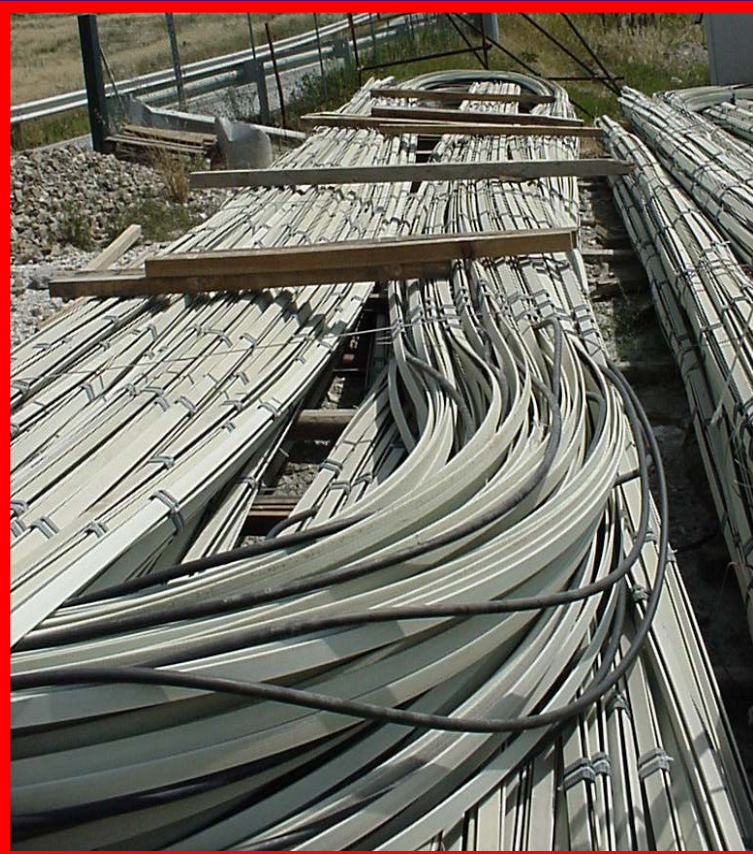


Control del comportamiento de la excavación de un túnel estabilizando el frente con elementos de vidrio-resina

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Projectista Profesor de Diseño de Túneles en la Universidad Central de Venezuela



Lima, 4 Agosto 2011

REFUERZO DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN CON ELEMENTOS DE VIDRIORESINAS PARA AVANZAR A SECCIÓN COMPLETA EN TÚNELES CON TERRENOS DEBILES

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Proyectista - Profesor de Diseño de Túneles en la Universidad Central de Venezuela



Sao Paulo, 20 Marzo 2012

2^{das} Jornadas sobre Tunelería y Espacios Subterráneos
“Nuevos Proyectos y Avances Tecnológicos”

Organiza



AATES
Asociación Argentina de Túneles
y Espacios Subterráneos

6 y 7 de septiembre 2012

Centro Argentino de Ingenieros CAI - Buenos Aires - Argentina

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN TUNELERÍA:

***Control del comportamiento de la excavación de un túnel
estabilizando el frente con elementos de vidrio-resina***

Gianfranco Perri

Ingeniero Consultor y Proyectista - Profesor de Diseño de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

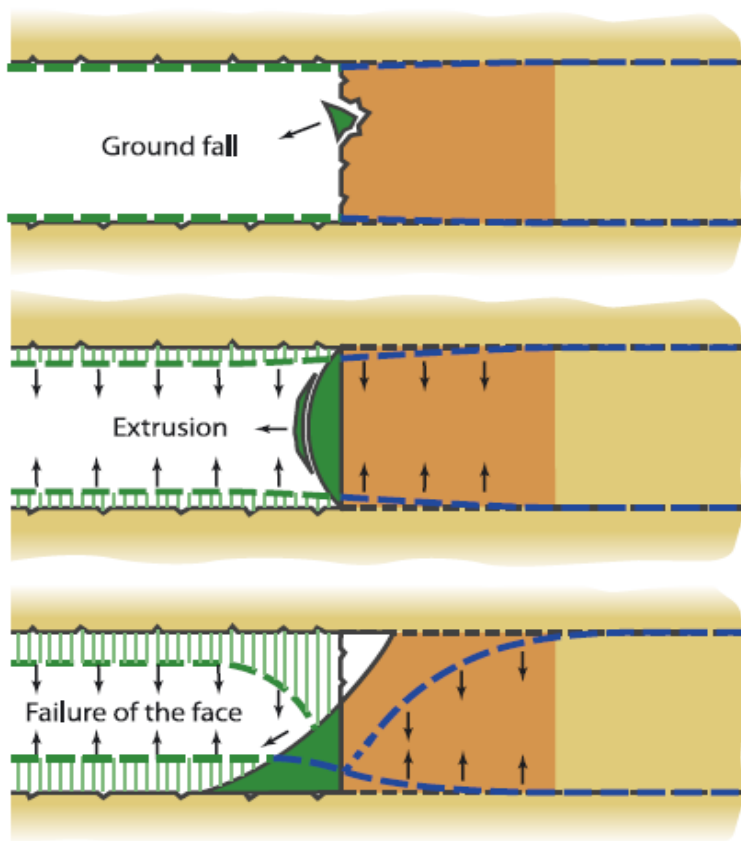
www.gianfrancoperri.com

Cómo se puede comportar la excavación?

- ◆ Muy bien
- ◆ Medianamente bien
- ◆ Medianamente mal
- ◆ Muy mal

Cómo se puede controlar la excavación?

Escenarios o Clases de Comportamiento de una Excavación



Ground fall



Preconvergence and convergence



Collapse of the cavity



Ground intruded across the theoretical profile of the tunnel



Preconvergence of the cavity



Convergence of the cavity

A

Stable face

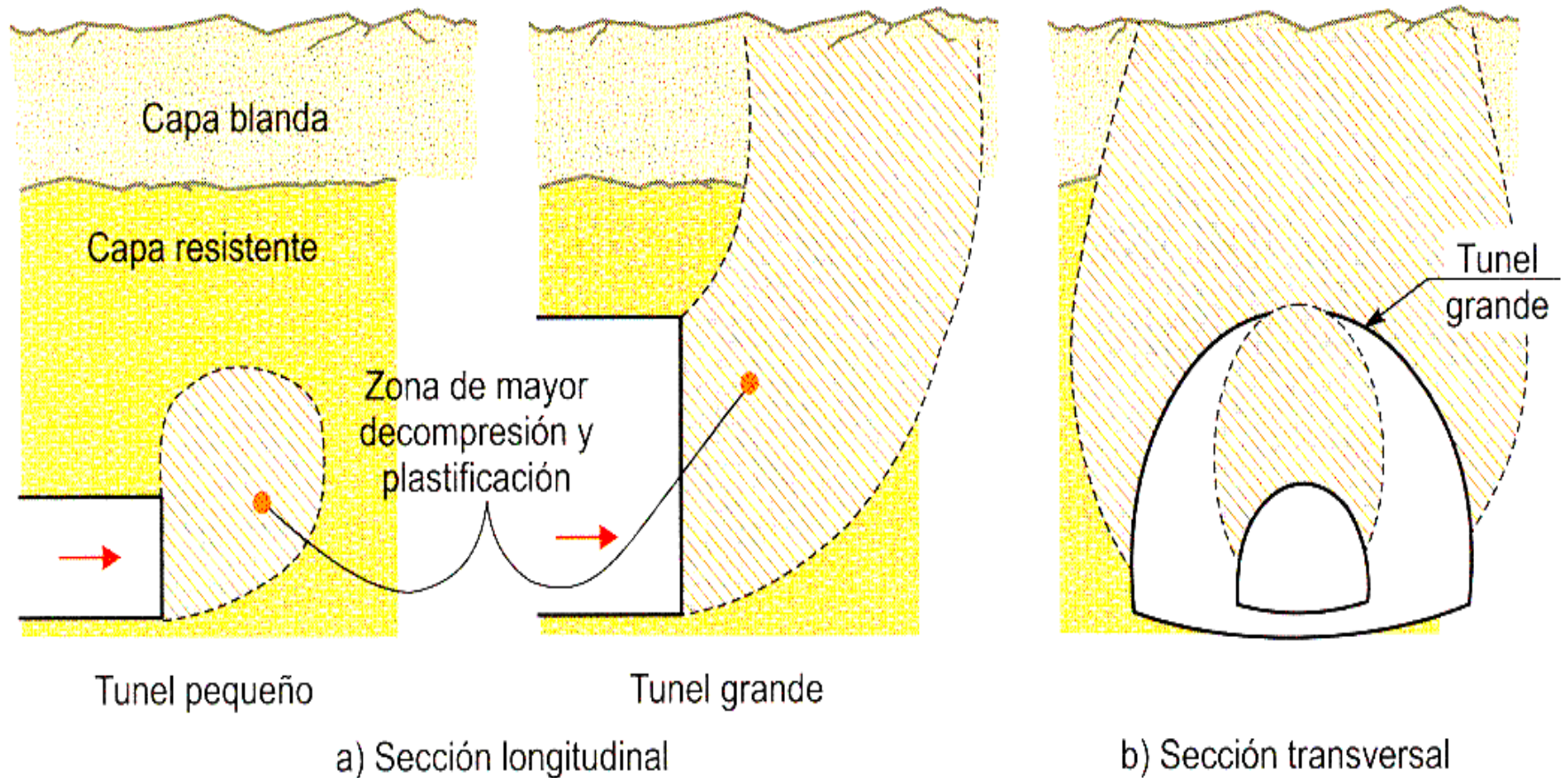
B

Face stable in the short term

C

Unstable face

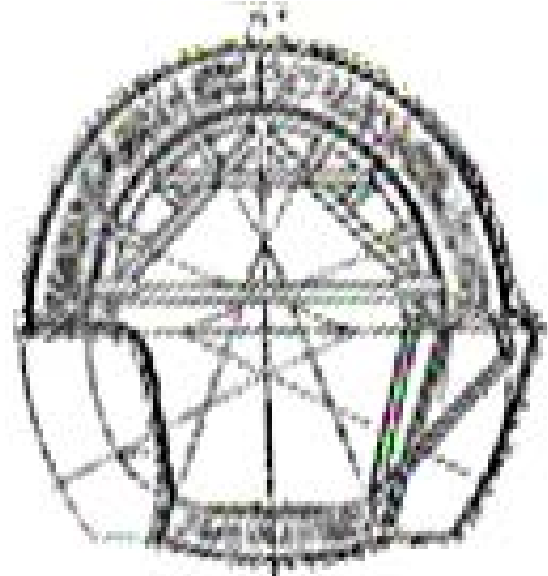
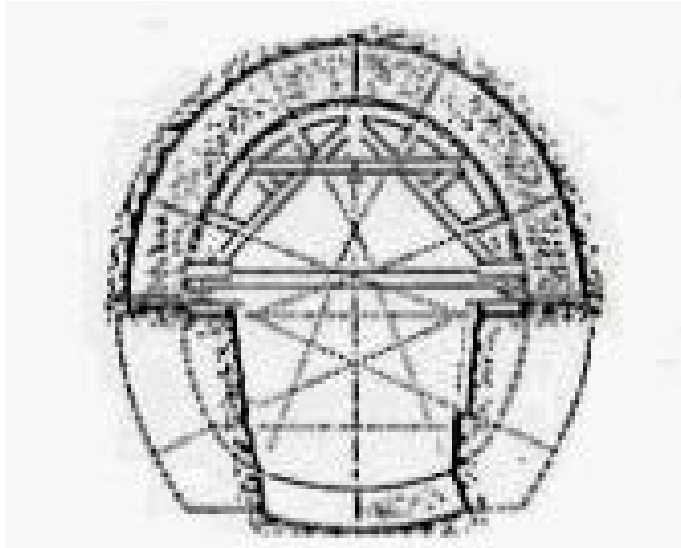
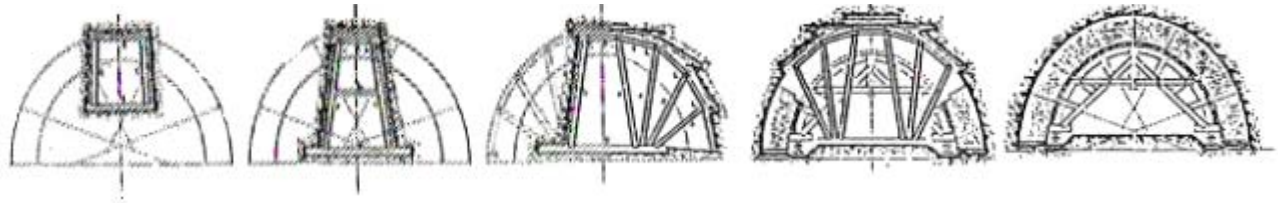
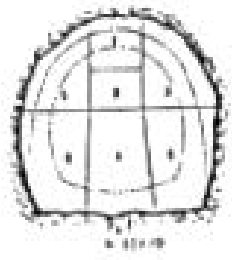
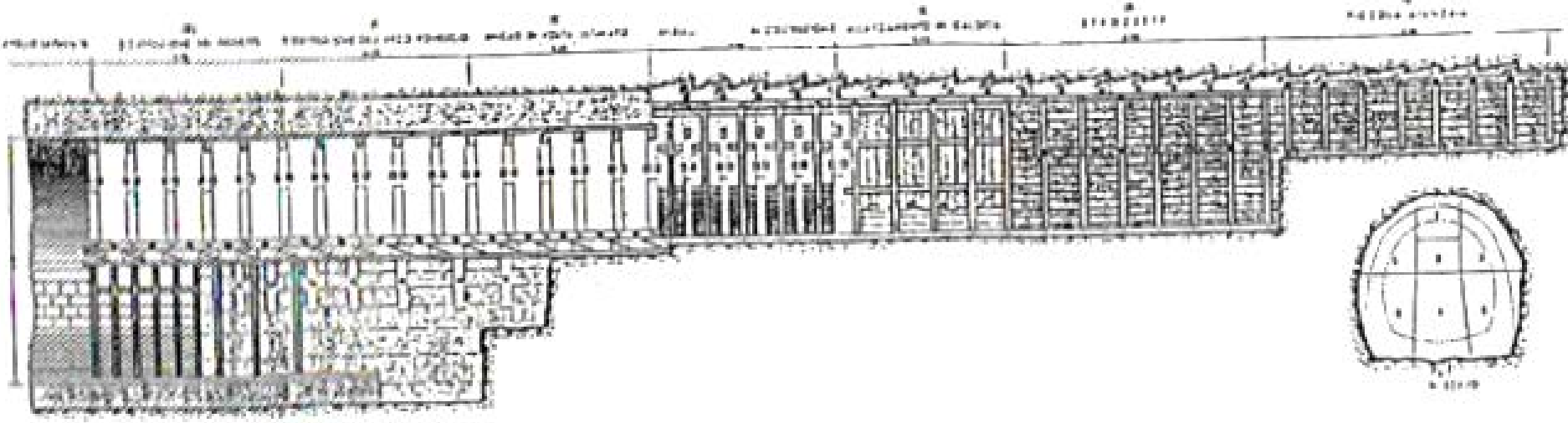
Clase de Comportamiento de la Excavación *en secciones superficiales*

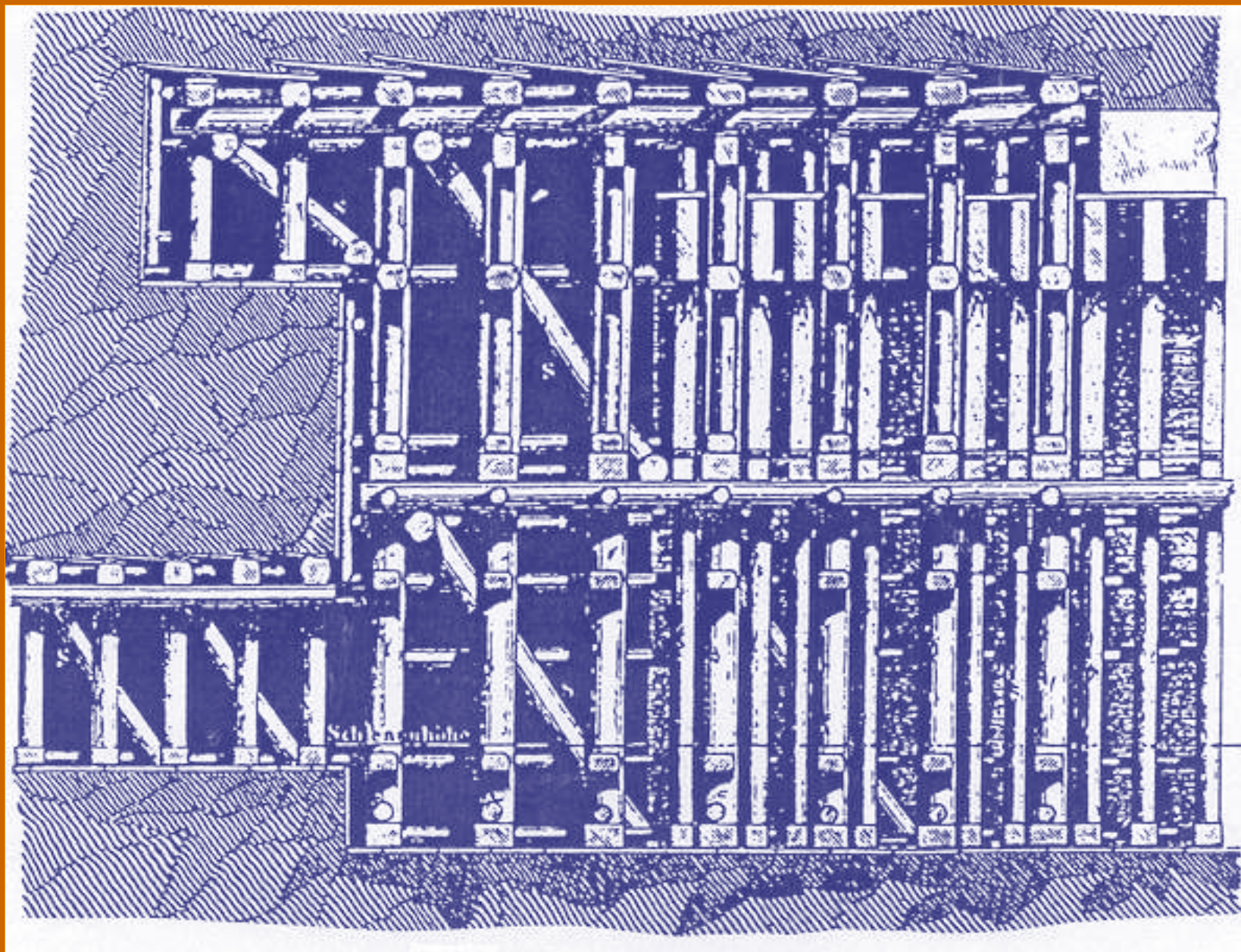


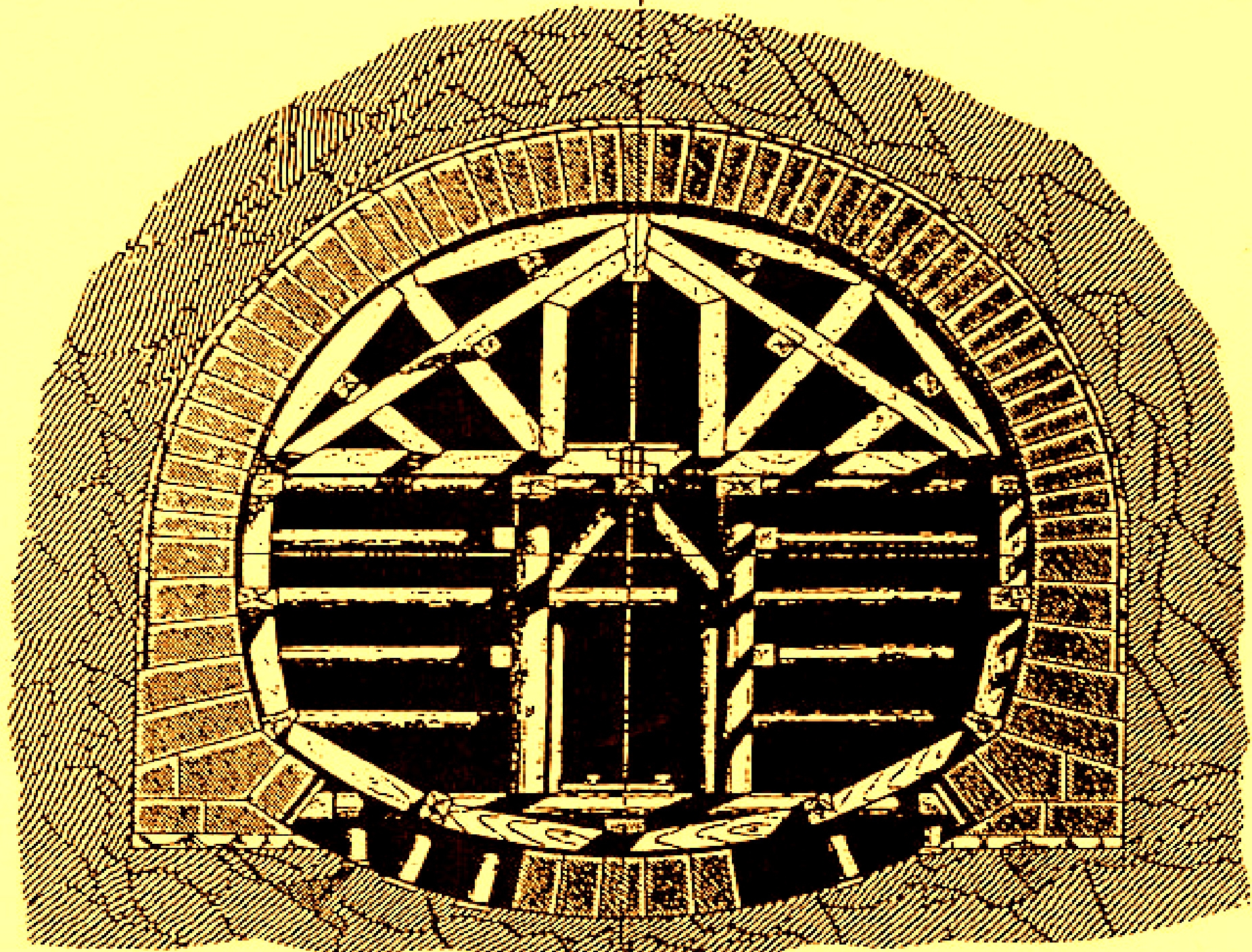
Cómo se puede comportar la excavación?

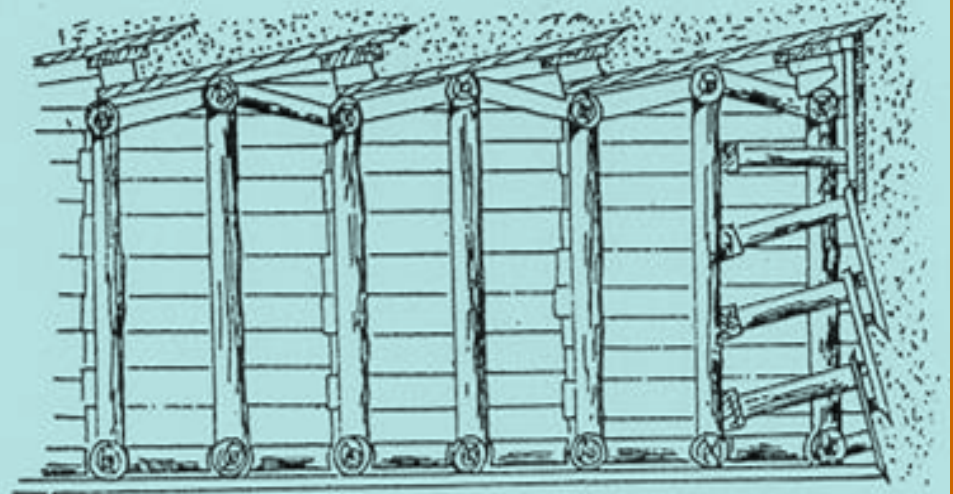
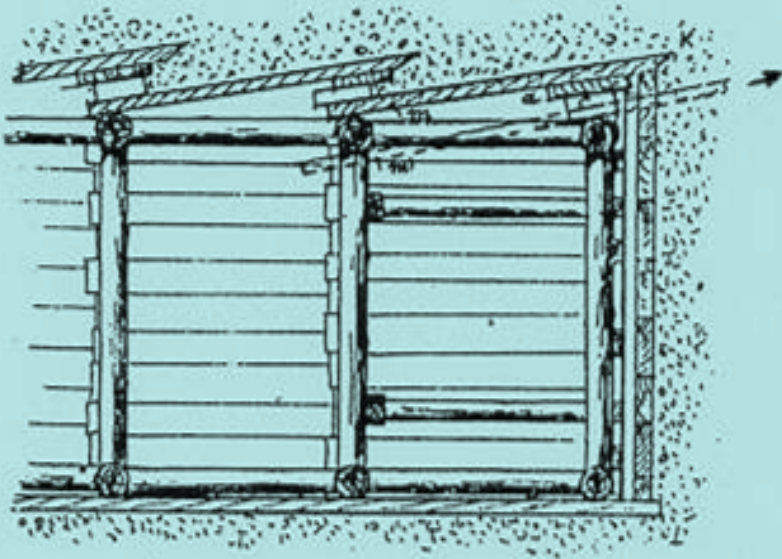
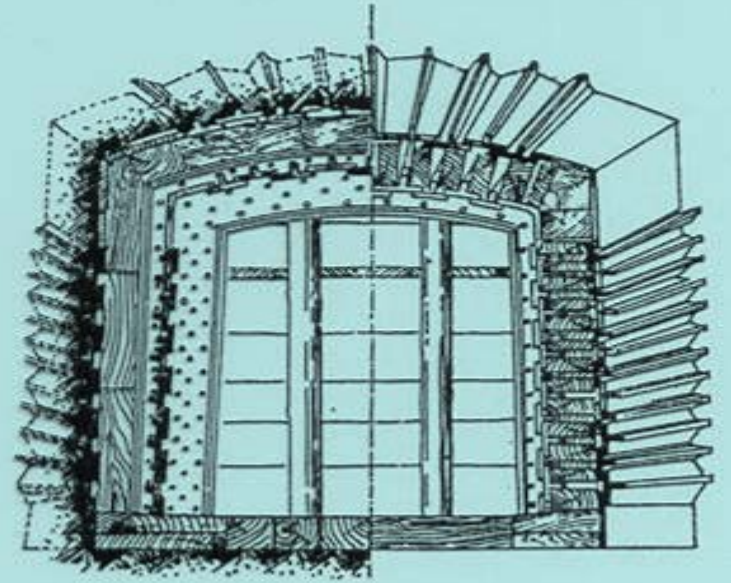
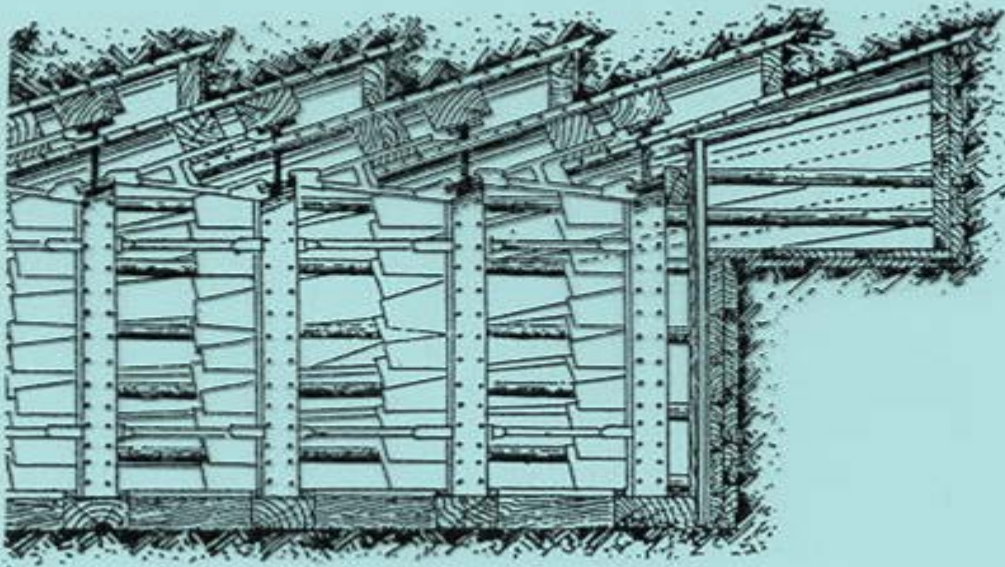
Cómo se puede controlar la excavación?

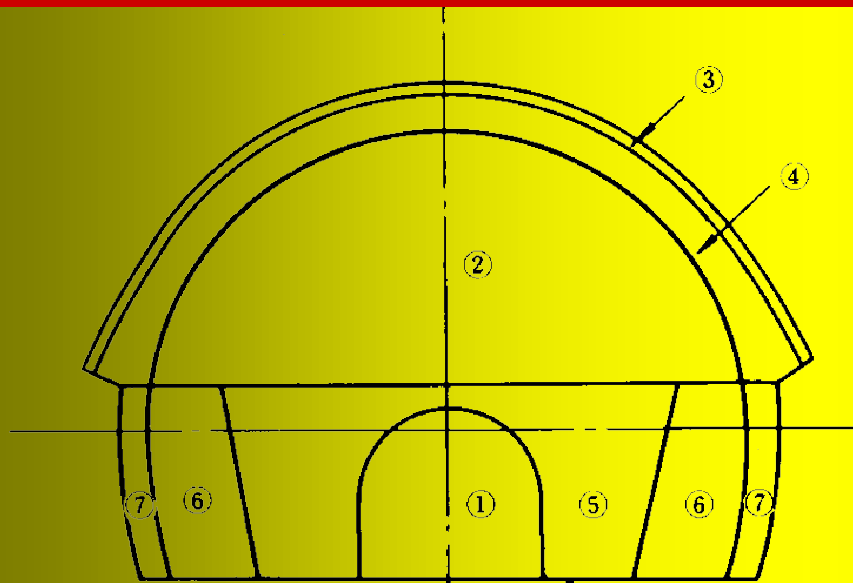
- ◆ Parcializando la sección
- ◆ Pre-consolidando el medio
- ◆ Pre-soportando la excavación





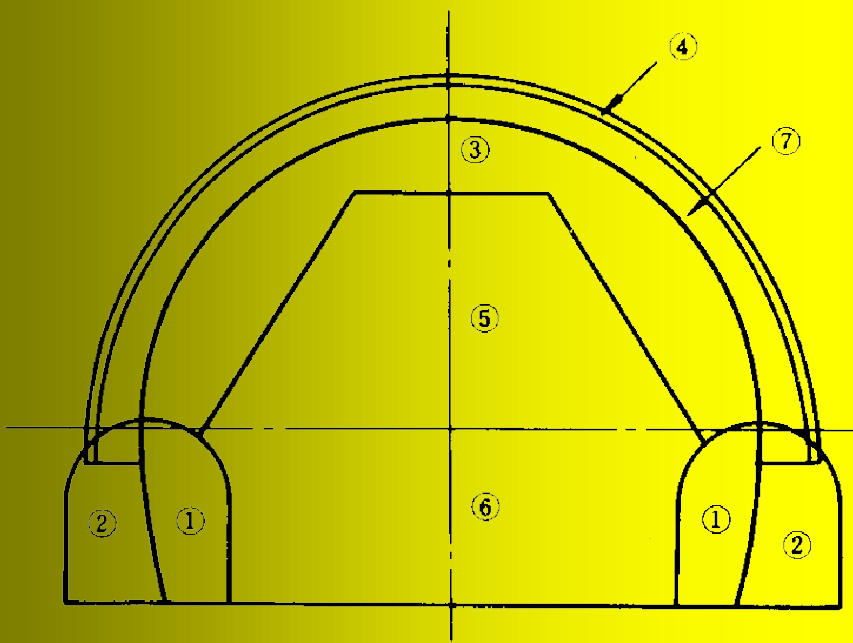






2) Bottom Drift Followed by upper-Half
Excavation Method

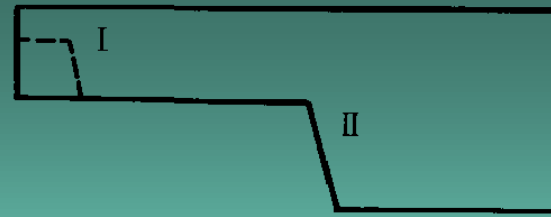
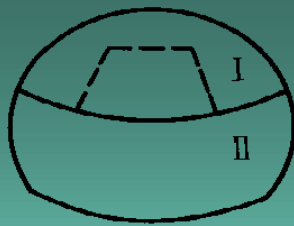
- ① Excavation of drift
- ② Upper-half excavation
- ③ Arch support
- ④ Arch concrete grouting
- ⑤ Excavation for the bottom core
- ⑥ Excavation for the core in both sides of bottom
- ⑦ Side-wall concrete grouting



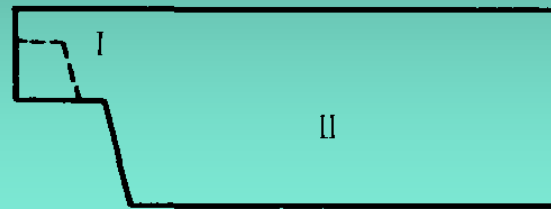
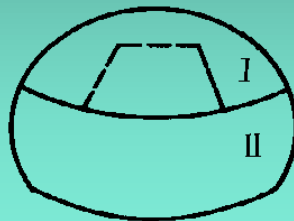
3) Side-wall Drifts Followed by Ring-Cut
Excavation Method

- ① Side drifts excavation
- ② Side-wall concrete grouting
- ③ Ring excavation
- ④ Arch support
- ⑤ Excavation for center core
- ⑥ Excavation for bottom core
- ⑦ Arch concrete grouting

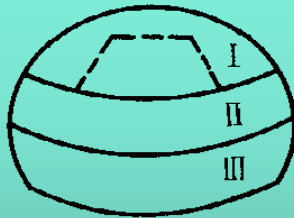
Short bench



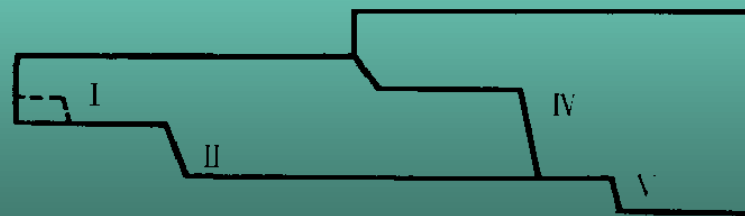
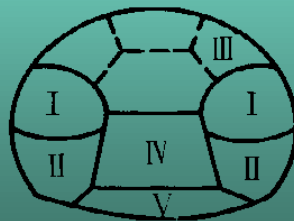
Mini-bench



Multiple-stage bench



Side pilot

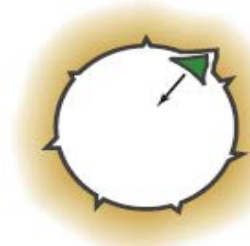
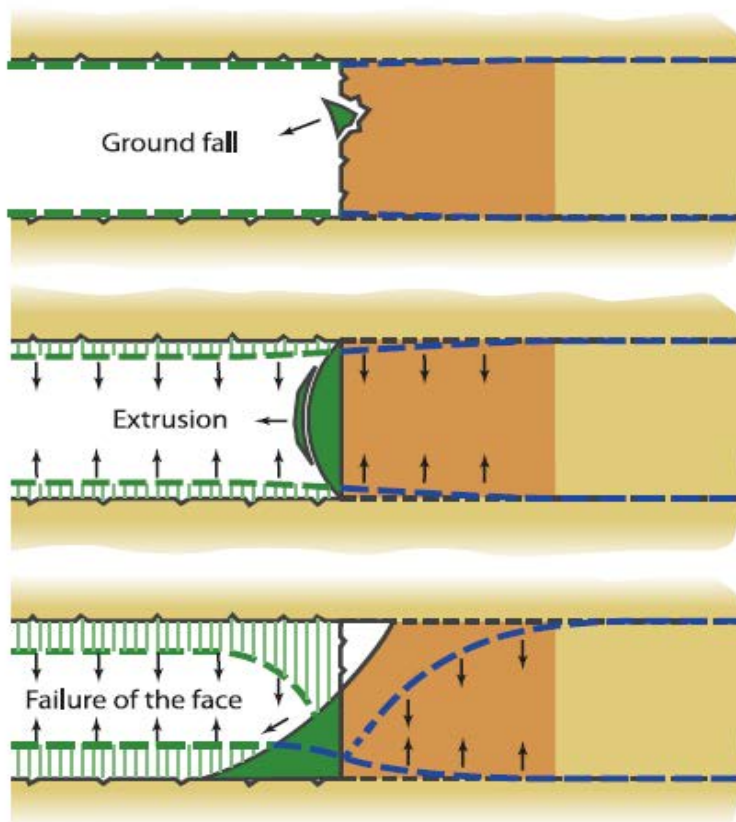


Típica moderna excavación a sección parcializada en terrenos muy inestables



Otras maneras de controlar la estabilidad de la excavación

- ◆ Pre-consolidando el medio
- ◆ Pre-soportando la excavación
- ◆ **Consolidando (estabilizando) el frente**



Ground fall

A

Stable face



Preconvergence and convergence

B

Face stable in the short term

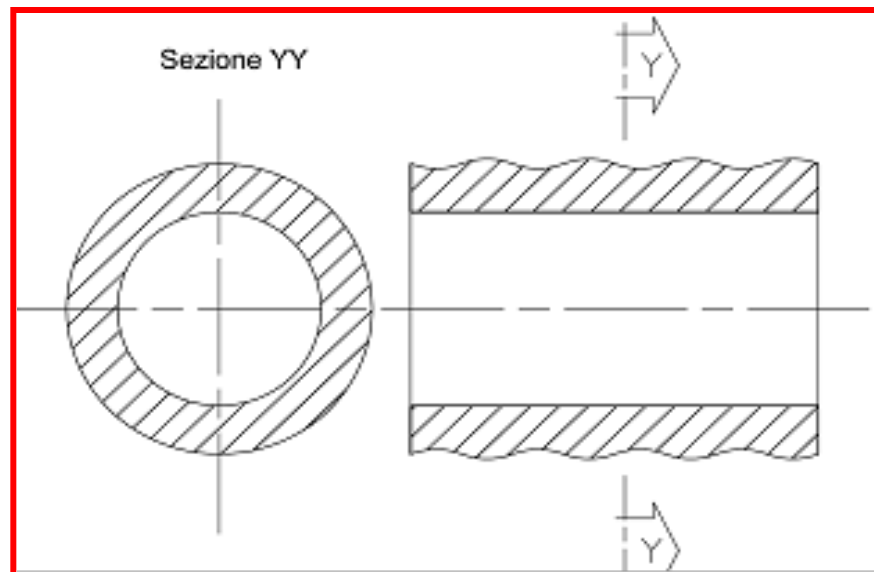


Collapse of the cavity

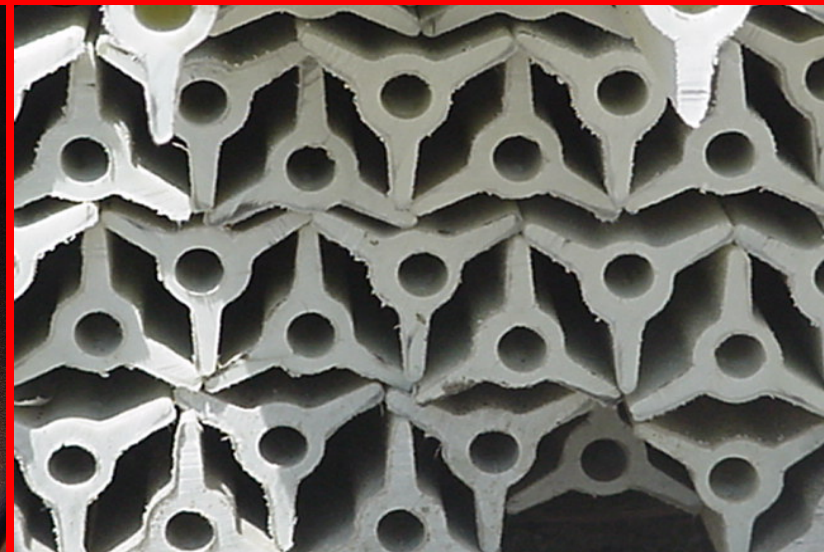
C

Unstable face

Micropilotes de vitroresina



Micropilotes de vitroresina



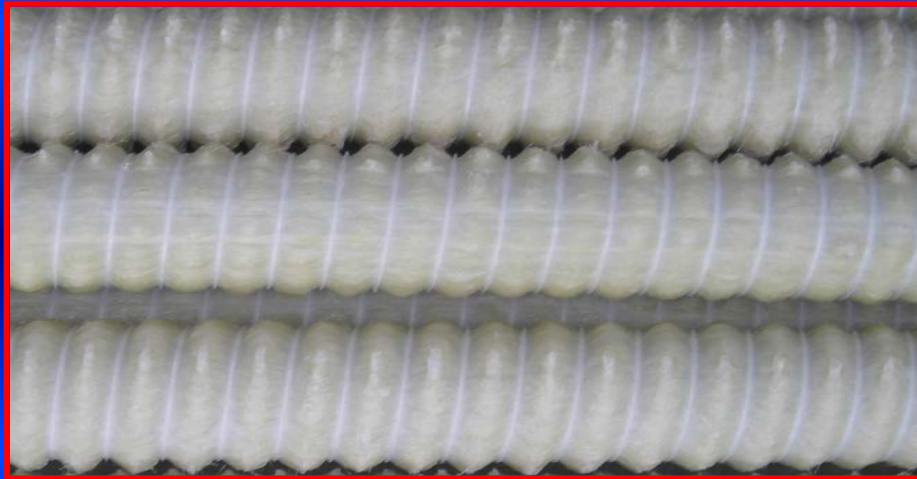
Micropilotes de vitroresína



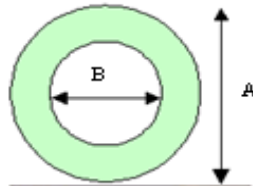
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



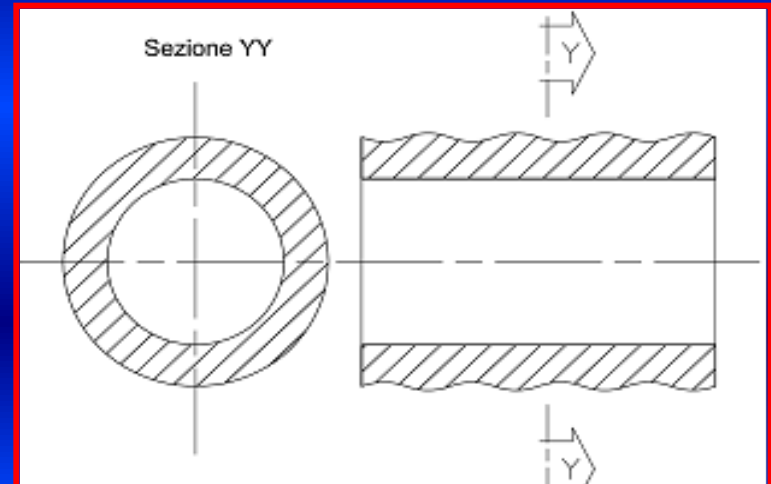
TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

- material:
 - resin/fibre: polyester/glass fibre
 - density: 1.81 g/dm³
 - glass content: min. 50% (in weight)
- mechanical characteristics:
 - traction resistance: 450-1100 MPa
 - elongation to breakage: 2%
 - elastic module: 24000-25000 MPa
 - cutting resistance: 70-200 MPa

A* mm	B** mm
60	40



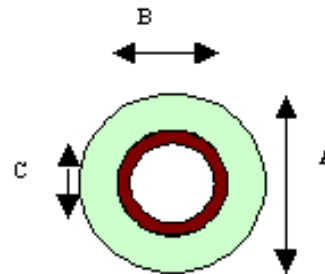
Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresina



TECHNICAL SCHEDULE



Technical specifications

- materials
 - resin/fibre polyester/glass fibre
 - density 1.81 g/dm³
 - glass content min. 50% (in weight)
- mechanical characteristics
 - burst resistance 50-100 bar dependig on polymer
 - traction resistance 450-1200 Mpa
 - elongation to breakage 2%
 - elastic module 24000-45000 Mpa
 - cutting resistance 70-130 MPa

A*	B*	C*
mm	mm	mm
60	40	40/31/27



N.B. the outer sheath of the glass resin pipe is co-extruded. This profile is inserted for high pressure injection purposes only.

Its only structural purpose is to give the end profile higher burst resistance and simplify the chemical and concrete injection processes.



Micropilotes de vitroresína



Micropilotes de vitroresína



P.e.r. Ground



Frente consolidado con vitroresinas

P.E.R. Ground



Frente consolidado con vitroresinas

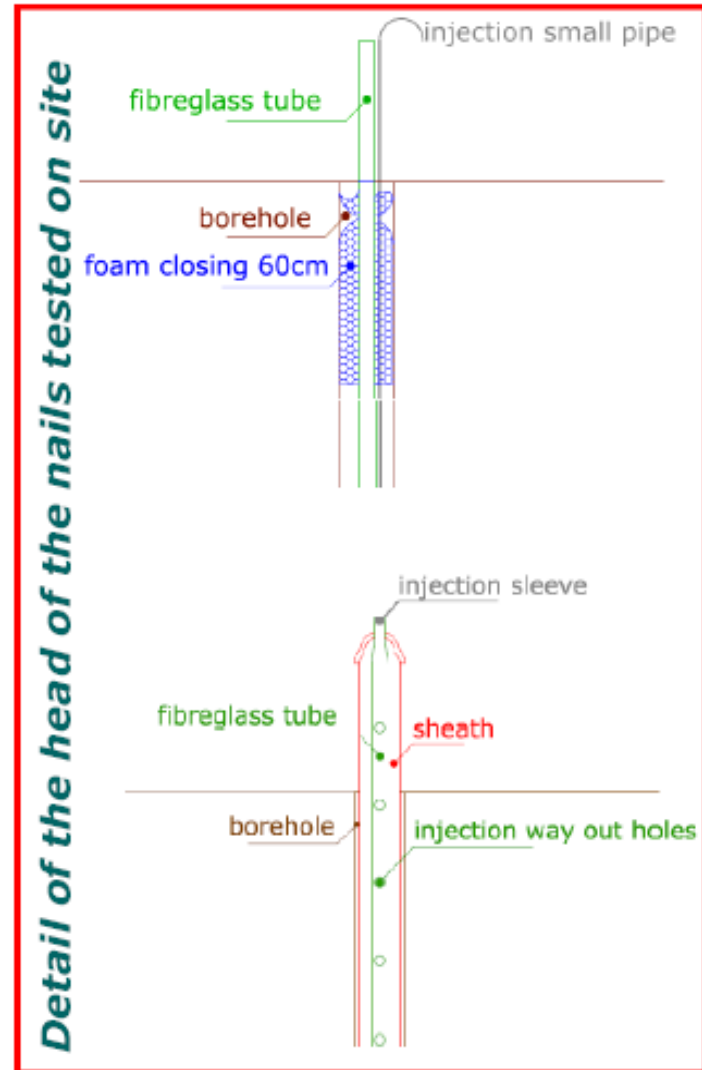
SOIL NAILING SYSTEMS TESTED



Traditional System [TV]



P.E.R. Ground® [PG]



Frente consolidado con vitroresinas

In Situ Test at Excavation Face

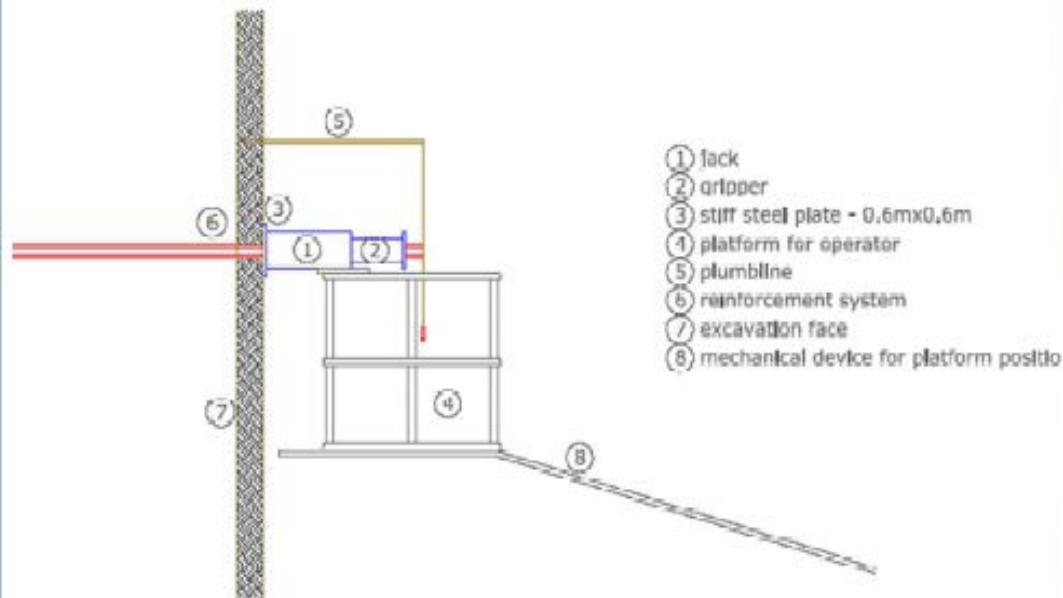


Figure 5. Pull out test set up and devices



Frente consolidado con vitroresinas

Pullout test results on improved (PG) and traditional (TV) soil nails

Nail Type	T [day]	L [m]	IV [l/m]	F_{MAX} [kN/m]	S_{MAX} [mm]	SR_{MAX} [mm]
PG	2	5.93	18.9	37.94	21	3
PG	7	5.13	18.7	57.31	27	9
PG	28	5.44	15.9	63.60	32	4.5
TV	2	4.25	34.6	25.118	20	13
TV	7	4.33	29.6	18.01	80	75
TV	28	4.3	29.8	47.44	39	39

T: test time after injection

IV: injected volume per meter of nail

F_{MAX}: Maximum axial load per meter of nail

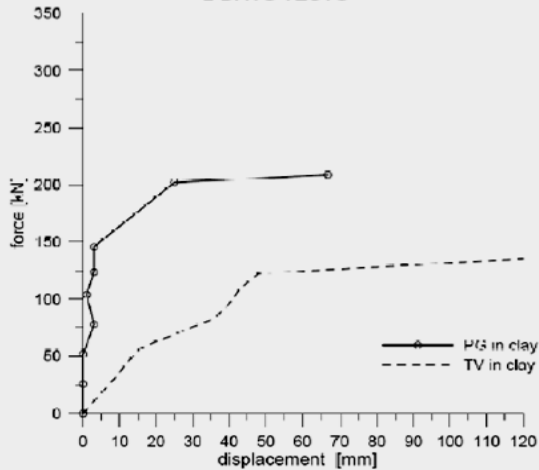
S_{MAX}: Maximum recorded displacement

SR_{MAX}: Maximum recorded residual displacement

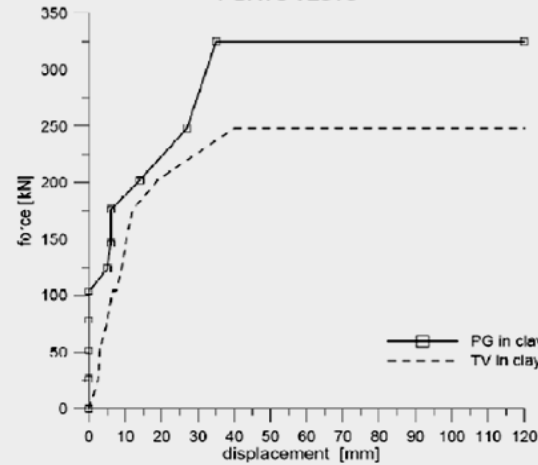
Frente consolidado con vitroresinas

Results

2 DAYS TESTS

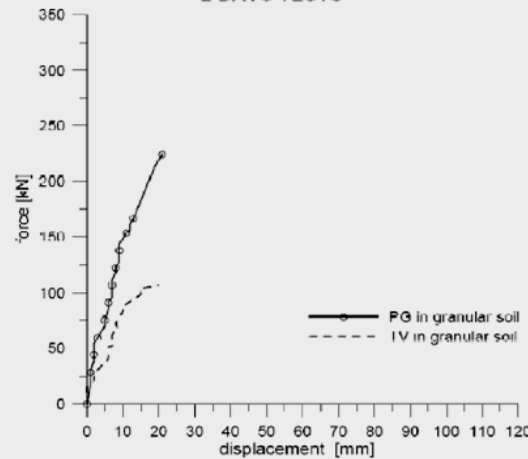


7 DAYS TESTS

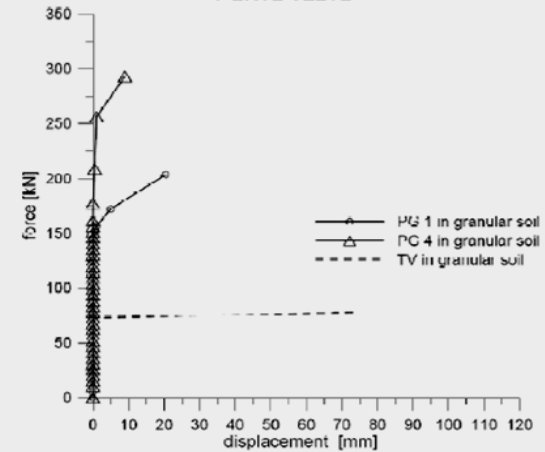


Results

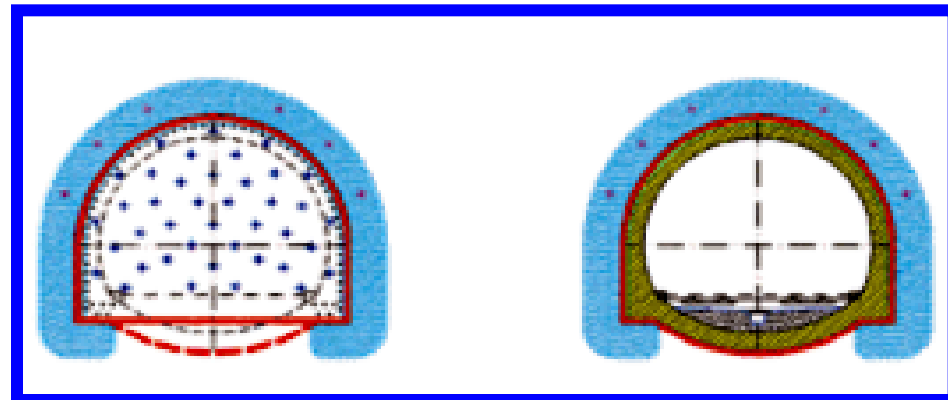
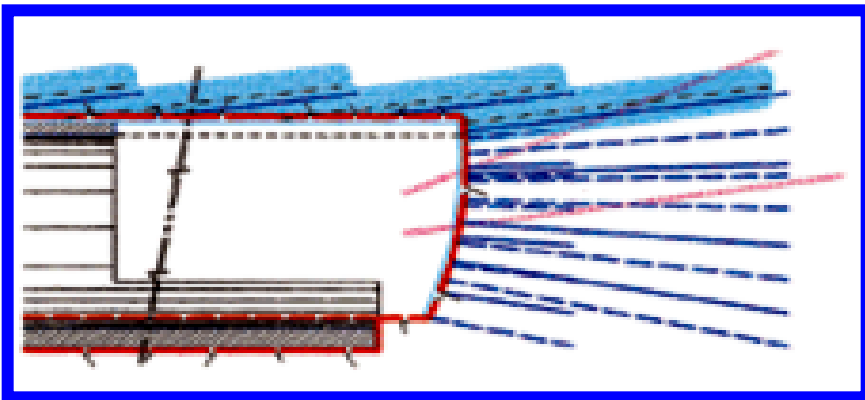
2 DAYS TESTS



7 DAYS TESTS



Micropilotes de vitroresina



Peso específico	ASTM D 792	1,9	g/cm ³
Contenido in vitro	-	70	%
Resistencia a tracción	ASTM D 3916	1000	MPa
Modulo elástico	ASTM D 3916	40	GPa
Allungamento a rottura	ASTM D 3916	> 3	%
Resistencia al taglio	-	200	MPa

Consolidaciones con vitroresinas

PHASE 1: Perforation



PHASE 2: Positioning pipes



Consolidaciones con vitroresinas

PHASE: 3 Injection



PHASE 4: Digging



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Frente consolidado con vitroresinas



Ancona - Bari railway line - "Vasto" tunnel Extrusion-convergence diagrams related to tunnel advance

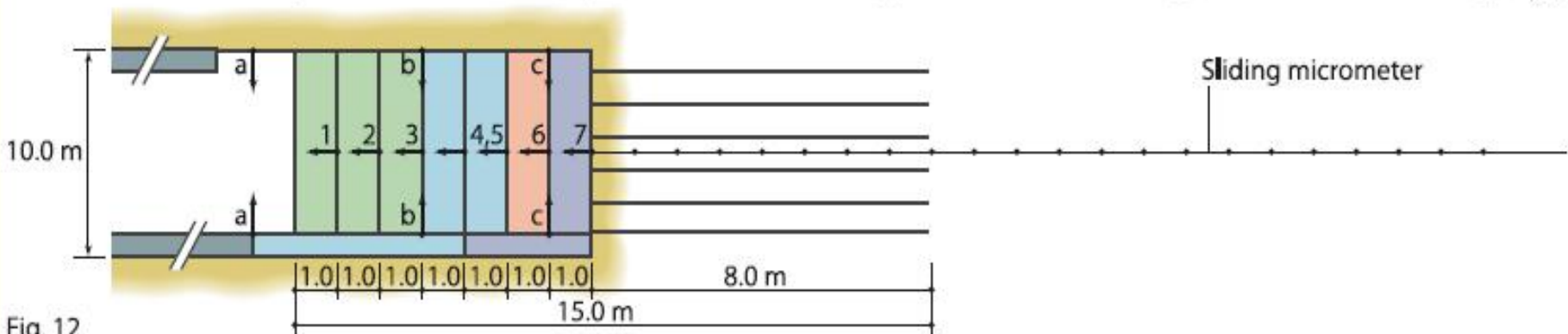
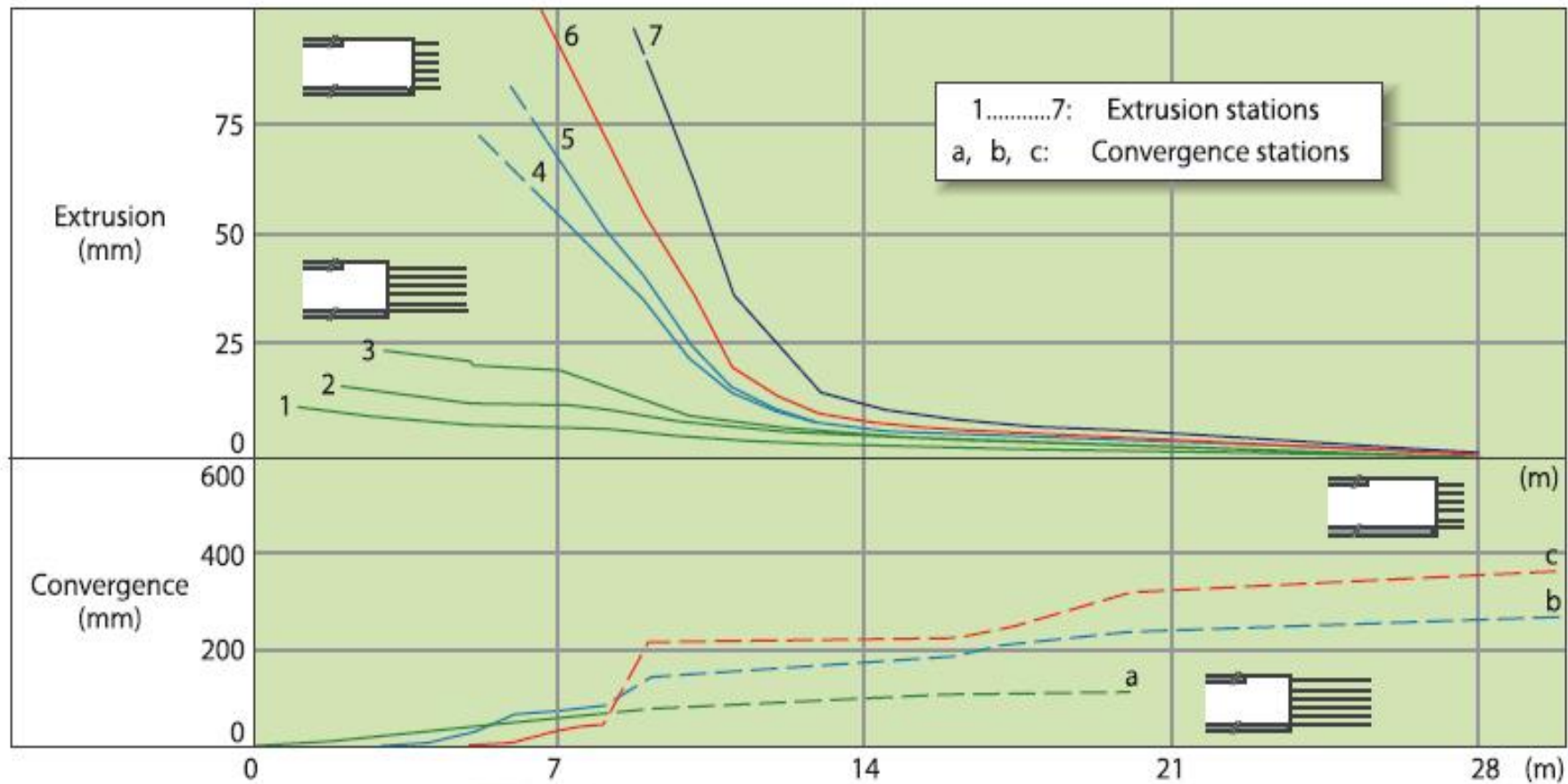
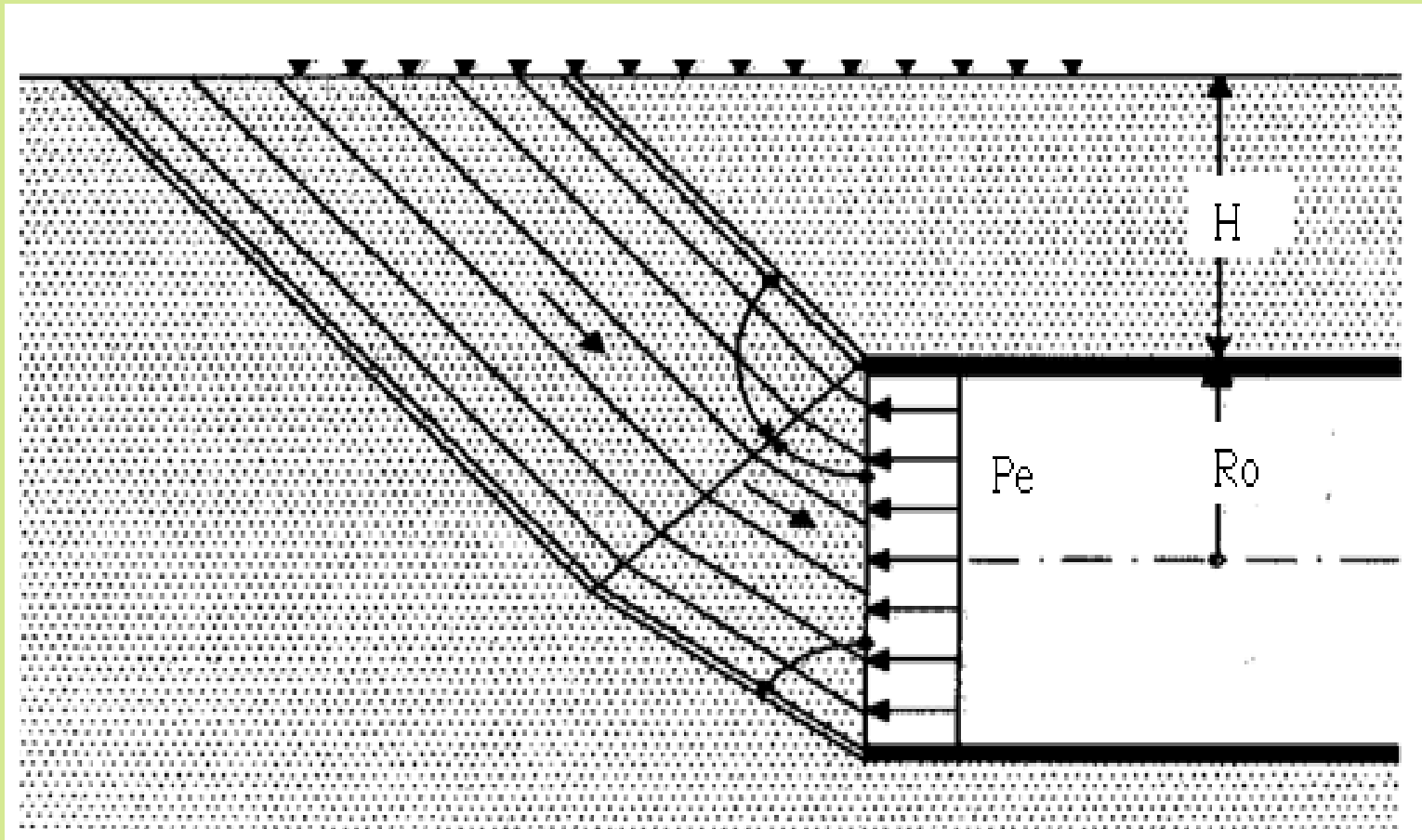


Fig. 12

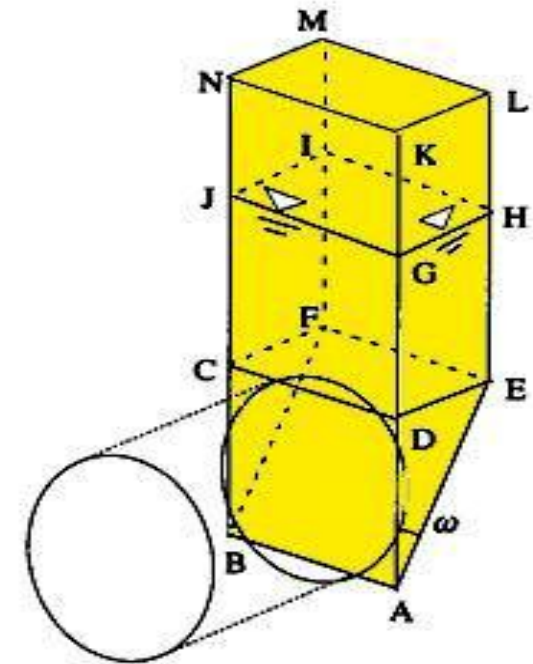
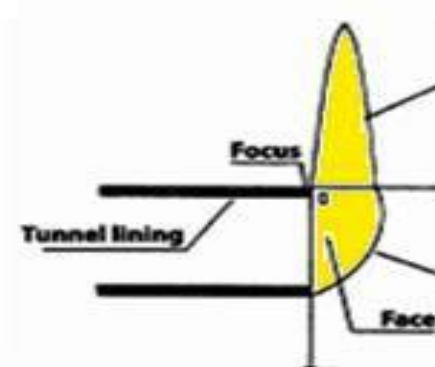
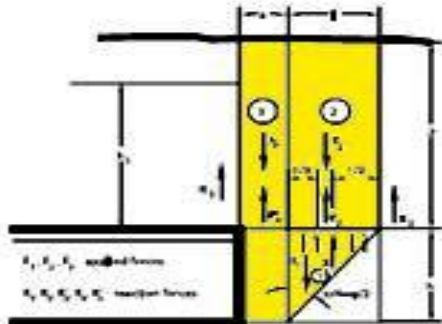
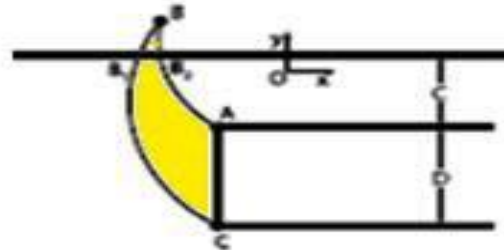
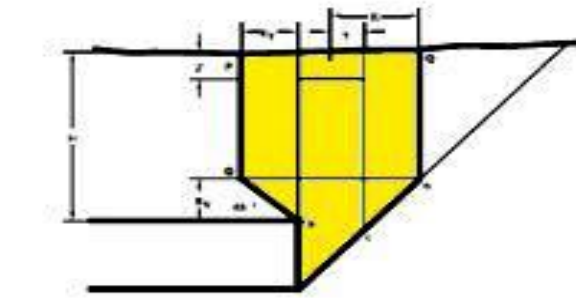
Factor de Estabilidad del Frente (N), Peck (1969): $N = (P_o - P_e) / c$

Para $N = 5$ el Frente se encuentra en equilibrio límite: $FSf = 5 c / (P_o - P_e)$



$$P_e = P_o - 5c/FSf = \gamma (H+R_o) - 5 c / FSf$$

POSIBLES MODELOS DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN



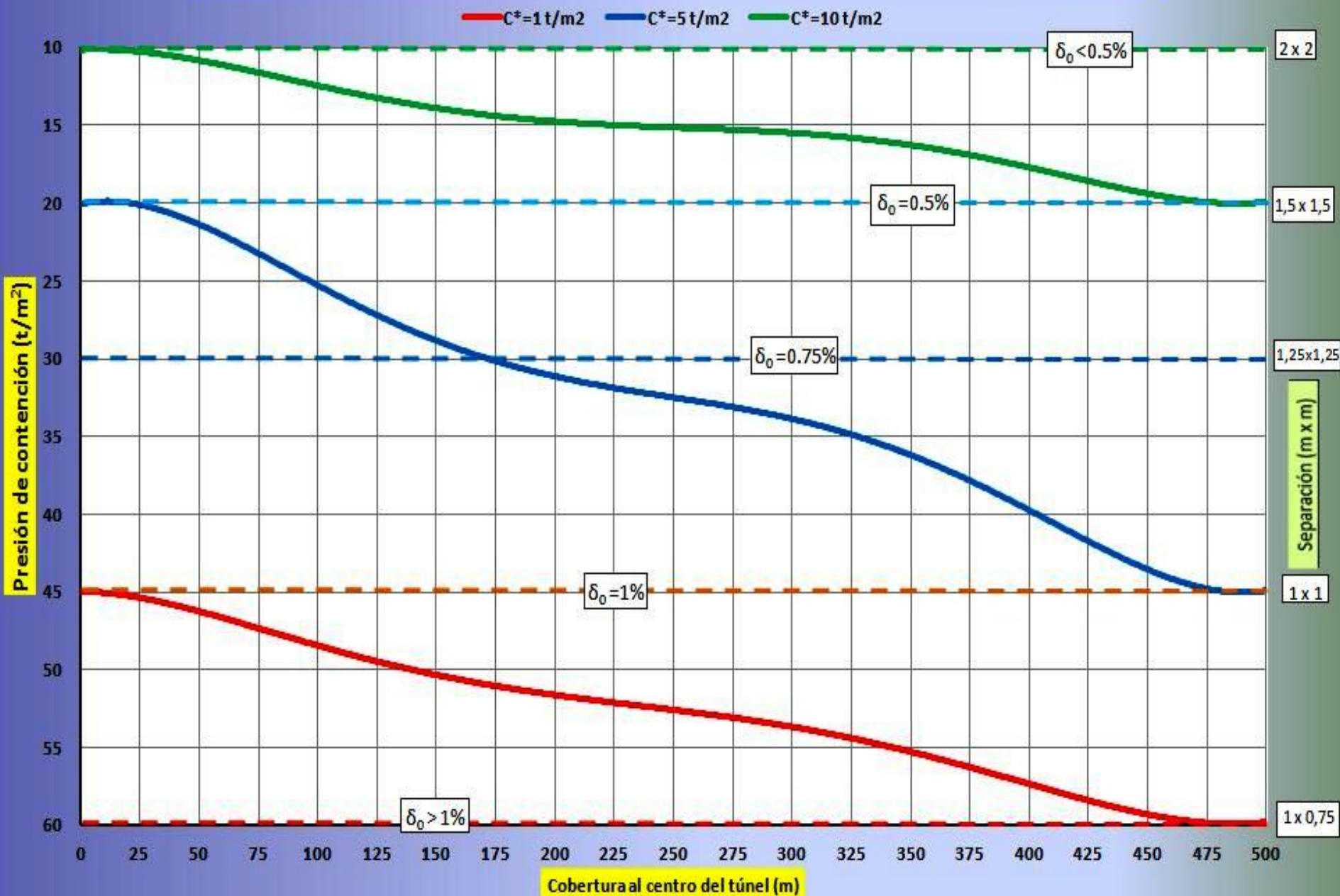
Ejemplo de Dimensionado de la Estabilización del Frente de Excavación

Presión (t/m ²) de estabilización sobre el frente para FSf = 1.25						
c (t/m ²):	0	2	4	6	8	10
H (m)						
10	30	22	14	6	0	0
15	40	32	24	16	8	0
20	50	42	34	26	18	10
25	60	52	44	36	28	20

Cuantía de Vidrioresinas sobre el frente para FSf = 1.25						
c (t/m ²):	0	2	4	6	8	10
H (m)						
10	83	61	39	17	0	0
15	111	89	66	44	22	0
20	138	116	94	72	50	28
25	166	144	122	100	77	55

Presión de estabilización sobre el frente Vs. cobertura y tipo de Terreno Cuantías de Vidrio-resinas sobre el Frente Vs. Cobertura y tipo de Terreno

Cuantía aprox. y prel. de VTR Vs Extrusión δ_0 o Cobertura y Cohesión*



REFUERZO DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN CON ELEMENTOS DE VIDRIORESINAS

porque?

PARA AVANZAR A SECCIÓN COMPLETA EN TÚNELES CON TERRENOS DEBILES

- *También para excavar en condiciones de mayor seguridad*
- *También para excavar con equipos más potentes*
- *También para excavar con mayor velocidad*
- *También para excavar en mayor economía (?)*