

Excavación de Túneles con TBMs

Prof. Gianfranco Perri

ICE
Instituto
Costarricense
de Electricidad

San José Costa Rica - Agosto 2013



Maquinas Excavadoras de Túneles

Tunnel Boring Machines - TBM -

ESCUDOS

para terrenos blandos

(utensilios de cuchillas)

- *Escudos de frente abierto*
- *Escudos de frente cerrado*

CONTRA-EMPUJE PARA AVANZAR:
"AXIAL: SOBRE EL
REVESTIMIENTO COLOCADO"

TOPOS

para terrenos duros

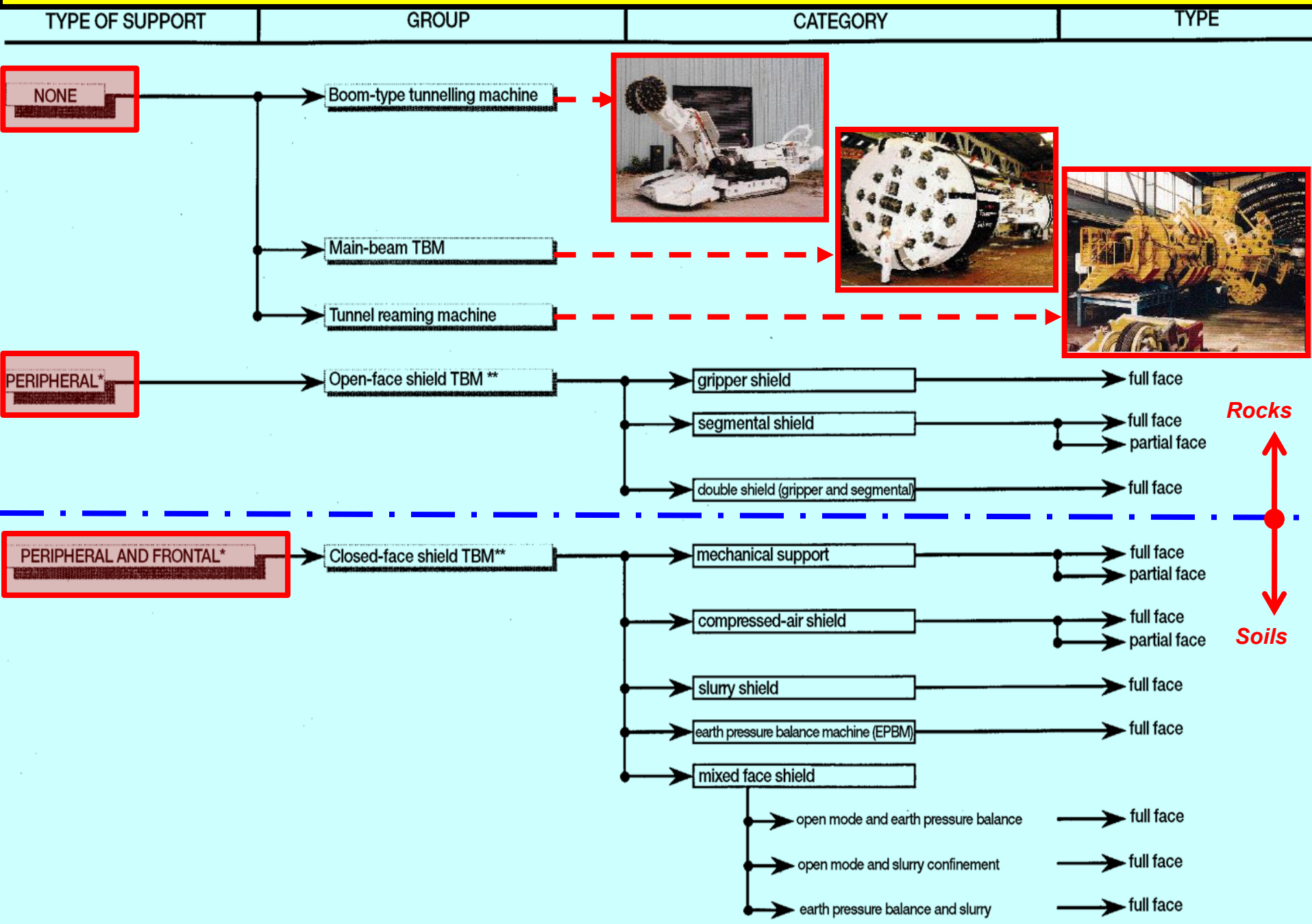
(utensilios de discos)

- *Topos abiertos*
- *Topos escudados*

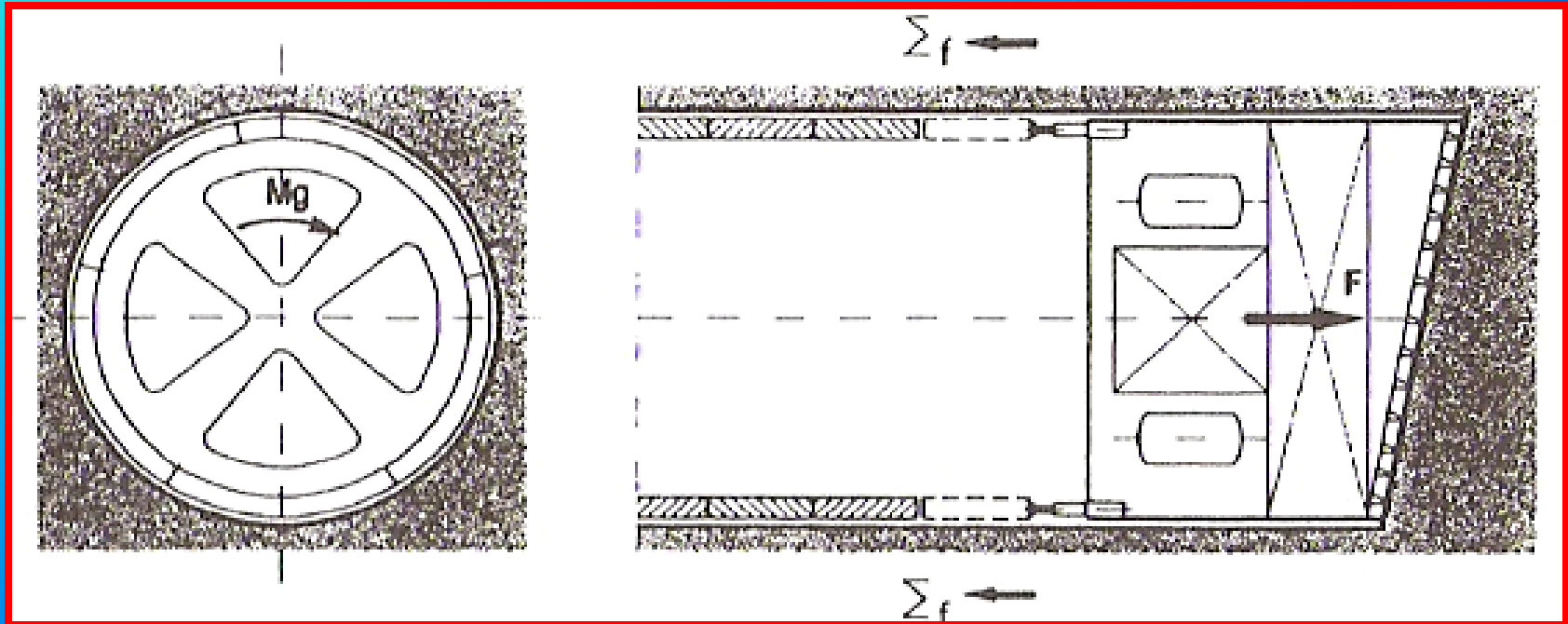
CONTRA-EMPUJE PARA AVANZAR:
"TRANSVERSAL: SOBRE EL
PERÍMETRO EXCAVADO"

TBM de Escudo Doble

CLASSIFICATION OF MECHANIZED TUNNELLING TECHNIQUES



Las **TBM de Escudos** de frente abierto (y también las de frente parcialmente y mecánicamente cerrado, cuando el frente era muy inestable), fueron las primeras en ser utilizadas cuando, **hacia 1850**, se emplearon en la excavación de túneles en terrenos muy blandos.



Consistían esencialmente de un cilindro metálico, protector temporal de la cavidad próxima al frente, dentro del cual se instalaba el revestimiento permanente contra el cual accionaba el sistema de empuje que hacía posible la progresión del avance del túnel, mientras el frente se excavaba con herramientas manuales o semi-manuales .

En **1825** se inició en Londres la construcción del **Thames Tunnel**, el primero construido con escudo, bajo la dirección el ingeniero *Isambard Brunel*. El túnel fue inaugurado 18 años más tarde en **1843** y aún presta servicio al metro de la capital inglesa.

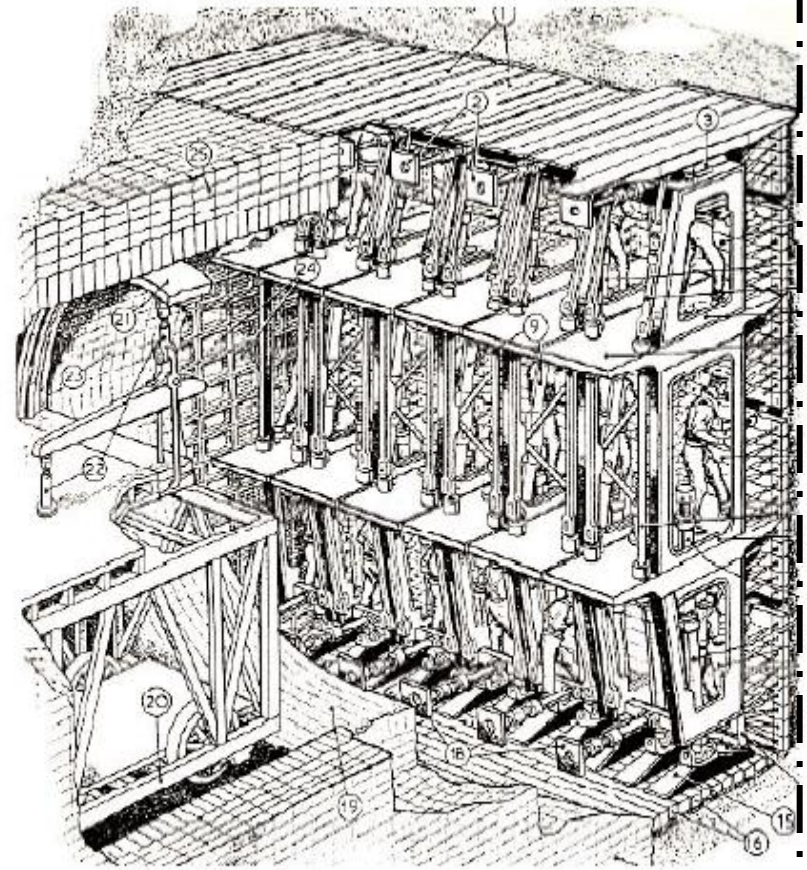


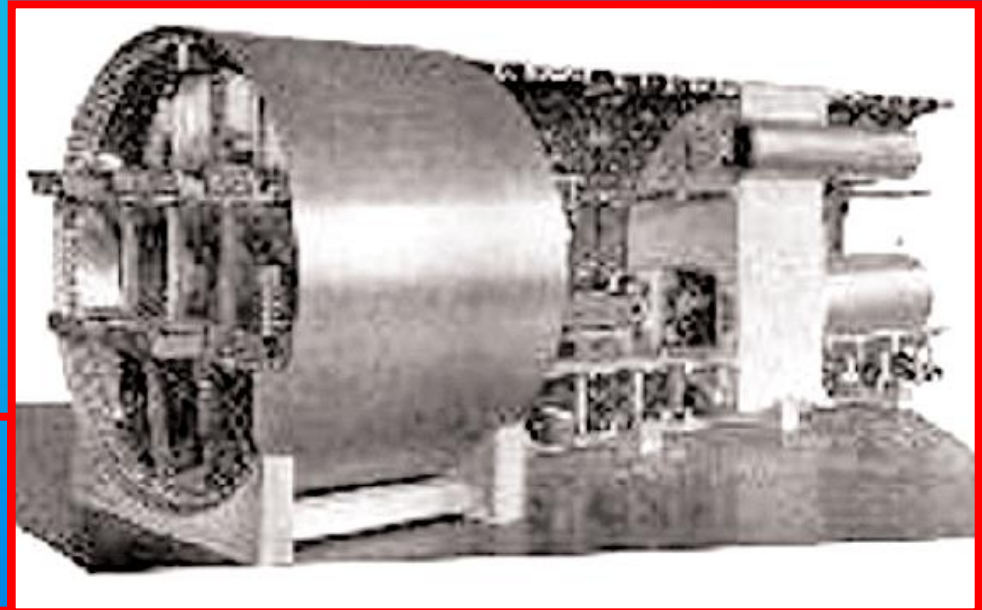
Figure 1.1 Shield Used in Construction of Thames Tunnel (UK), 1825

the Thames Tunnel construction works. The shield consisted of 12 3-foot-wide vertical sections with three levels in each, forming compartments in which a man could work (Figure 1.1). Small angled jacks at the front of the shield held horizontal timber boards in position. A man working in each compartment removed a board one at a time and excavated a few inches of earth, replacing the jacks against the board in a forward position. When the full face had been excavated, the whole cast iron assembly was inched forward, a section of brick lining was built behind, and the whole cycle was repeated. During construction, the tunnel flooded many

Luego a las **TBM de Escudos** se le fueron añadiendo, por un lado medios mecánicos de excavación (primero puntuales de brazo y luego integrales de rueda) y por otro lado, medios (ya no solo simplemente mecánicos, sino por ejemplo, neumáticos) para controlar la estabilidad del frente.



**Greathead Shield
(UK), 1879**



**Hydraulic Shield (Fig, 1.3)
Steinway Tunnel, 1907
(now Queensboro Tunnel)**

The hydraulic shield (Figure 1.3), as it was developed during the construction of the Steinway Tunnels, offered ground support and protection against flooding by the inclusion of a solid bulkhead that allowed the excavation of the tunnel to be carried out in compressed air. The incidence of flooding and face collapses was reduced considerably but, unfortunately, the fatality rate did not decrease because workers spent long periods of time in compressed air without undergoing proper decompression procedures.

The minimum length of the skin is determined by (a) the minimum width of the working space needed to excavate the ground ahead of the internal structure, (b) the dimensions of the jacks, and (c) the necessity for the tail of the shield to always overlap the tunnel lining by at least a half-course when the jacks are extended. The length of the skin varies but generally ranges between 13 and 17 feet.

In large shields, internal girders are spaced so that they enclose two or more ports with a clear height of at least 6 feet and a clear width of at least 3 feet. Figure 8-2 is a photograph of a shield with 6 ports. The horizontal girders reinforce the shield and also support the working platform, as shown in Figure 8-3. Since

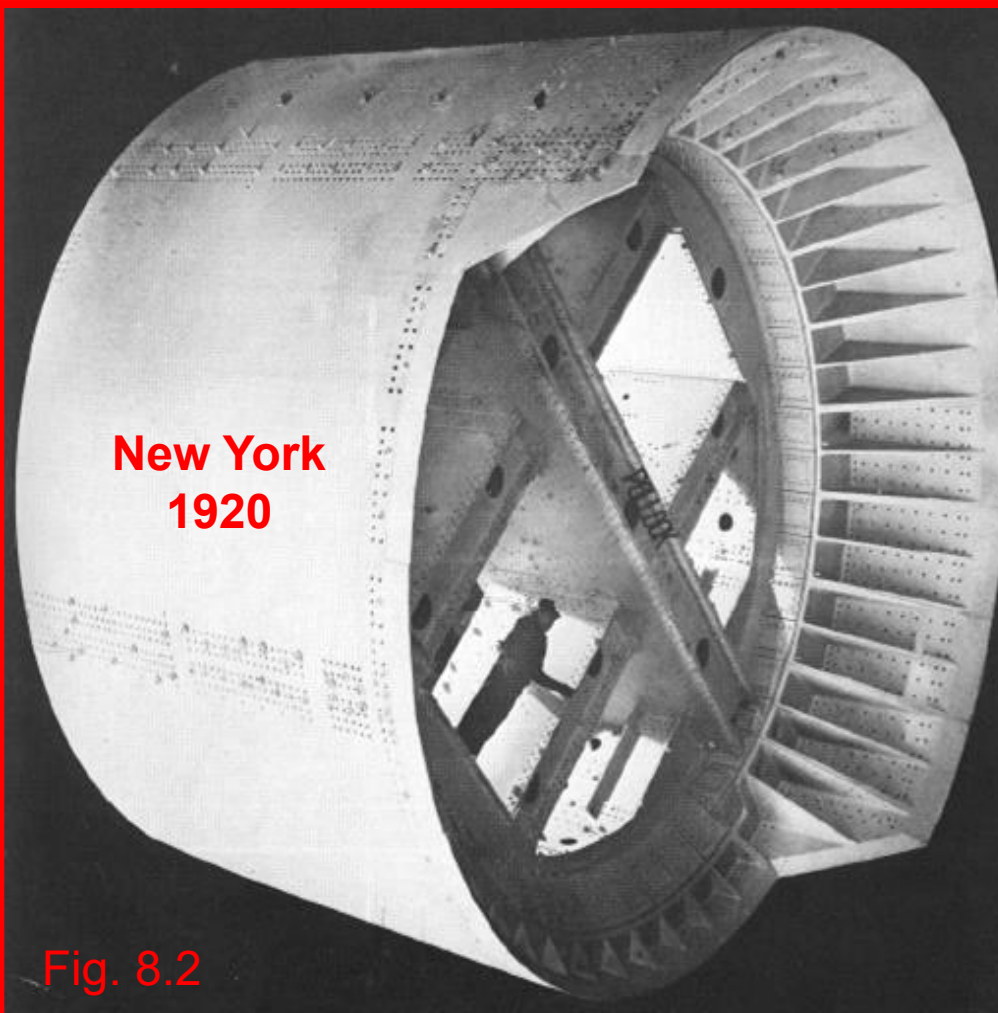
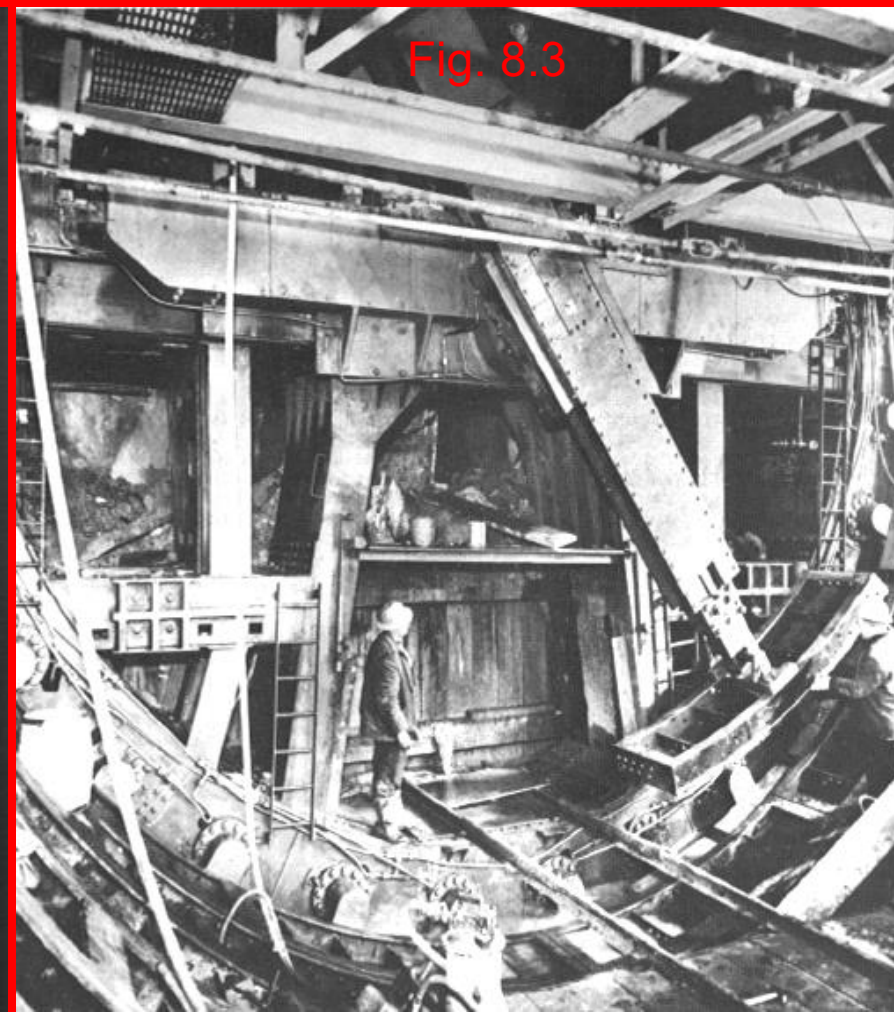


Fig. 8.2



Ejemplos ya más modernos de esta evolución, los representaron los escudos de brazo hidráulico para la excavación mecánica, algunos de los cuales incorporaron el control de la estabilidad mediante aire comprimido en la cámara del frente, con o sin el complemento de compuertas mecánicas a usarse para las emergencias.

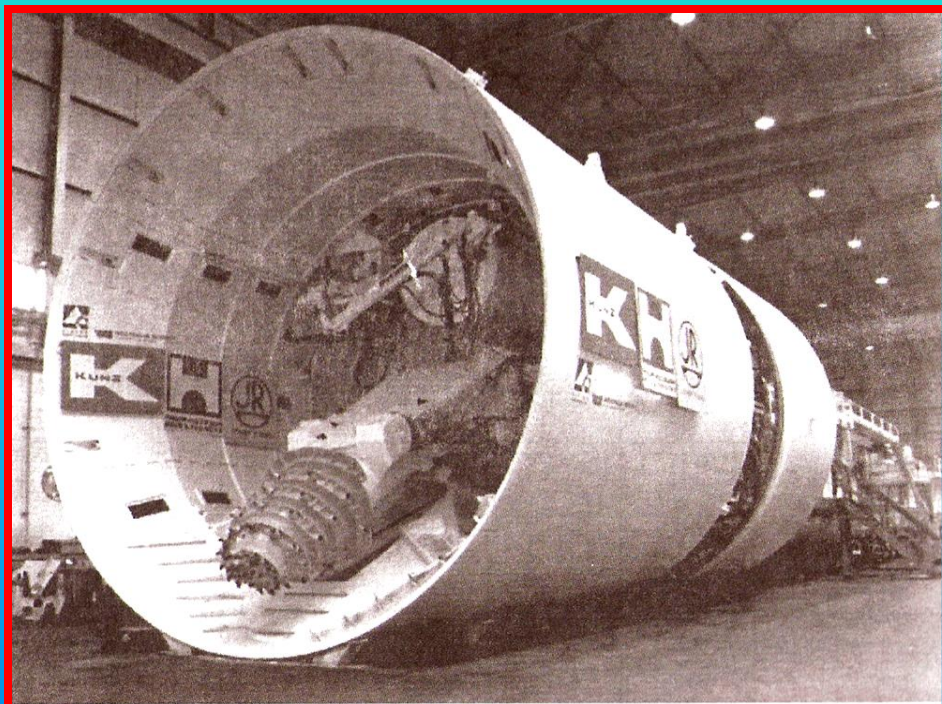


Foto 3. Escudo Alpine Westfalia en el Metro de Munich.



Photo 4.3.3 - Compressed air TBM - Boom type

También las primeras **TBM de Escudos** con cabeza giratoria (de rueda) para la excavación integral de la sección circular del túnel fueron de frente abierto, recurrían a escudos presurizados neumáticamente para estabilizar el frente, o poseían compuertas mecánicas apalancadas hidráulicamente que podían cerrar parcial o totalmente el frente para estabilizarlo en condiciones críticas puntuales, permitiendo efectuar intervenciones de consolidación o continuar la excavación a través pequeñas aberturas tipo ventanas.

Ambas tecnologías originalmente utilizadas en las **TBM de Escudos** de rueda para excavar en terrenos blandos (sea la presurización neumática del entero escudo y sea las compuertas apalancadas hidráulicamente) han sido prácticamente abandonadas entre finales de los **años 80** y comienzos de los **años 90** para ser sustituidas por las tecnologías de “frente en presión”, mientras para los túneles excavados en terrenos relativamente blandos pero con frentes relativamente estables se utilizan TBM “**sin frente en presión**” y con ruedas de cortes y excavación que poseen aperturas más o menos limitadas y regulables en función de las propias condiciones de estabilidad que presente el frente en excavación.

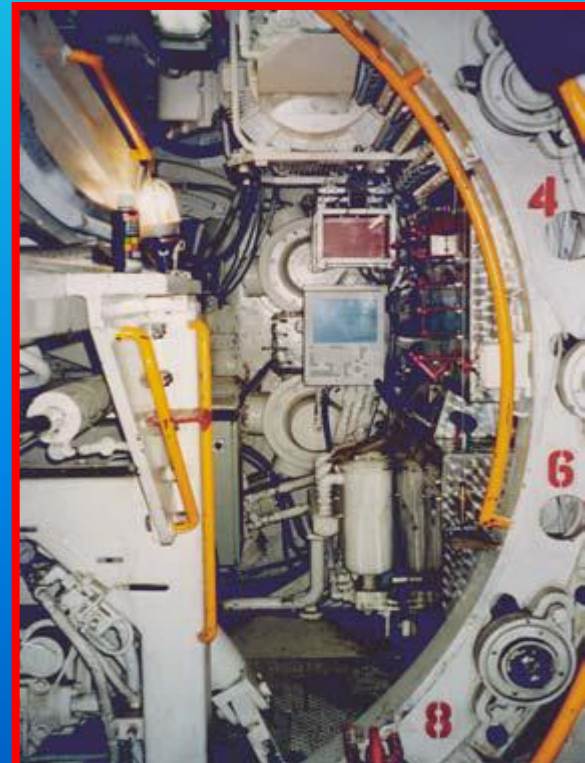
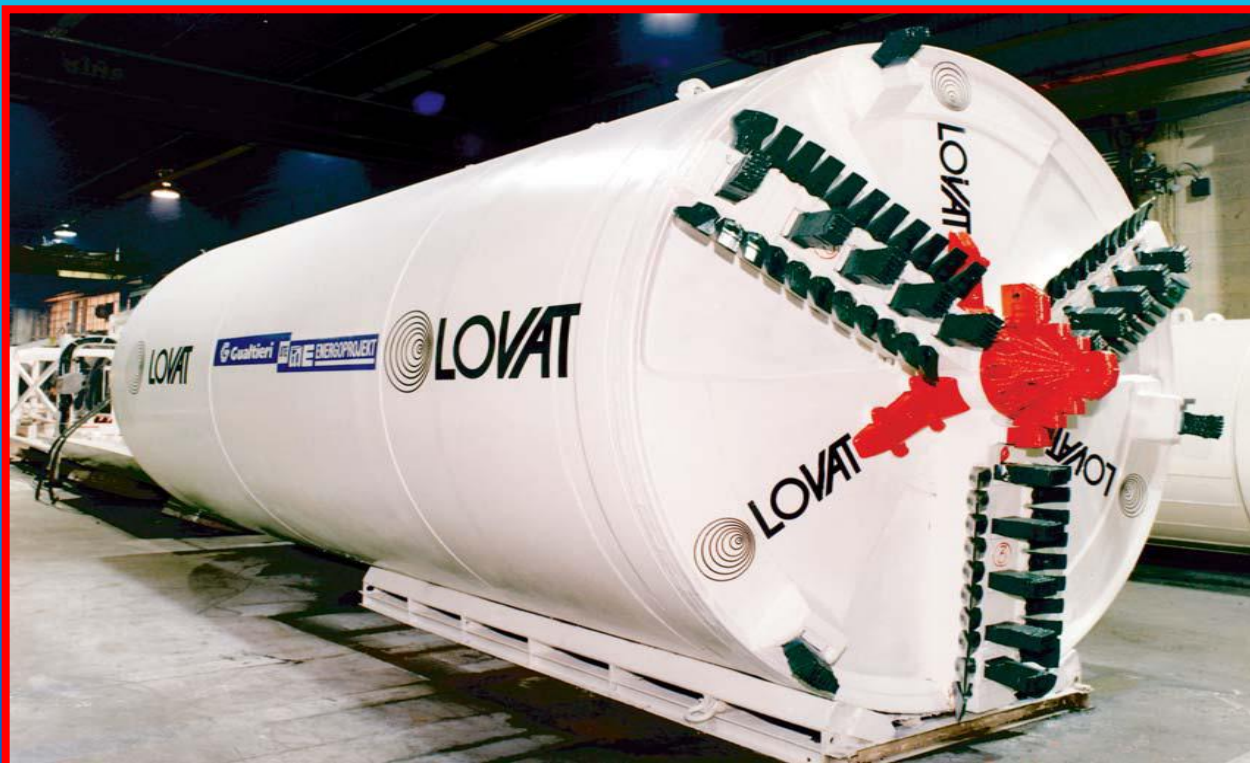
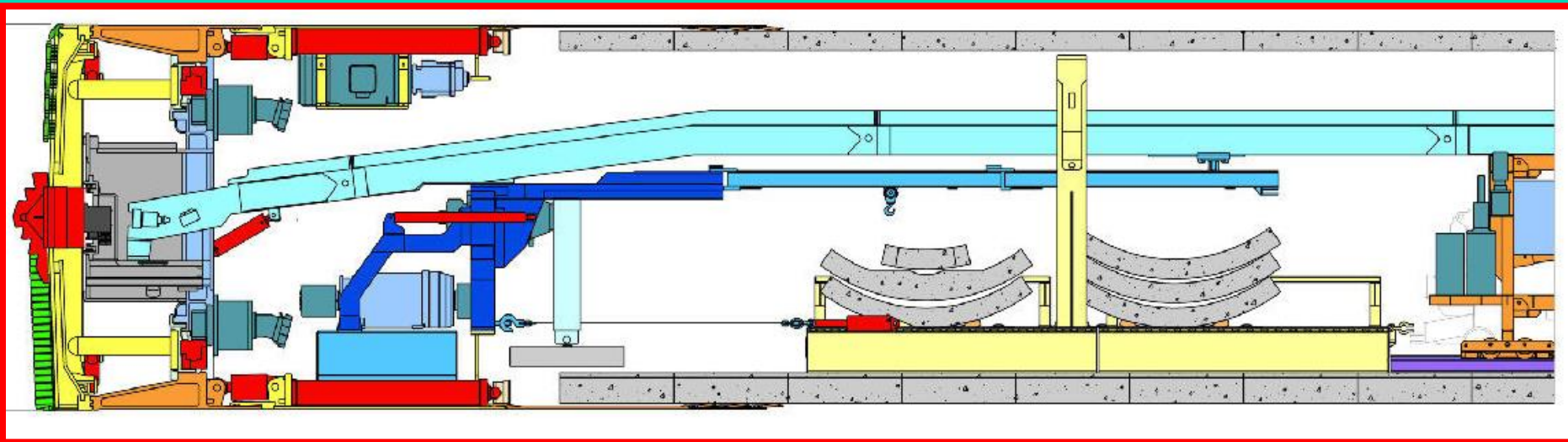


Ventanas abiertas



Ventanas cerradas

Escudos sin frente de presión



Escudos sin frente de presión



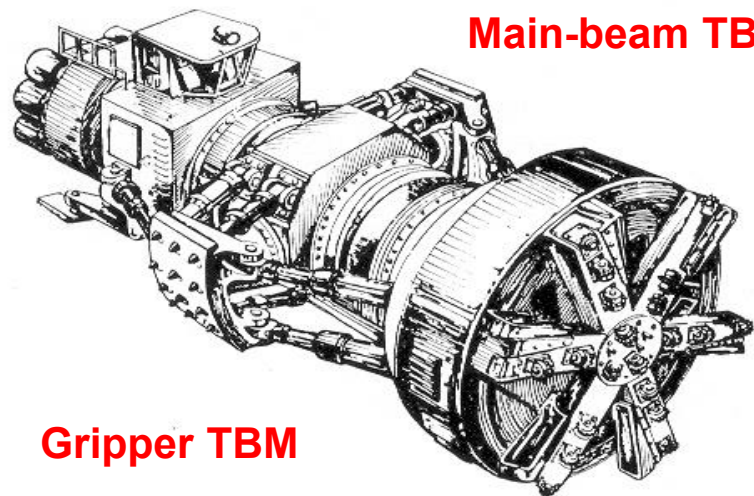
Escudos sin frente de presión



Escudos sin frente de presión

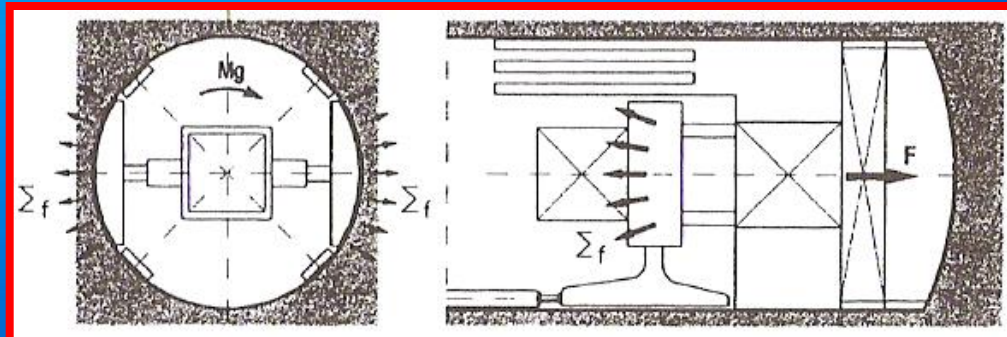


Las **TBM de Topos** para terrenos duros y sucesivamente rocas duras, aparecen prácticamente un siglo después de las de Escudos cuando, entre **1930 y 1960**, son de hecho aplicaciones directas y progresivas de aquellos escudos de rueda de frente abierto para la excavación de terrenos cada vez más competentes, de acuerdo con el progresar de la capacidad de las herramientas de corte (cuchillas, picas, cinceles) a las que se les iban añadiendo incrustaciones de metal duro, hasta finalmente sustituir el concepto de corte del terreno con el de rotura por impacto y compresión y con la consecuente sustitución de aquellas herramientas con discos de gran dureza y capacidad demoledora, para lo cual se requirió al mismo tiempo de empujes muchos más elevados de la rueda contra el frente a demoler y de ahí los cambios conceptuales, en cuanto a la manera de aplicar el contra-empuje, con la eliminación del escudo y hasta del soporte.

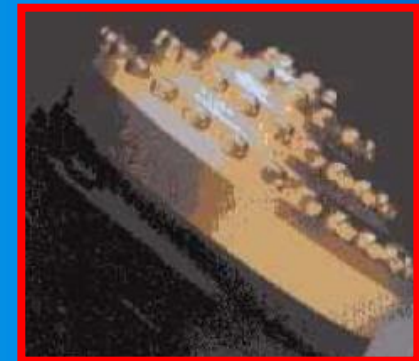


Main-beam TBM

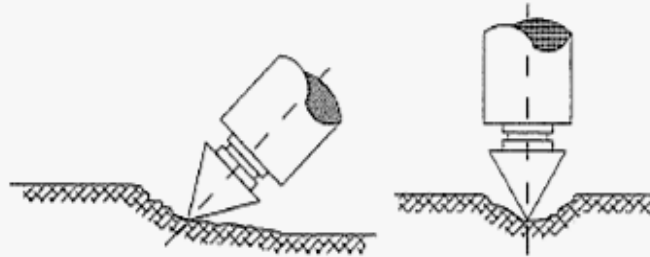
Gripper TBM



Herramientas de Corte de las TBM



PICA DE DESGASTE



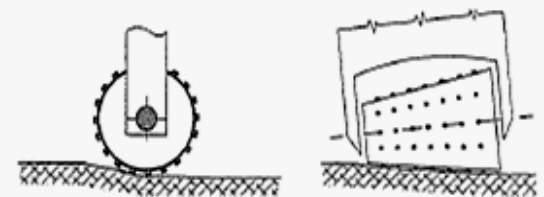
RUEDA DENTADA



CORTADOR DE DISCO



CORTADOR DE BOTONES



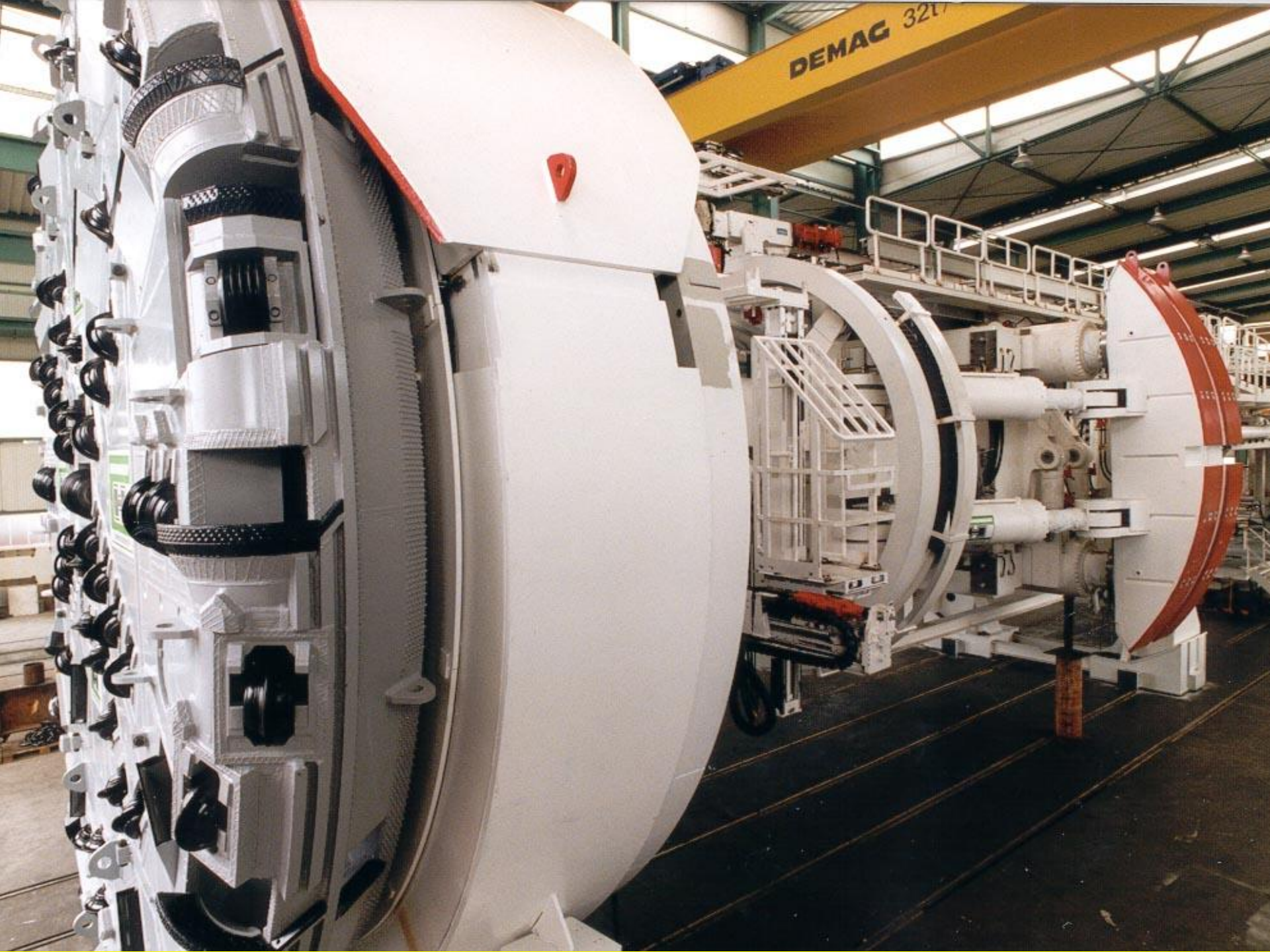


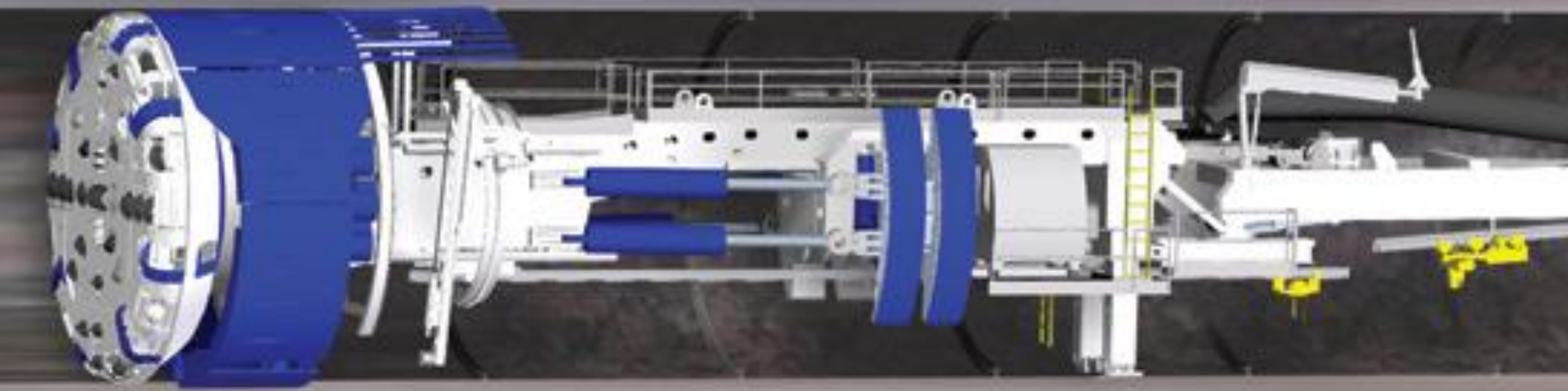
Diameter	- 9530 mm
Tunnel length	- 2322 m
Geology	- lime, marl, clay

Gripper TBM de Rocas duras (Main-beam TBM)

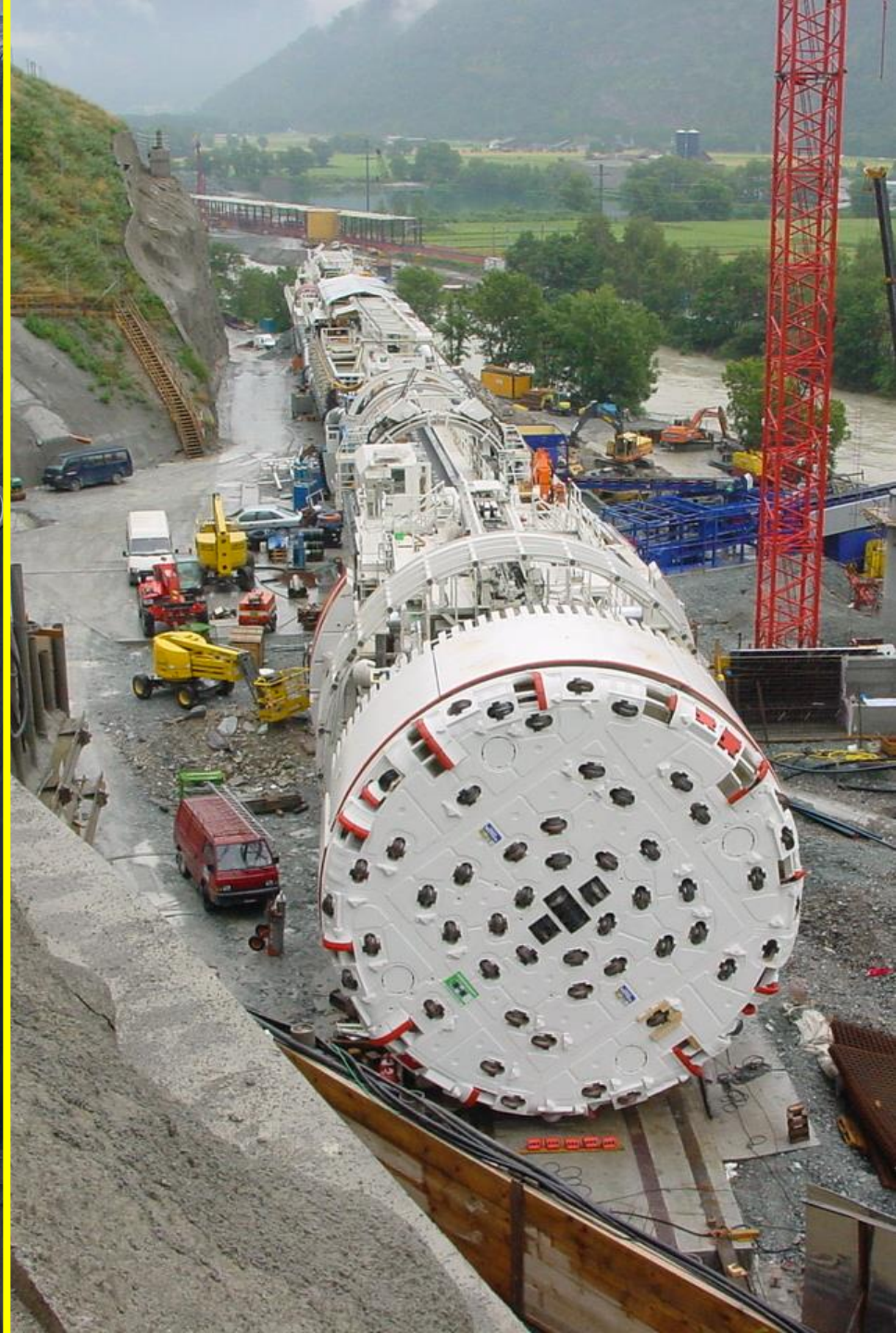


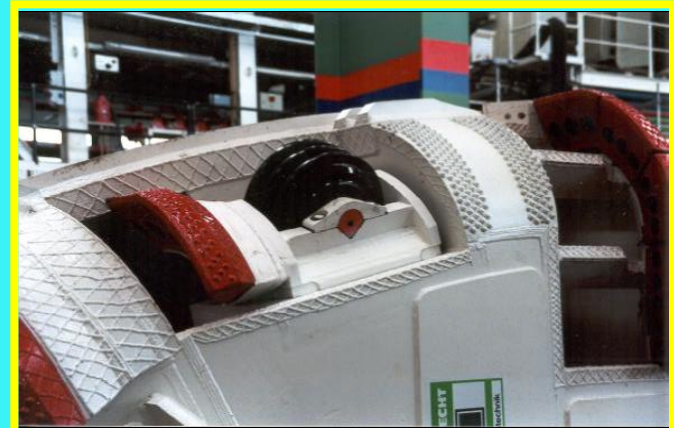
**Gripper TBM de Rocas duras
(Main-beam TBM)**











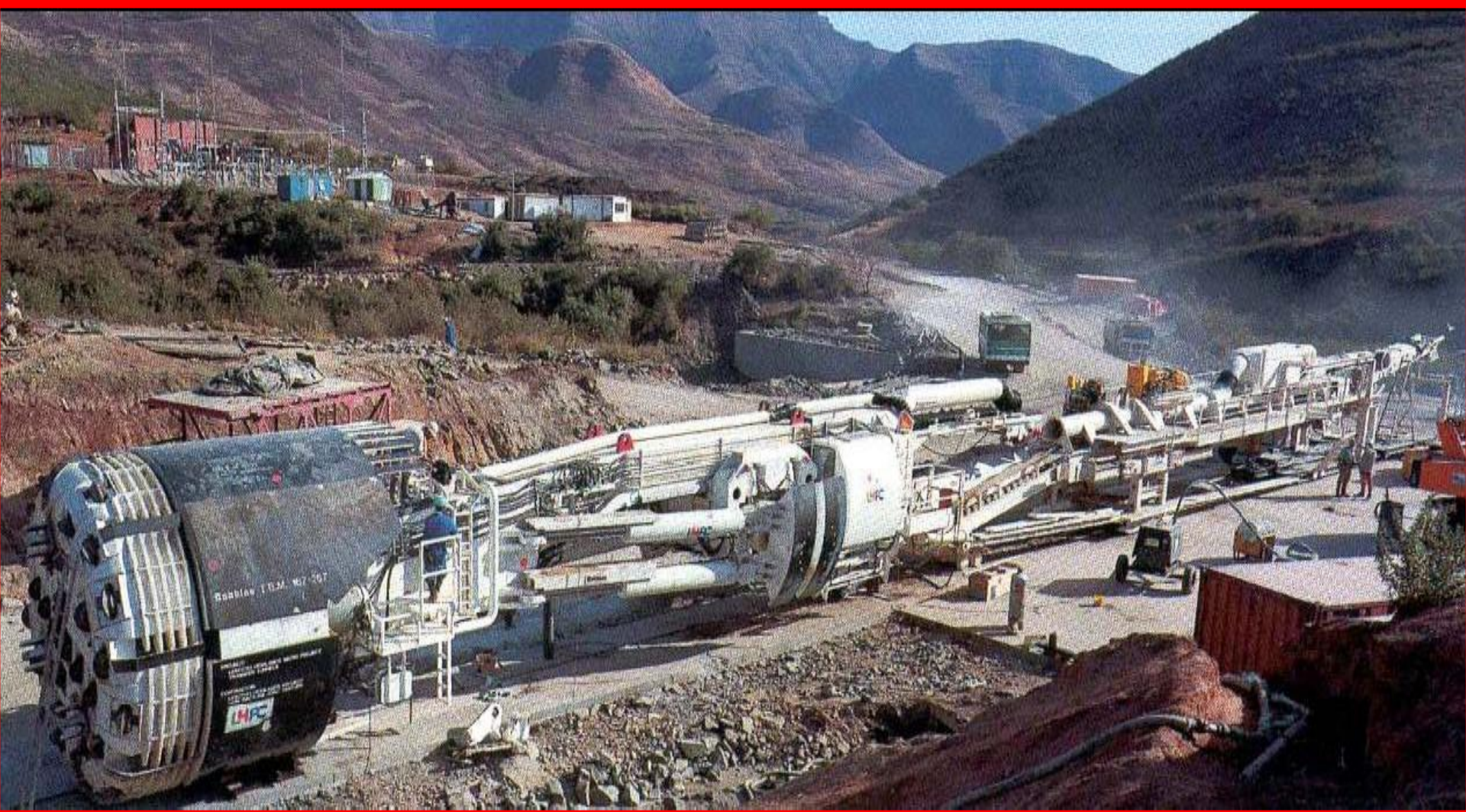








"Gripper TBM" - Parcialmente Escudada



TBM Escudada para Rocas





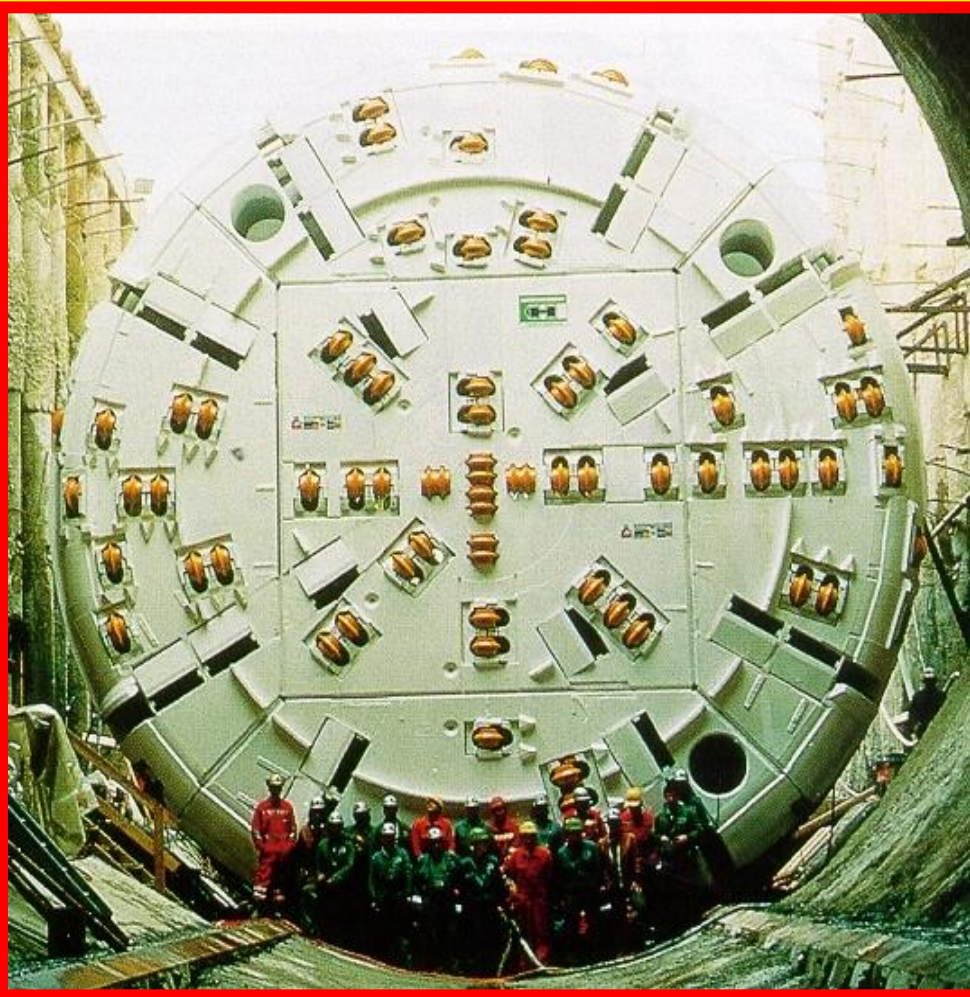
Diameter	- 11740 mm
Tunnel length	- 3550 m segmental lining
Geology	- molasses

TBM Escudada para Rocas



Diameter	- 11870 mm
Tunnel length	- 2 x 3700 m segmental lining
Geology	- molasses

TBM Escudada para Rocas



Diameter	- 11980 mm
Tunnel length	- 4260 m segmental lining
Geology	- clay, plaster keuper

TBM Escudada para Rocas

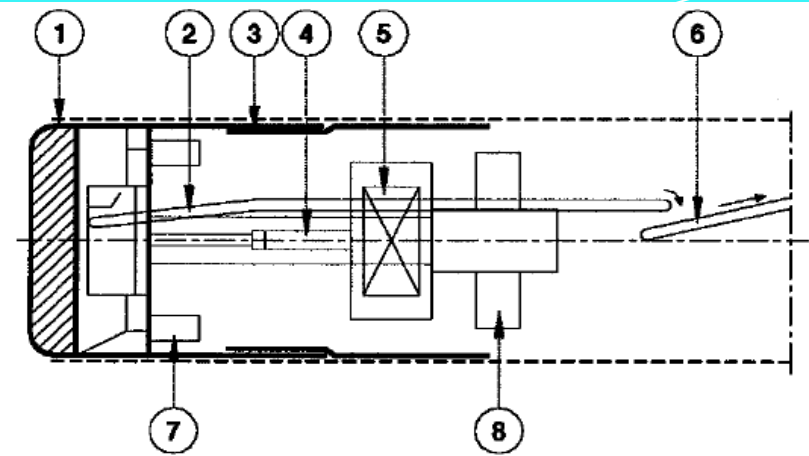


Diameter	- 12535 mm
Tunnel length	- 4100 m segmental lining
Geology	- clay, keuper

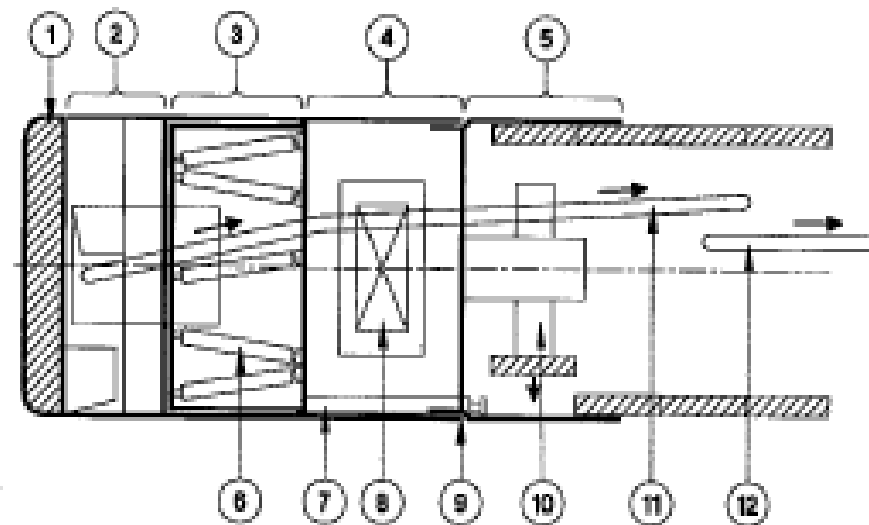
TBM Escudada para Rocas

TBM Escudada con Grippers

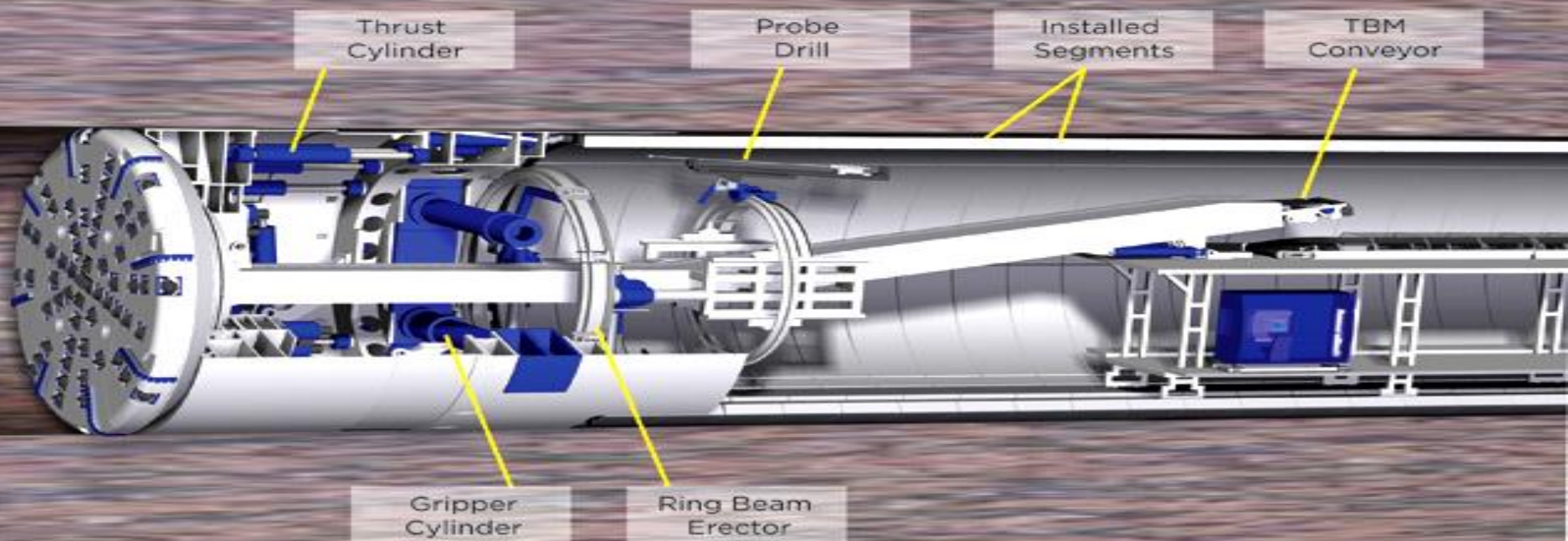
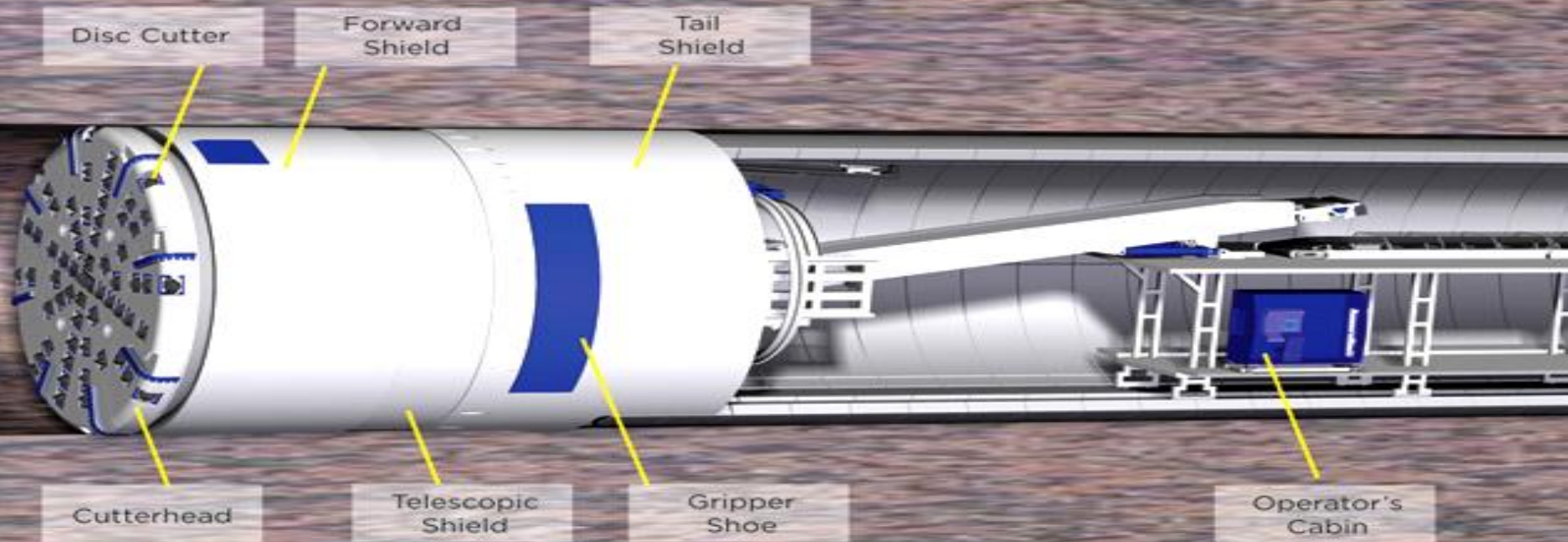
- ① Cutterhead
- ② Muck extraction conveyor
- ③ Telescopic section
- ④ Thrust ram
- ⑤ Grippers (radial thrust)
- ⑥ Muck transfer conveyor
- ⑦ Motor
- ⑧ Segment erector



DOBLE SHIELD : Gripper & Segmental TBM



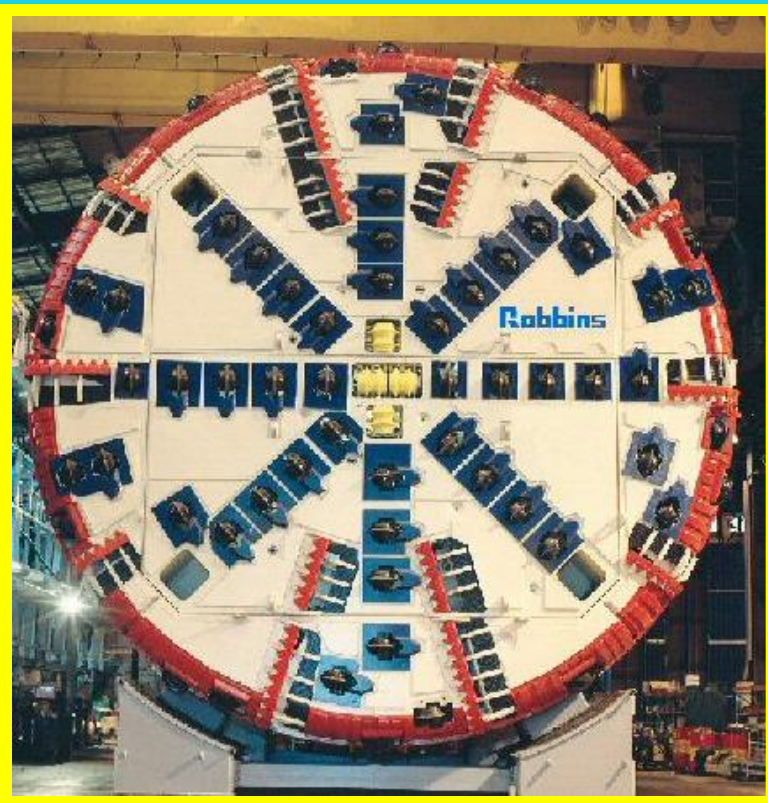
- | | | | |
|---|--------------------|---|--------------------------------|
| a | Cutterhead | g | Longitudinal thrust rams |
| b | Front can | h | Grippers |
| c | Telescopic section | i | Tailskin articulation (option) |
| d | Gripper unit | j | Segment erector |
| e | Tailskin | k | Muck extraction conveyor |
| f | Main thrust rams | l | Muck transfer conveyor |



DOBLE SHIELD : Gripper & Segmental TBM

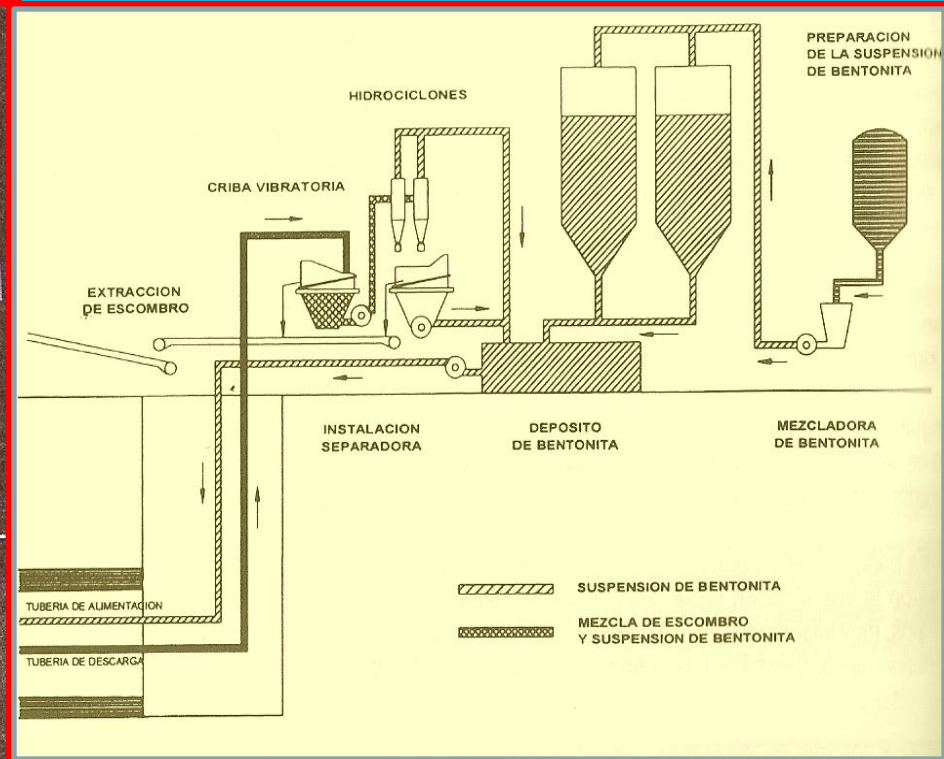
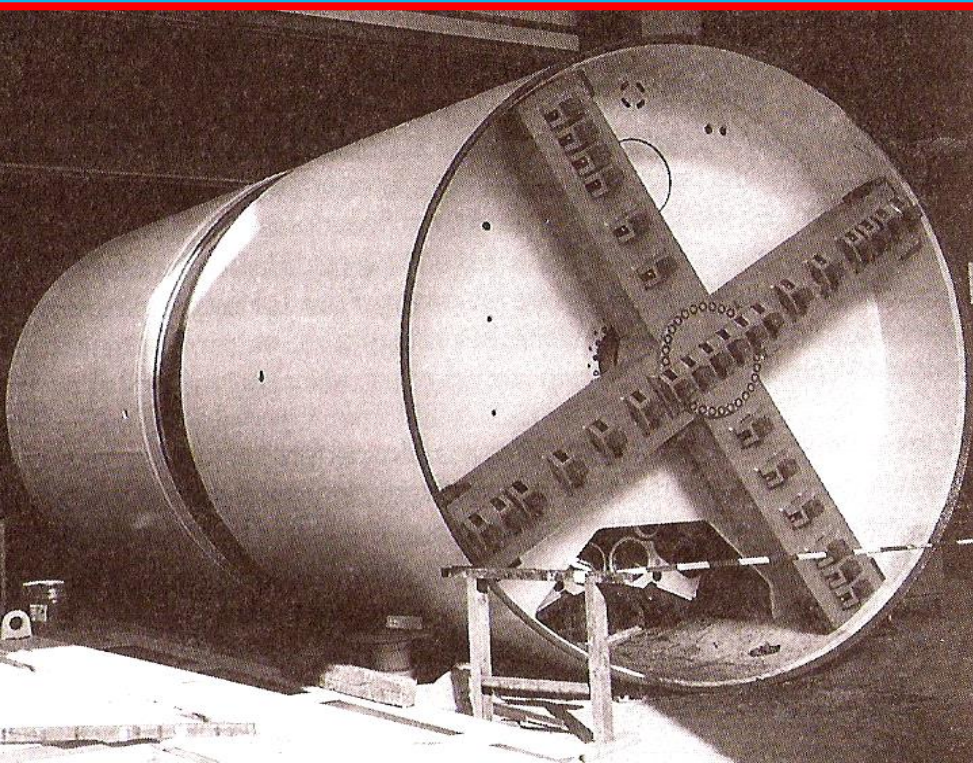


DOBLE SHIELD : Gripper & Segmental TBM

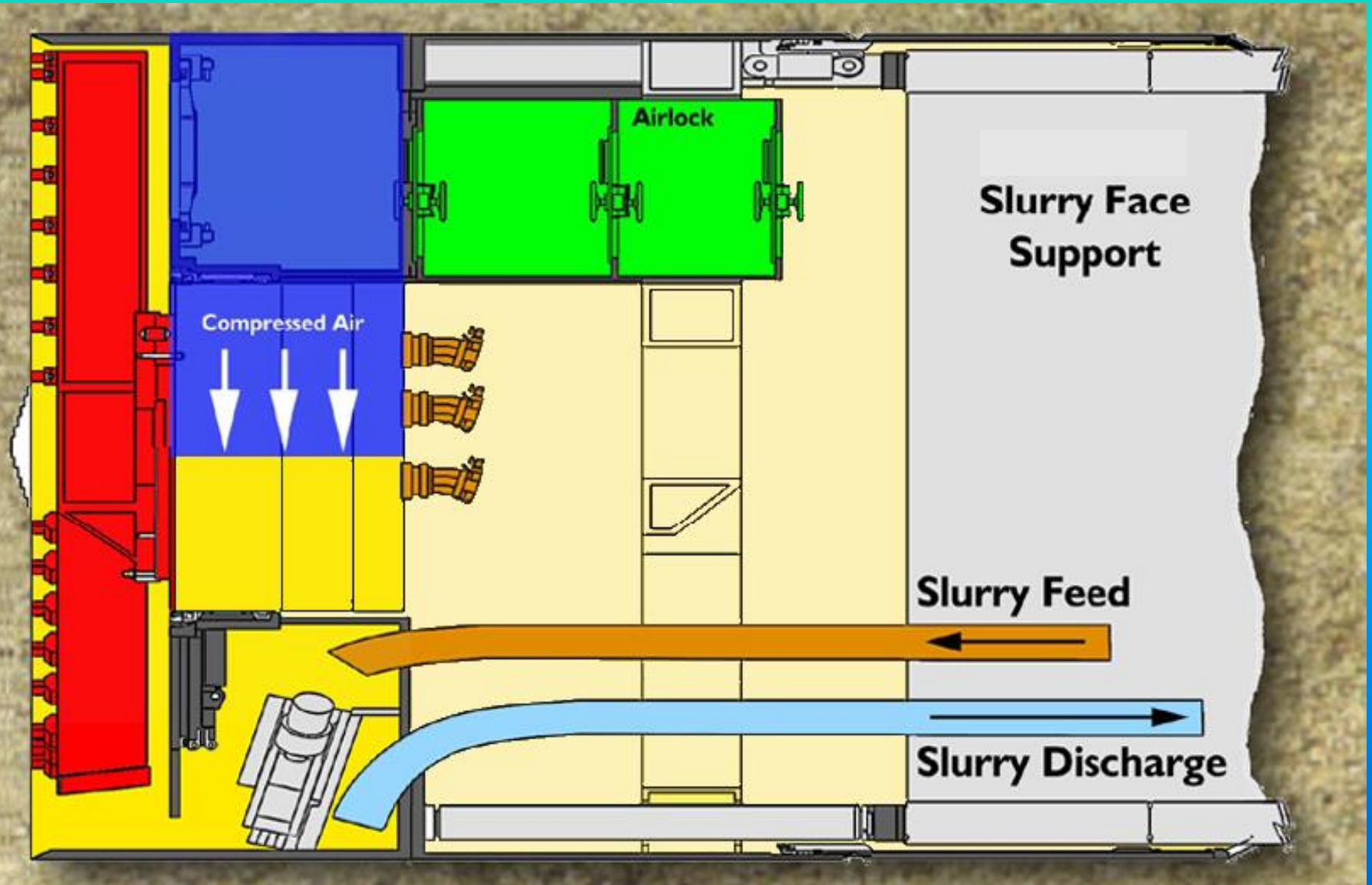


La peligrosidad ligada a la presurización del escudo y la incapacidad de las compuertas mecánicas de poder garantizar la estabilidad del frente y el avance en circunstancias especialmente o sistemáticamente críticas, hicieron finalmente abandonar tales practicas a favor de soluciones que previeron la presurización limitada al solo frente, creando a tales efectos escudos con en su porción más delantera una corta cámara (de excavación) próxima al frente presurizada, reumáticamente (tecnología ahora abandonada) o mediante lodos bentoníticos: Escudos de Lodos (**Slurry Shields**), también llamados Hidro-escudos (**Hydro Shields**).

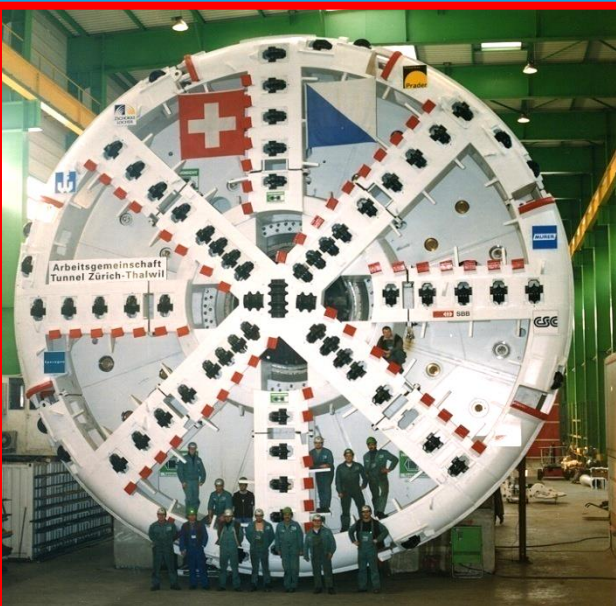
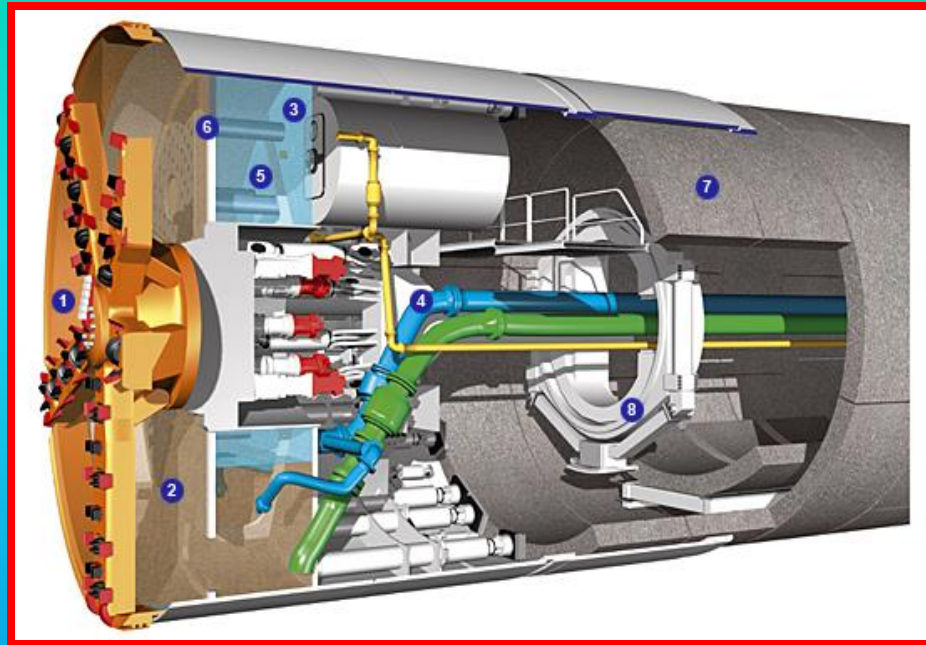
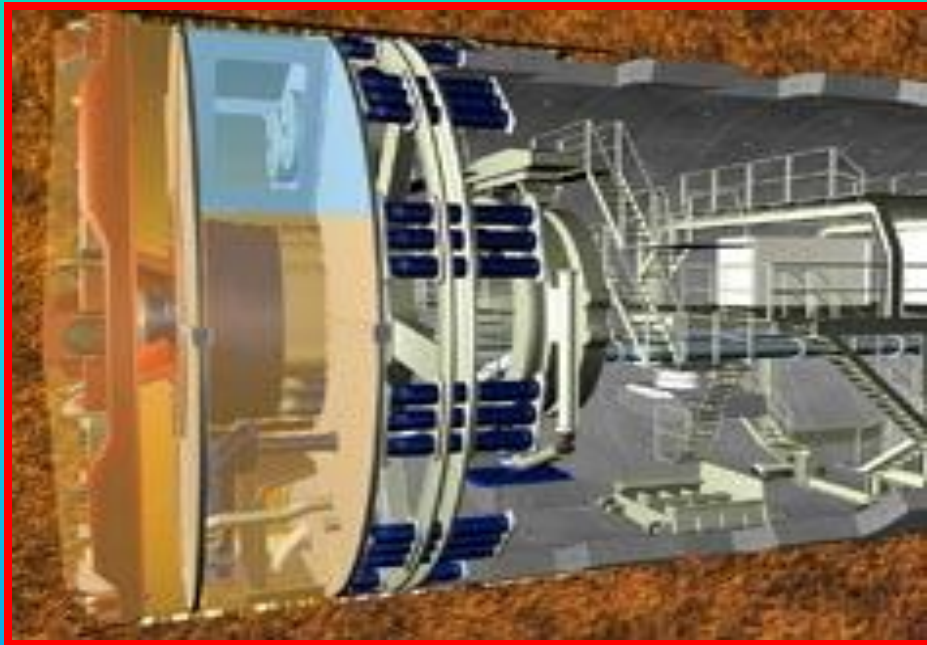
- El Slurry Shield, or Hydroshield fue patentado en Inglaterra en 1964 por John Bartlet -



“SLURRY SHIELDS” or “HYDRO SHIELDS”



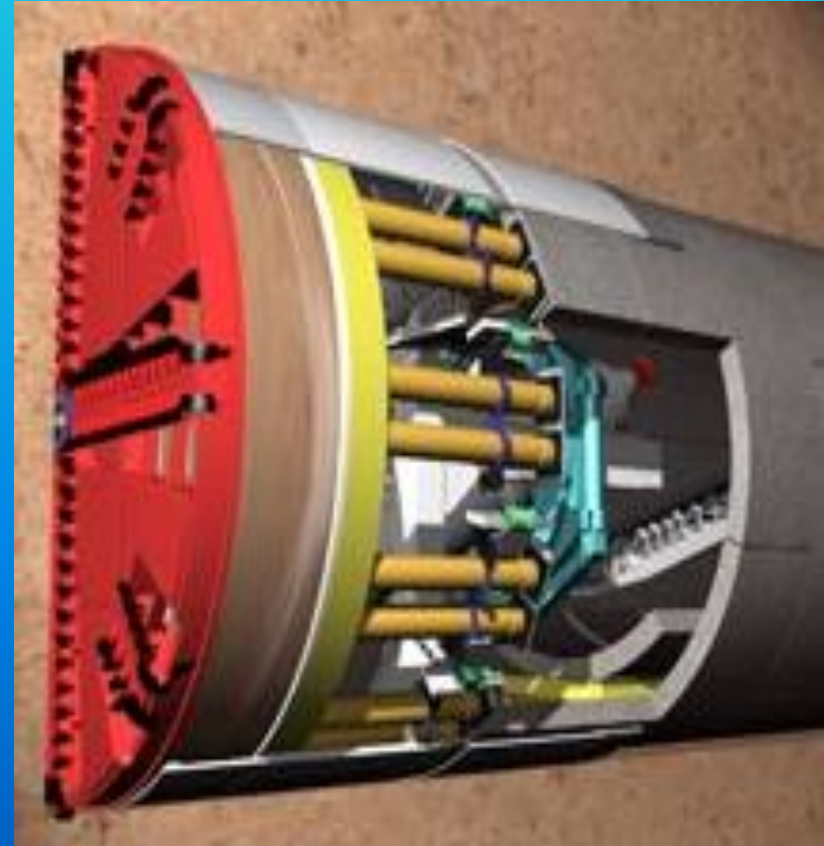
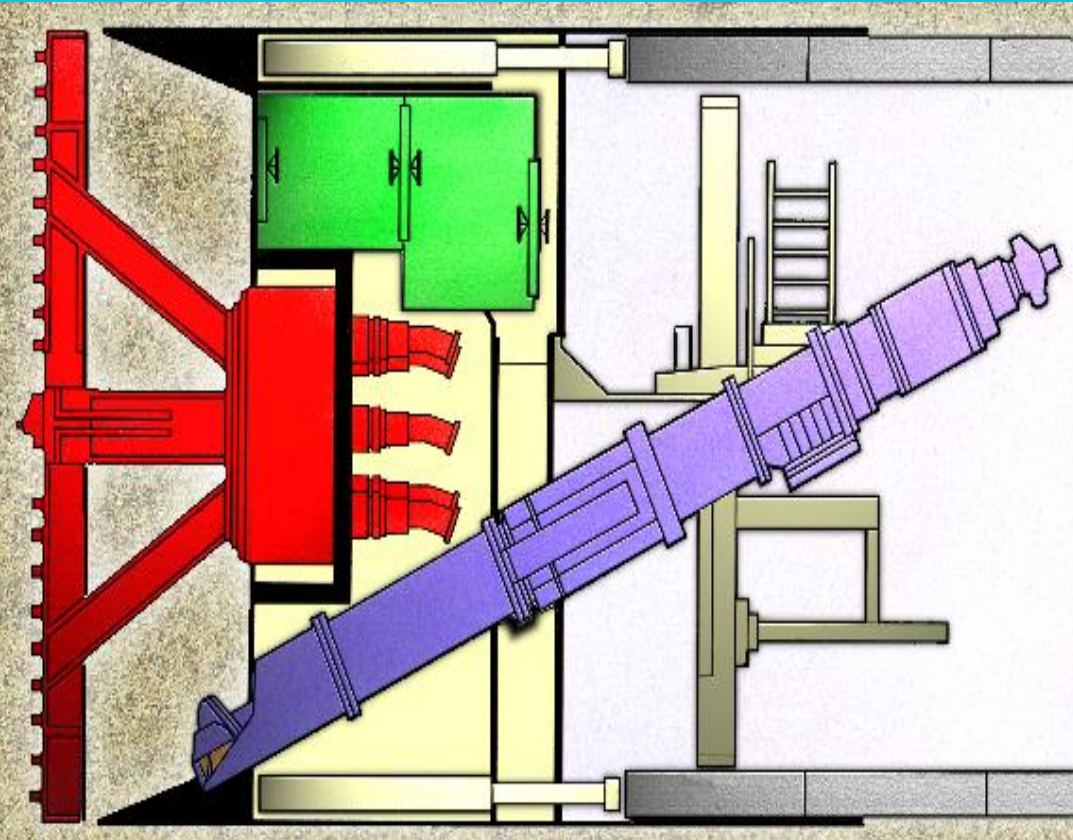
“SLURRY SHIELDS” or “HYDRO SHIELDS”



“SLURRY SHIELDS” or “HYDRO SCHIELDS”



Finalmente algunos inconvenientes de la presurización del frente con lodos bentoníticos, por la dificultades en terrenos con presencia de *boulders*, por lo complejo de sus instalaciones y por obstáculos ambientales entre otros, llevaron entre finales de los años 80 y comienzos de los 90 a la concepción y utilización de los **Escudos de Presión de Tierra Balanceada (EPBS)** los cuales, juntamente con los *Slurry Shields* y los *Mix Shields* (que aplican ambas tecnologías) dominan hoy en día el *tunneling* en terrenos blandos.



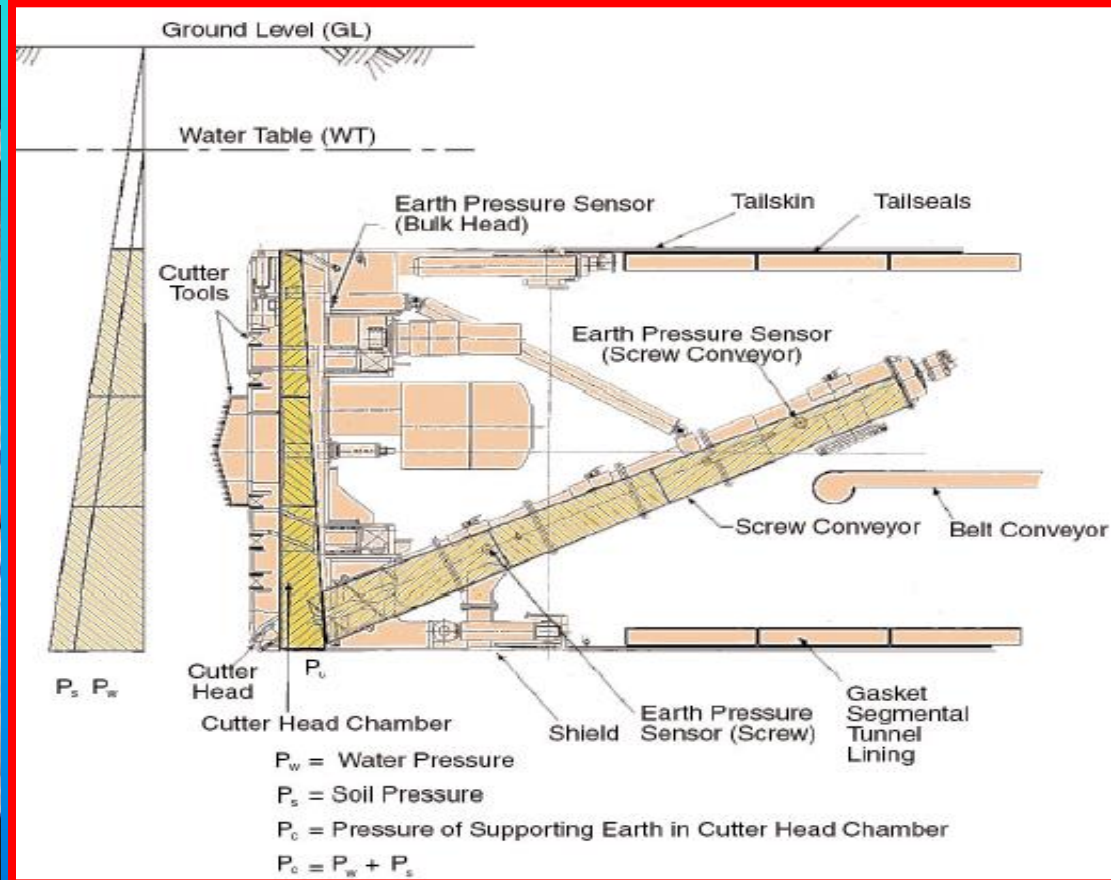
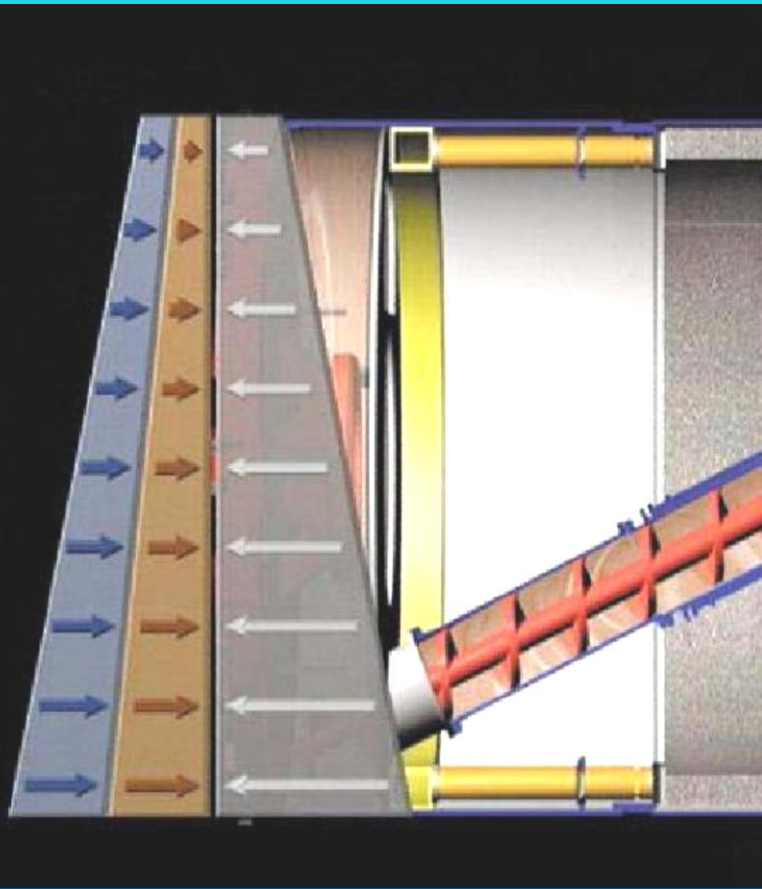
LA TECNOLOGÍA EPBS

- La tecnología **EPBS** estabiliza el frente de excavación con la contrapresión transmitida por parte de la tierra ya excavada, previamente acondicionada y mezclada en el mismo frente de la excavación en una cámara de presión, desde la cual se va evacuando por medio de un tornillo sin fin, solo en la misma cantidad que se excava, manteniendo dentro de la cámara de tierra al frente un volumen prácticamente constante.
- La tecnología **EPBS** permite, además que mantener la estabilidad del frente de excavación, minimizar los asentamientos que se pueden producir en superficie durante la excavación.
- Para evitar los asentamientos en la cola del escudo, esta tecnología está además complementada con un sistema continuo de inyección a presión del espacio anular que se forma durante el avance, entre la excavación y el revestimiento prefabricado instalado en la cola misma del escudo.

LA TECNOLOGÍA EPBS

- Si en el frente de excavación está presente un terreno que contiene un porcentaje mayor o igual a aproximadamente un 30% de “finos” (pasantes al tamiz 200), es en principio suficiente añadir solo la cantidad de agua, si hiciera falta, necesaria para obtener una mezcla de suelo excavado que sea: suficientemente impermeable y viscosa, y por ende capaz de transmitir la presión al frente sin pérdidas por excesiva penetración en los estratos más permeables y/o por filtración de agua en presión hacia el tornillo sin fin de la salida.
- Para terrenos menos cohesivos se emplean aditivos especiales (generalmente espumas y, más excepcionalmente, polímeros).
- En la práctica, siempre se utilizan aditivos para el acondicionamiento y para así corregir los cambios en la humedad y en la granulometría del terreno excavado en el frente y a tales efectos, se utilizan espumas para sustituir los finos faltantes y el agua intersticial, mientras que, en los casos de frentes con predominio absoluto de arenas y/o gravas, se añadirán polímeros para aumentar la viscosidad del agua intersticial y así disminuir la permeabilidad en el frente y en la cámara.

Escudos de Presión de Tierra Balanceada (*EPBS*)



Escudos de Presión de Tierra Balanceada (*EPBS*)

CONDITIONING AGENTS

FOAMING AGENT

FOAMEX TR	(extra high properties, liquid form)
FOAMEX EC	(foaming agent and polymer mixture, liquid form)

POLYMER

DRILLAM MV	(synthetic polymer, liquid form)
CARBOCEL C190	(natural polymer, powder form)
CARBOCEL K190	(natural polymer with high shale inhibition properties, powder form)
LAMSEAL G	(superabsorbent polymer, granular form)

DEFOAMER

DEFOMEX	(liquid form)
---------	---------------

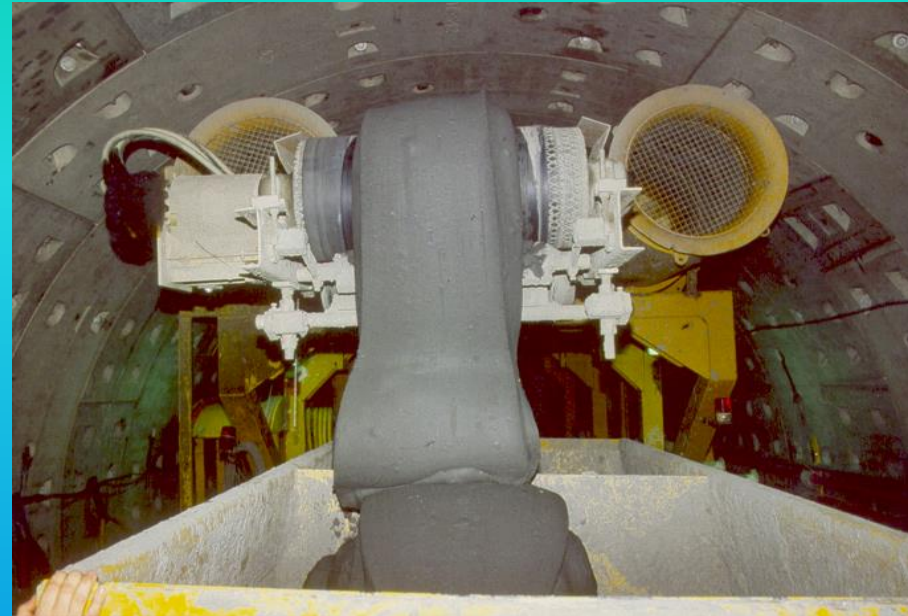
LUBRICANT

LUBRICANT L 102	(liquid form)
-----------------	---------------

DISPERSANT

LAMSPERSE HS	(liquid form)
--------------	---------------

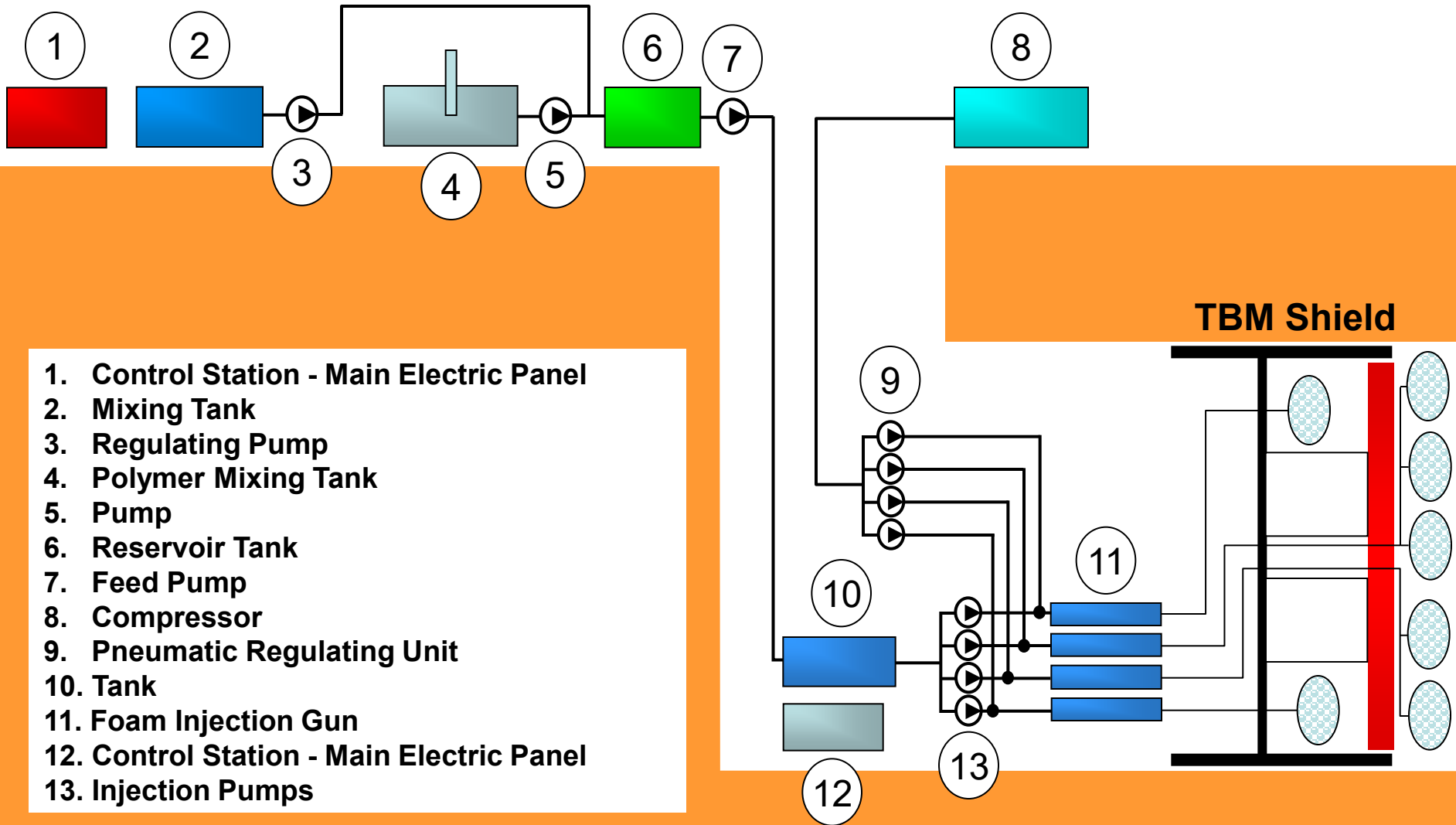
Escudos de Presión de Tierra Balanceada (*EPBS*)



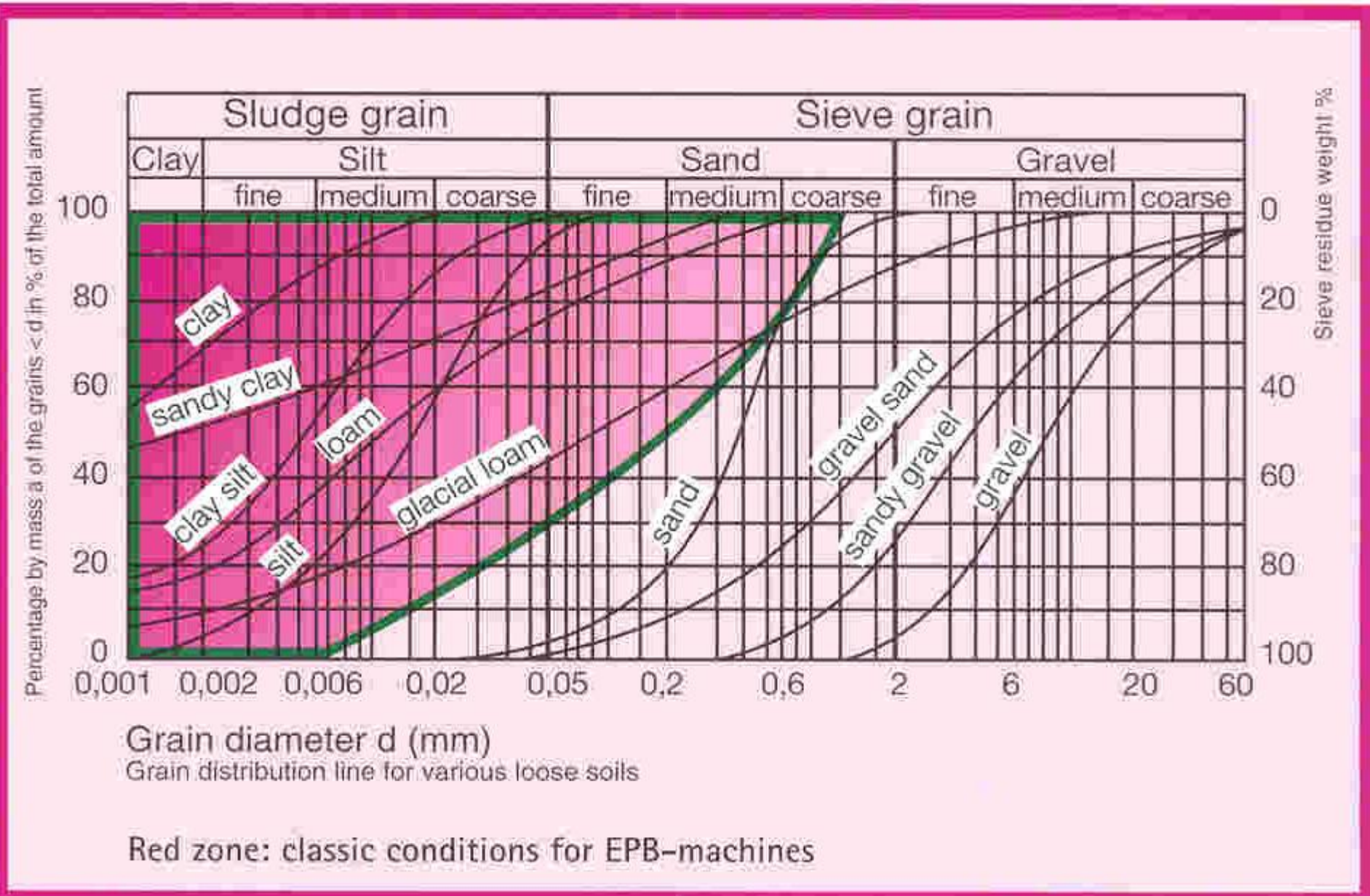
Escudos de Presión de Tierra Balanceada (*EPBS*)



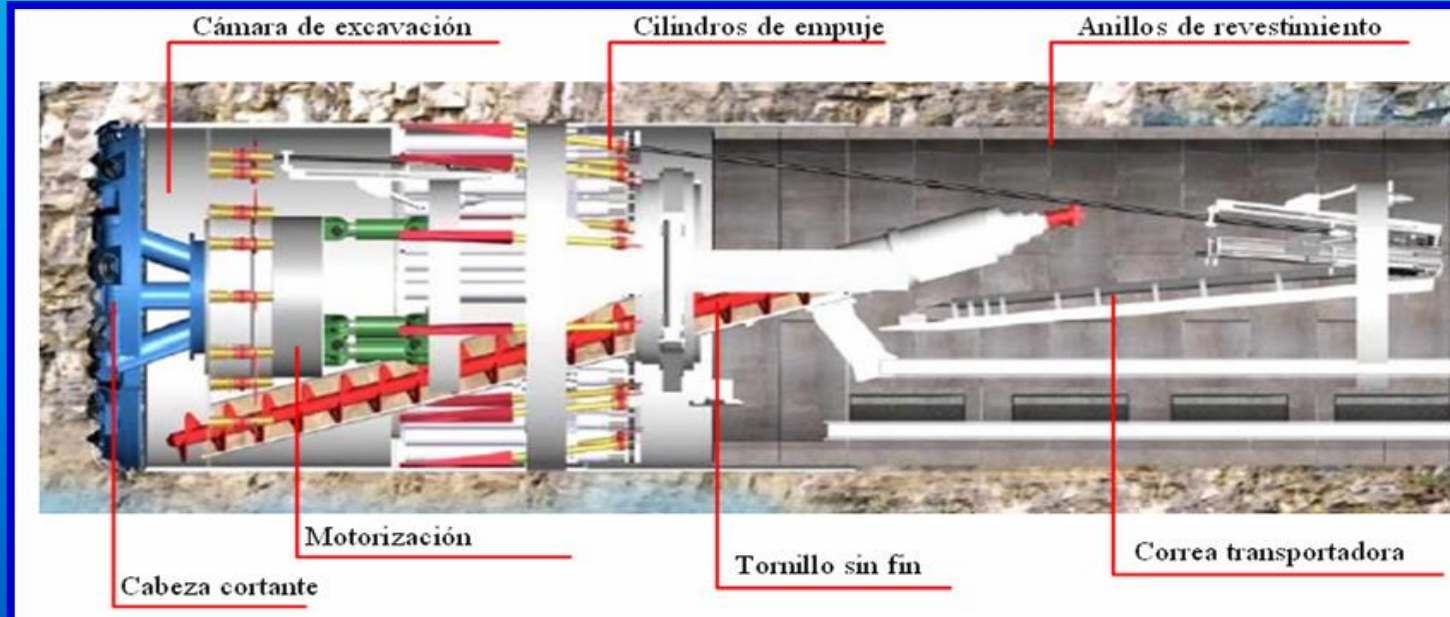
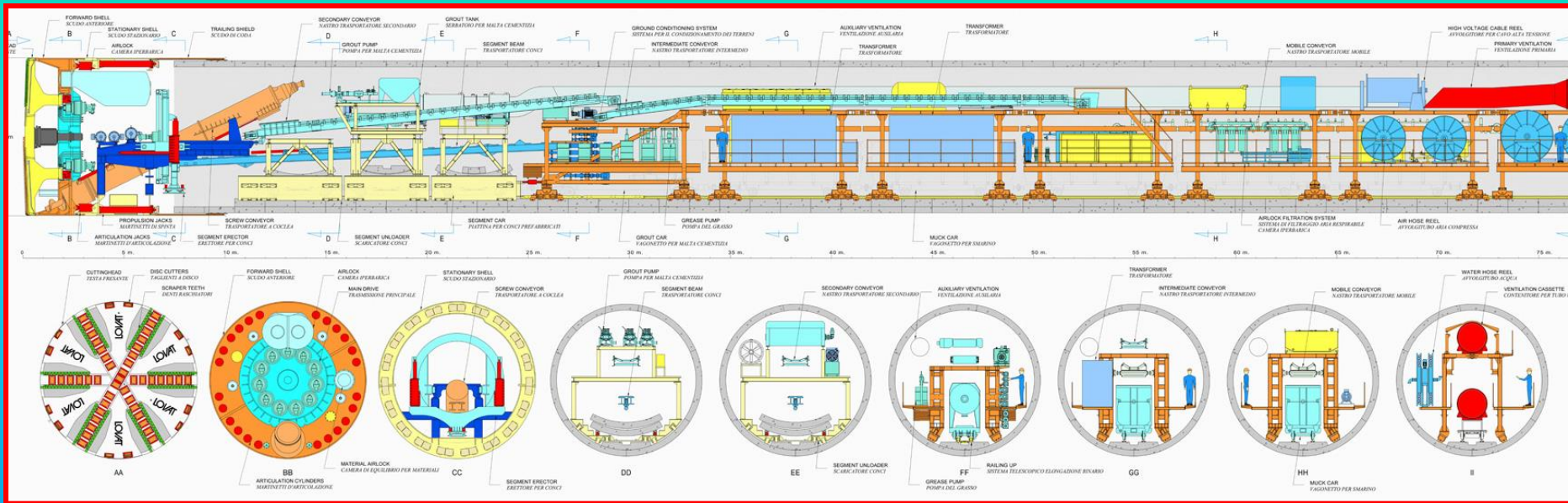
Foam Injection Schematic



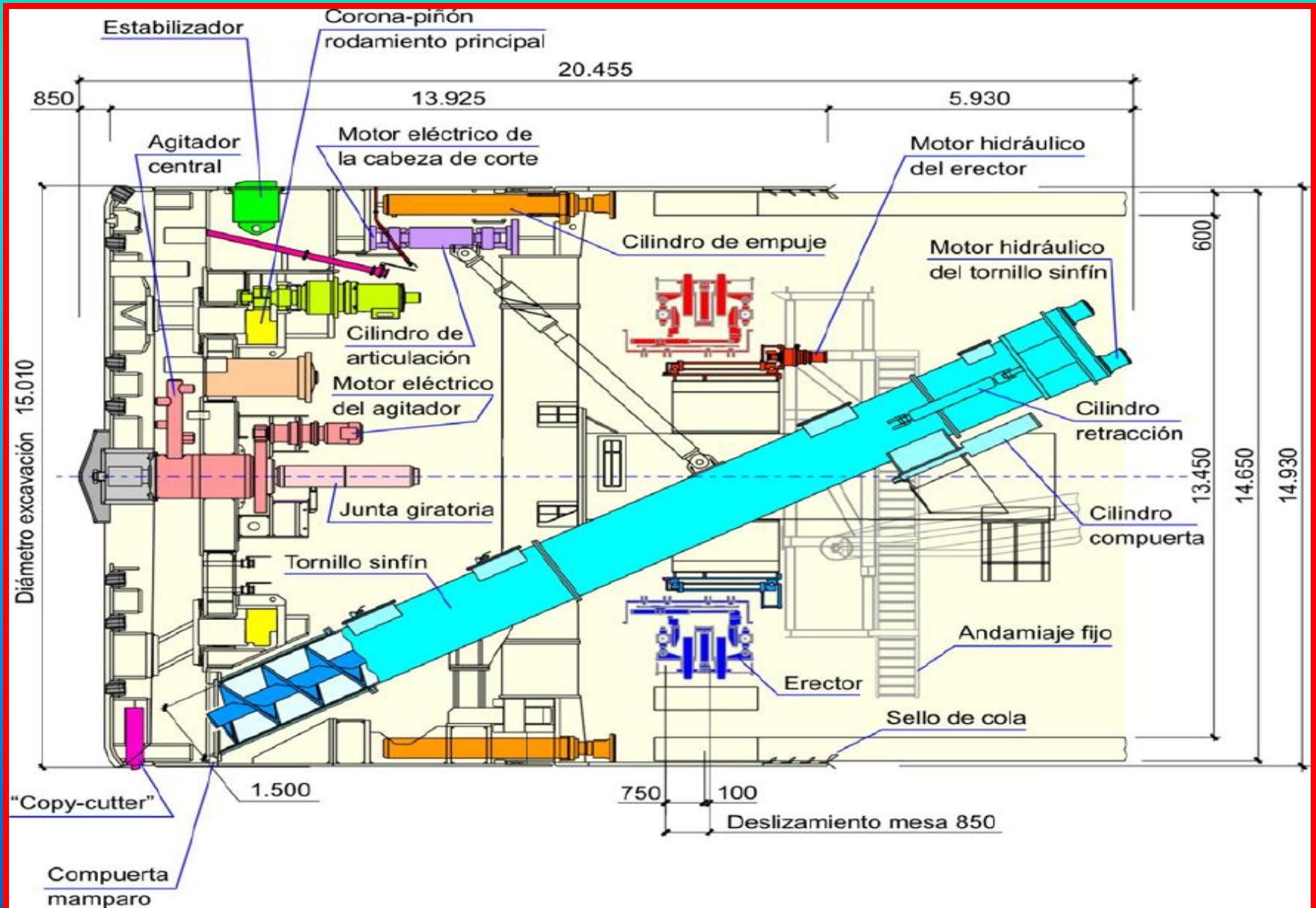
Distribuciones granulométricas ideales para la tecnología EPB



Escudos de Presión de Tierra Balanceada (EPBS)

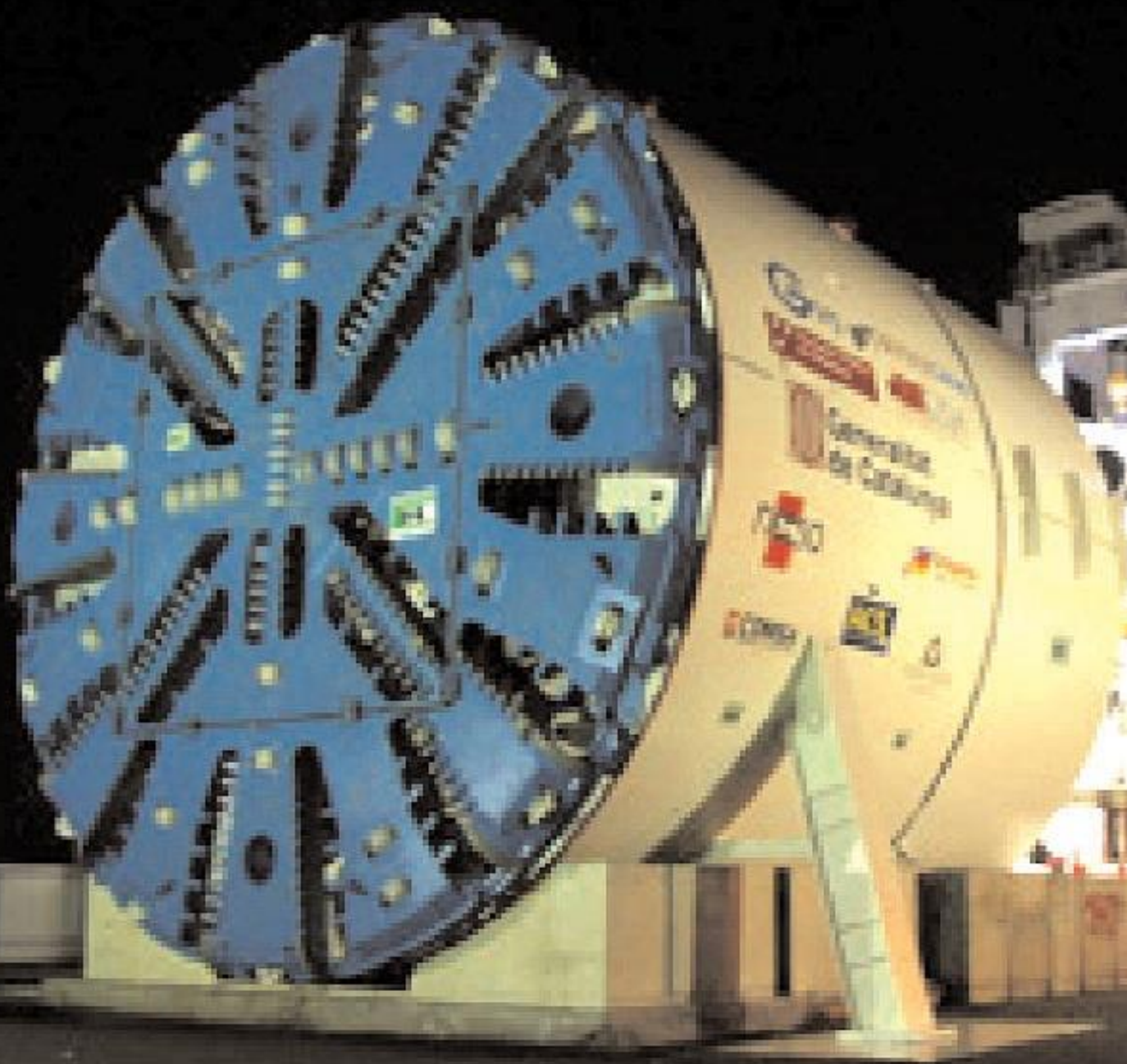


Escudos de Presión de Tierra Balanceada (EPBS)



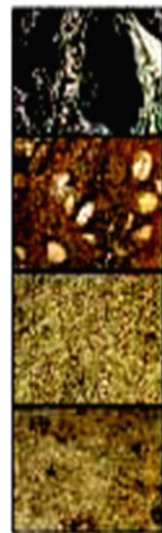
Escudos de Presión de Tierra Balanceada (EPBS)







EPBS Vs. SlurryS

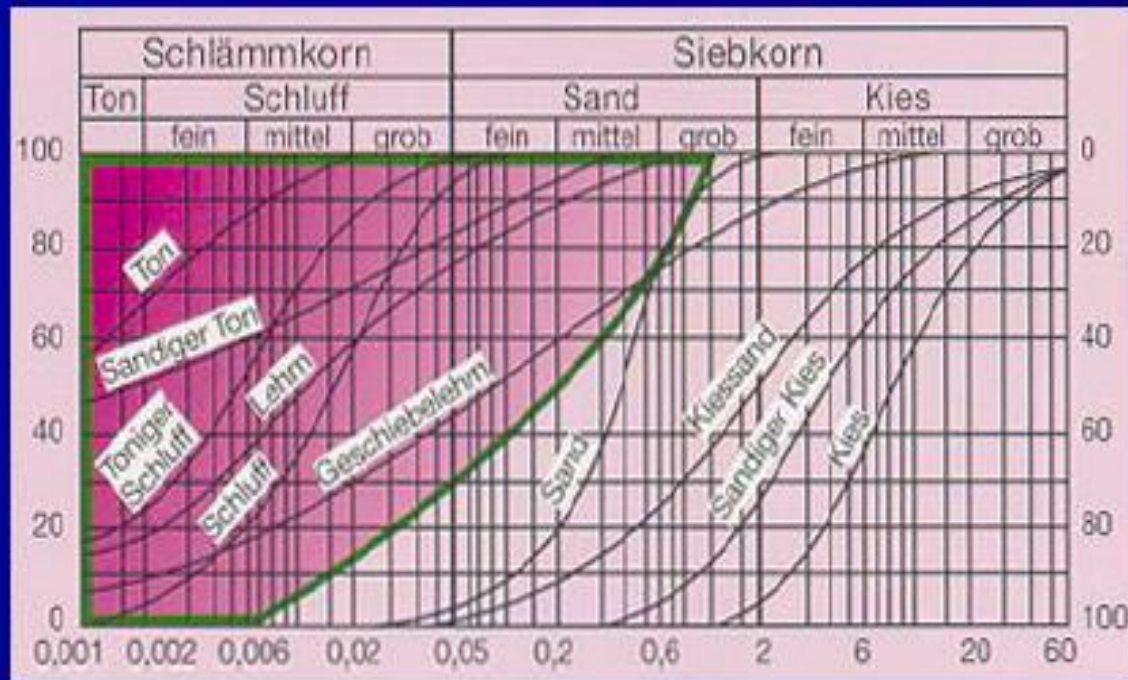
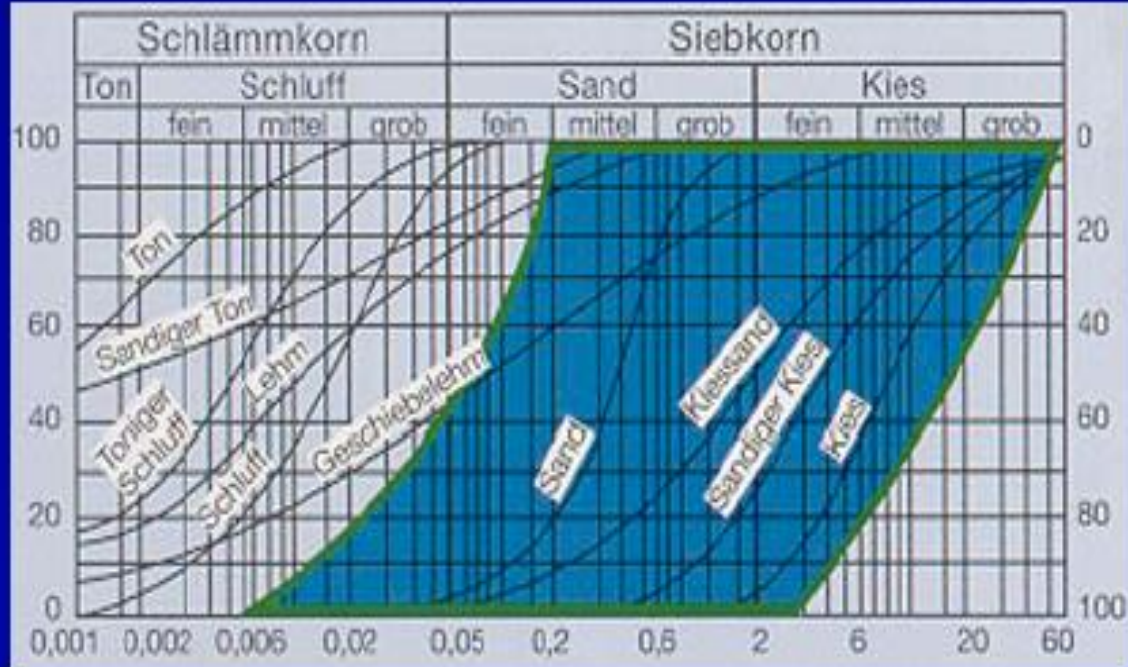


Permeability



Slurry

EPB



EPB vs SLURRY

EPB	SLURRY	EPB and Additives	SLURRY and Additives	Ground Type	Grain Size Range
X		X	X	Clay	<0.002mm
X		X	X	Silty Clay	<0.002mm and 0.002mm-0.06mm
X	X	X	X	Silt	0.002mm-0.06mm
X	X	X	X	Silty Sand	0.002mm-0.06mm and 0.06mm – 2.0mm
	X	X	X	Sand	0.06mm – 2.0mm
		X	X*	Gravel	2.0mm – 60mm

*If Permeability is (k) is greater than 10-4 cm/sec then slurry and additives will not be sufficient

EPB vs. SLURRY

• EPB Advantages

- Overall simpler system to learn, operate and maintain
- In case of face collapse amount of ground loss is limited
- Muck is immediately ready for disposal
- Able to take advantages of self-supporting grounds (i.e. open mode) and better overall production rates are possible
- Lower capital cost
- Smaller Site and launch shaft

• EPB Dis-Advantages

- Required confinement pressure must be calculated in advance of tunnelling
- Requires higher torque
- Requires greater Cuttinghead power
- Muck is exposed into tunnel, contaminated grounds can present problems

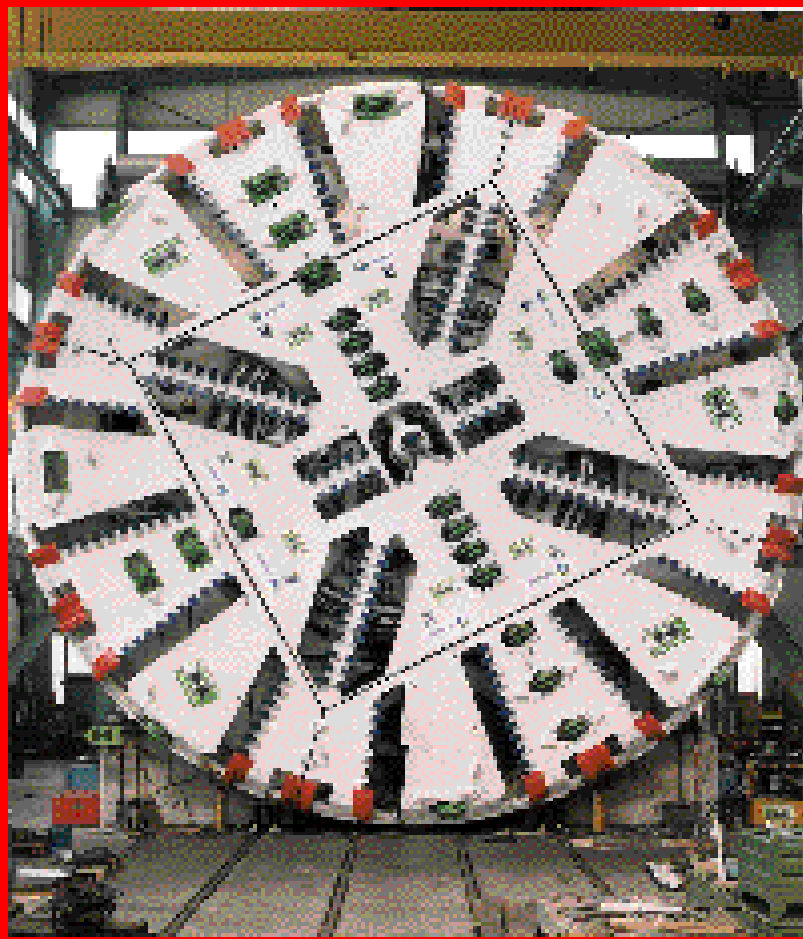
• SLURRY Advantages

- Required pressure is determined / controlled by system
- Lower torque
- Lower Cuttinghead Power
- Contaminated muck is not exposed until it reaches the surface
- Able to integrate rock crusher
- Cleaner Tunnel Environment

• SLURRY Dis-Advantages

- Overall a more complicated system (to learn, operate and maintain)
- Requires extensive addition of materials
- Requires a sophisticated slurry separation plant
- Cannot take advantage of self-supporting grounds (i.e. no open mode)
- Requires a large size job site
- Higher capital costs
- Higher power requirement

Escudos Mixtos con Presión en el Frente (*Mix Shields*)



Escudos Mixtos (*Mix Shields*)

Mixed-face shield TBMs have full-face cutterheads and can work in closed or open mode and with different confinement techniques. Changeover from one work mode to another requires mechanical intervention to change the machine configuration. Different means of muck extraction are used for each work mode:

Machines capable of providing earth pressure balance and slurry confinement. TBMs of this type are generally restricted to large-diameter bores because of the space required for the special equipment required for each confinement method.

Machines capable of working in open mode, with a belt conveyor extracting the muck and, after a change in configuration, in closed mode with slurry confinement provided by means of a hydraulic mucking out system (after isolation of the belt conveyor).

Machines capable of working in open mode, with a belt conveyor extracting the muck and, after a change in configuration, in closed mode with earth pressure balance confinement provided by a screw conveyor.

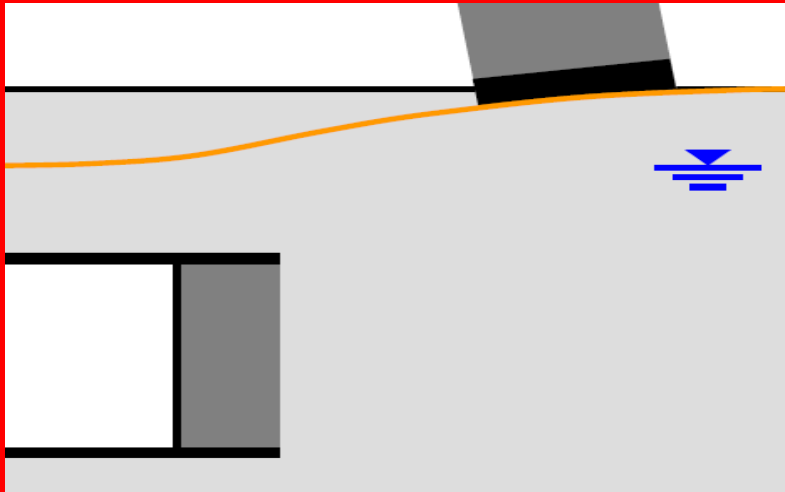
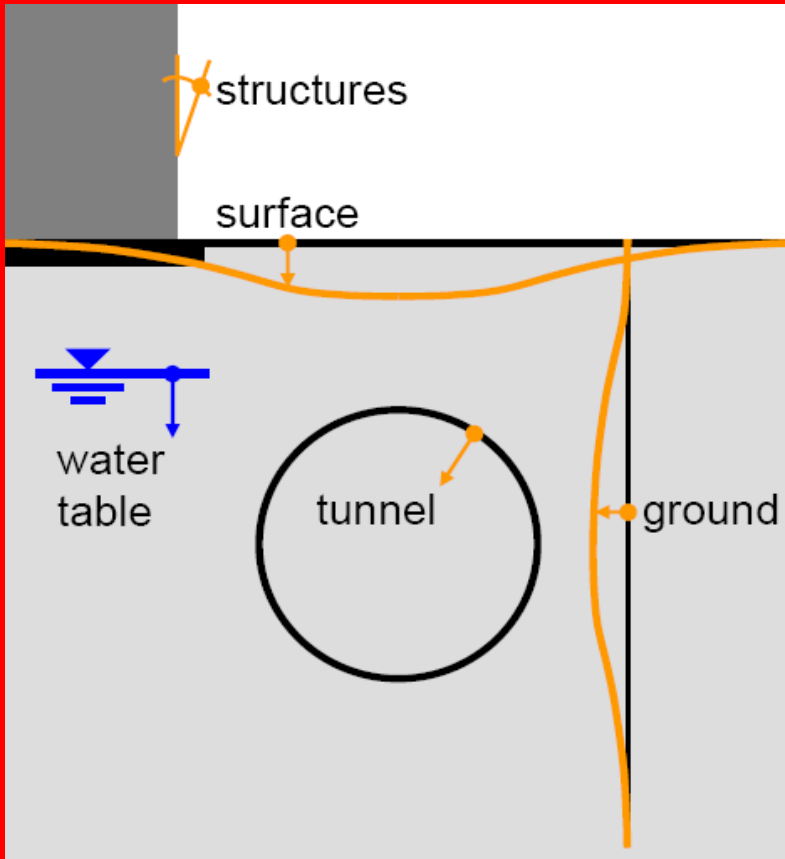
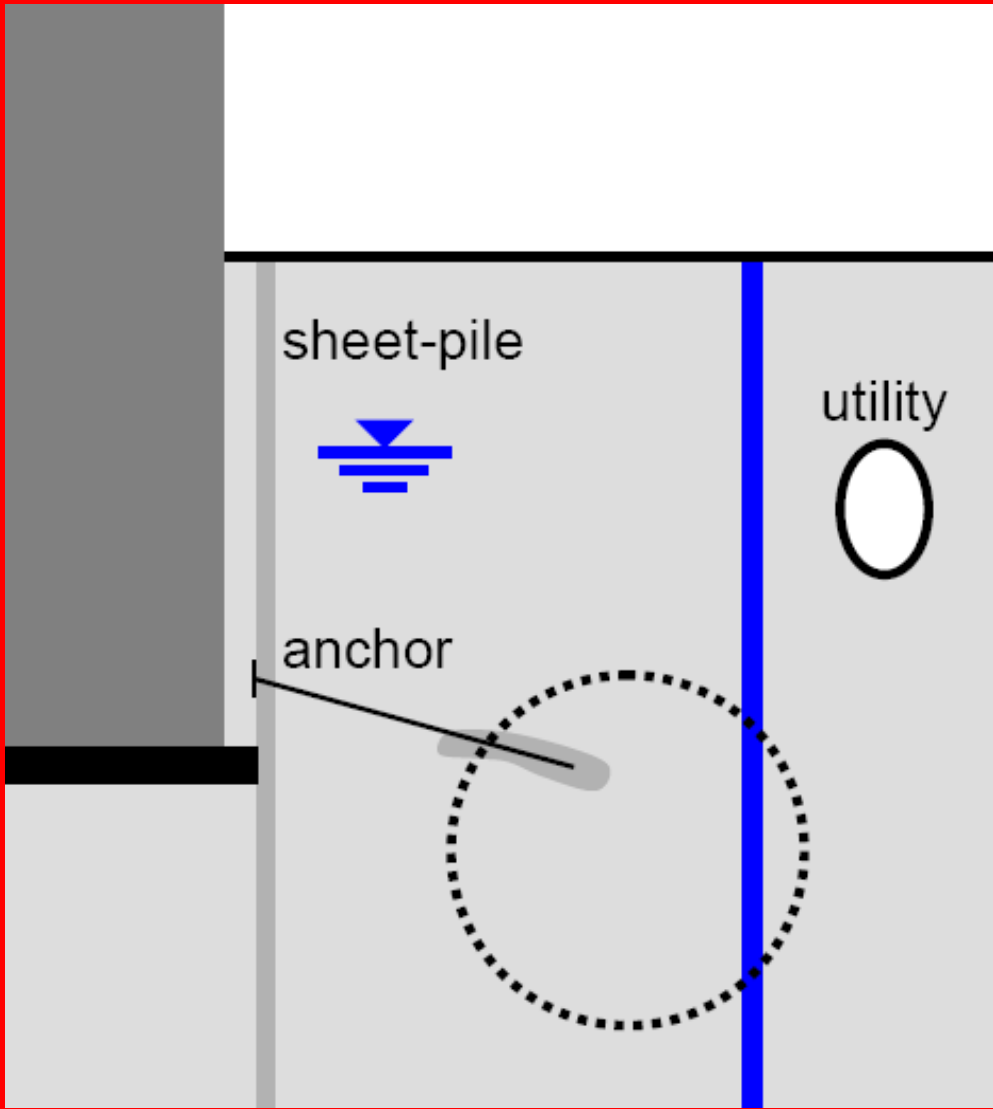
TÚNELES URBANOS: Peculiaridades

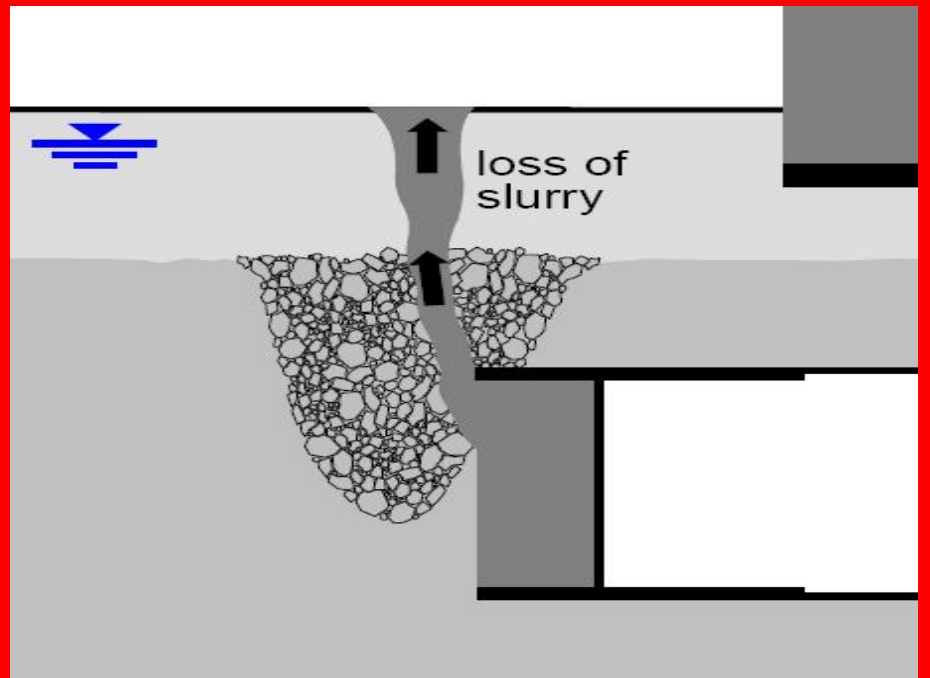
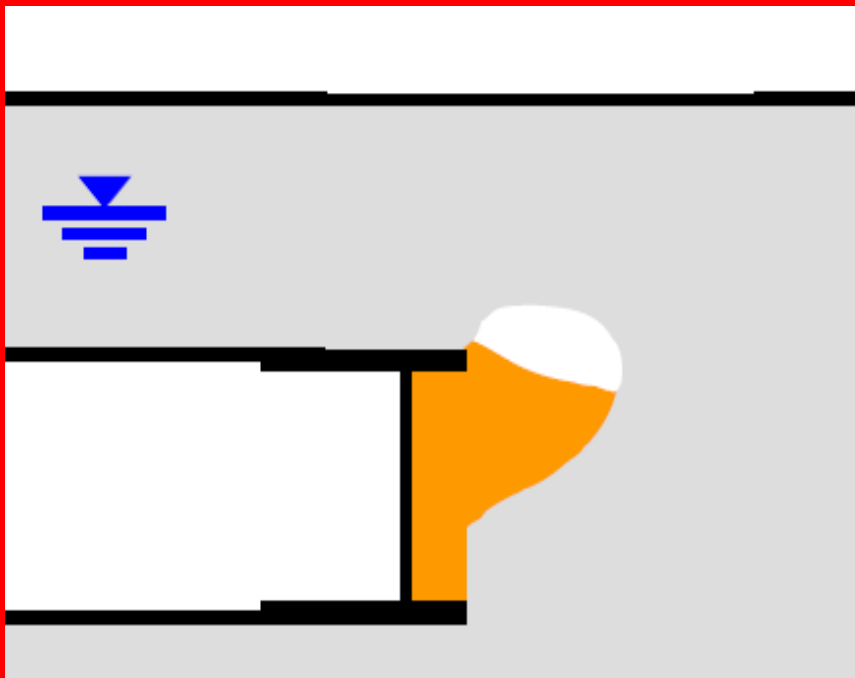
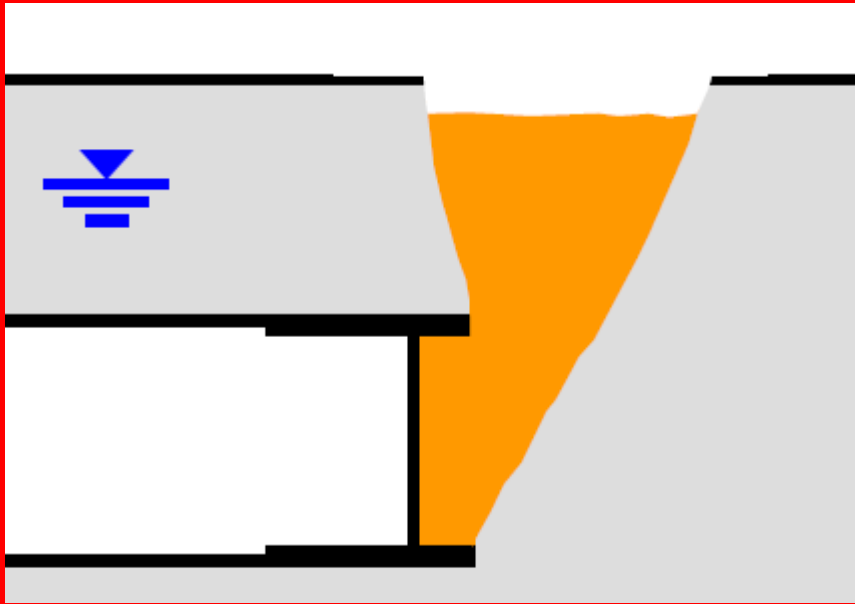
- Excavación con Coberturas Bajas (ó muy bajas)
- Excavación en Terrenos Incompetentes (generalmente suelos y no rocas)
- Excavación bajo Nivel Freático (estacional ó permanente)
- Sub-paso ó paso adyacente de Servicios (superficiales ó sub-superficiales)
- Sub-paso ó paso adyacente de Estructuras (superficiales ó enterradas)
- Sub-paso ó paso adyacente de Edificaciones y sus Fundaciones
- Excavación en Terrenos Contaminados con Hidrocarburos (u otros líquidos)

TÚNELES URBANOS: Implicaciones de las Peculiaridades

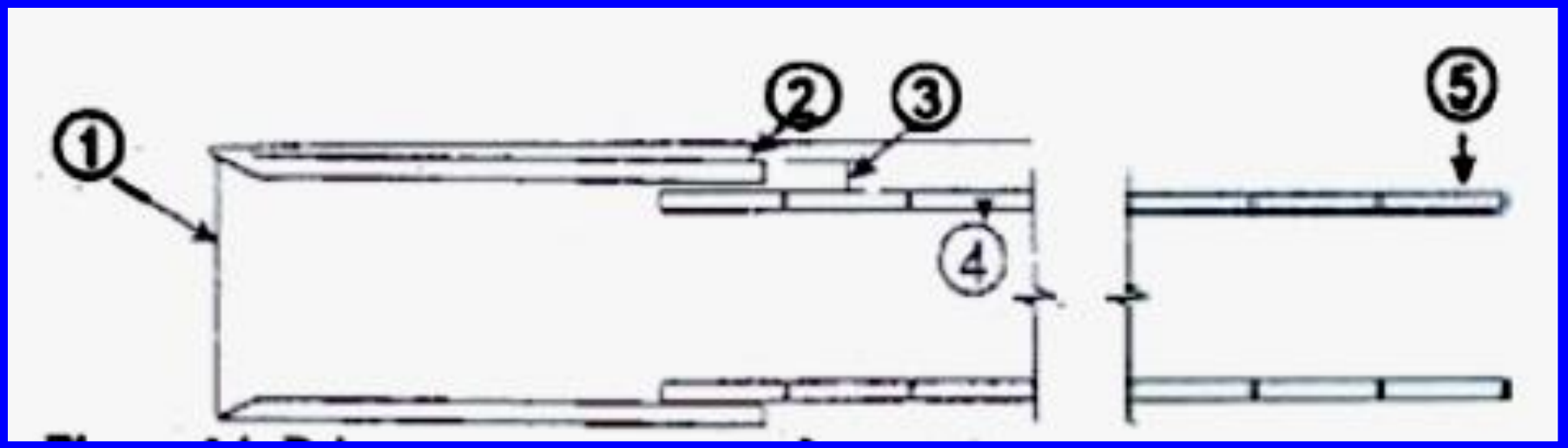
- Inevitables Asentamientos en la superficie del terreno
- Inevitables Deformaciones sub-superficiales del terreno
- Posibles Colapsos del terreno hasta la superficie (chimeneas)
- Monitoreo de los Asentamientos y las Deformaciones del terreno
- Monitoreo de los Servicios de las Estructuras y de las Edificaciones
- Análisis de las Causas y Estimación de los Asentamientos
- Prevención y Control de las Deformaciones y Asentamientos
- Utilizo de Intervenciones Especiales Preventivas y Correctivas
- Utilizo de Especiales Técnicas y Tecnologías de Excavación

Interferencias - Deformaciones - Asentamientos





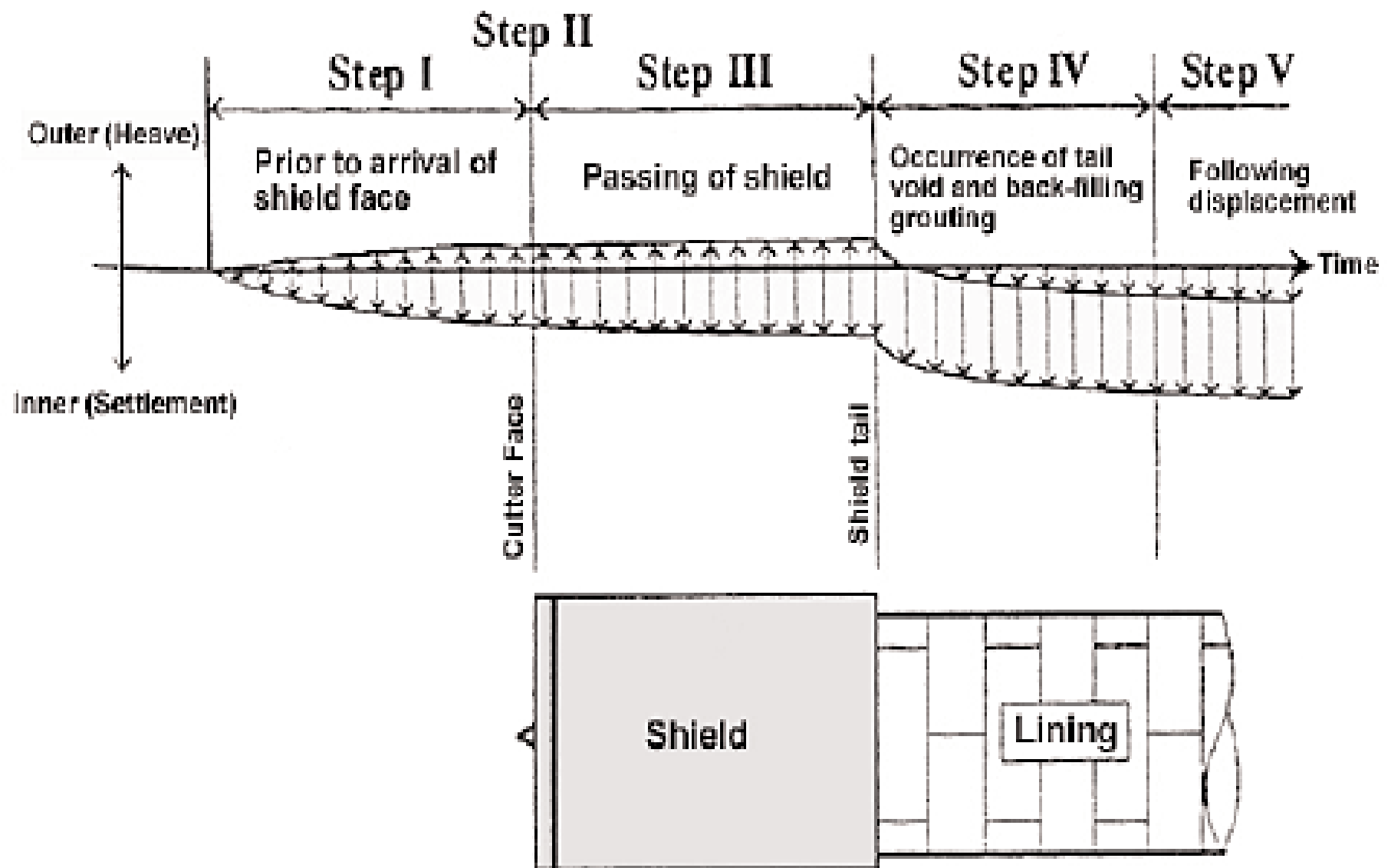
Deformaciones y Asentamientos del Terreno



Principales causantes de los asentamientos del terreno

1. Deformación del frente de avance de la excavación
2. Sobre excavación de la rueda de corte
3. Holgura (*gap*) entre el trasdós del anillo y el interior del escudo
4. Deformación del anillo bajo las cargas del terreno
5. Consolidaciones del terreno

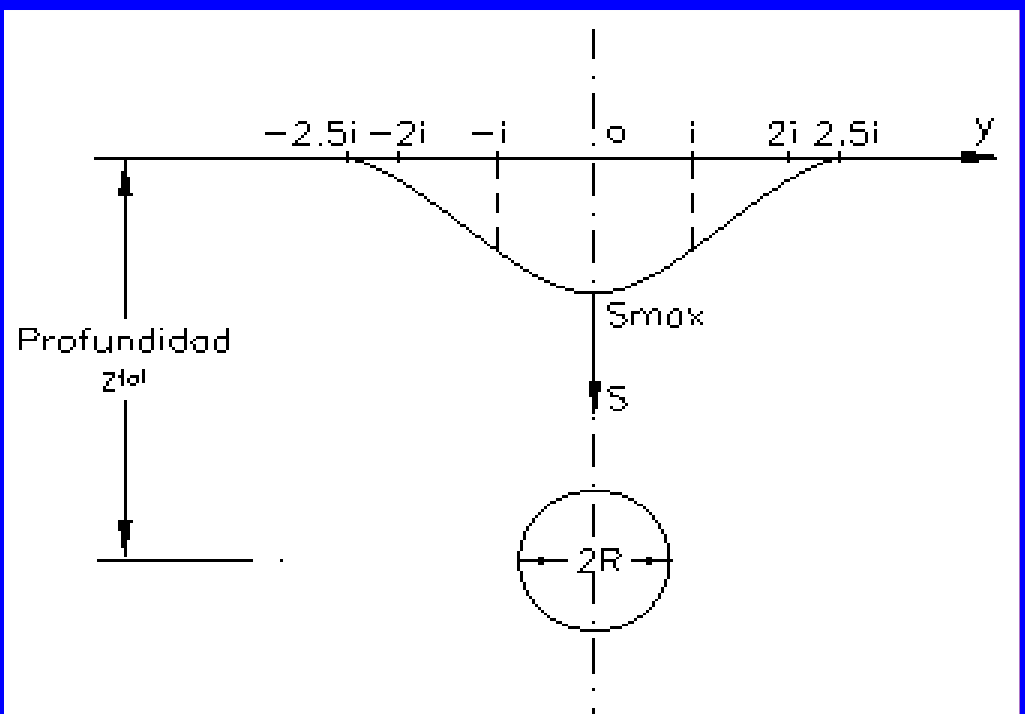
Deformaciones y Asentamientos del Terreno



Asentamientos en Superficie

$$\frac{1}{\beta} = \frac{y \cdot S_{\max}}{i^2} \cdot e^{\left(\frac{-y^2}{2i^2}\right)}$$

$$S = S_{\max} \cdot e^{\left(\frac{-y^2}{2i^2}\right)}$$



$$V = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{\max} \cong 2.5 \cdot i \cdot S_{\max}$$



$$S_{\max} = \frac{V}{2.5 \cdot i}$$

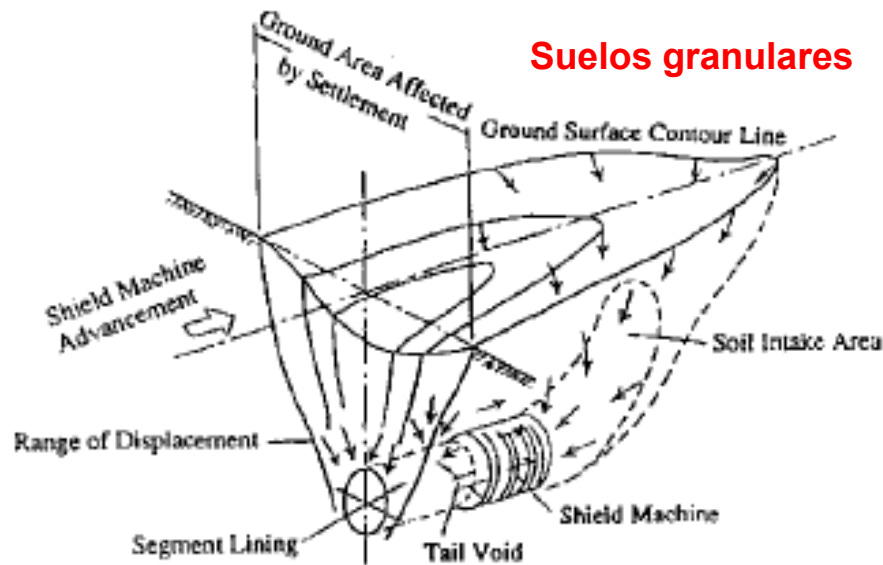
$$i = k \cdot z_{tot}$$

Terrenos granulares: $0.25 < k < 0.35$
 Terrenos cohesivos: $0.40 < k < 0.70$

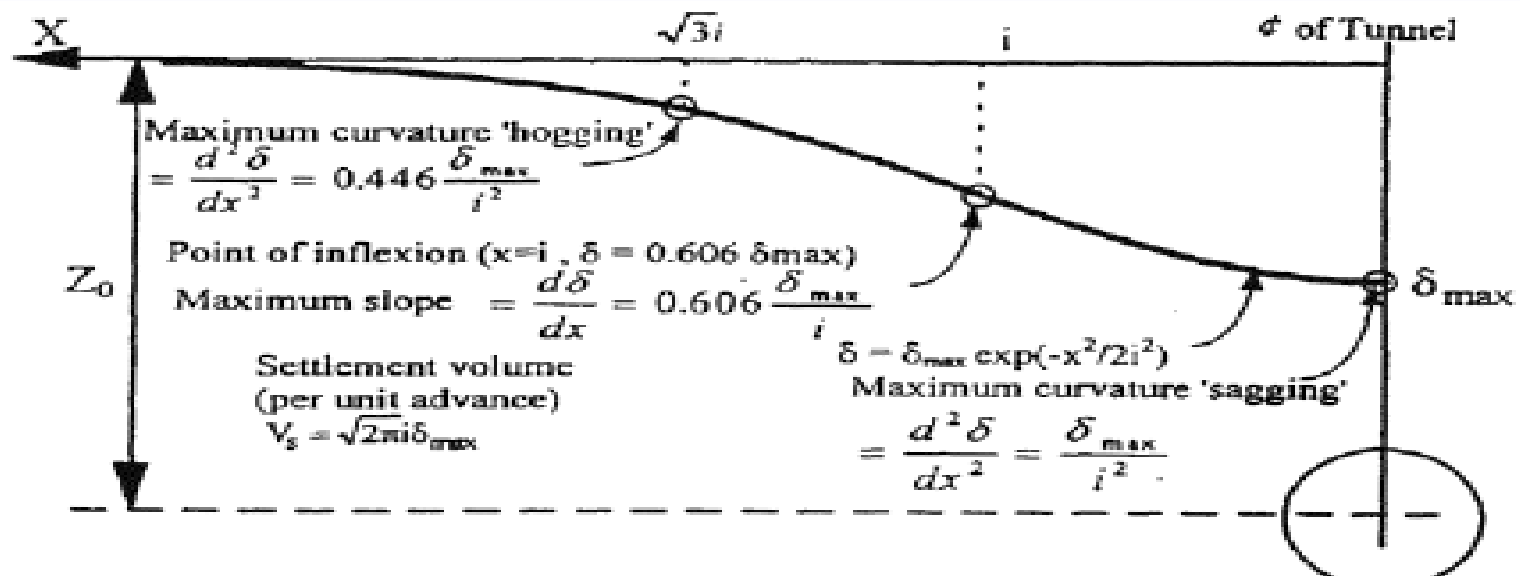
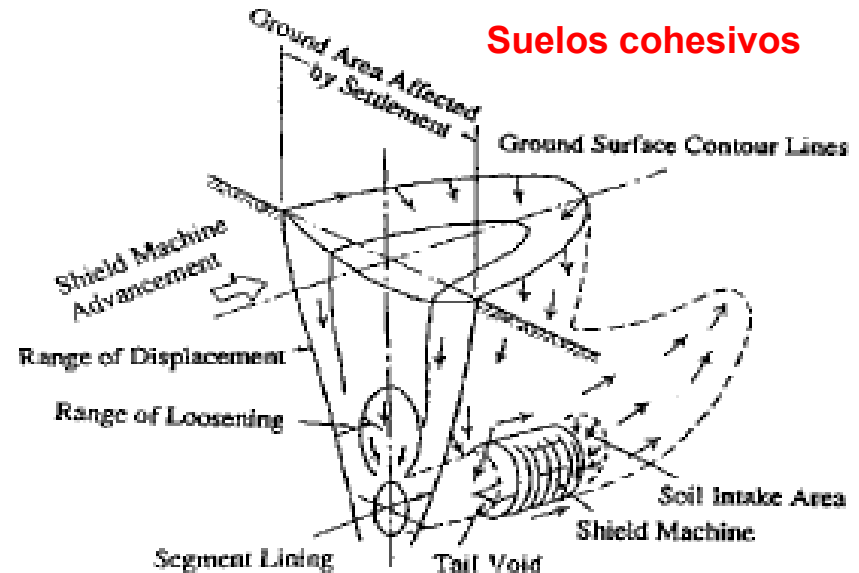
$$V = \% A$$

Deformaciones y Asentamientos del Terreno

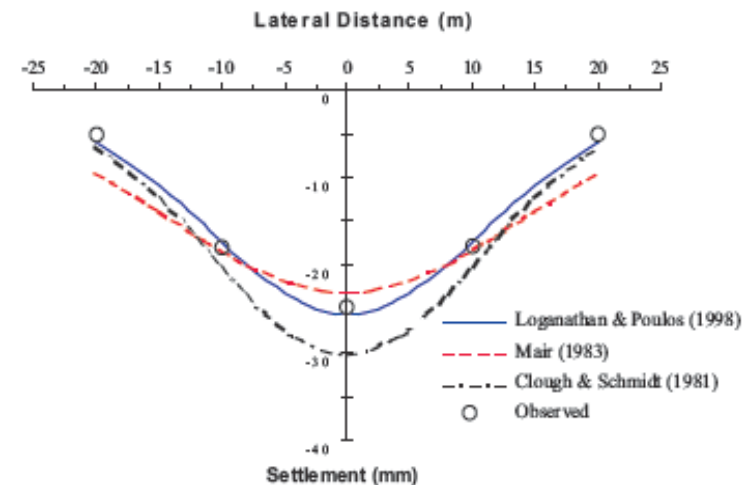
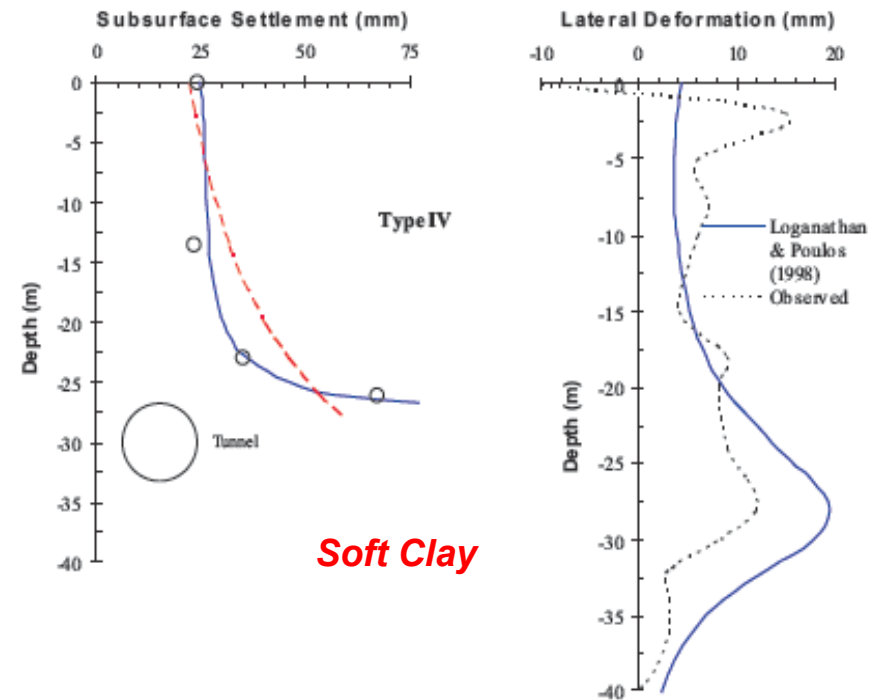
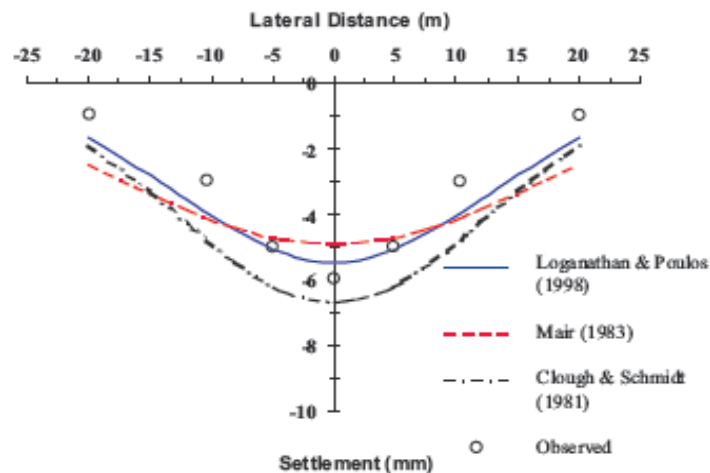
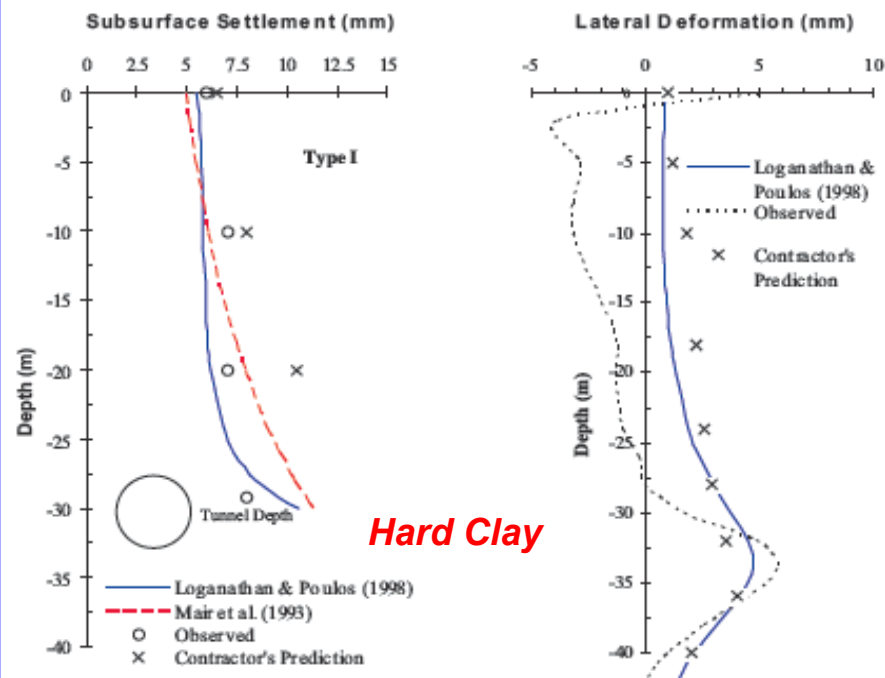
Suelos granulares



Suelos cohesivos



Deformaciones y Asentamientos del Terreno



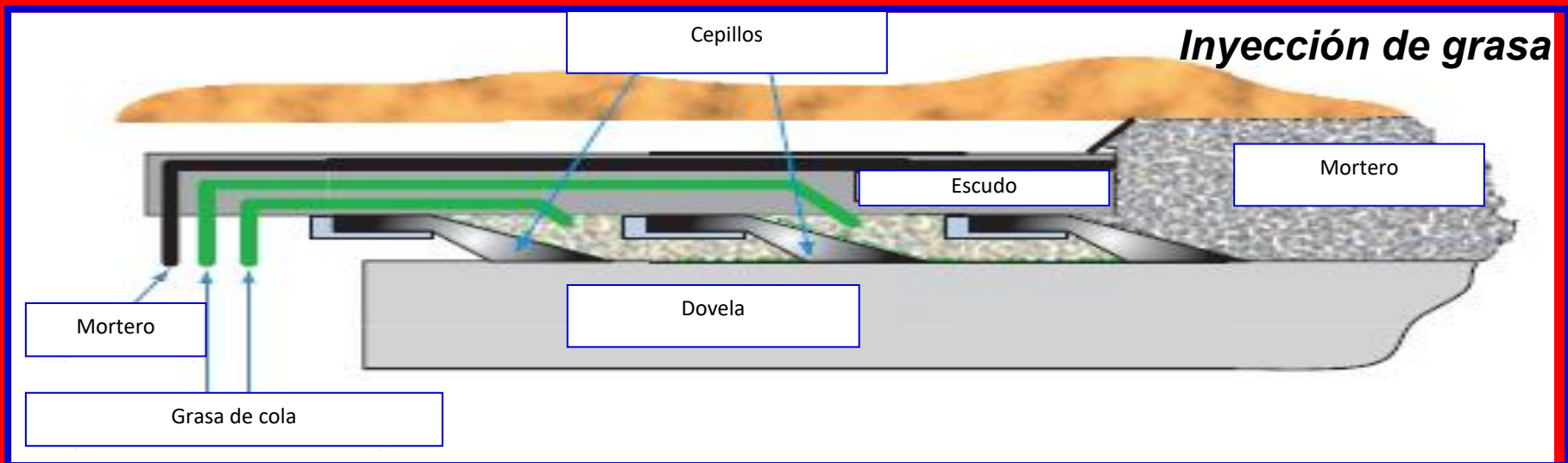
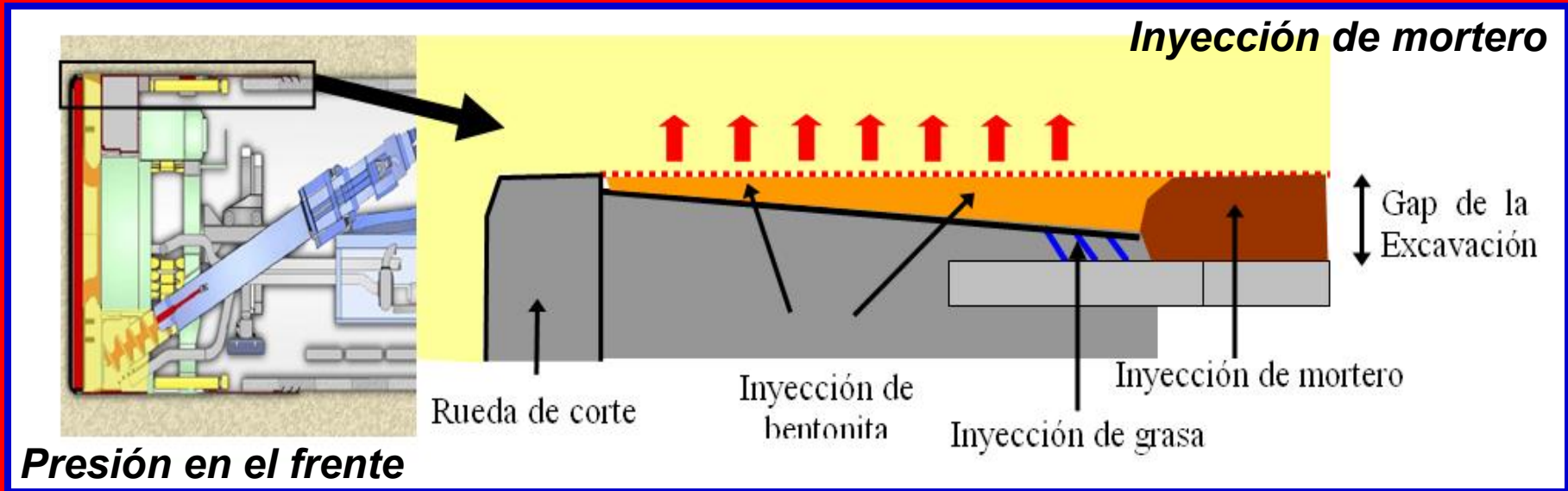
Categoría de Daños en Edificaciones

<i>Categoría del daño</i>	<i>Descripción del daño</i>	<i>Máximo asentamiento del edificio</i>	<i>Ancho aproximado de la grieta</i>
Daño apenas perceptible	Fisuras muy finas con espesor equivalente al de un cabello.	$s \leq 10 \text{ mm}$	$< 0.1 \text{ mm}$
Daño Muy Ligero	Fisuras que pueden ser tratadas y reparadas fácilmente. Se observan solamente de cerca y en algunas tabiquerías externas.	$10 < s \leq 50 \text{ mm}$	1 mm
Daño Ligero	Grietas que pueden ser rellenadas y reparadas. Grietas visibles externamente en tabiquerías. Las puertas y ventanas manifiestan una ligera trabazón.	$s > 50 \text{ mm}$	5 mm
Daño Moderado	Las grietas requieren cortes especiales y posiblemente se requieren cambiar algunos ladrillos de la tabiquería. Las puertas y ventanas manifiestan dificultad al abrir y cerrar. Se fracturan las tuberías de servicios públicos.	$s > 50 \text{ mm}$	$5 - 15 \text{ mm}$
Daño Severo	Se requieren reparaciones extensas en tabiquerías. Los marcos de las puertas y las ventanas se deforman. La planaridad de los pisos se pierde. Algunas vigas se deforman en forma importante y pierden su capacidad de carga. Se interrumpen funcionalmente las tuberías de servicios públicos.	$s \gg 50 \text{ mm}$	$15 - 25 \text{ mm}$ daño función del número de las grietas
Daño Muy Severo	Se requieren reparaciones mayores que involucran una total o parcial reconstrucción. Todas las vigas pierden su capacidad de carga. Las paredes se inclinan. Las ventanas se rompen por la distorsión angular y hay peligro de inestabilidad o colapso en estructuras.	$s \ggg 50 \text{ mm}$	$> 25 \text{ mm}$ daño función del número de las mismas

Daños en Edificaciones vs. Distorsión Estructural

<i>Descripción del daño</i>	<i>Limite de angular β</i>	<i>Fuente Autores</i>
Límite seguro para evitar grietas	1/500	Skempton & Mac Donald (1956)
Límite de aparición de grietas en tabiquerías aporticadas y paredes de carga	1/300	Skempton & Mac Donald (1956)
Limite de aparición de daños estructurales en vigas y columnas	1/150	Skempton & Mac Donald (1956)
Límite de aparición de grietas en paredes de carga y en paredes o en muros continuos de ladrillo	1/1000	Meyerhof (1956)
Límite de aparición de agrietamientos en marcos estructurales no rellenos	1/500	Meyerhof (1956)
Límite de agrietamiento en columnas y en vigas de pórticos estructurales	1/250	Meyerhof (1956)
Límite seguro donde no hay agrietamiento en pórticos de estructuras metálicas y de concreto armado	1/500	Polshin & Tokar (1957)
Límite de agrietamientos en estructuras donde no aparecen asentamientos diferenciales (no uniformes) de fundaciones.	1/200	Polshin & Tokar (1957)
Límite de rotación de estructuras rígidas tales como torres, silos chimeneas y otros)	1/250	Polshin & Tokar (1957)

Prevención de los Asentamientos del Terreno



LEGENDA

Asentamientos (m)

0 - 0.005	0.045 - 0.050
0.005 - 0.010	0.050 - 0.060
0.010 - 0.015	0.060 - 0.070
0.015 - 0.020	0.070 - 0.080
0.020 - 0.025	0.080 - 0.090
0.025 - 0.030	0.090 - 0.100
0.030 - 0.035	0.100 - 0.110
0.035 - 0.040	0.110 - 0.120
0.040 - 0.045	0.120 - 0.130

— Alineamiento de trazado

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

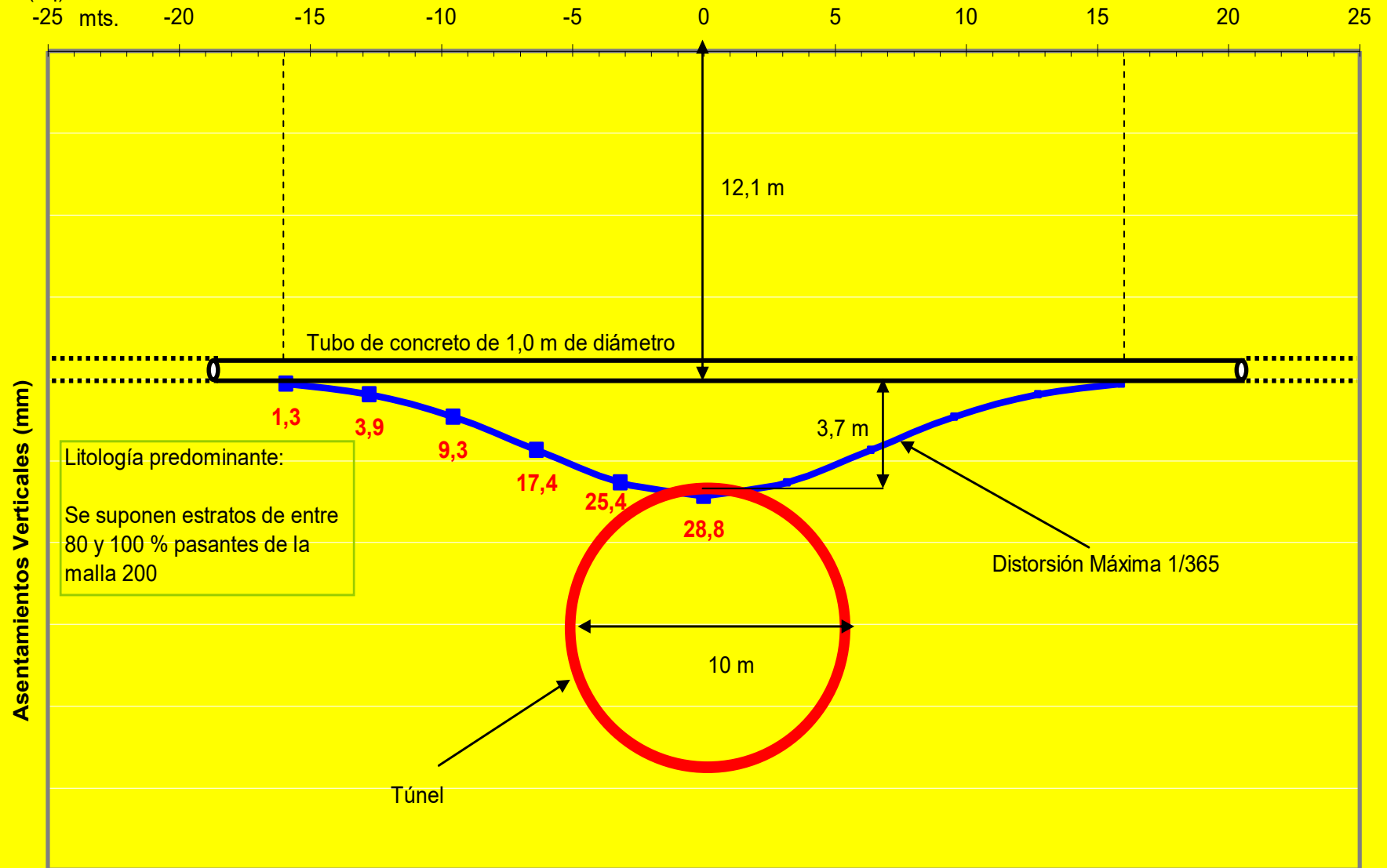


ESCENARIO CON PERDIDA DE VOLUMEN DEL 1%

Estimación de pérdida de material
de excavación: 0,5 %
K (eq): 0,7

GRÁFICO DE ASENTAMIENTOS VERTICALES

Cloaca Máxima Progresiva 8+113



ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS

Estimación de pérdida de material
de excavación: 0,3 %

K (eq): 0,7

-25 mts.

-20

-15

-10

-5

0

5

10

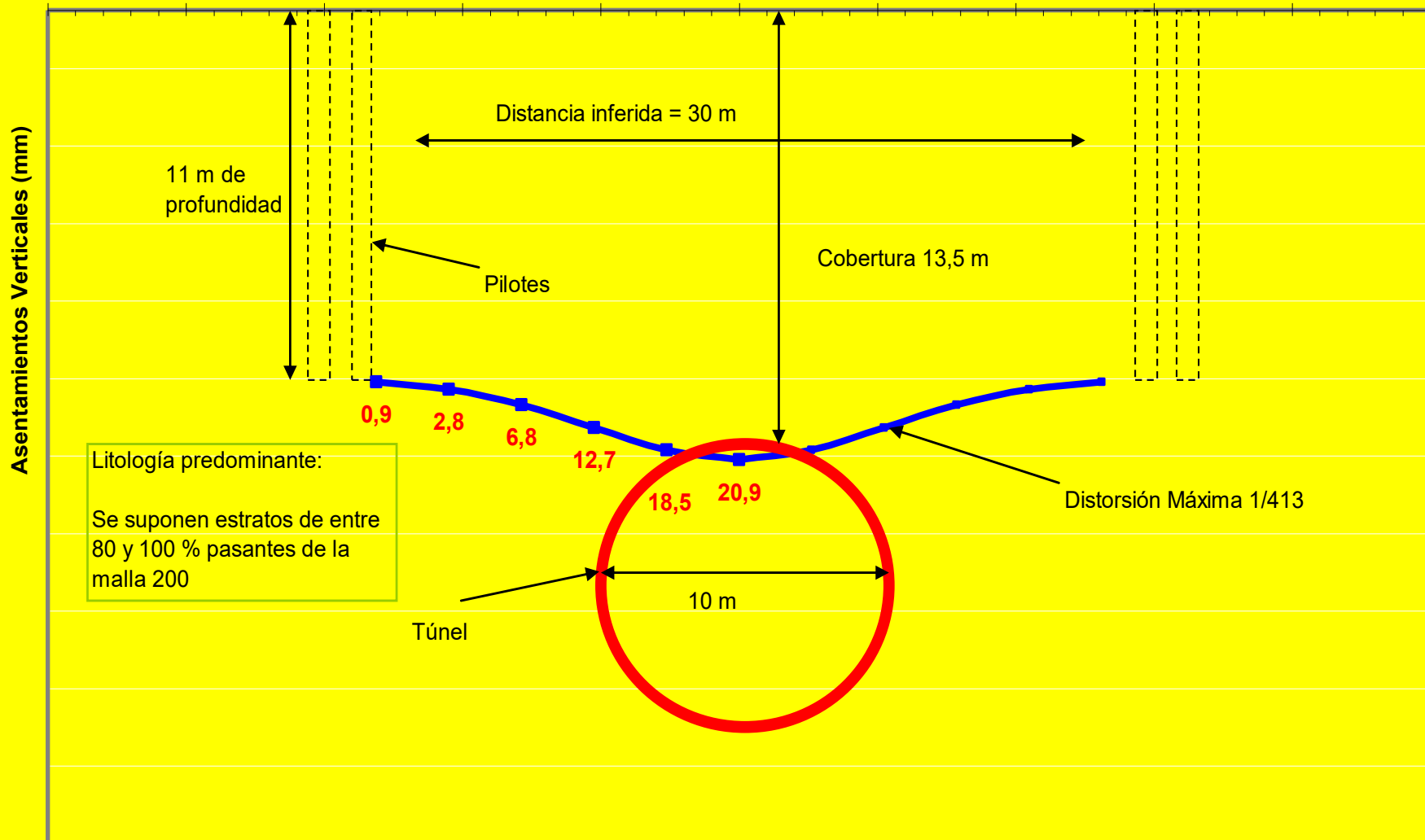
15

20

25

GRÁFICO DE ASENTAMIENTOS VERTICALES

Puente General Paz Progresiva 11+900



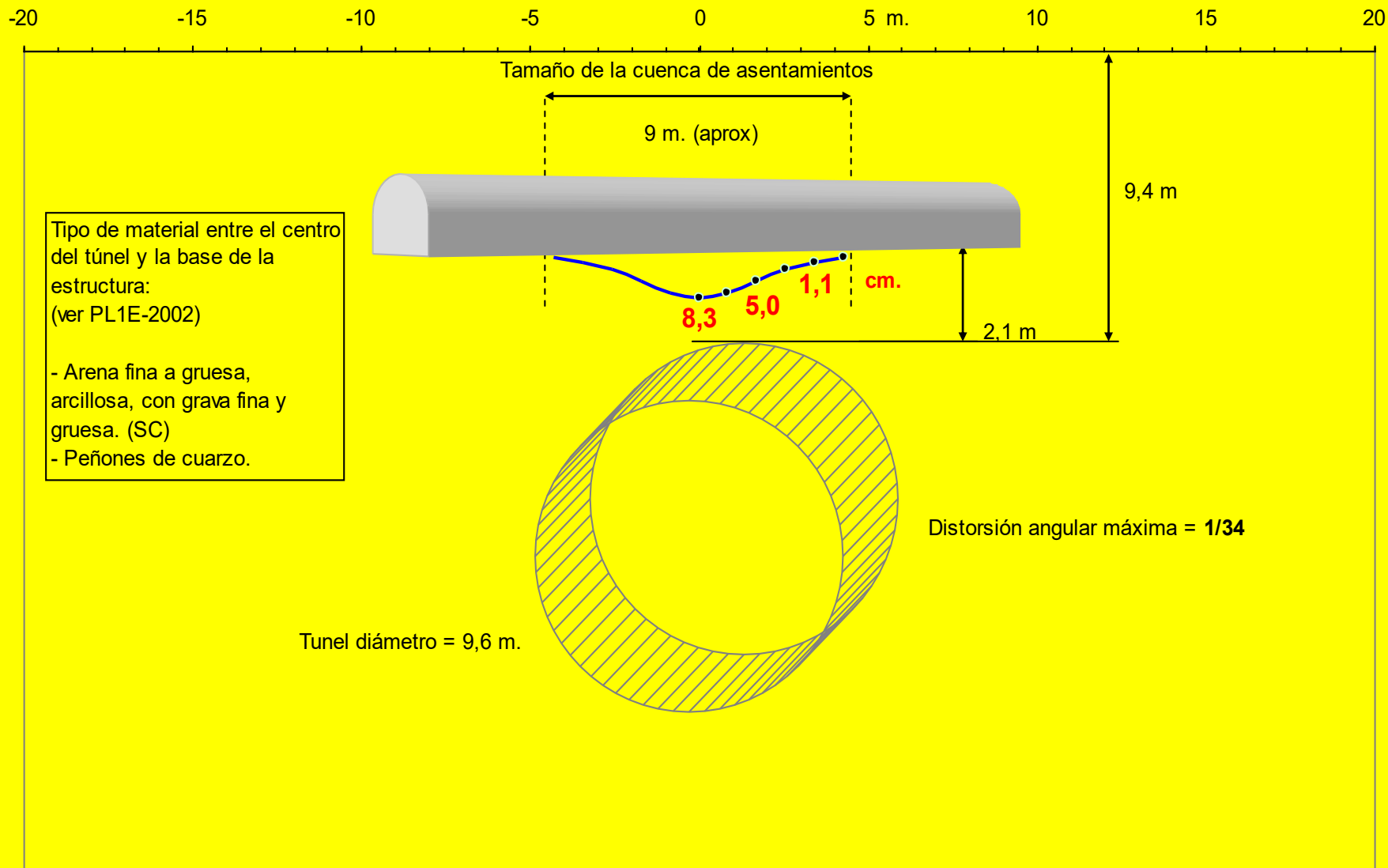
ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS

Progresiva 8+884

Pérdida de material de excavación estimado: 0,5 %

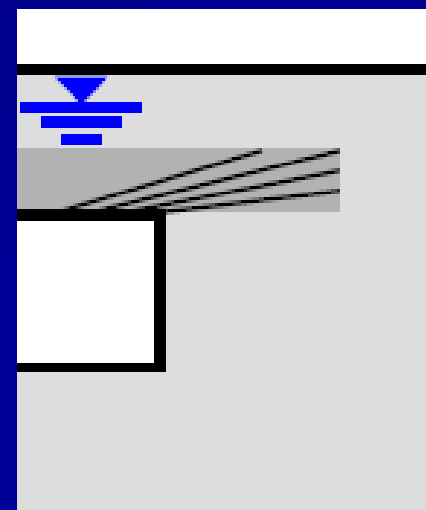
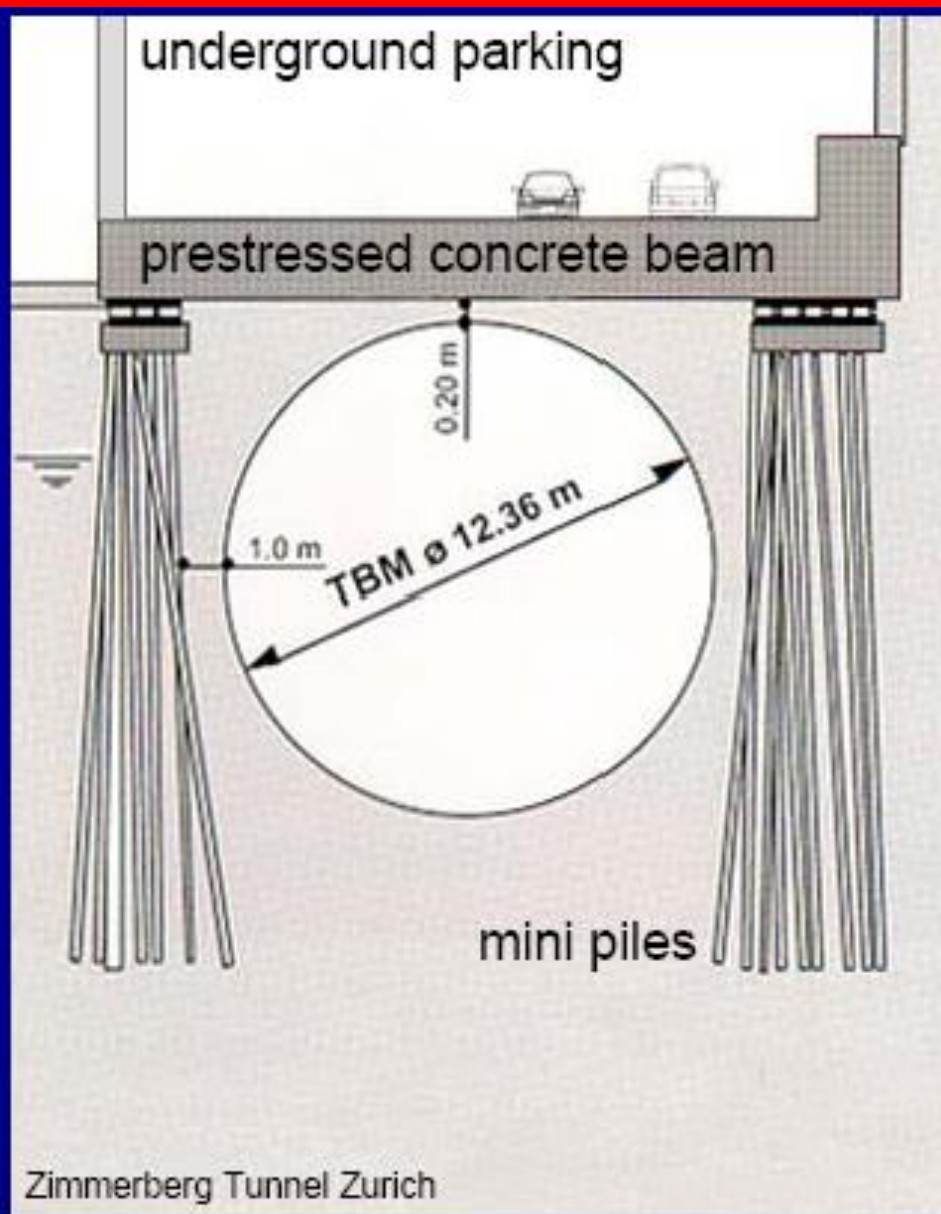
K equivalente = 0,25

Asentamientos Verticales Quebrada El Añil

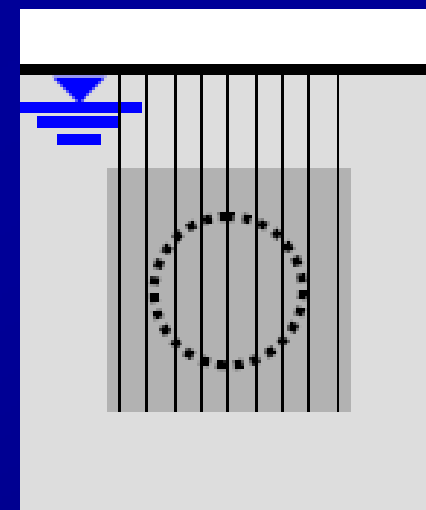


ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

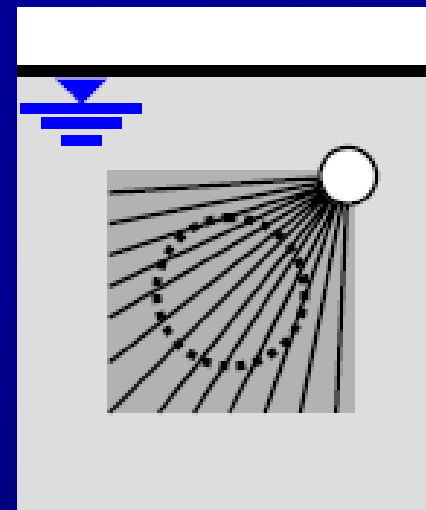
Limitación de los Asentamientos del Terreno



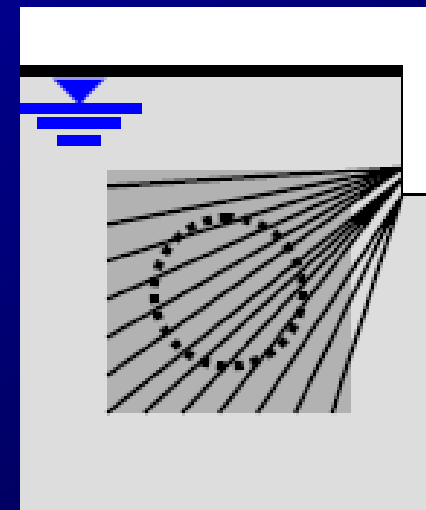
TBM



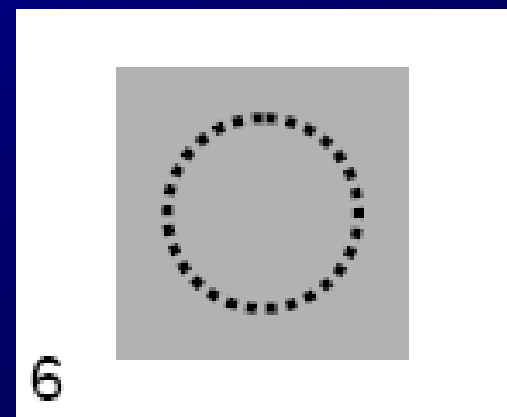
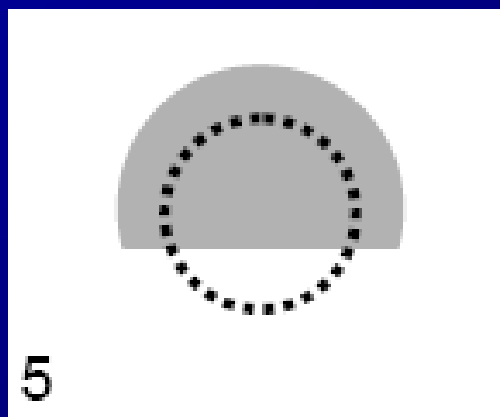
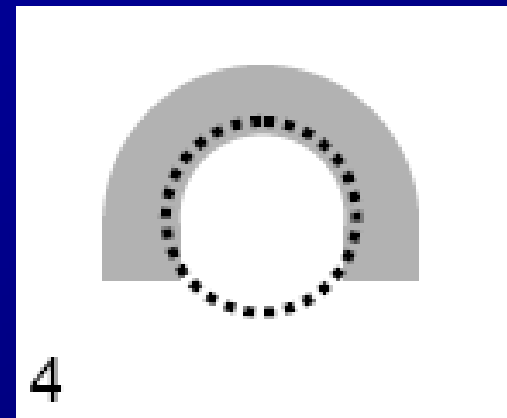
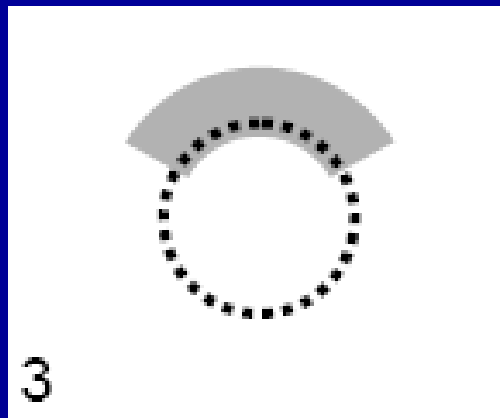
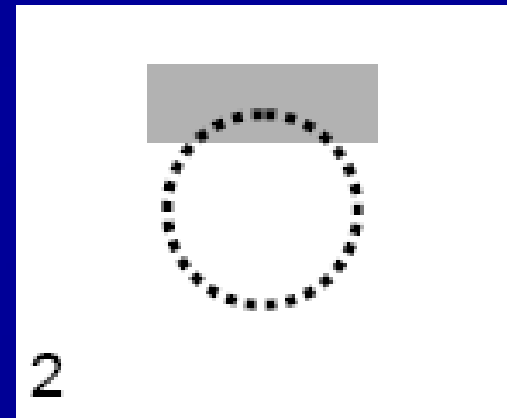
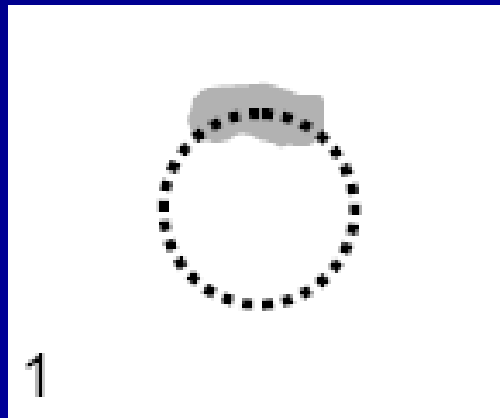
surface



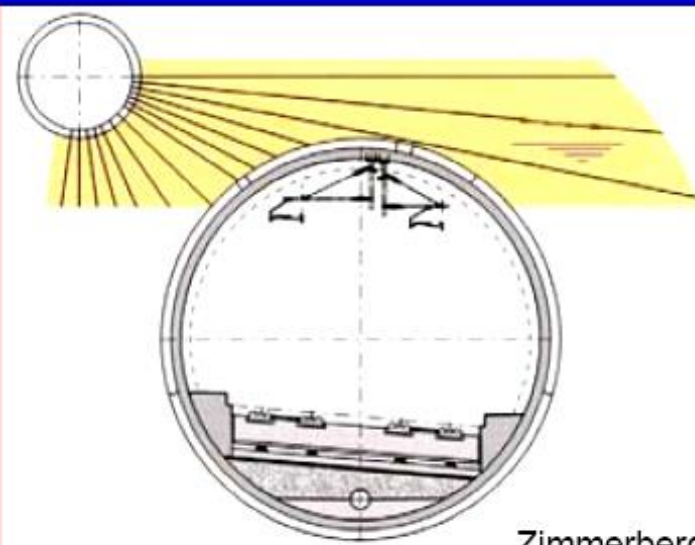
auxiliary tunnel



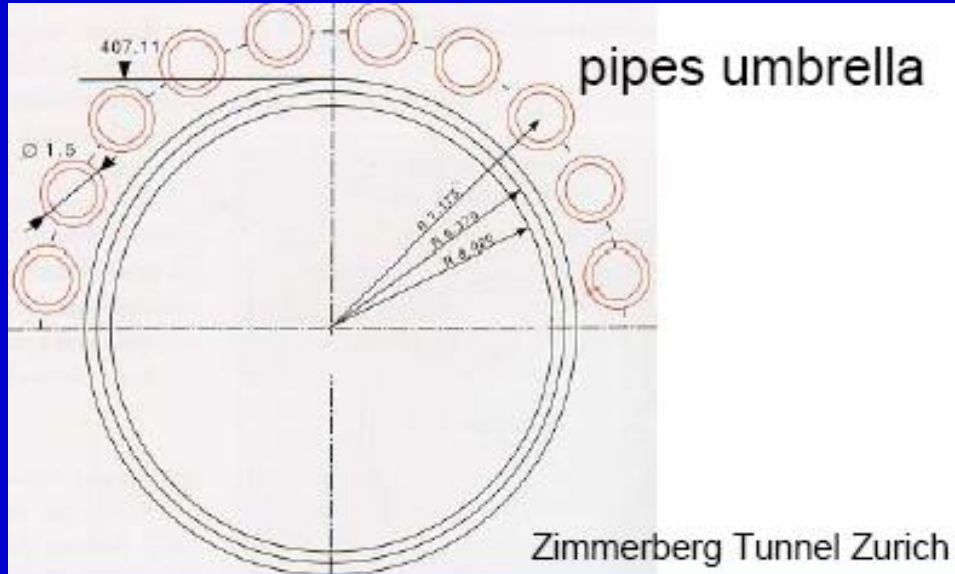
shaft



Limitación de los Asentamientos del Terreno

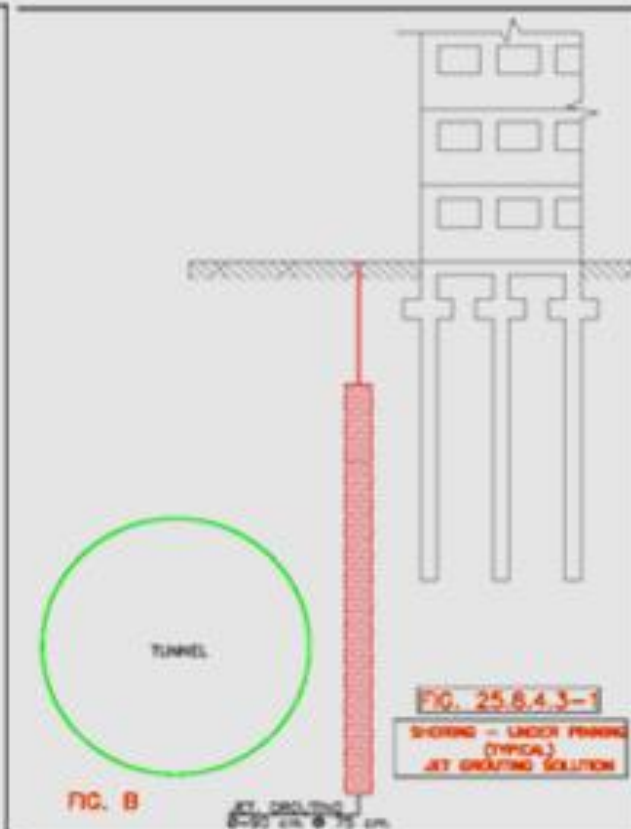
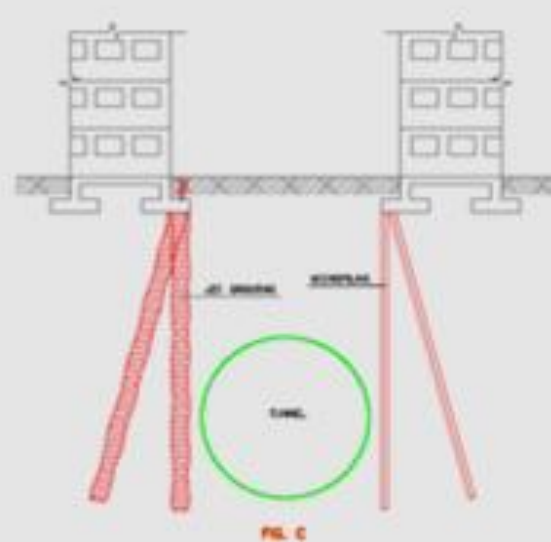
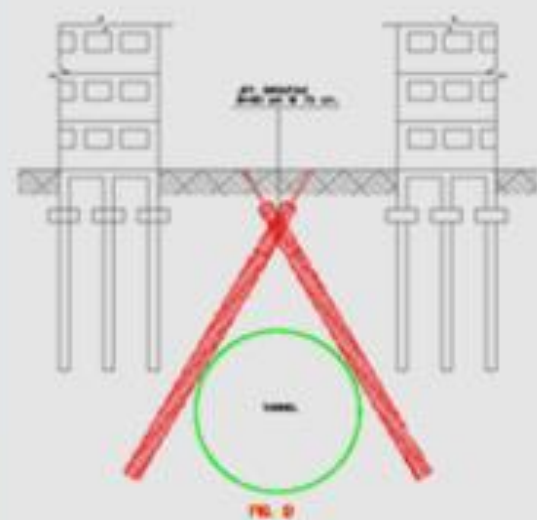
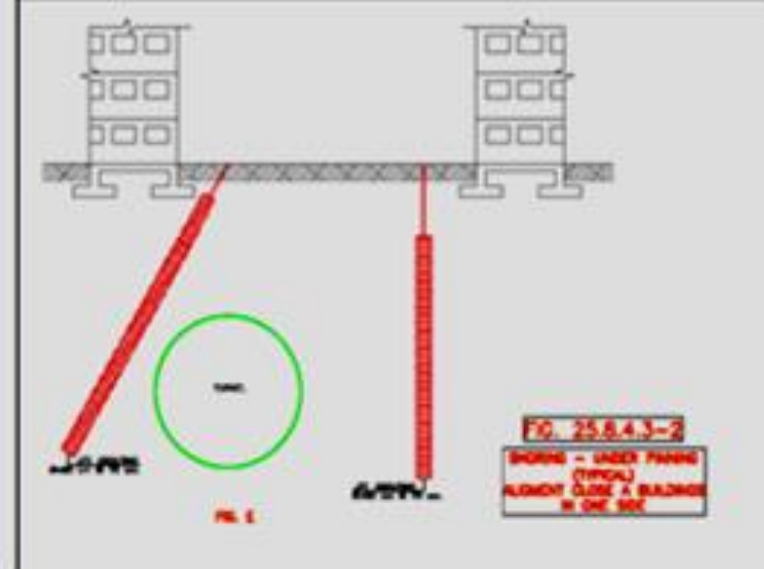


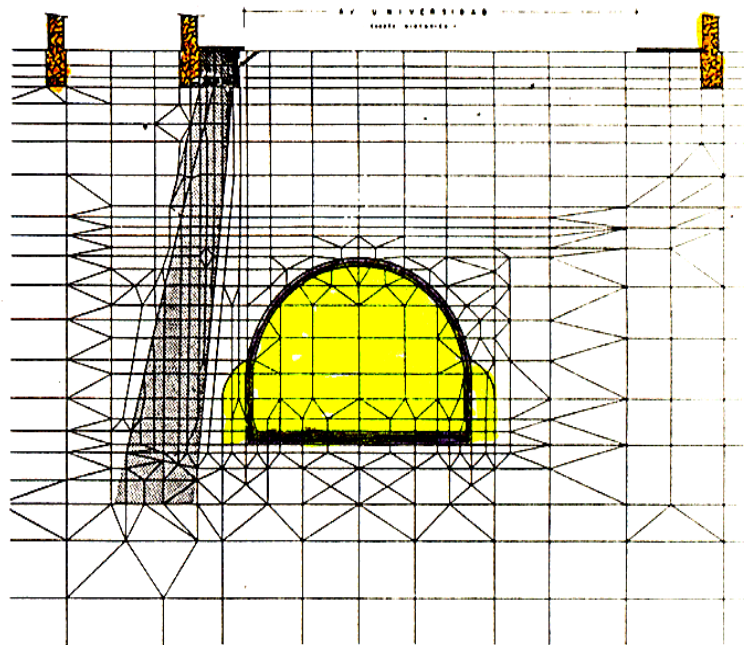
Zimmerberg Tunnel Zurich



Zimmerberg Tunnel Zurich







Línea 1 Metro de Caracas

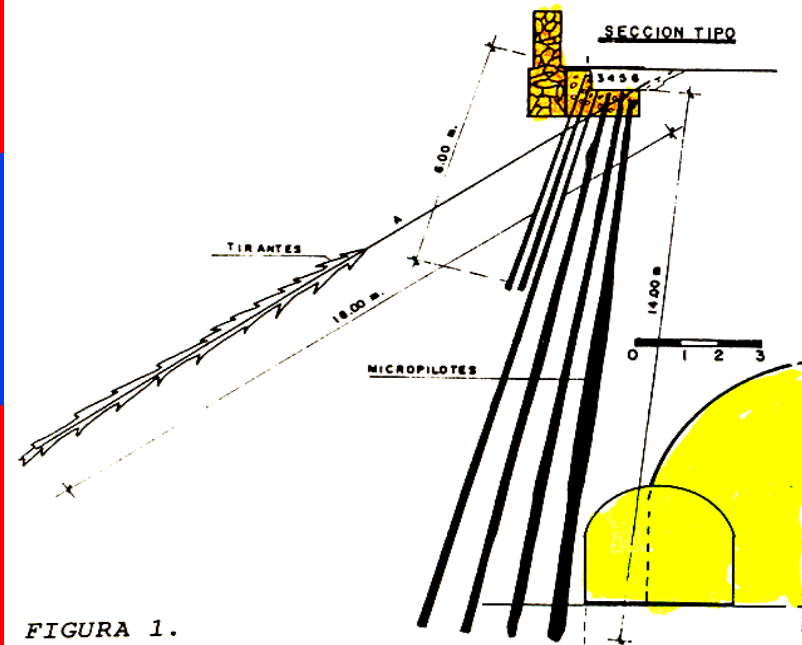
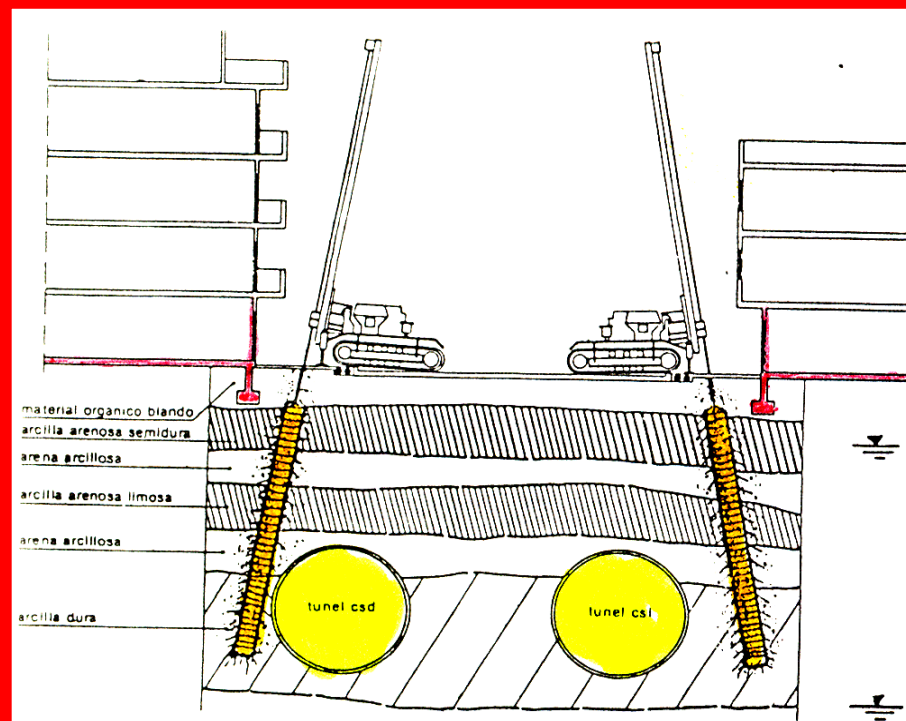
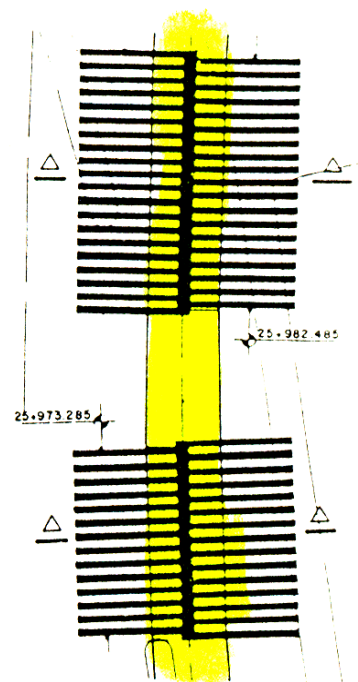
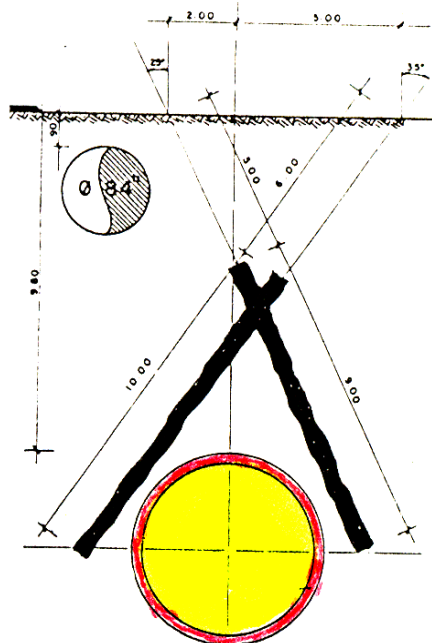
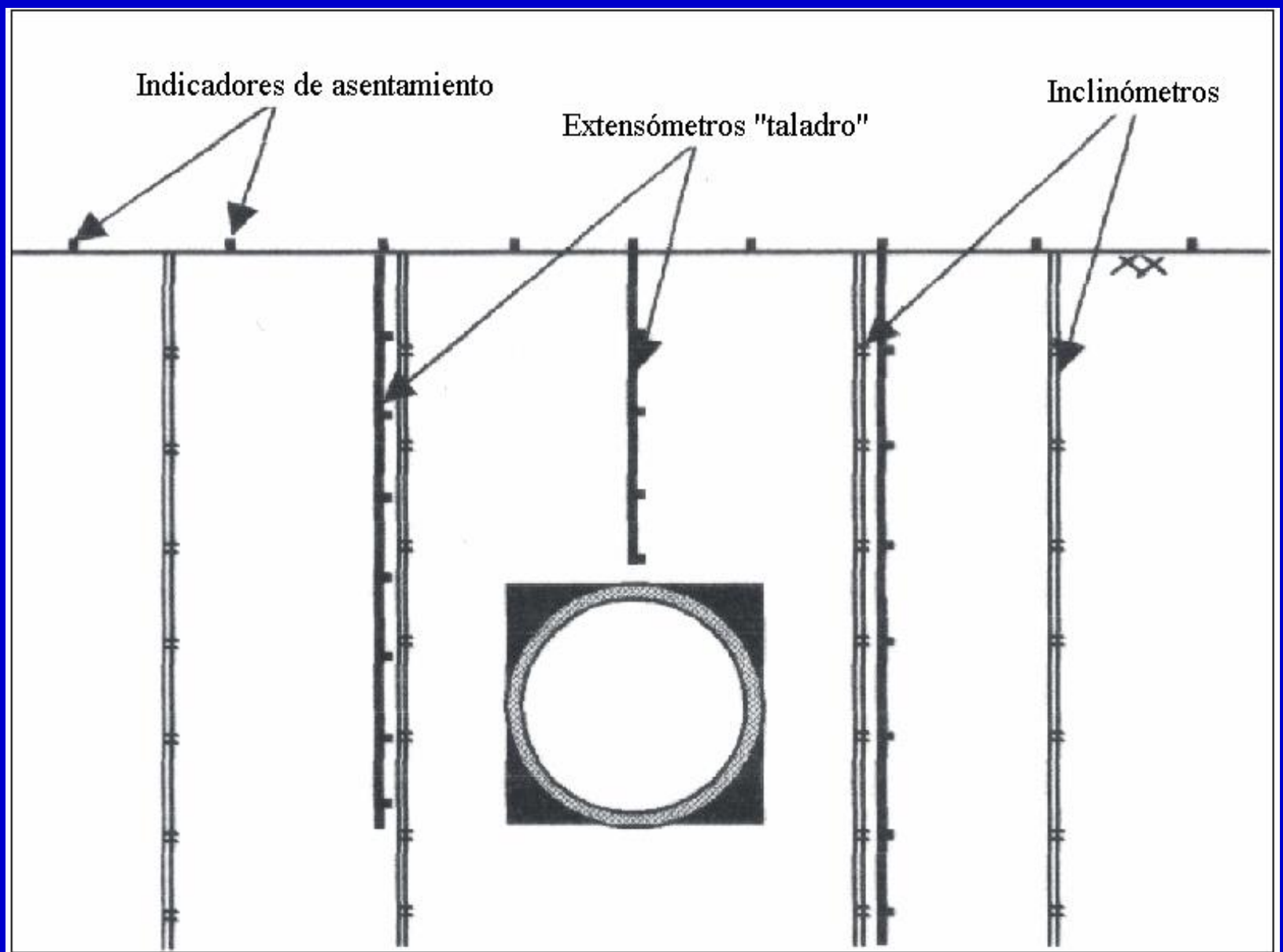


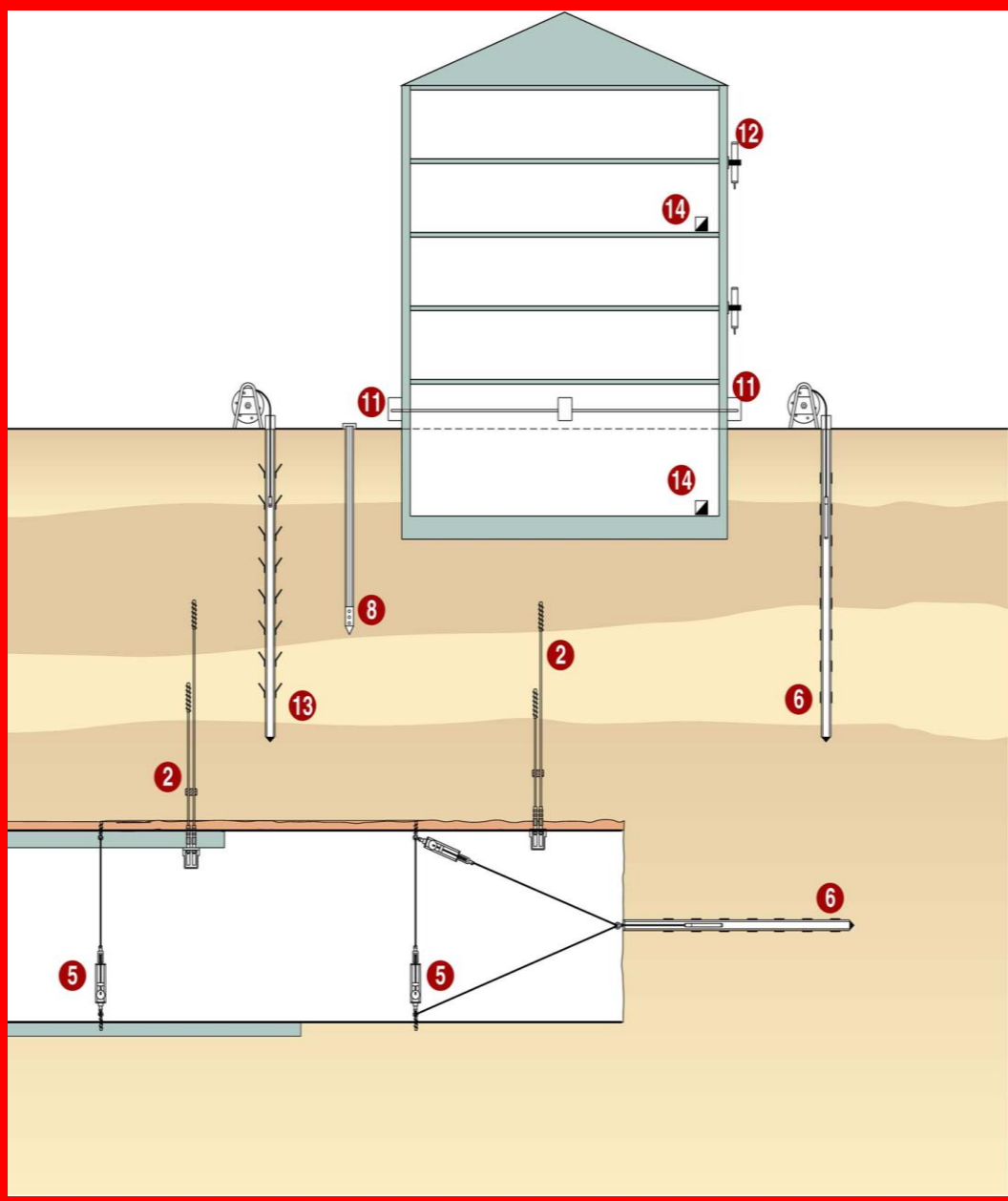
FIGURA 1.



MEDICIÓN de DEFORMACIONES y ASENTAMIENTOS



INSTRUMENTACIÓN y MONITOREO



2 Estensimetri multibase

Movimenti della roccia/terreno nell'intorno dello scavo

5 Misuratore di convergenza

Deformazioni sagoma galleria

6 Estensimetro incrementale

Cedimenti e assestamenti, estrusione

8 Colonna piezo-assestimetica

Controllo della piezometrica e dei cedimenti

11 Sistema livellometrico DSM

Misura dei cedimenti differenziali

12 Clinometro di superficie

Misura di verticalità su strutture

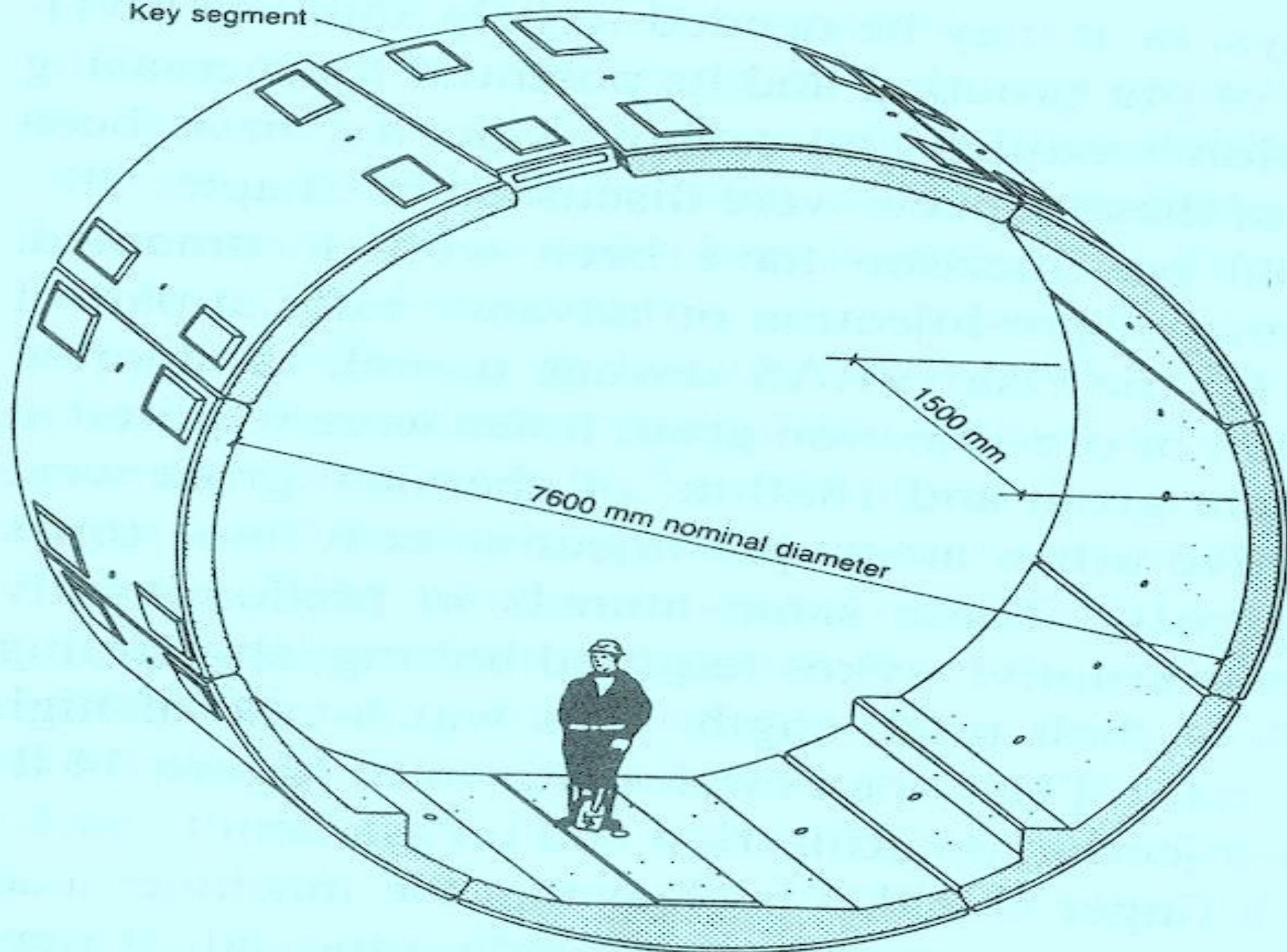
13 Assestometro magnetico

Cedimento del terreno di copertura

14 Accelerografo Smach

Monitoraggio delle vibrazioni durante gli scavi

Key segment





FORMAS DE LAS DOVELAS DE LOS ANILLOS

Trapezoidale



Rettangolare



A nido d'ape

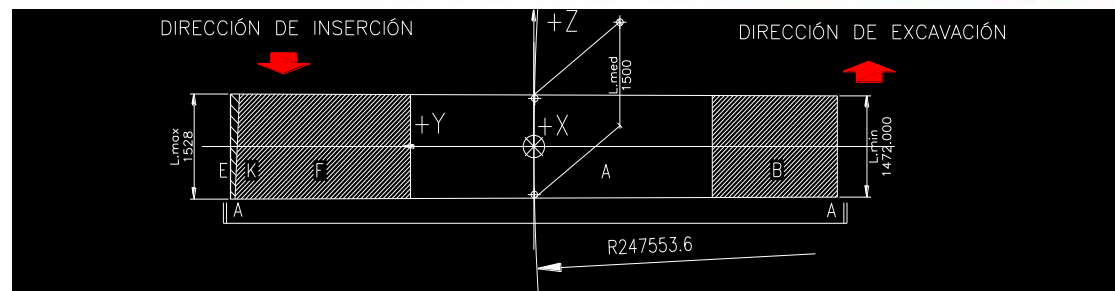


Romboidale

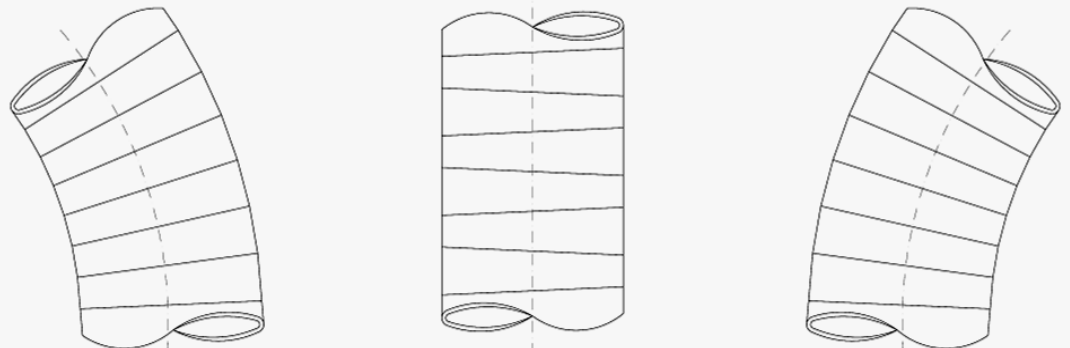
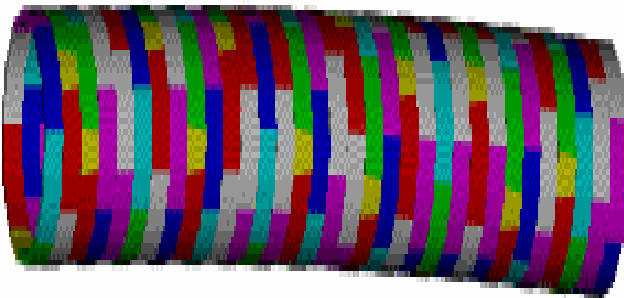
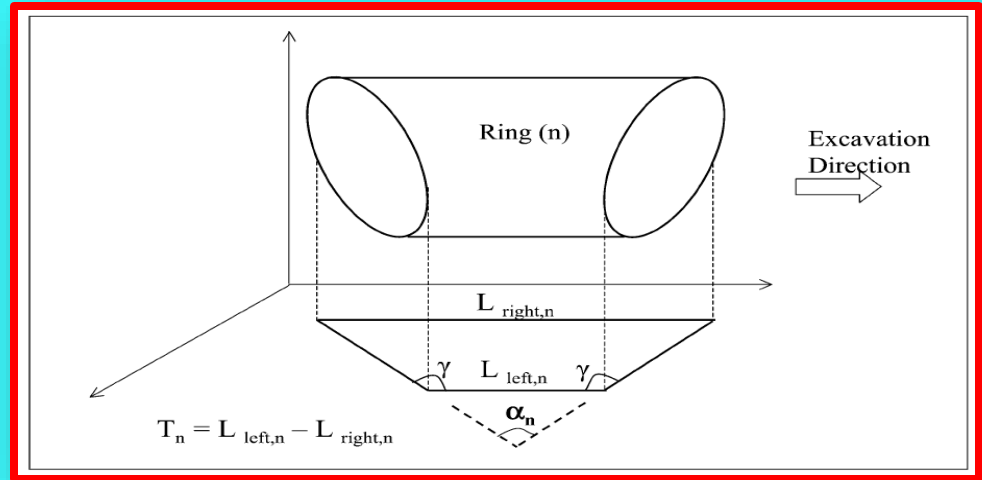
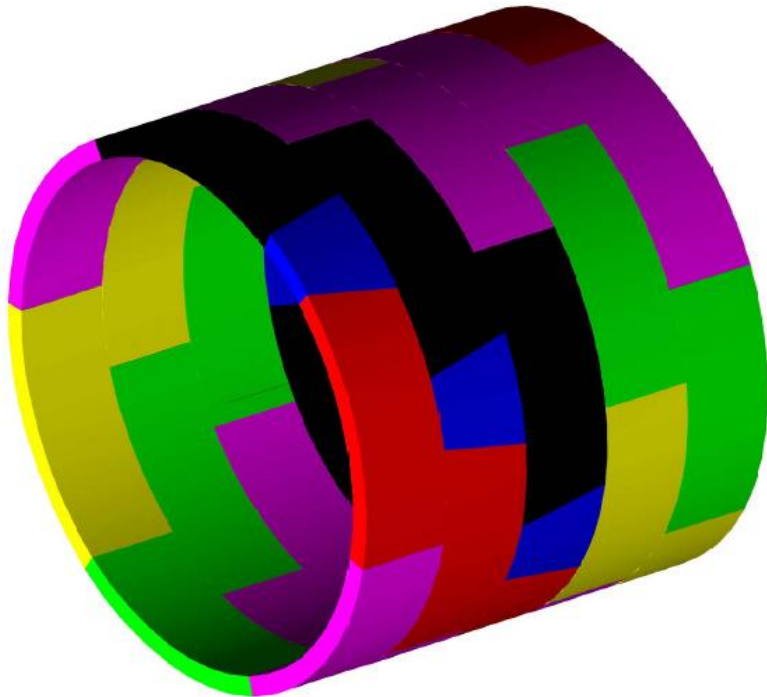


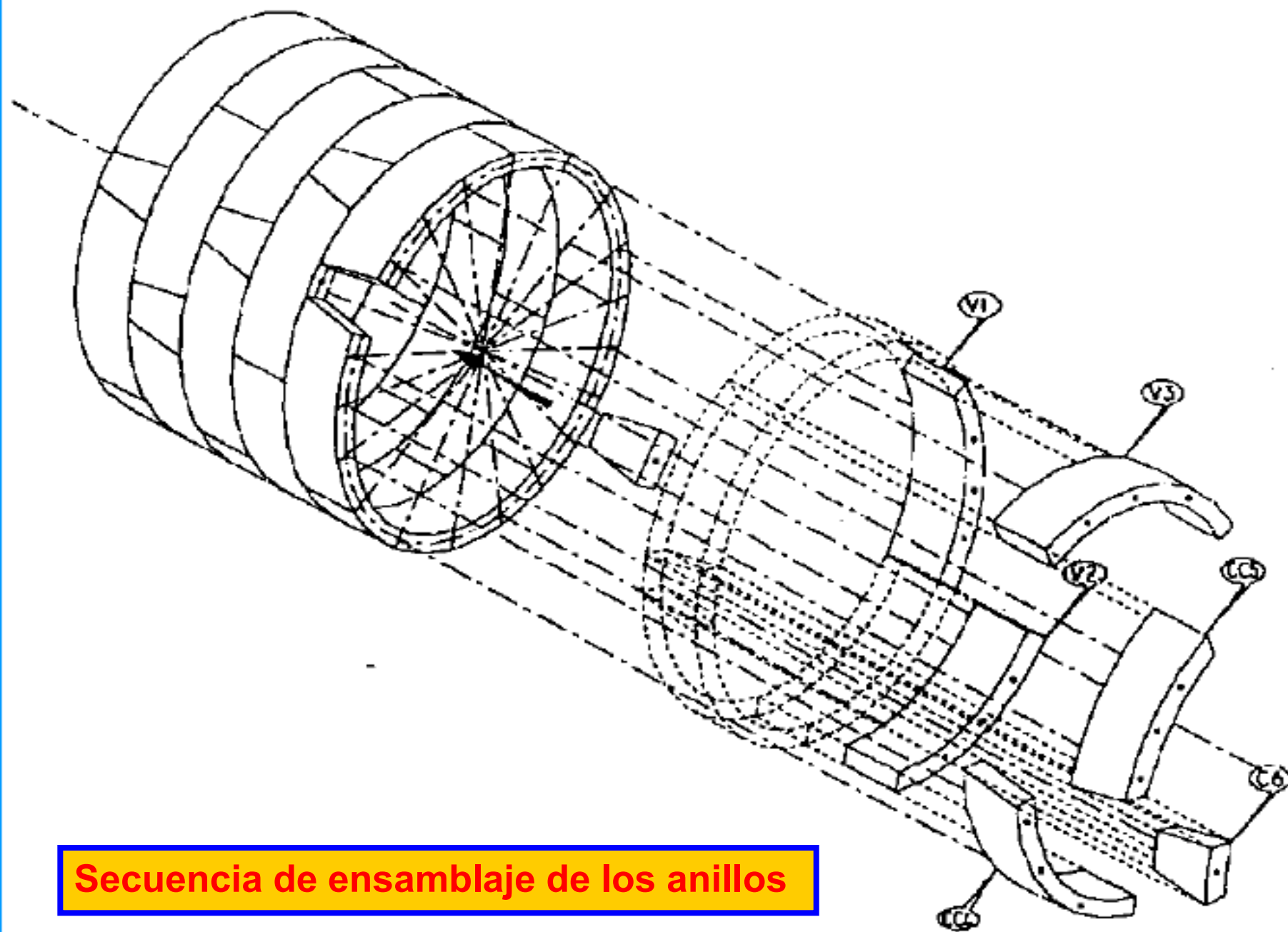
El Anillo Universal

La característica geométrica fundamental de un anillo universal se basa en el hecho que las dos secciones terminales del mismo no son paralelas (conicidad del anillo); en consecuencia los segmentos que componen el anillo tienen longitudes diferentes entre ellos, variables a lo largo del perímetro. La propiedad geométrica es su conicidad, o sea la diferencia entre su longitud máxima y su longitud mínima



El Anillo Universal

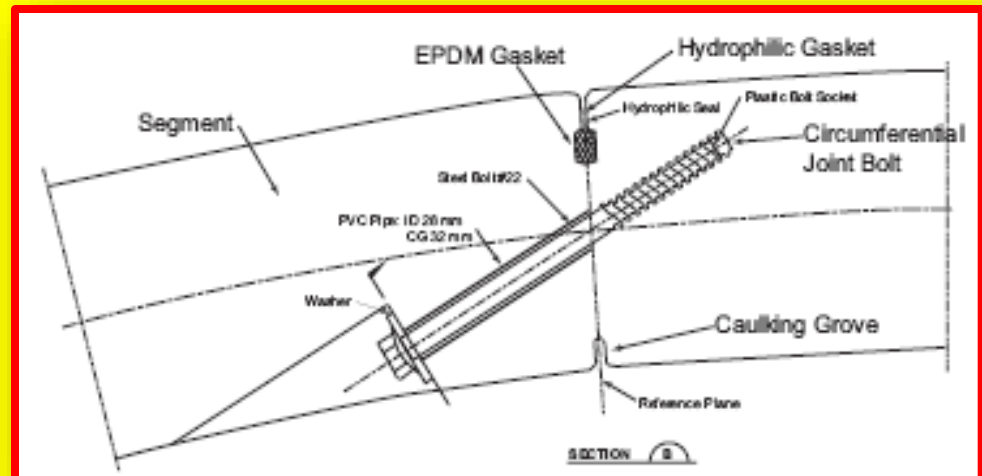
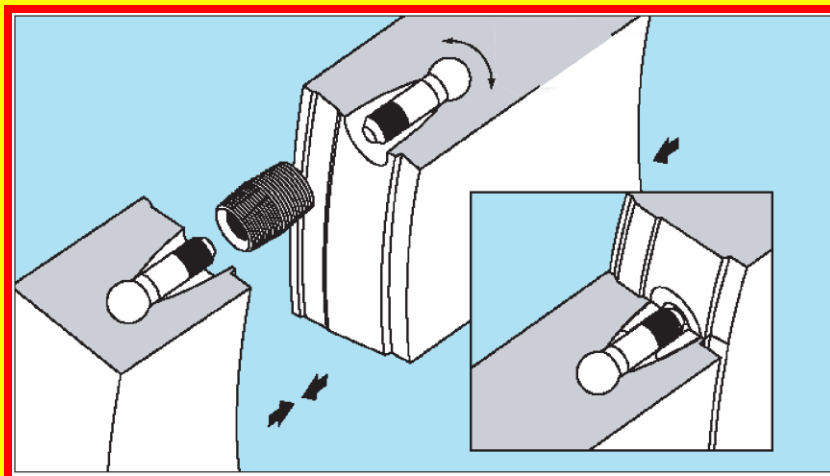
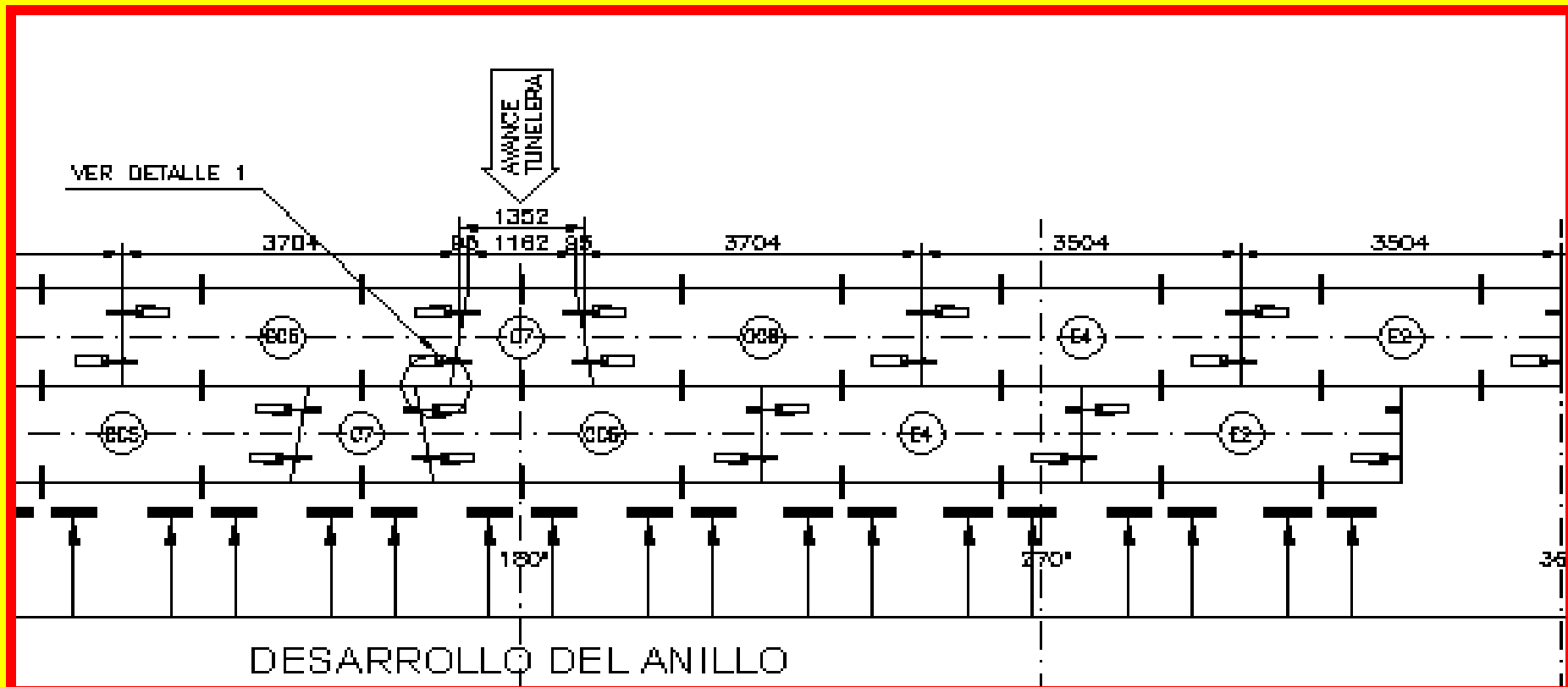


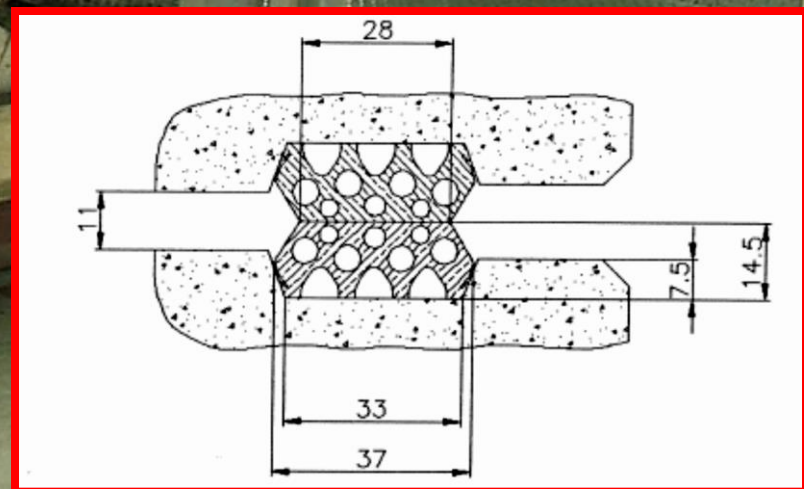
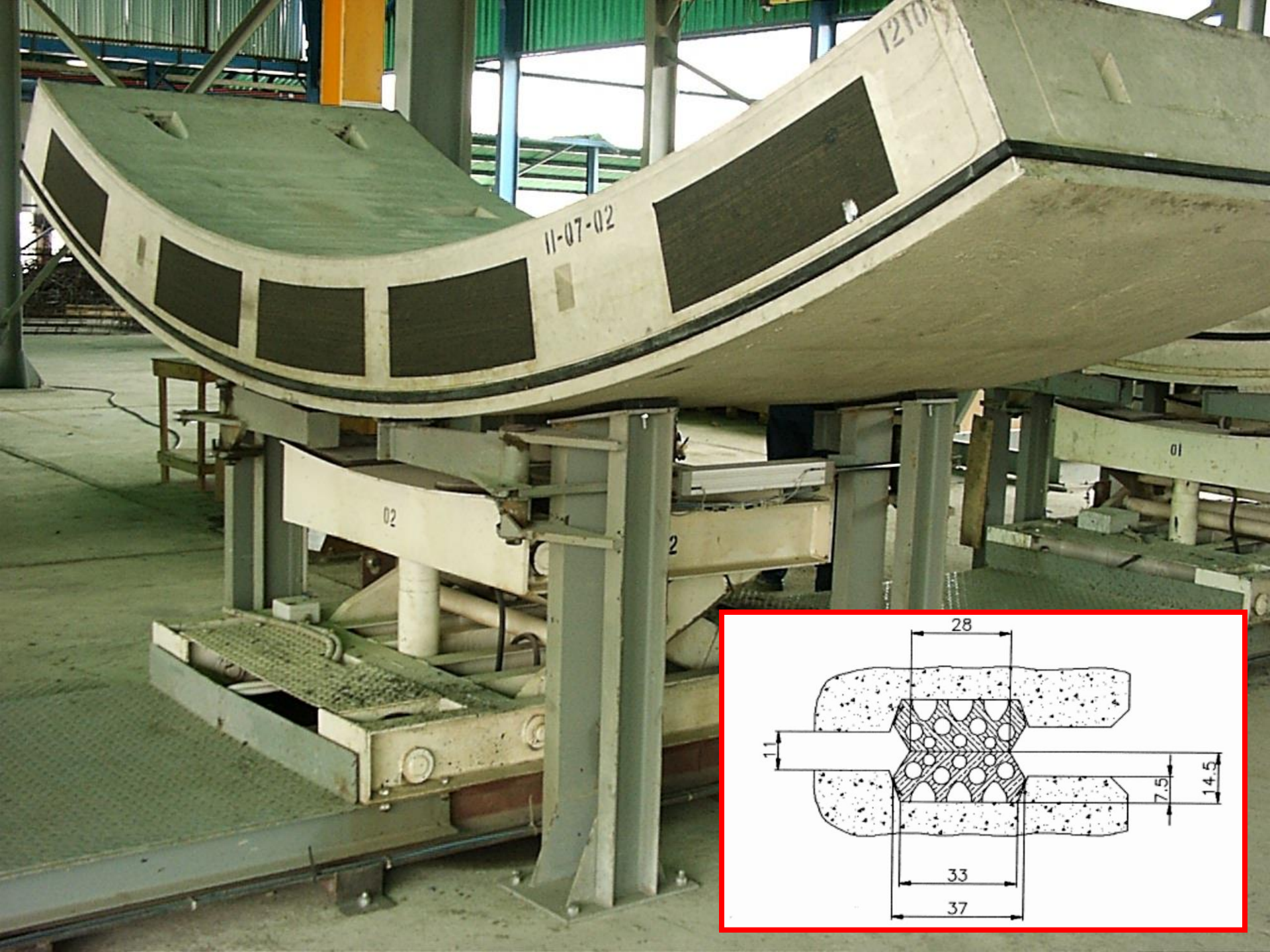


Secuencia de ensamblaje de los anillos



















28 6 2001





TBM EPB *“Martina”*

Actualmente
la más
grande
TBM-EPB
del mundo
con diámetro
de 15,62 m.
está
excavando
el túnel
“Sparvo”
en una
autopista
italiana

