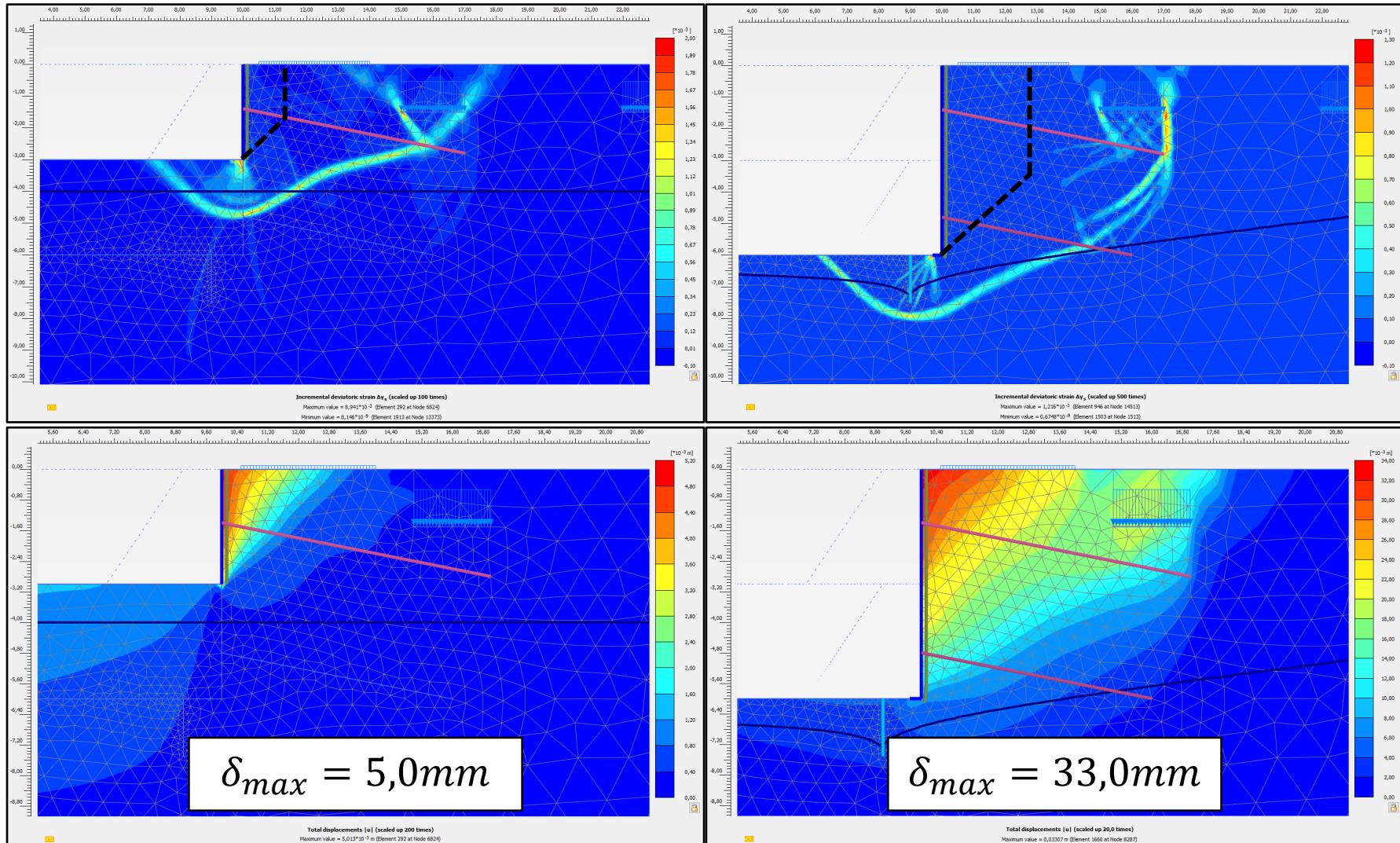
Envolvente de esfuerzos de momento y corte



Entonces... ¿Qué ventajas trae analizarlo mediante métodos numéricos?

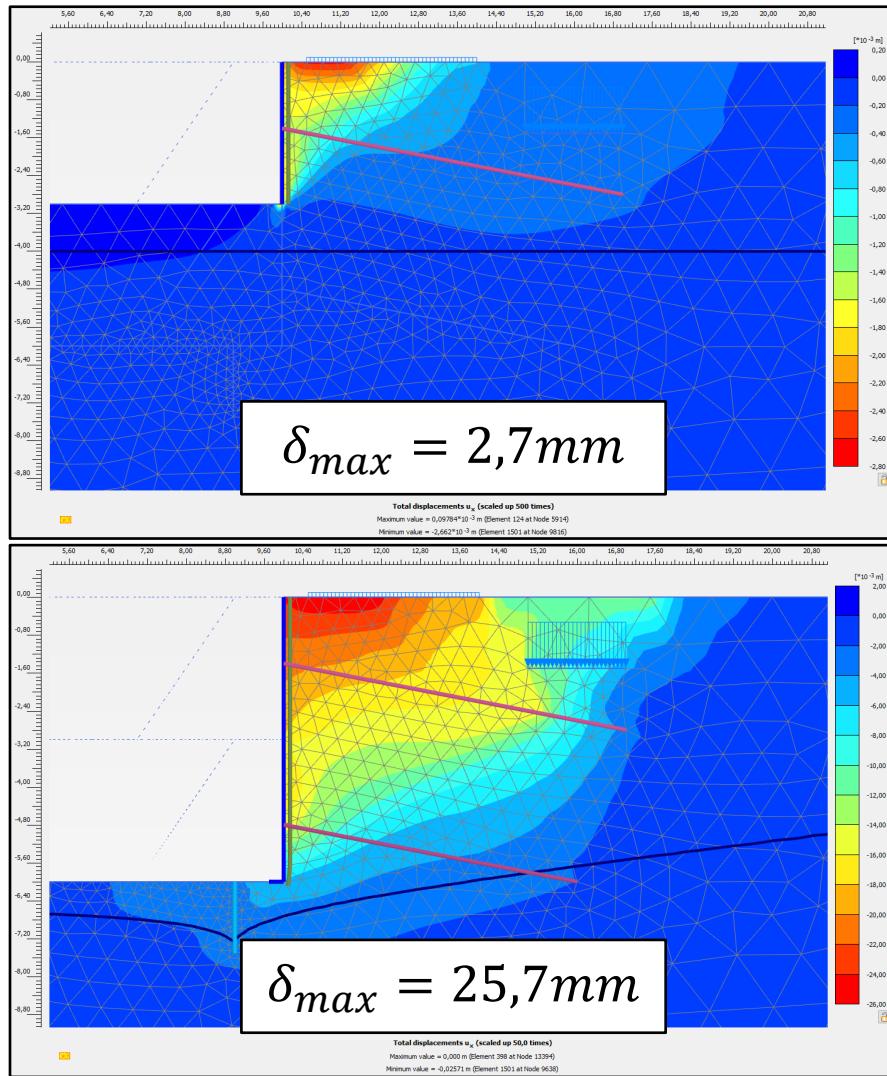
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Superficies de falla y desplazamientos totales



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Desplazamientos horizontales



Se modelaron anclajes pasivos colados para los cuales la fricción lateral última es:

$$f_u = \sigma'_v \cdot \operatorname{tg}(\delta) + \frac{3}{4} \cdot c'$$

$$f_{usup} = 2,0 \text{ ton/m}$$

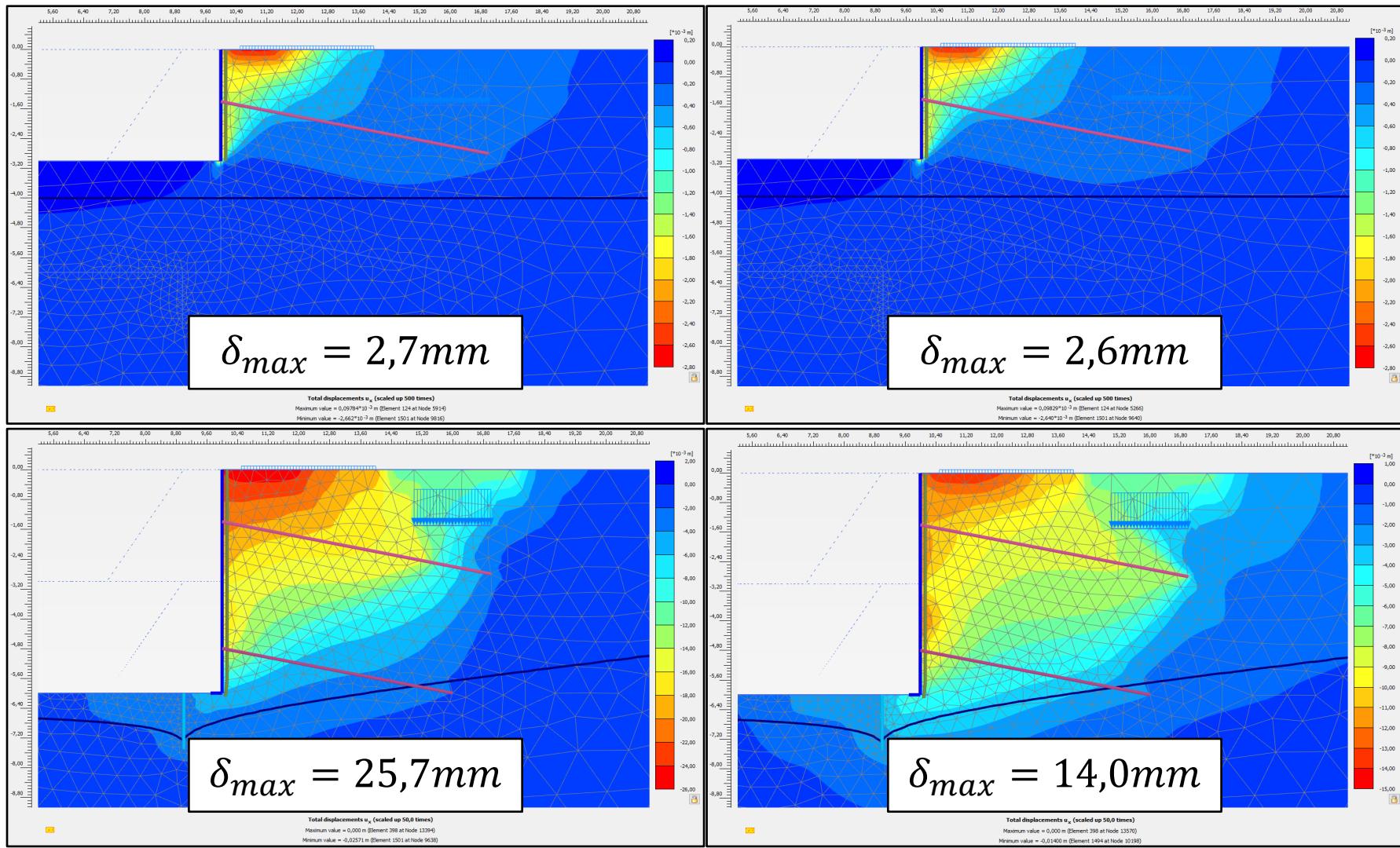
$$f_{uinfr} = 4,5 \text{ ton/m}$$

¿Qué sucede si aumentamos la carga última por fricción?

$$f_u = 10,0 \text{ ton/m}$$

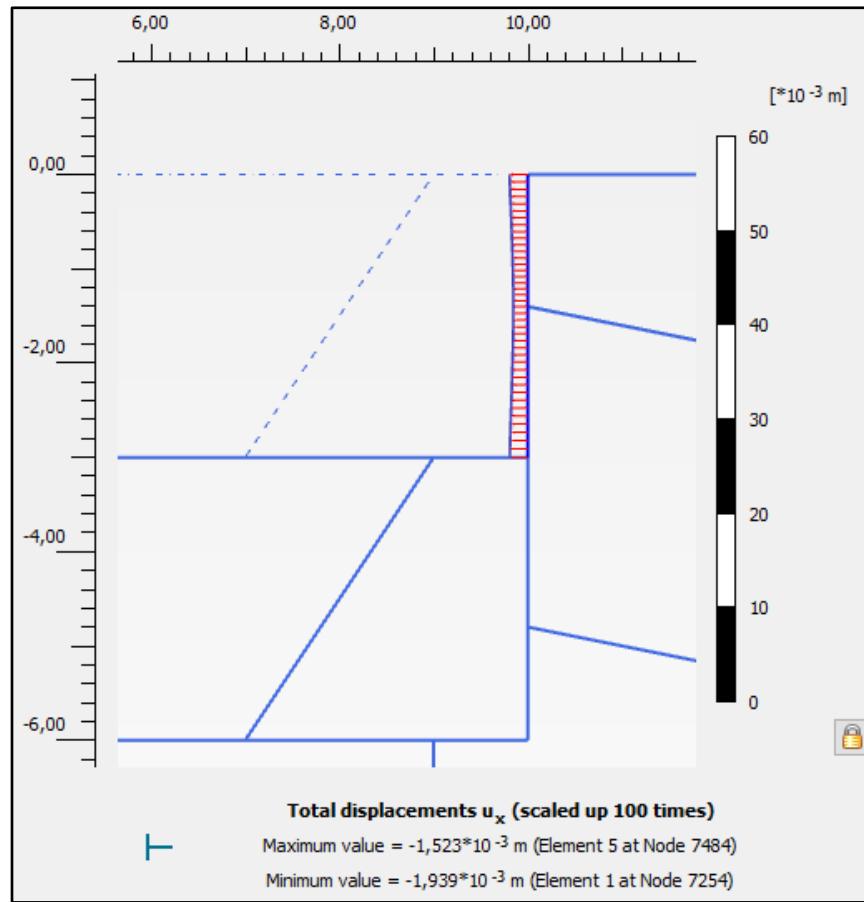
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Desplazamientos horizontales

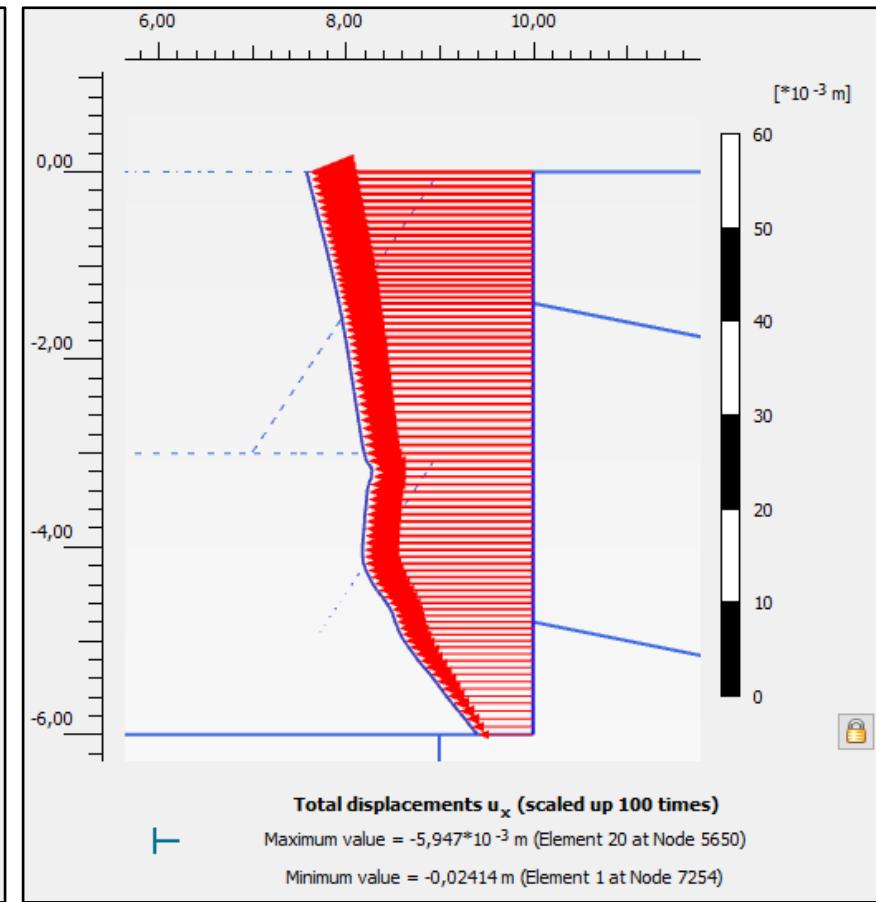


MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Desplazamientos horizontales del muro



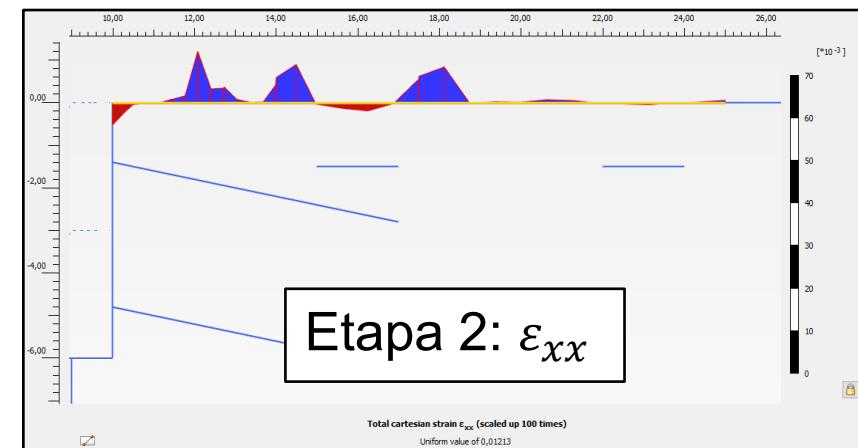
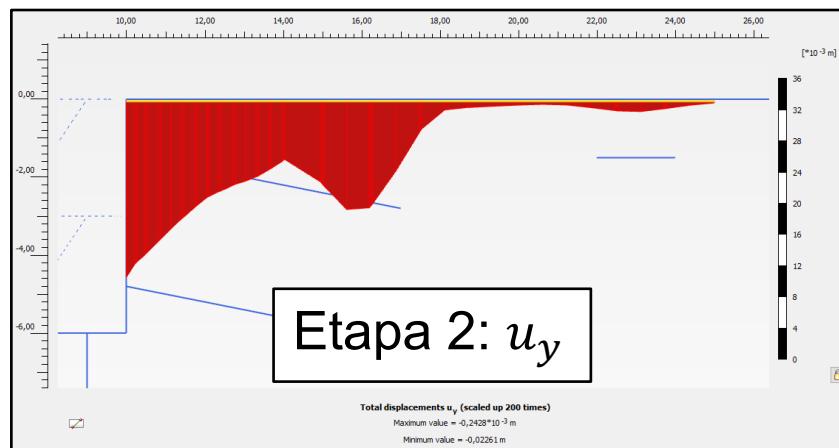
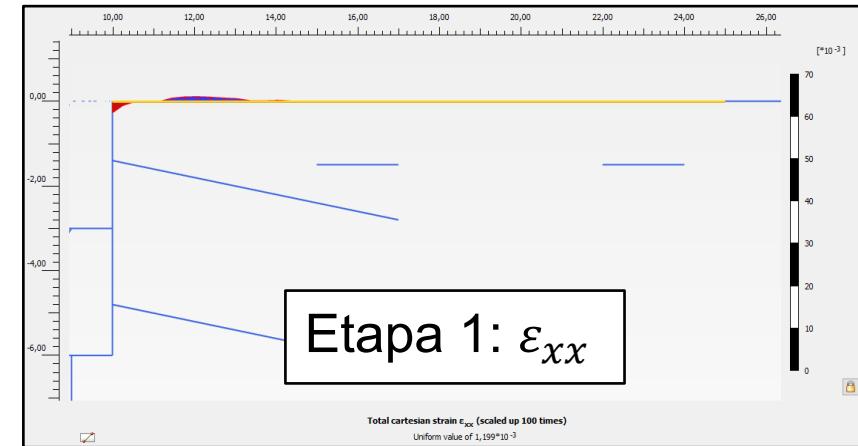
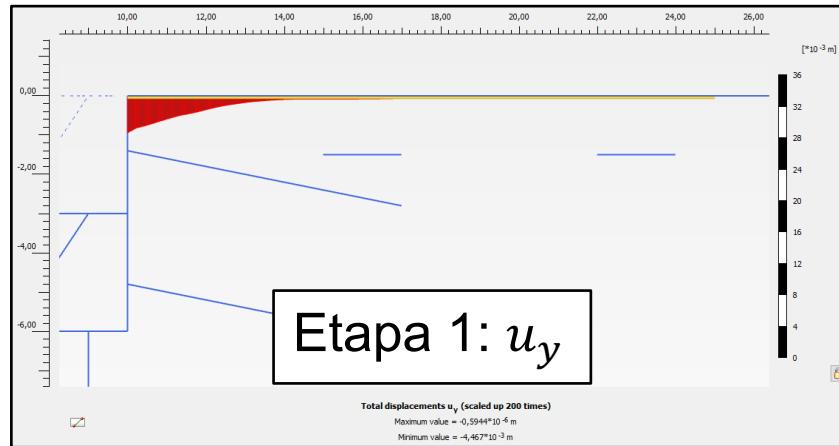
1° Etapa



2° Etapa

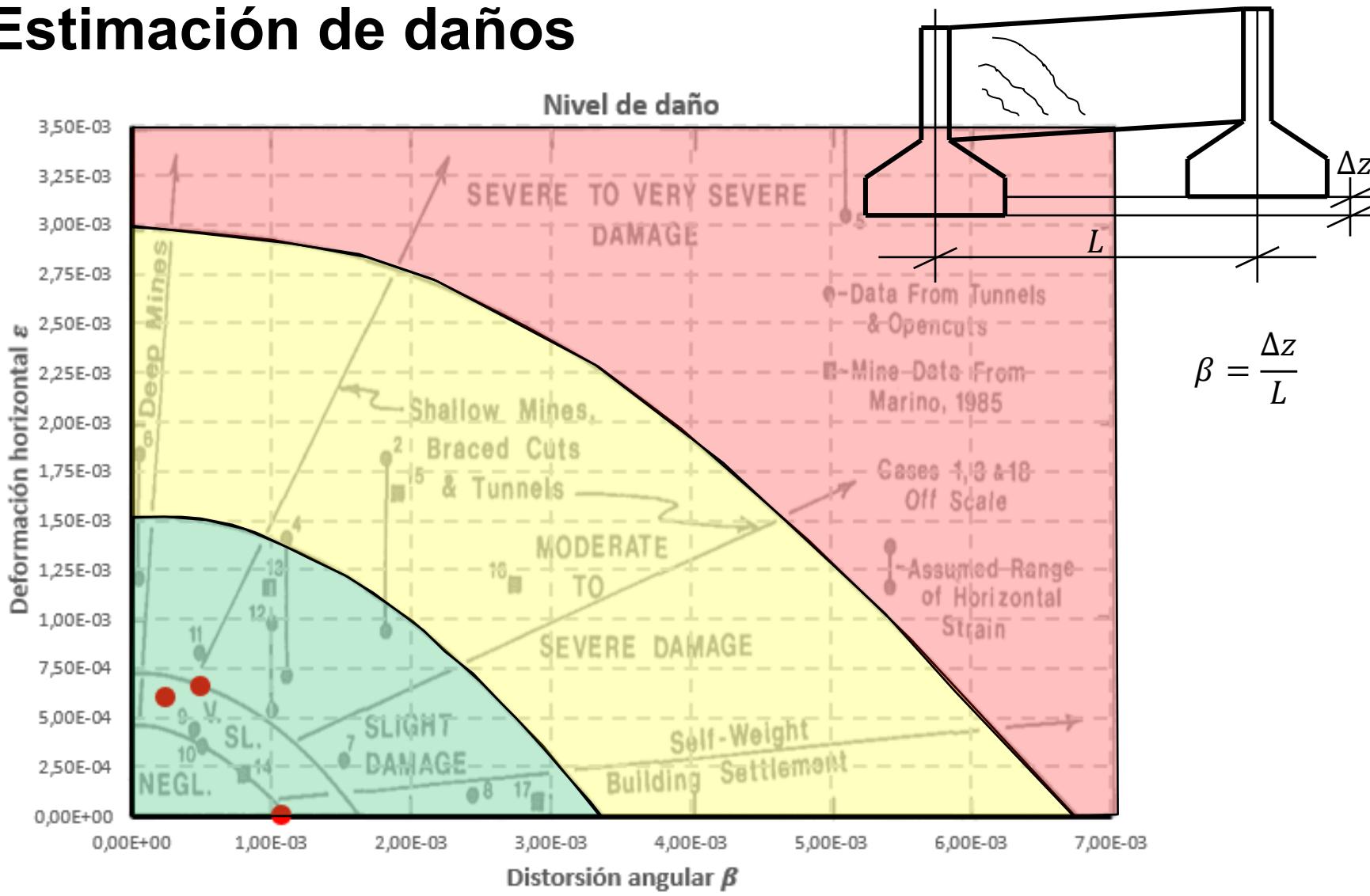
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Asentamientos verticales y deformaciones



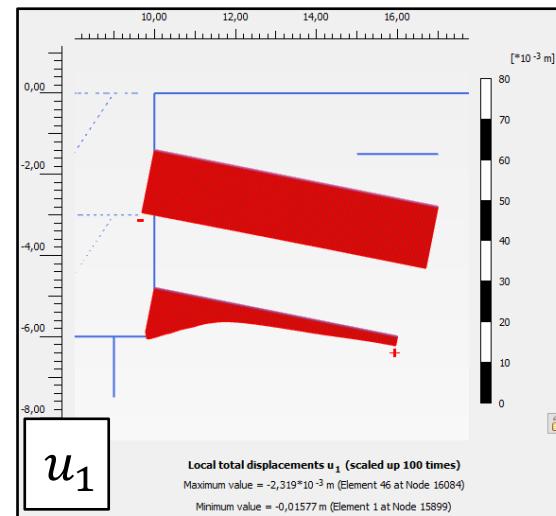
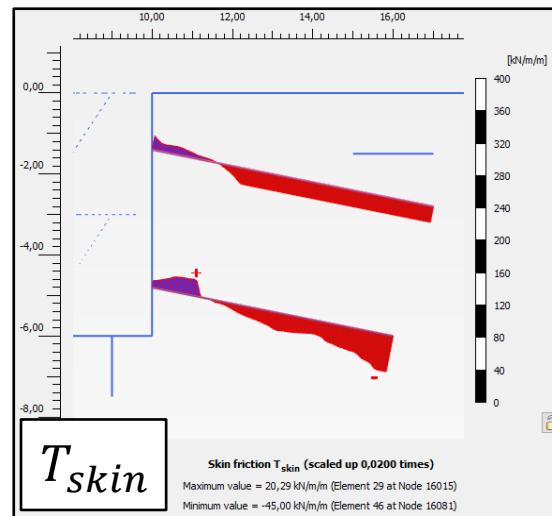
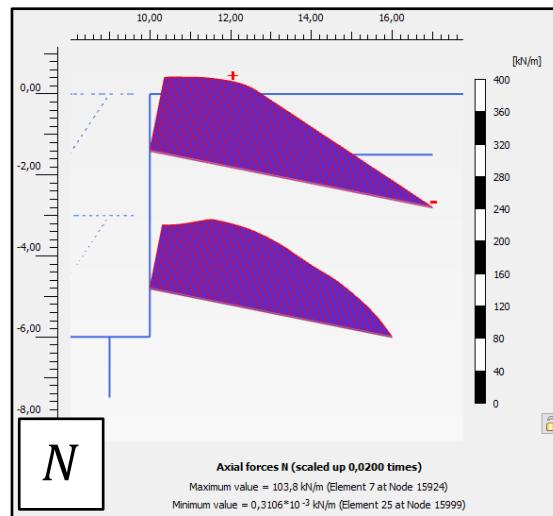
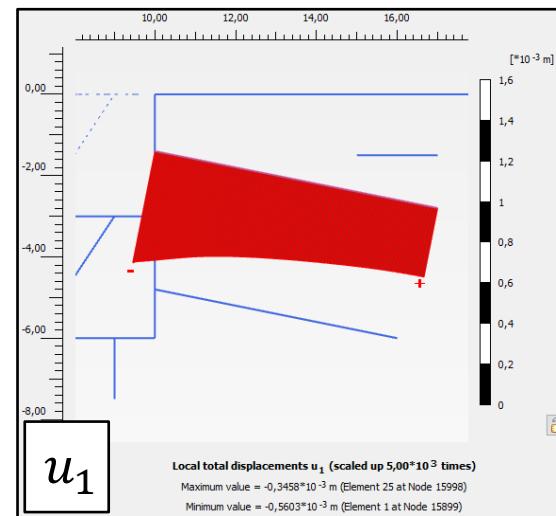
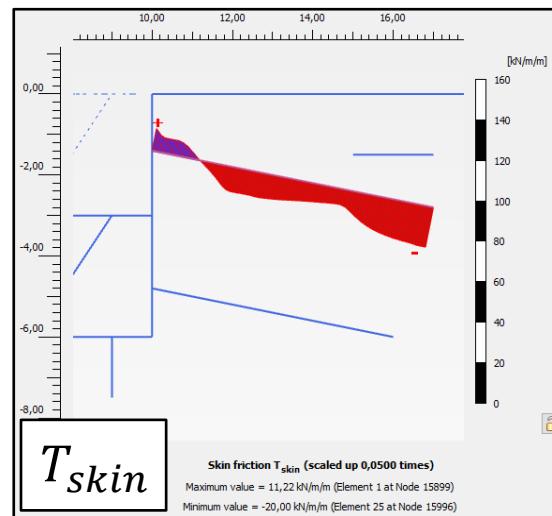
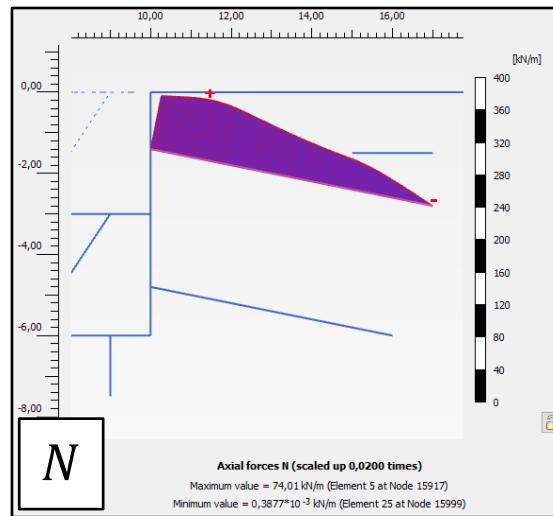
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Estimación de daños



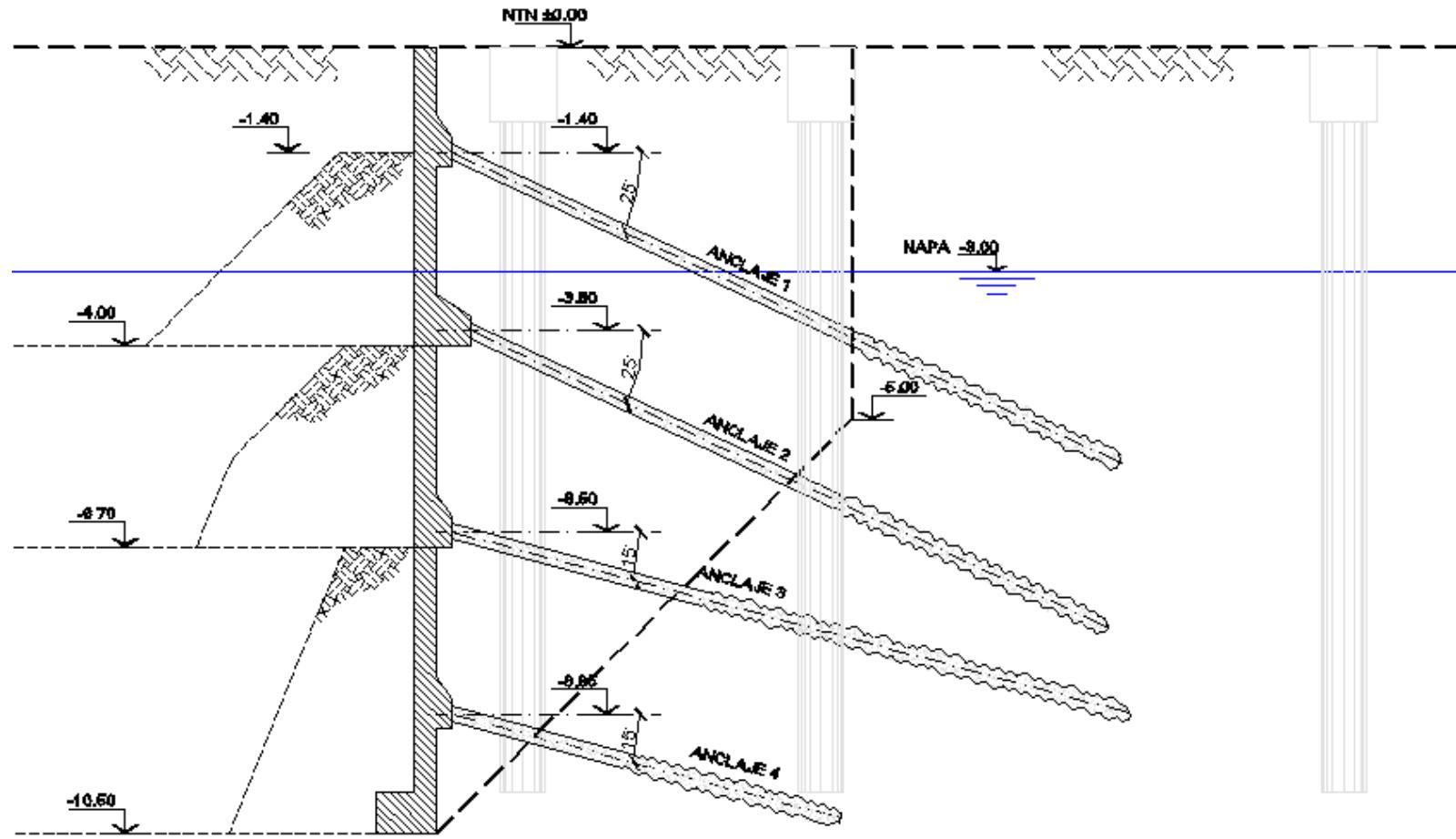
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Anclajes: Esfuerzos - Deformaciones



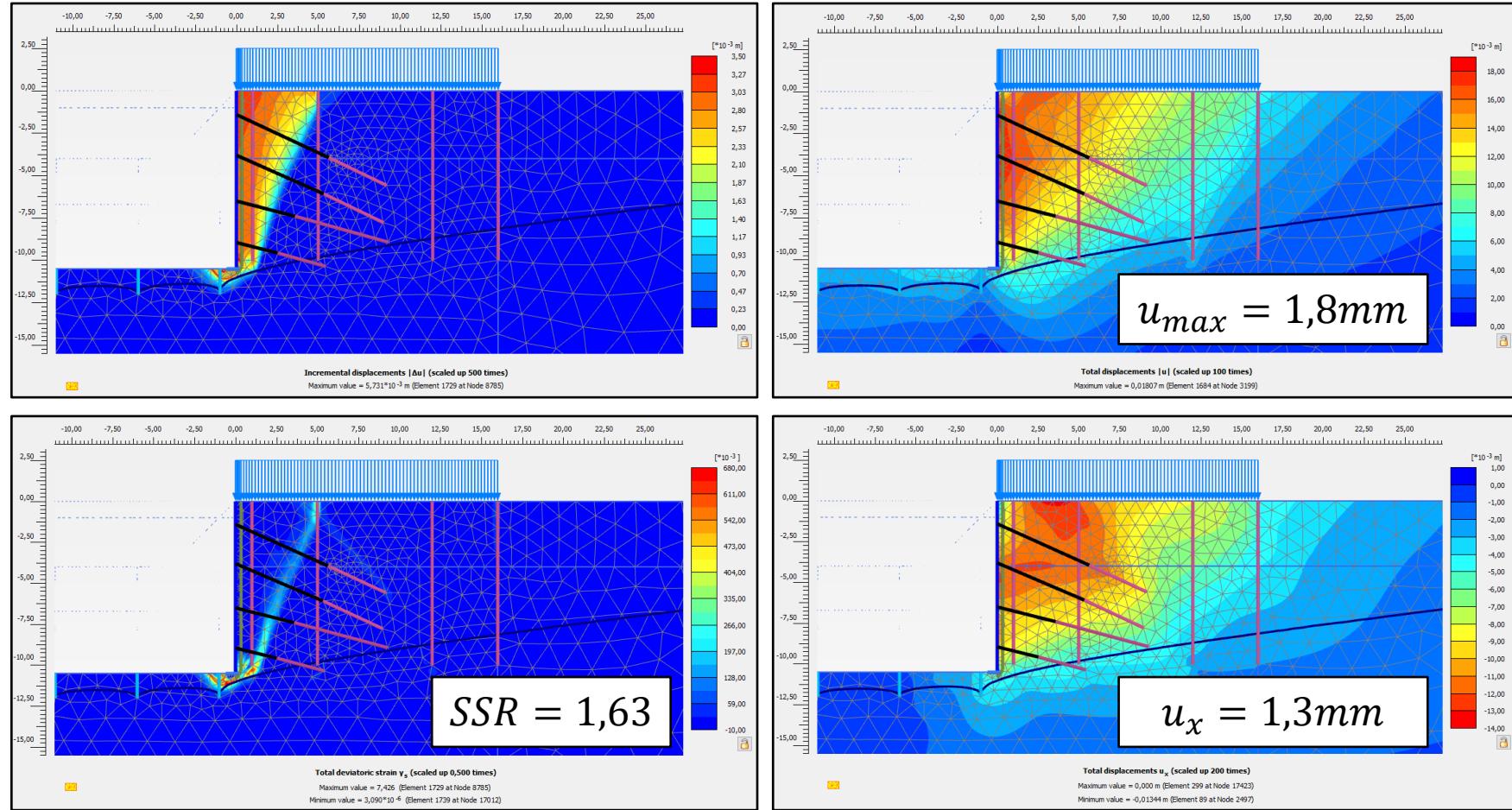
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Caso 2 analizado



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Superficie de falla y desplazamientos



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

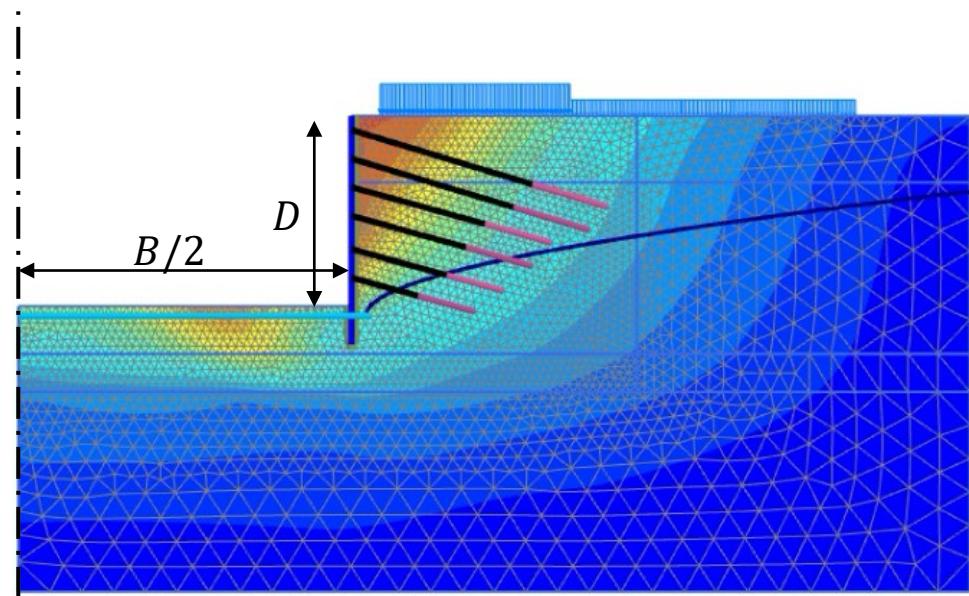
Caso 3 analizado

Sostenimiento de una excavación en el centro de Buenos Aires:

- Profundidad que se debe alcanzar: $D = 20 \text{ m}$
- Ancho total de la excavación: $B = 70 \text{ m}$

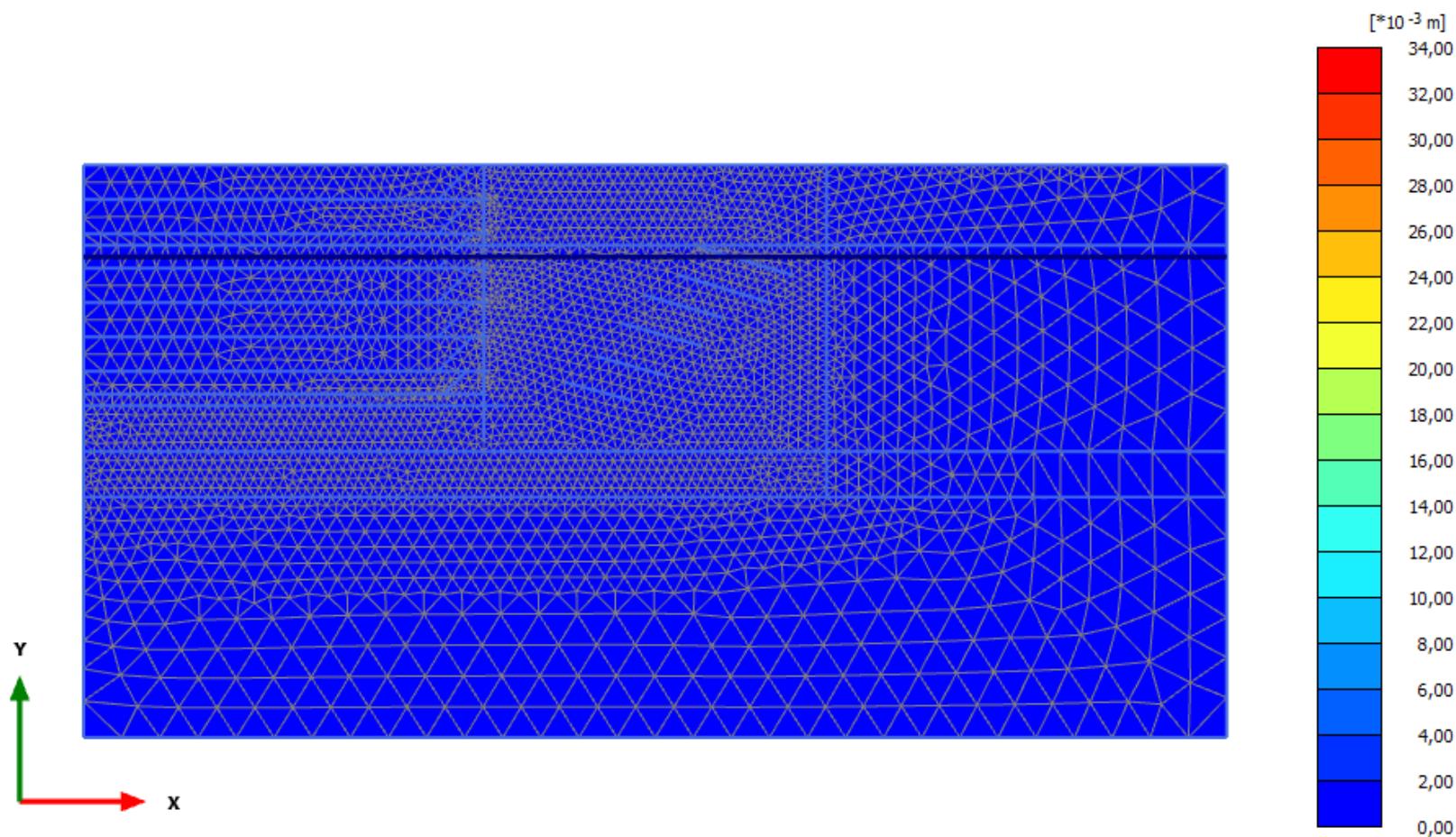
Caracterización geotécnica:

- Pampeano superior: 0|7 m
- Pampeano medio: 7|25 m
- Pampeano inferior: 25|29 m
- Puelche: >29 m
- Napa freática: 8 m



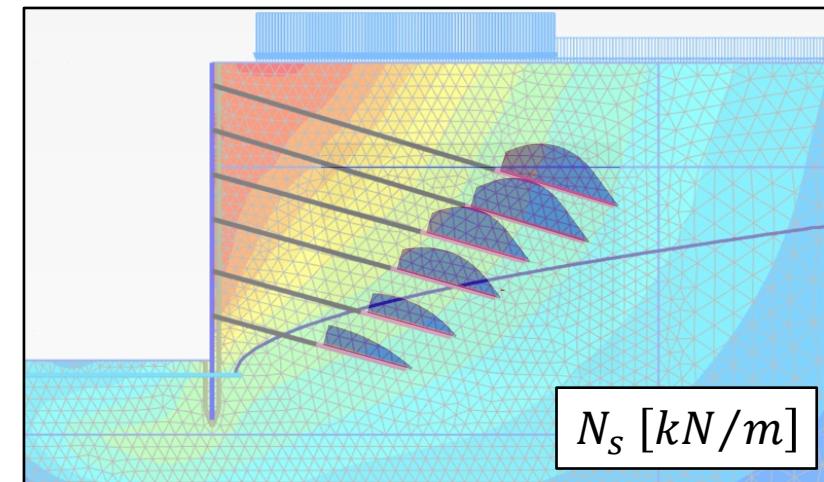
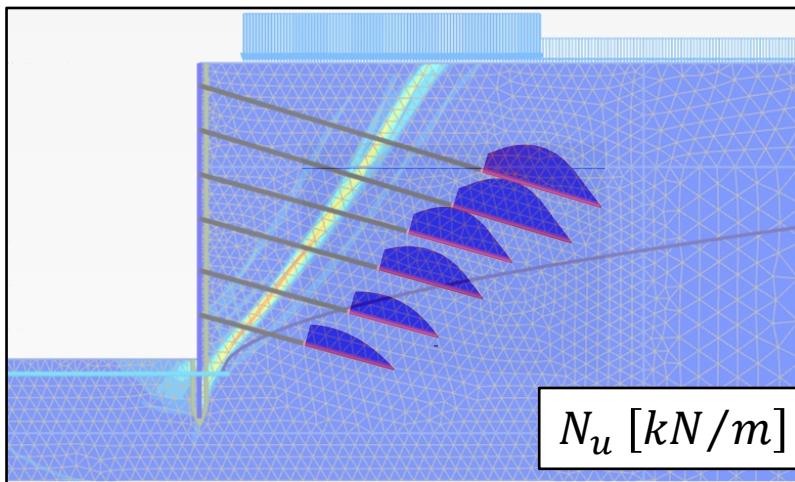
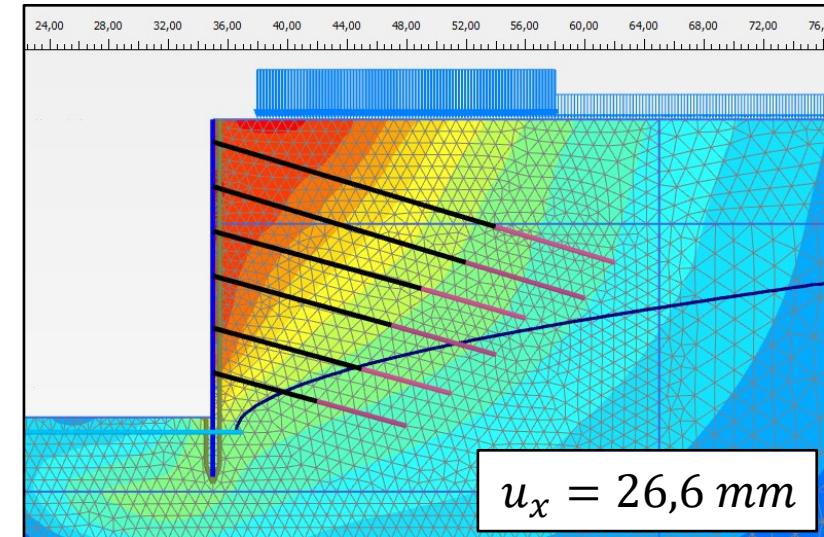
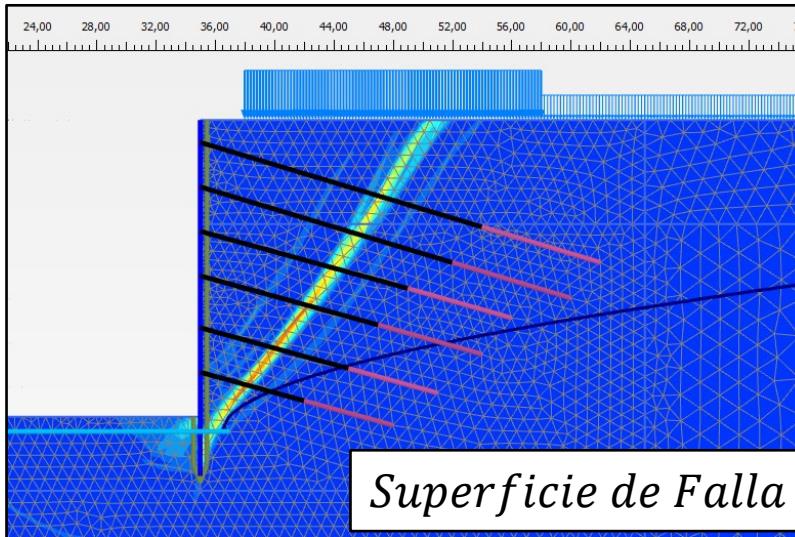
MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Evolución de los desplazamientos



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

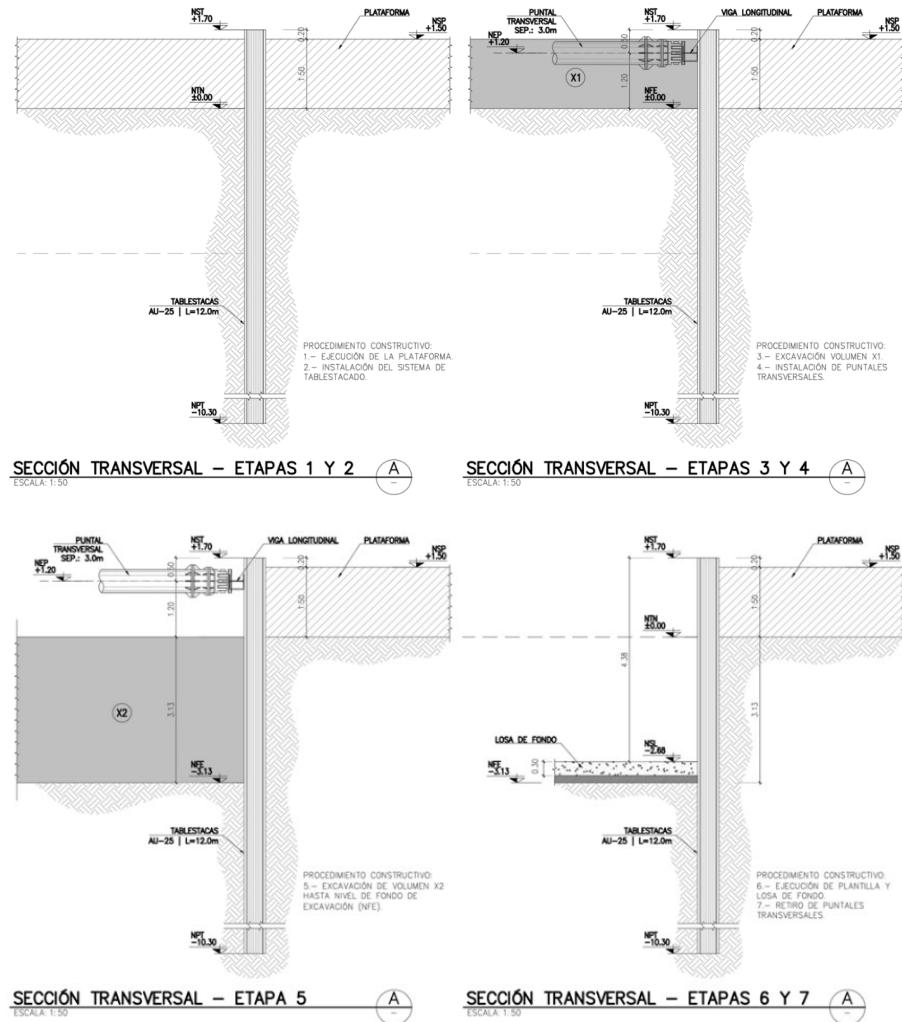
Resultados obtenidos



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Caso 4 analizado

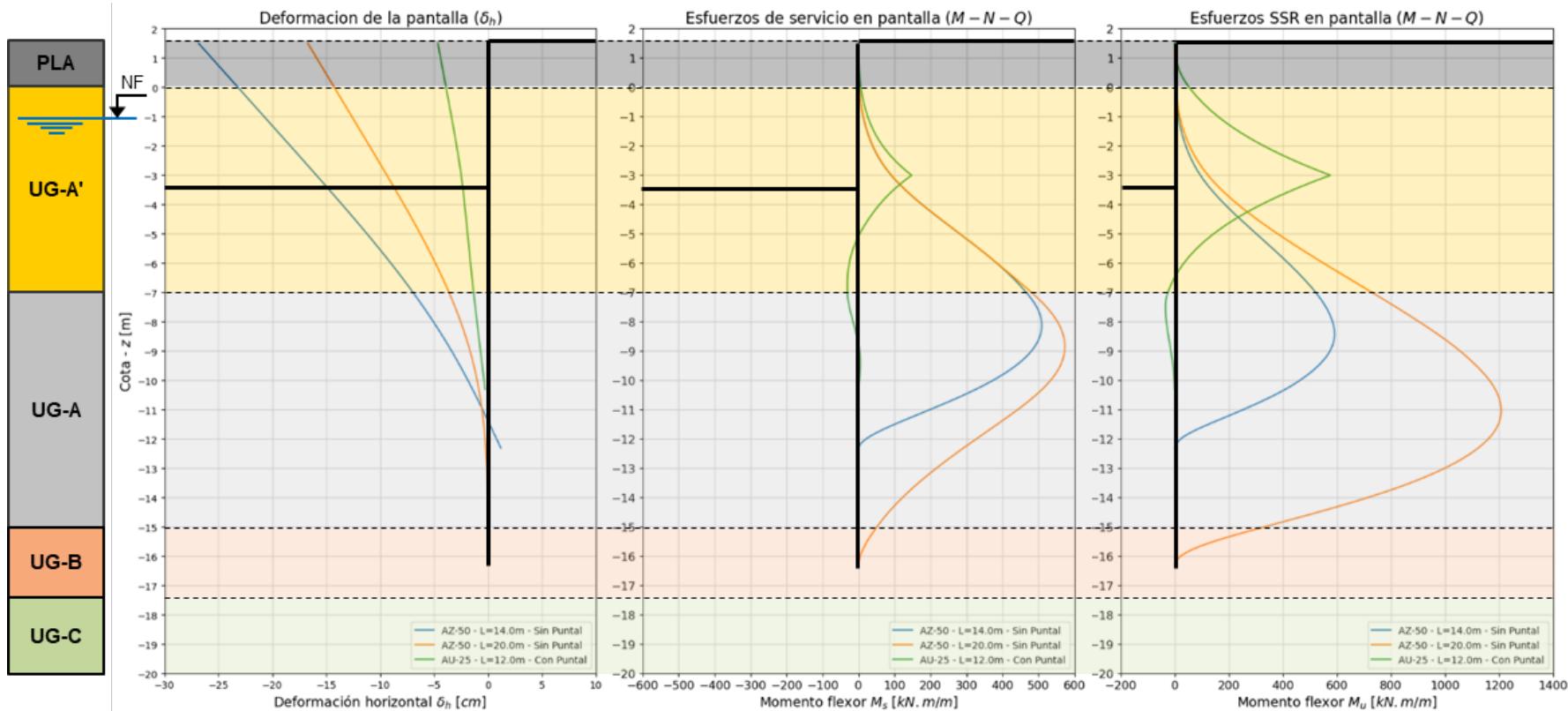
1. Ejecución de la plataforma.
2. Instalación del sistema de tablestacado.
3. Excavación volumen X1.
4. Instalación de puntales transversales.
5. Excavación de volumen X2 hasta nivel de fondo de excavación.
6. Ejecución plantilla y losa de fondo.
7. Retiro de puntales transversales.



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Deformaciones y solicitudes

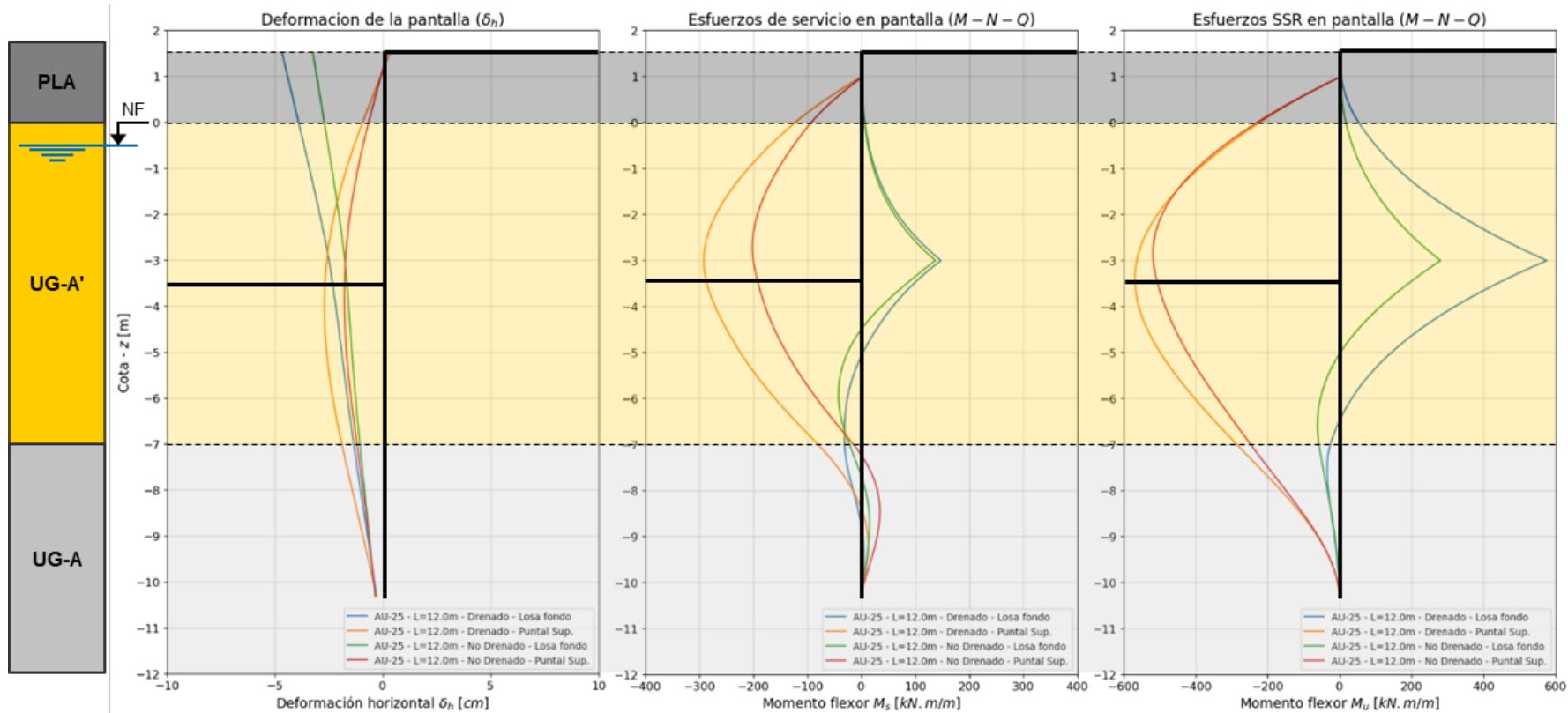
- Tablestacas apuntaladas o en voladizo (sin puntal).
- Distintas longitudes de ficha y tipología de tablestaca.
 - Verificar los desplazamientos en la cabeza.



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Análisis drenado y no drenado

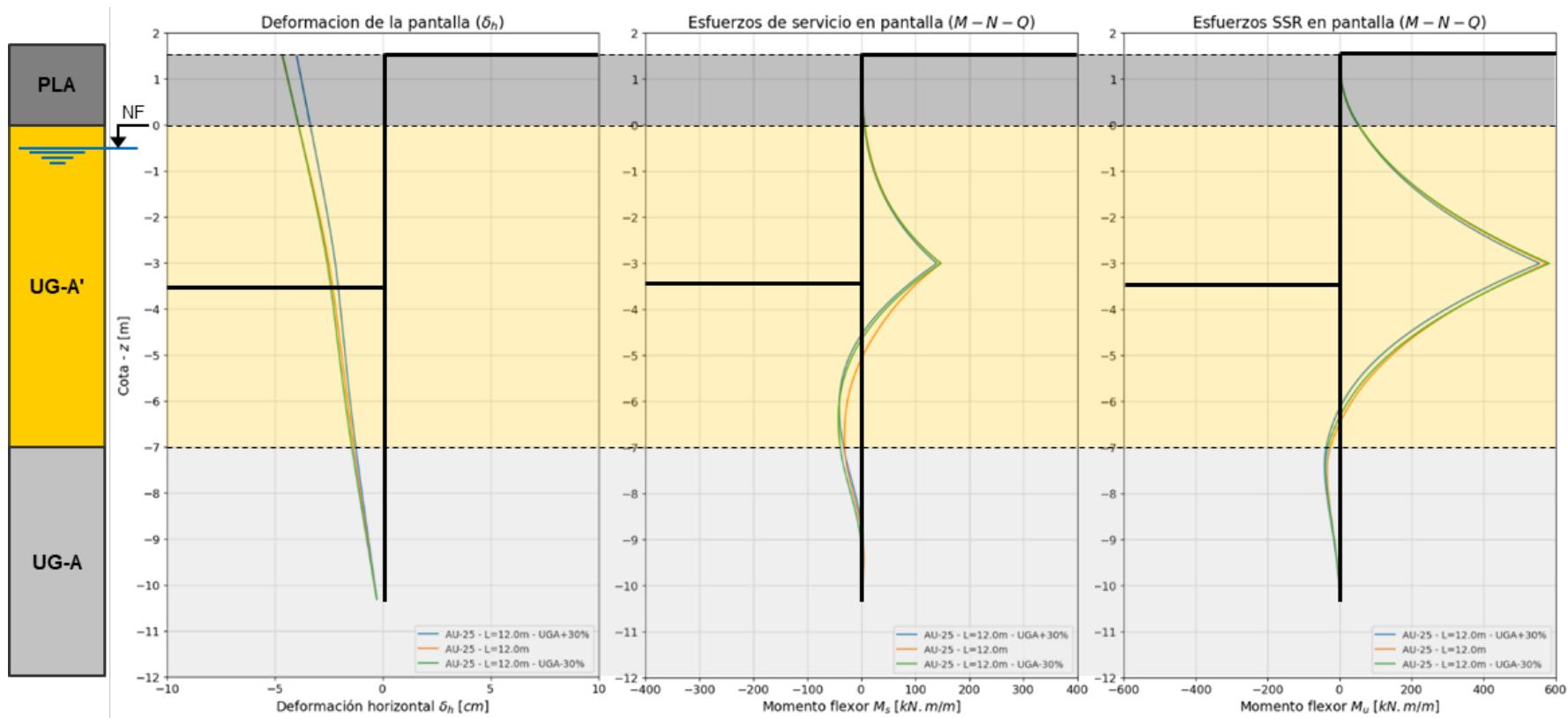
- Siempre hay que analizar las condiciones drenadas y no drenadas, a corto y largo plazo.



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

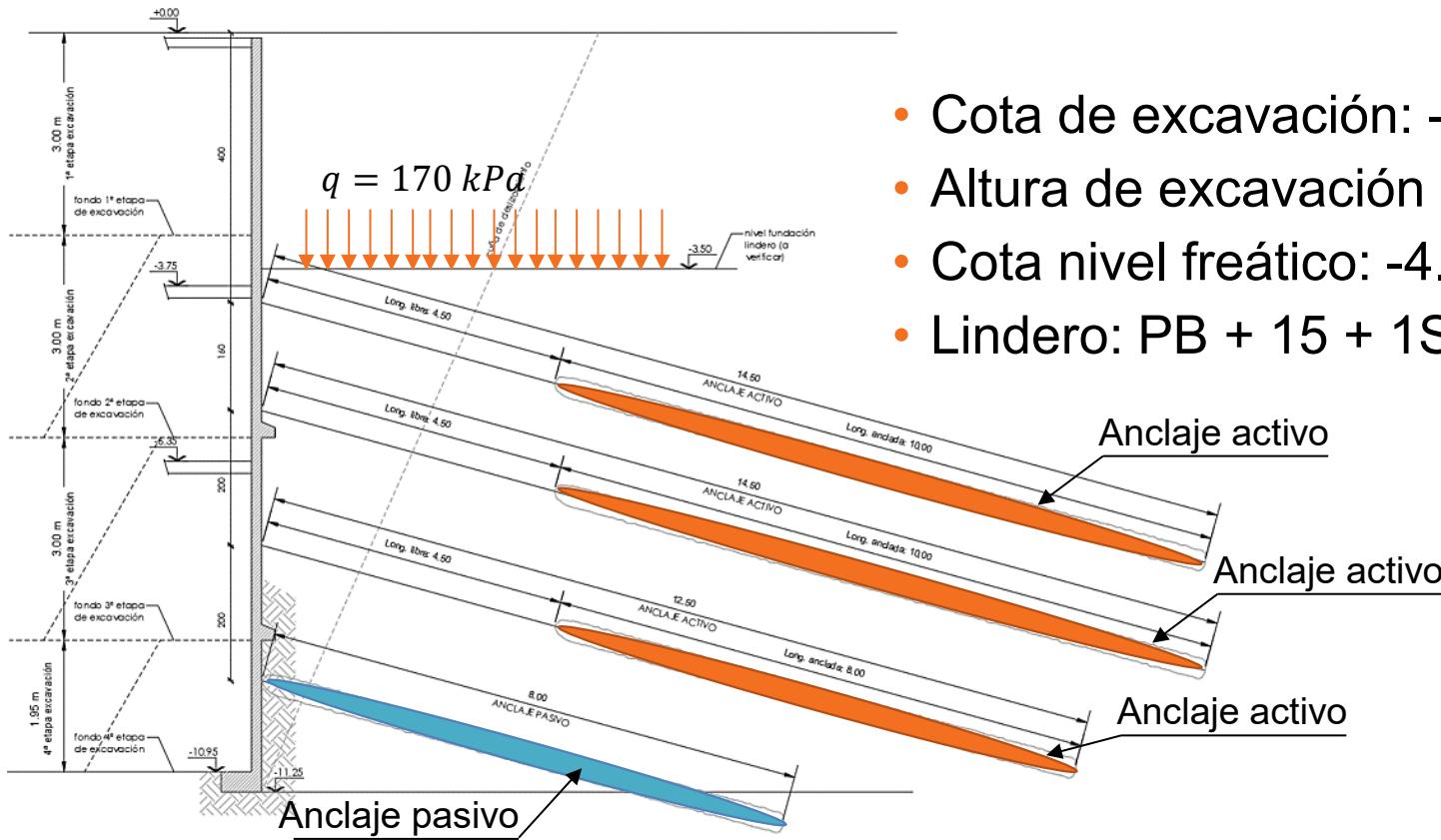
Análisis de sensibilidad

- Se recomienda siempre realizar análisis de sensibilidad para determinar la incidencia de los parámetros de entrada en los resultados obtenidos.



MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

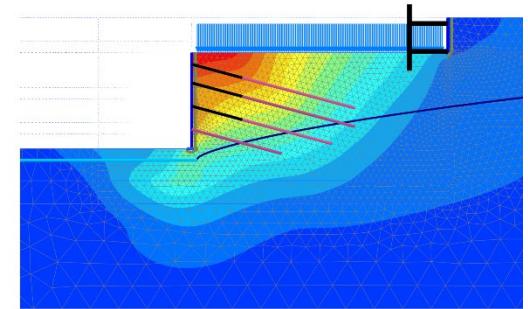
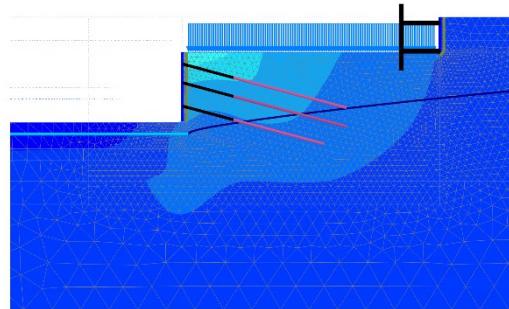
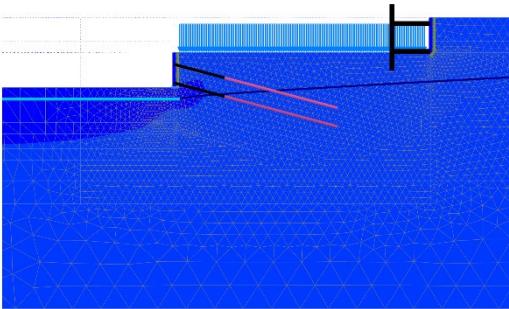
Caso 5 analizado



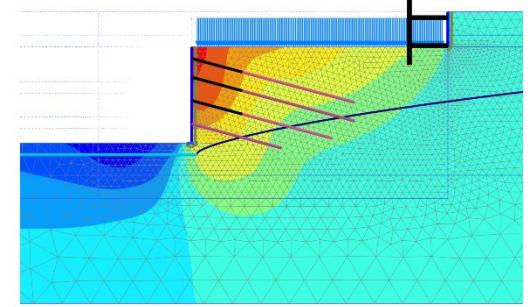
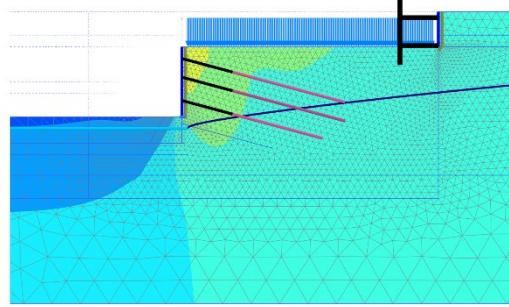
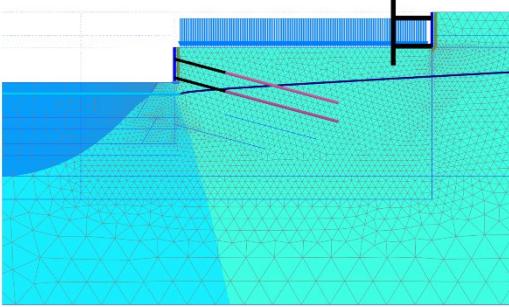
- Cota de excavación: -11.25 m
- Altura de excavación neta: ~8.0 m
- Cota nivel freático: -4.8 m
- Lindero: PB + 15 + 1SS = 170 kPa

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

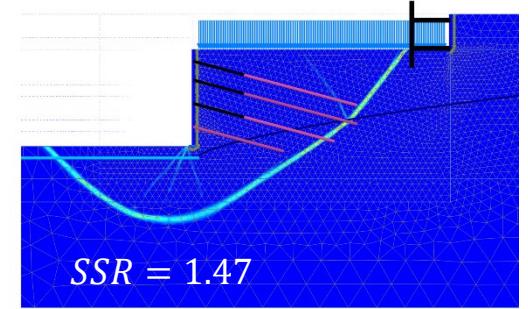
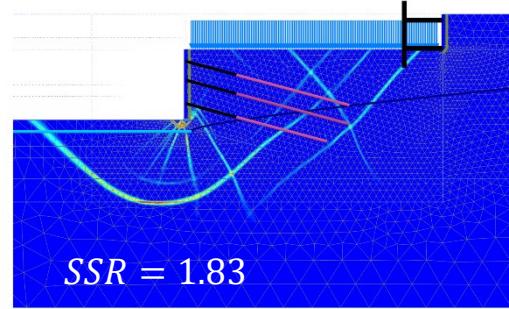
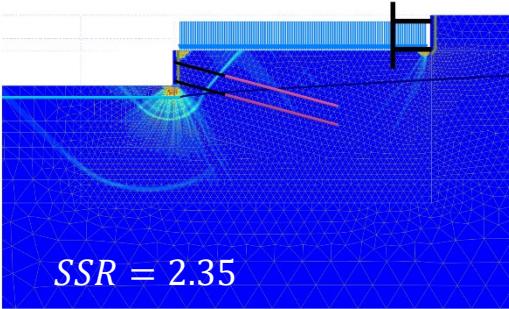
Desplazamientos horizontales [mm]



Desplazamientos verticales [mm]



Superficies de falla



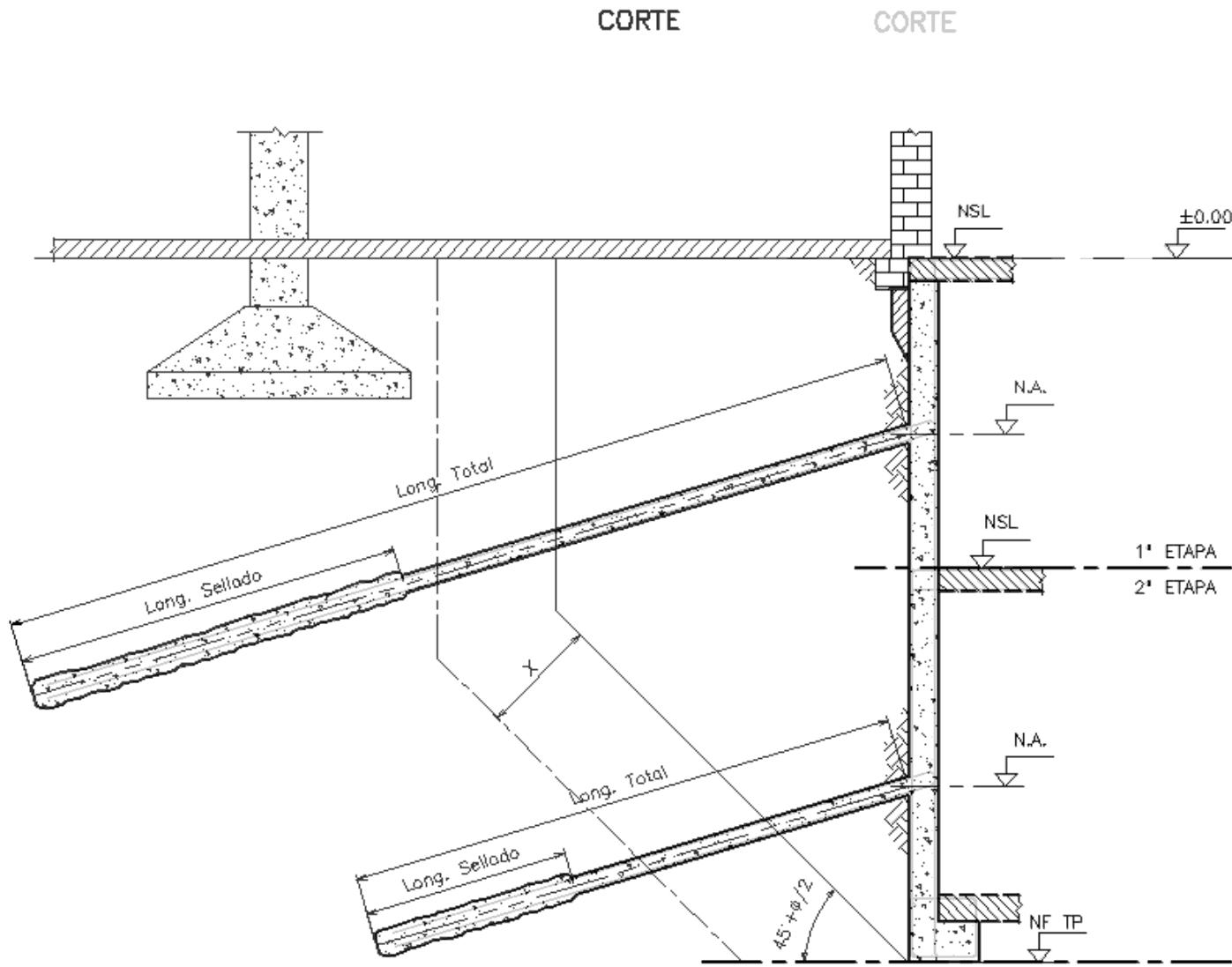


MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

ÍNDICE GENERAL

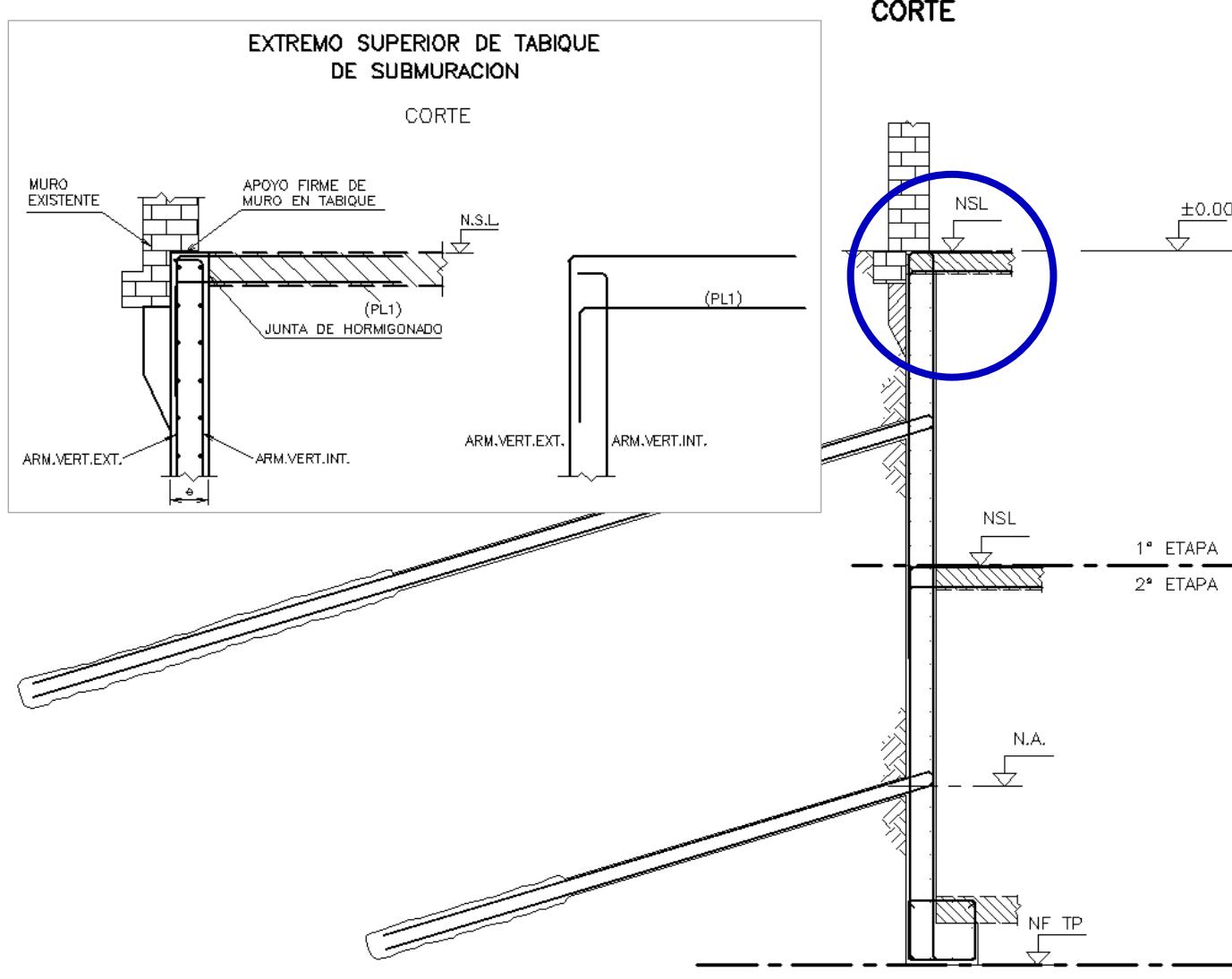
1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS
6. DETALLES CONSTRUCTIVOS
7. TRABAJO PRÁCTICO N°3
8. BIBLIOGRAFÍA

DETALLES CONSTRUCTIVOS



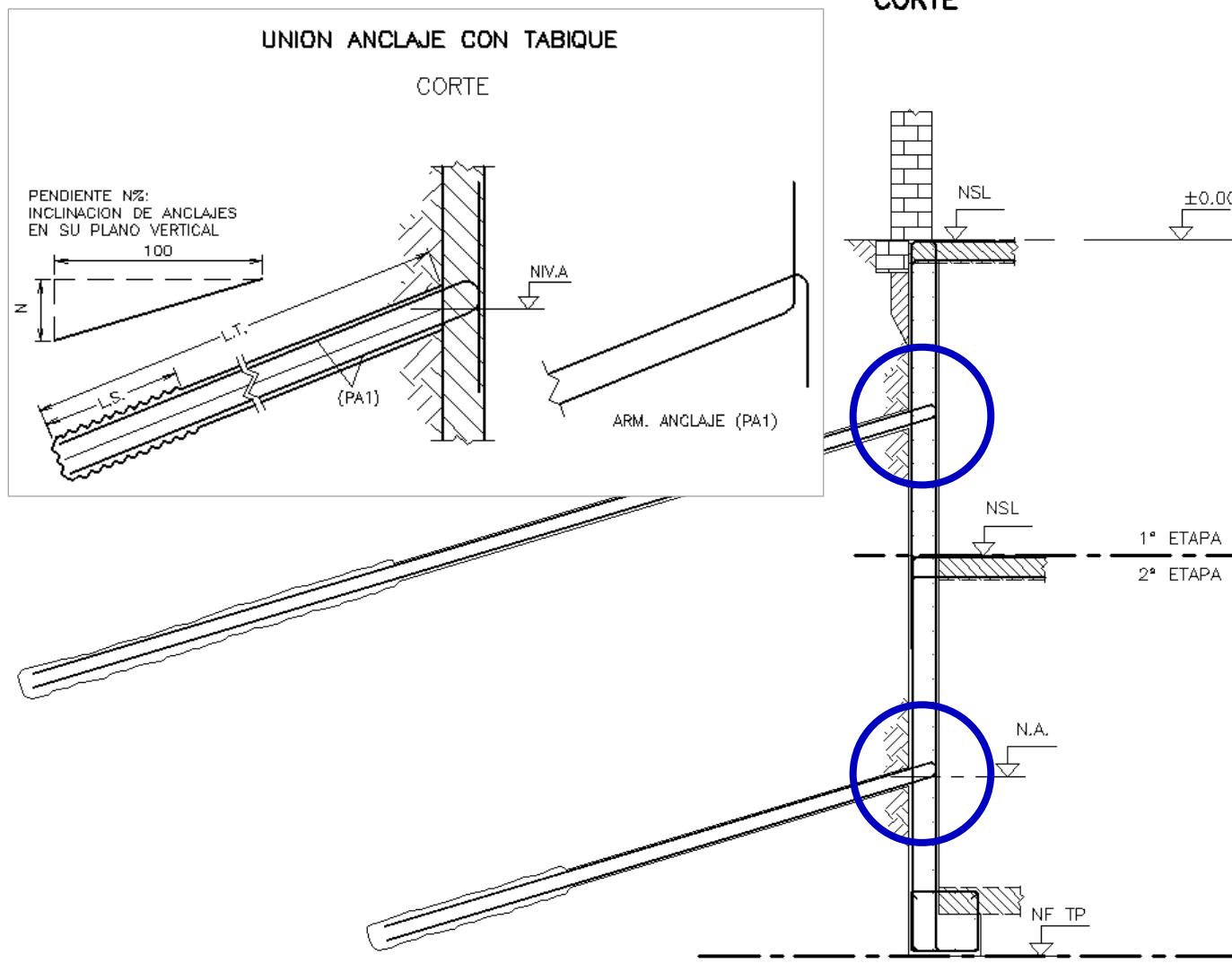
DETALLES CONSTRUCTIVOS

Extremo superior del tabique



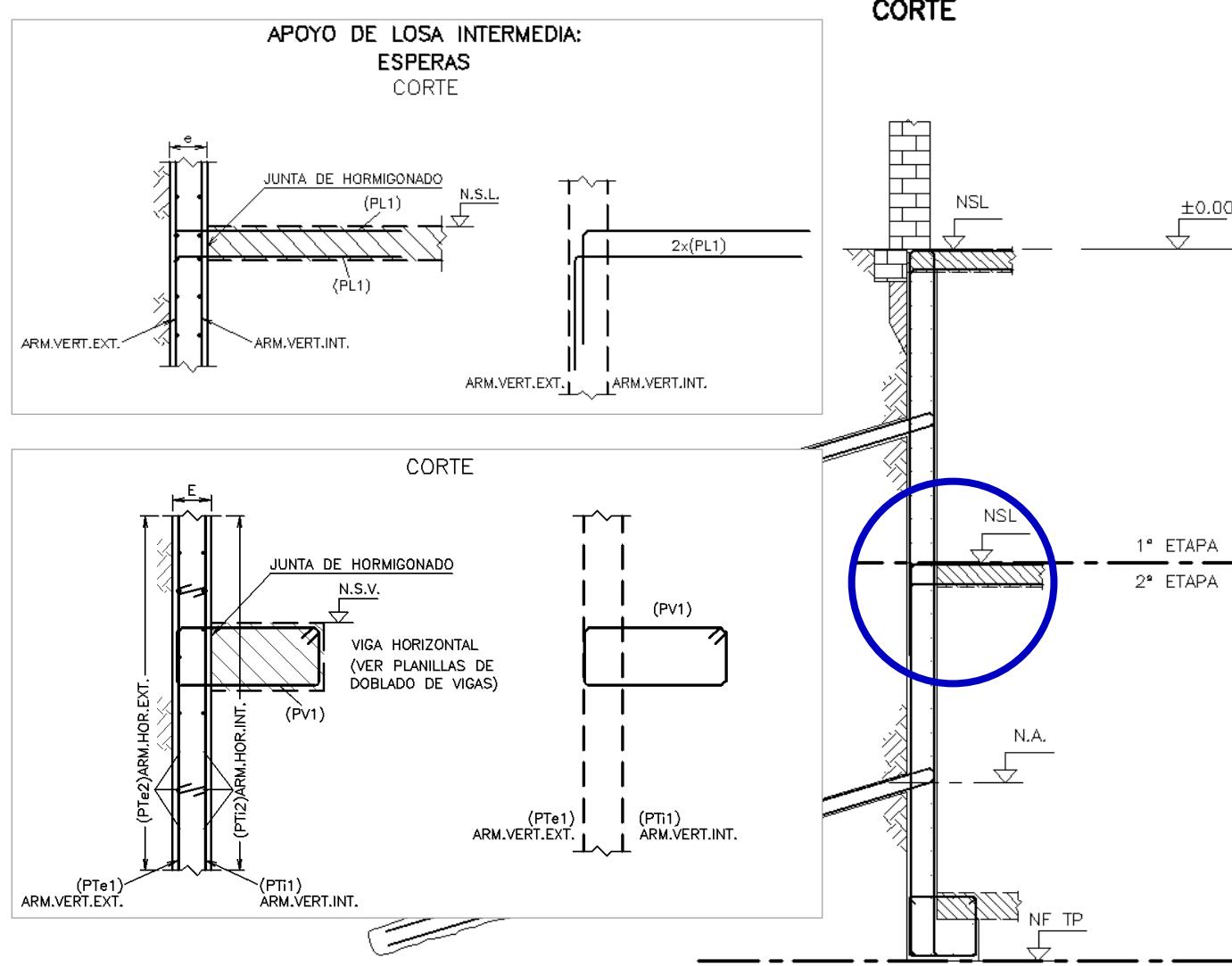
DETALLES CONSTRUCTIVOS

Unión anclaje con tabique



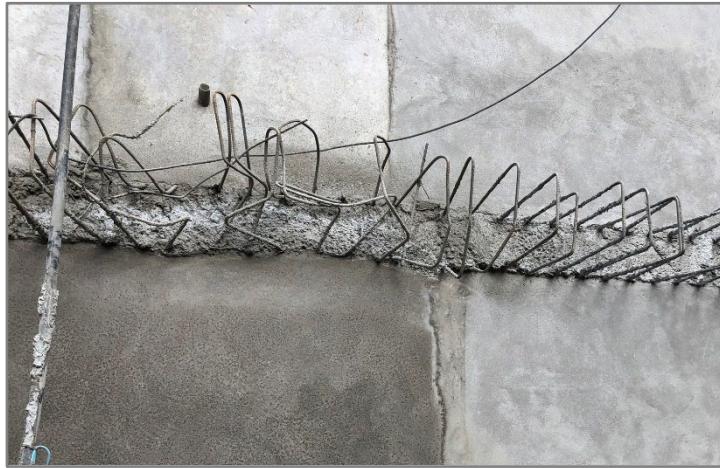
DETALLES CONSTRUCTIVOS

Apoyo de losas intermedias y vigas horizontales



DETALLES CONSTRUCTIVOS

Apoyo de losas intermedias y vigas horizontales

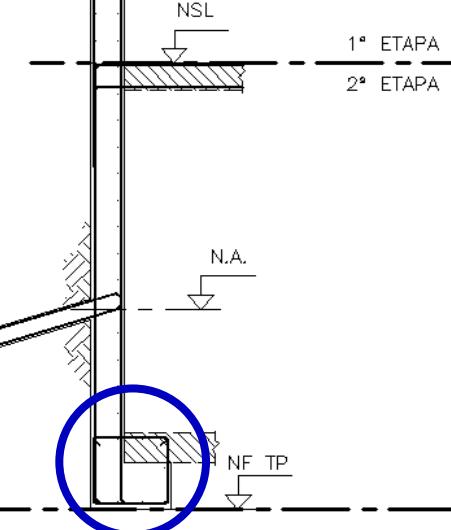
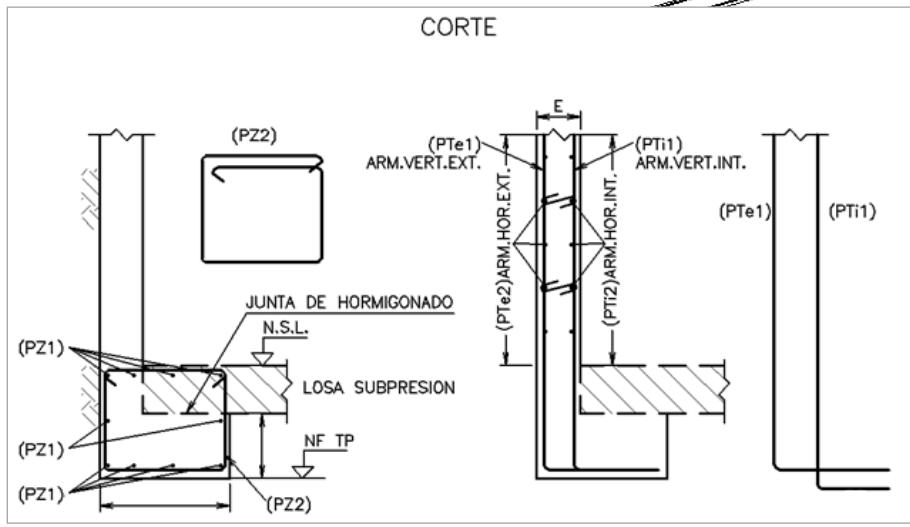
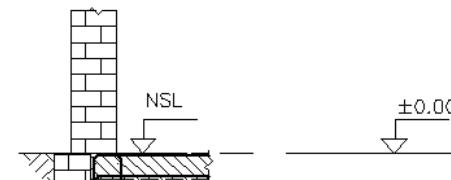


DETALLES CONSTRUCTIVOS

Zapata inferior



CORTE



DETALLES CONSTRUCTIVOS





MUROS CON DEFORMACIÓN RESTRINGIDA

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN
2. ANCLAJES E INYECCIONES
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
4. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LOS ANCLAJES
5. DETALLES CONSTRUCTIVOS
6. TRABAJO PRÁCTICO N°3
7. BIBLIOGRAFÍA



TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Se deberá:

1. Dimensionar **anclajes** (envolvente de todas las etapas).
 - ✓ Diámetro (adoptar)
 - ✓ Longitud (teniendo en cuenta la cuña de empuje)
 - ✓ Armaduras
2. Dimensionar **tabiques** (envolvente de todas las etapas).
 - ✓ Espesor
 - ✓ Refuerzos estructurales
 - ✓ Verificación a punzonado (anclajes)
3. Base de tabique (**zapata**)

TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Primera etapa de excavación. Profundidad **-3,00m**

- **Diagrama 2 CE**

$$H = 3,00 \text{ m}$$

- **Empuje de Rankine**

$$H = 3,00 \text{ m}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$K_0 = 0,50$$

$$\gamma = 1,90 \text{ ton/m}^3$$

$$c' = 0,00 \text{ ton/m}^2$$

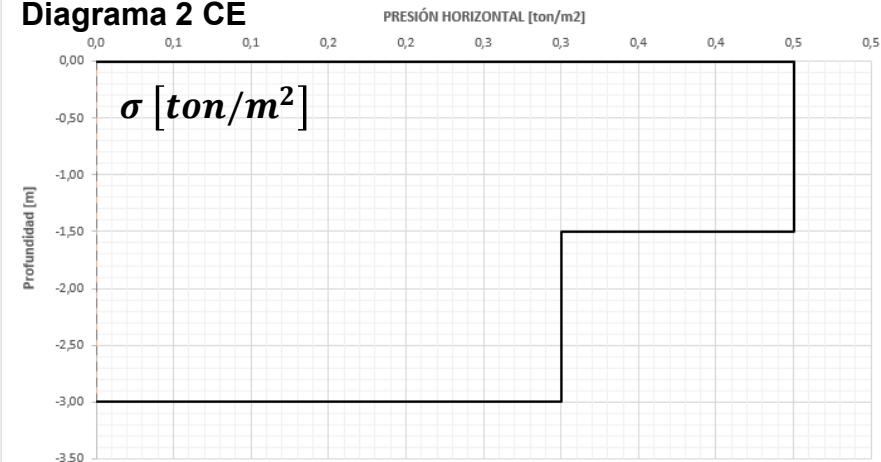
$$q = 1,00 \text{ ton/m}^2$$

Distribución **uniforme**

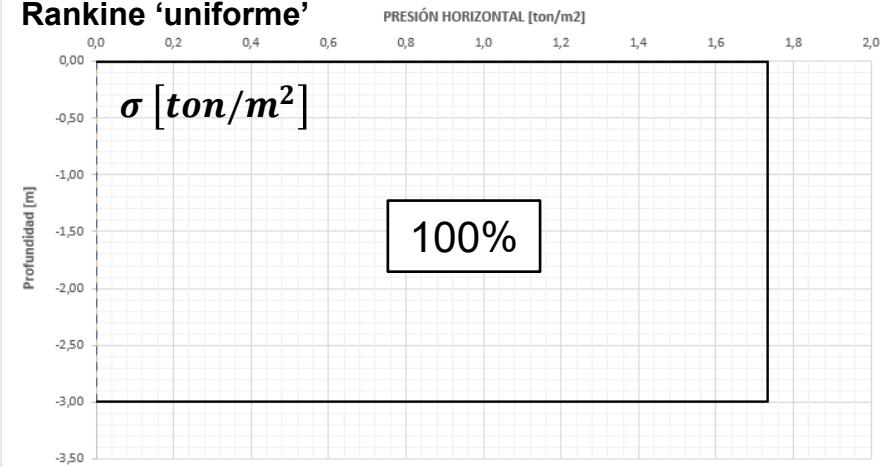
- **Napa**

Abatida

Diagrama 2 CE



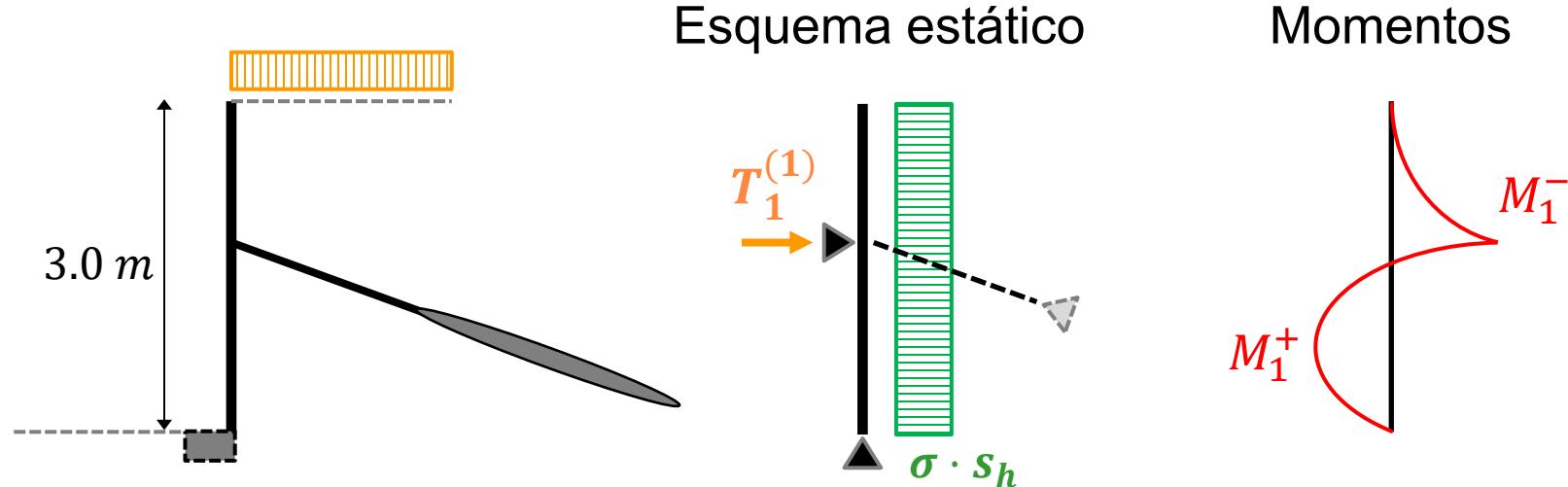
Rankine 'uniforme'



TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Primera etapa de excavación. Profundidad **-3,00m**



Se deben verificar **todas las etapas** intermedias geotécnica y estructuralmente (se deben utilizar envolventes de esfuerzos para dimensionar los distintos elementos).
En etapas intermedias puede ser necesario colocar una zapata.

TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Segunda etapa de excavación. Profundidad **-6,00m**

- **Diagrama 2 CE**

$$H = 6,00 \text{ m}$$

- **Empuje de Rankine**

$$H = 6,00 \text{ m}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$K_0 = 0,50$$

$$\gamma = 1,90 \text{ ton/m}^3$$

$$c' = 0,00 \text{ ton/m}^2$$

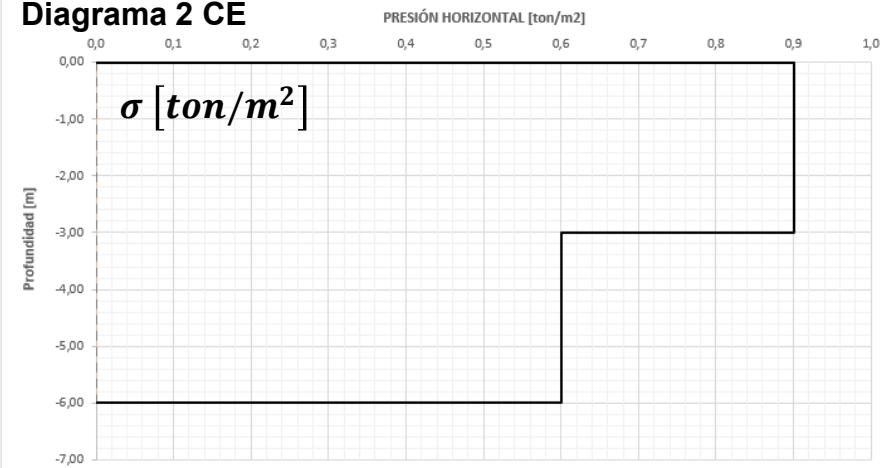
$$q = 1,00 \text{ ton/m}^2$$

Distribución **birrectangular**

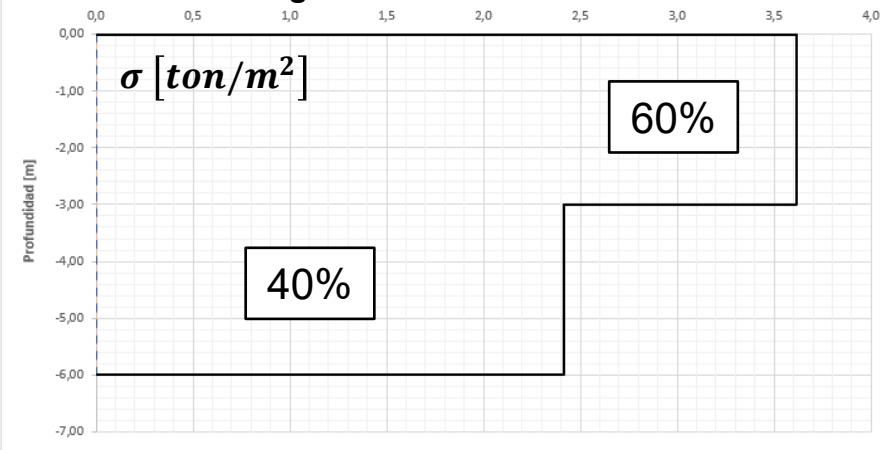
- **Napa**

Abatida

Diagrama 2 CE



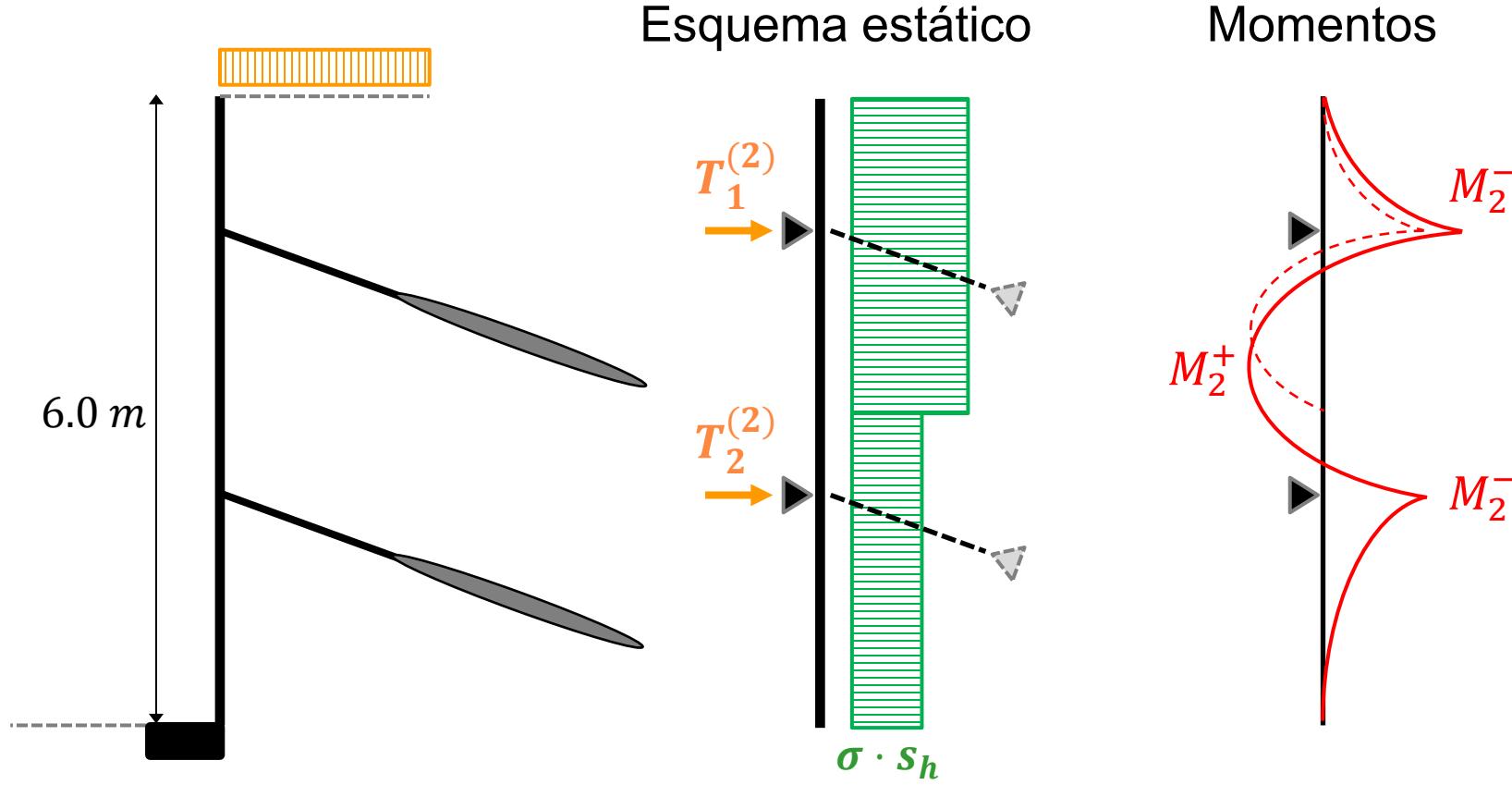
Rankine 'birectangular' PRESIÓN HORIZONTAL [ton/m²]



TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Segunda etapa de excavación. Profundidad **-6,00m**



TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Etapa definitiva. Profundidad -6,00m

- **Diagrama 2 CE**

$$H = 6,00 \text{ m}$$

- **Empuje de Rankine**

$$H = 6,00 \text{ m}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$K_0 = 0,50$$

$$\gamma = 1,90 \text{ ton/m}^3$$

$$c' = 0,00 \text{ ton/m}^2$$

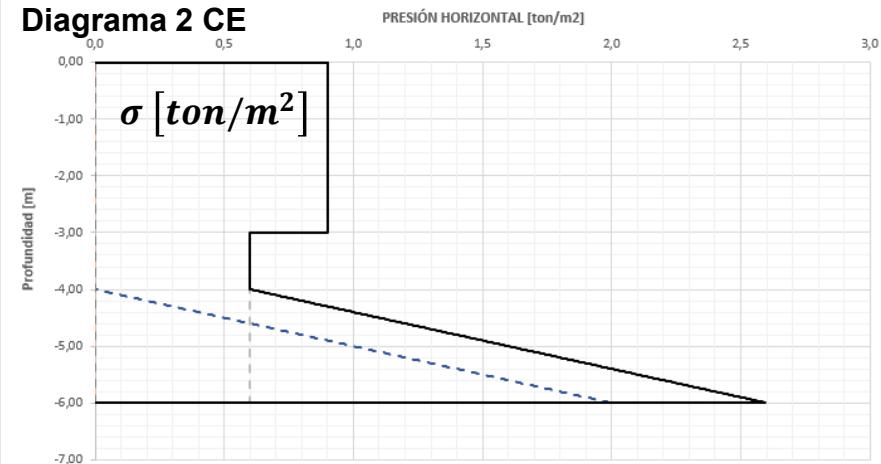
$$q = 1,00 \text{ ton/m}^2$$

Distribución **birrectangular**

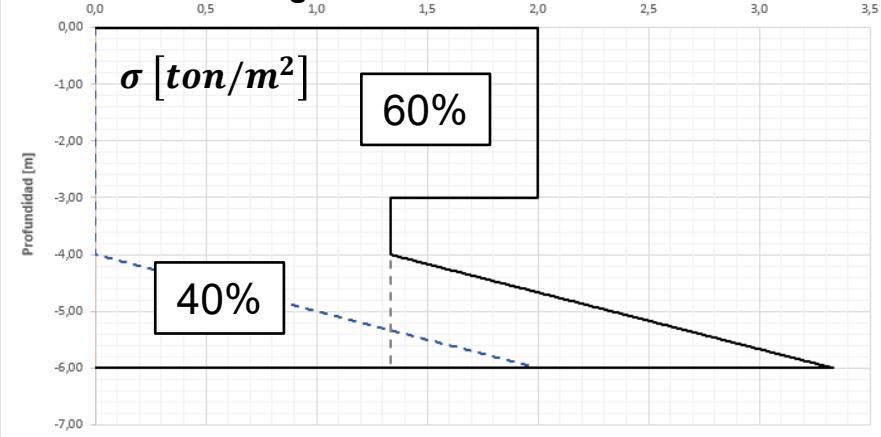
- **Napa**

$$H_w = -4,00 \text{ m}$$

Diagrama 2 CE



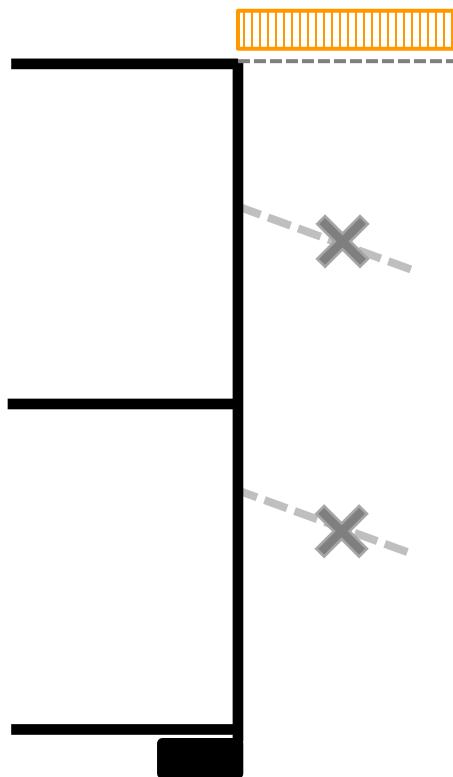
Rankine 'birectangular' PRESIÓN HORIZONTAL [ton/m²]



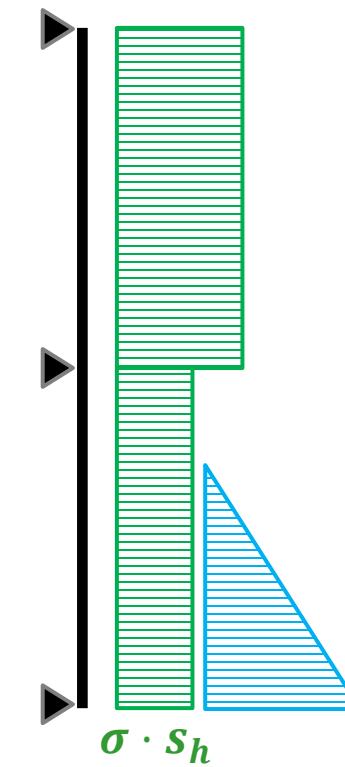
TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

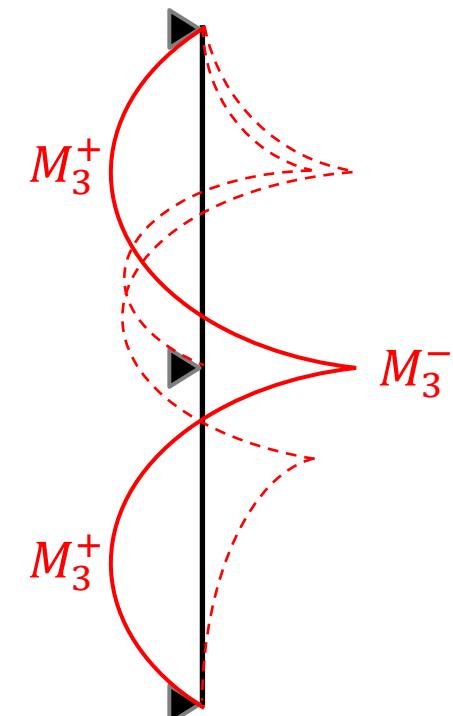
Etapa definitiva. Profundidad -6,00m



Esquema estático



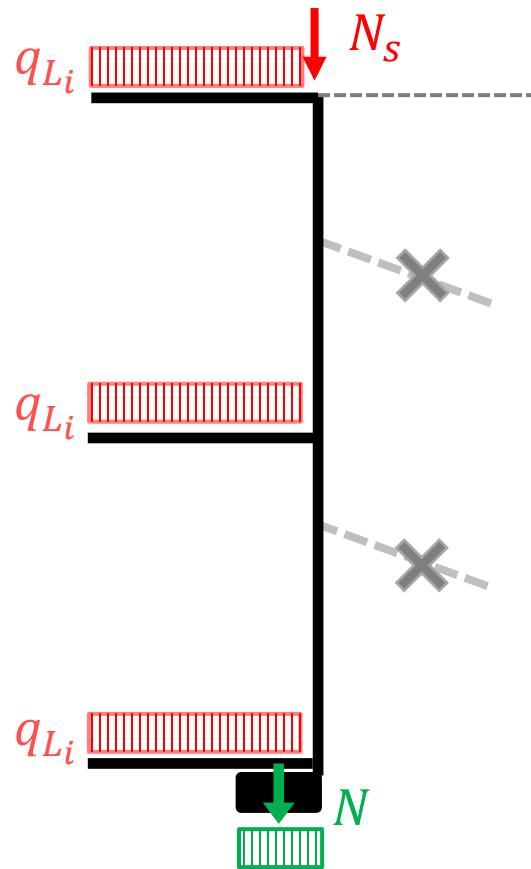
Momentos



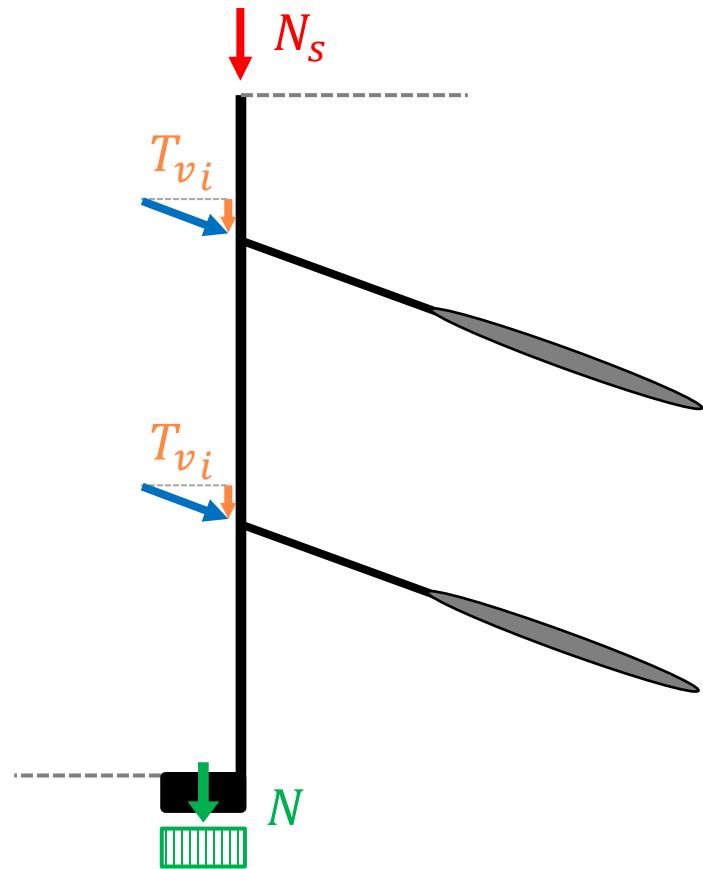
TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

Verificación de **zapata del muro**



$$N = N_s + \gamma_{H^\circ} \cdot e \cdot H + \sum A_{L_i} \cdot q_{L_i}$$



$$N = N_s + \gamma_{H^\circ} \cdot e \cdot H + \sum T_{v_i}$$

TRABAJO PRÁCTICO N°3

MURO DE SOSTENIMIENTO CON ANCLAJES

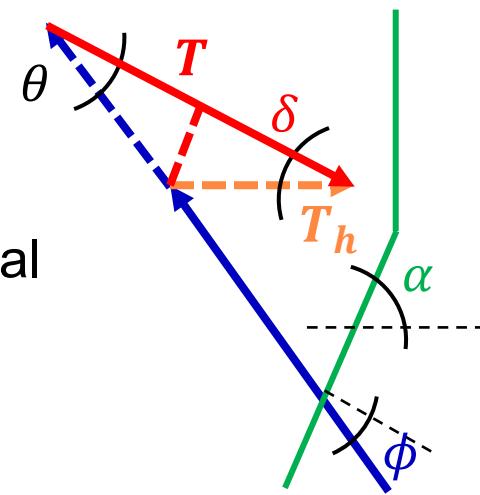
Procedimiento de cálculo

1. Calcular resultante del **empuje triangular** de Rankine;
2. Distribuir la **resultante** según corresponda en cada etapa;
3. Comparar el diagrama resultante con el **mínimo del C.E.**;
4. Obtener los **tiros horizontales** de los anclajes (T_h) mediante un modelo estructural;
5. Obtener el **tiro total en el anclaje** mediante la siguiente expresión:

$$T = T_h \cdot \left(\cos(\delta) + \frac{\operatorname{sen}(\delta)}{\operatorname{tg}(\theta)} \right)$$

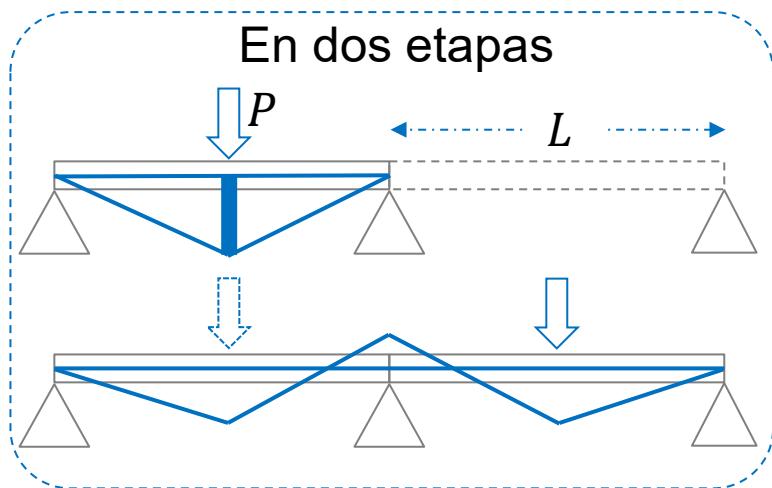
Donde:

- α : Ángulo de la cuña respecto de la horizontal
- δ : Ángulo de inclinación del anclaje
- ϕ : Ángulo de fricción interna
- $\theta = 90^\circ - \alpha - \delta + \phi$

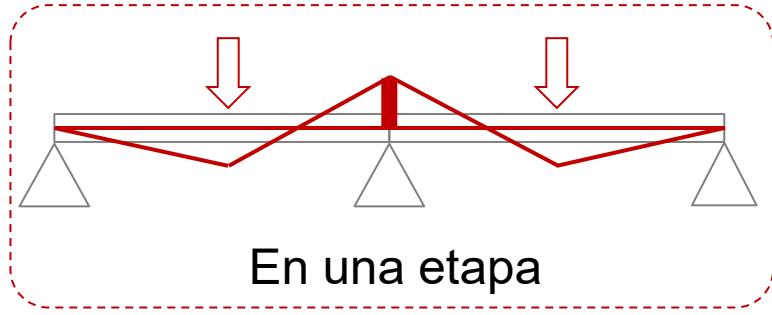


LA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS

Calcule los momentos de tramo y apoyo de un puente de dos tramos construido en dos etapas y en una única etapa.



$M_I = \frac{16PL}{64}$	$M_0 = 0$	$M_D = 0$
?	?	?

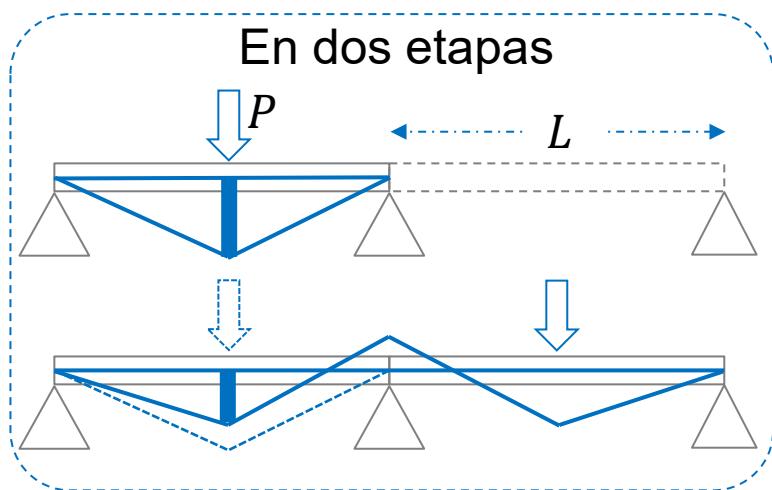


?	$M_0 = \frac{12PL}{64}$?
---	-------------------------	---

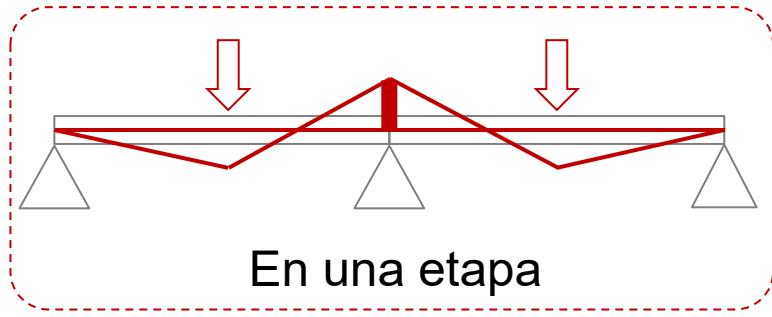
LA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS IMPLICA NO LINEALIDAD

Aún en una viga elástica (un problema simple)

M_I , M_0 y M_D dependen de la secuencia constructiva



$M_I = \frac{16PL}{64}$	$M_0 = 0$	$M_D = 0$
$M_I = \frac{13PL}{64}$	$M_0 = \frac{6PL}{64}$	$M_D = \frac{13PL}{64}$

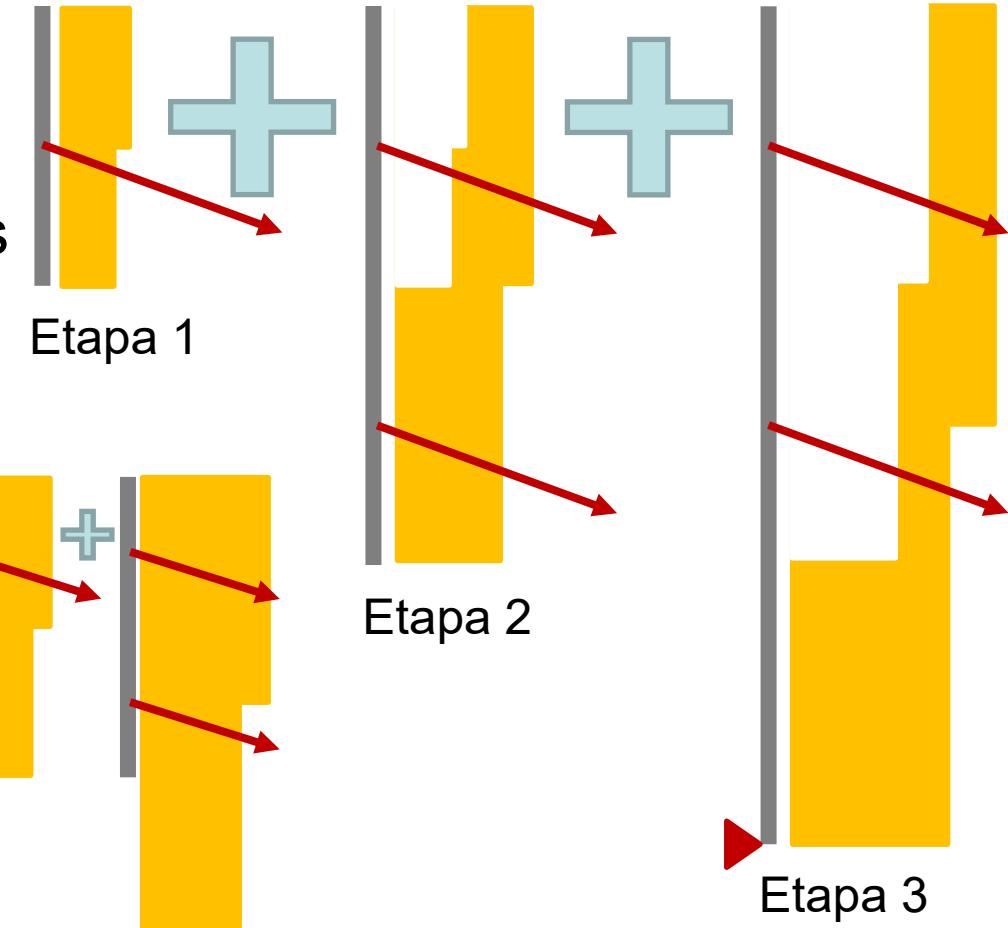


$M_I = \frac{10PL}{64}$	$M_0 = \frac{12PL}{64}$	$M_D = \frac{10PL}{64}$
-------------------------	-------------------------	-------------------------

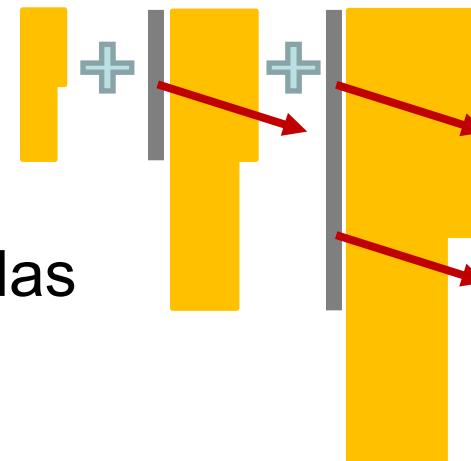
LA CONSTRUCCIÓN POR ETAPAS

Diagramas de empuje: análisis simplificado

Aún con diagramas de empuje deben verificarse las etapas intermedias y sumarse las solicitudes estructurales



Si no hay troneras y bataches, deben analizarse las alturas no sostenidas





FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!