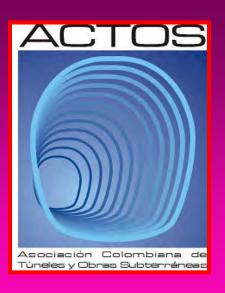
CONSTRUCCIÓN MECANIZADA DE TÚNELES URBANOS MEDIANTE "TBM"

Gianfranco Perri

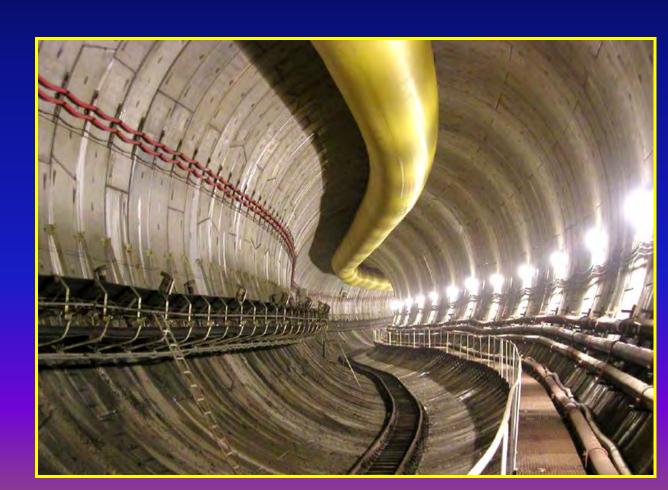




CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN AMBIENTES URBANOS con "TBMs"

Gianfranco Perri







Sistemas constructivos para Metros: Túneles excavados con TBMs

prof. Gianfranco Perri



Bogotá 8 de Noviembre 2014

























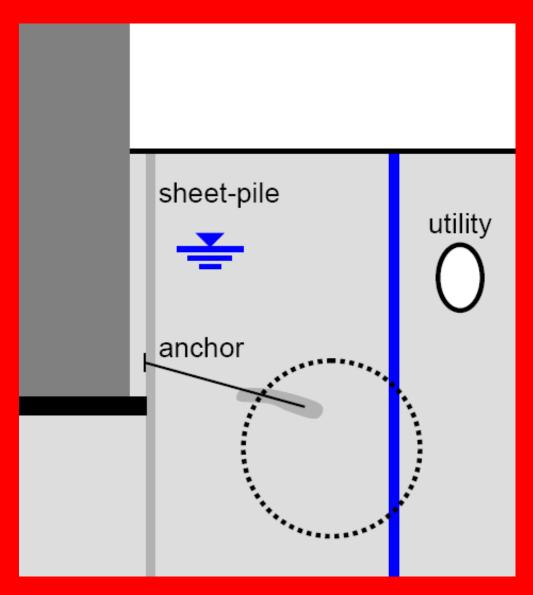
TÚNELES URBANOS: Peculiaridades

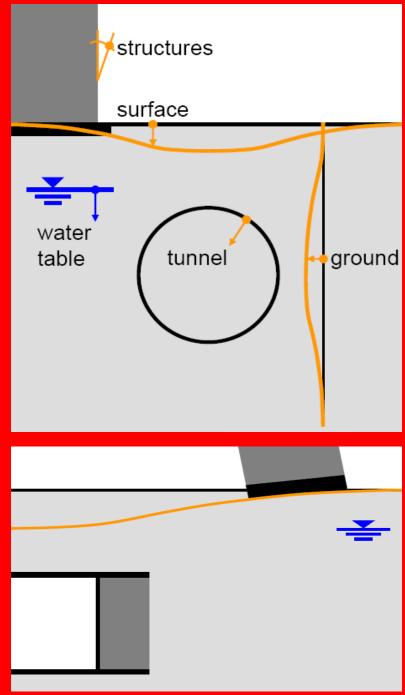
- Excavación con Coberturas Bajas (ó muy bajas)
- Excavación en Terrenos Incompetentes (generalmente suelos y no rocas)
- Excavación bajo Nivel Freático (estacional ó permanente)
- Sub-paso ó paso adyacente de Servicios (superficiales ó sub-superficiales)
- Sub-paso ó paso adyacente de Estructuras (superficiales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

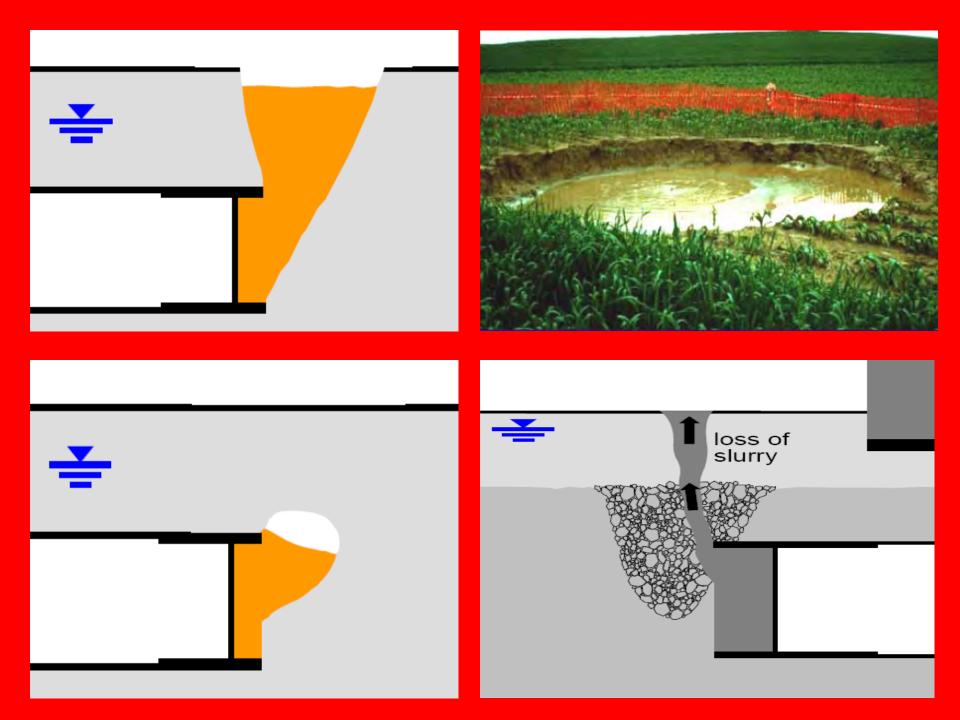
TÚNELES URBANOS: Implicaciones de las Peculiaridades

- 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

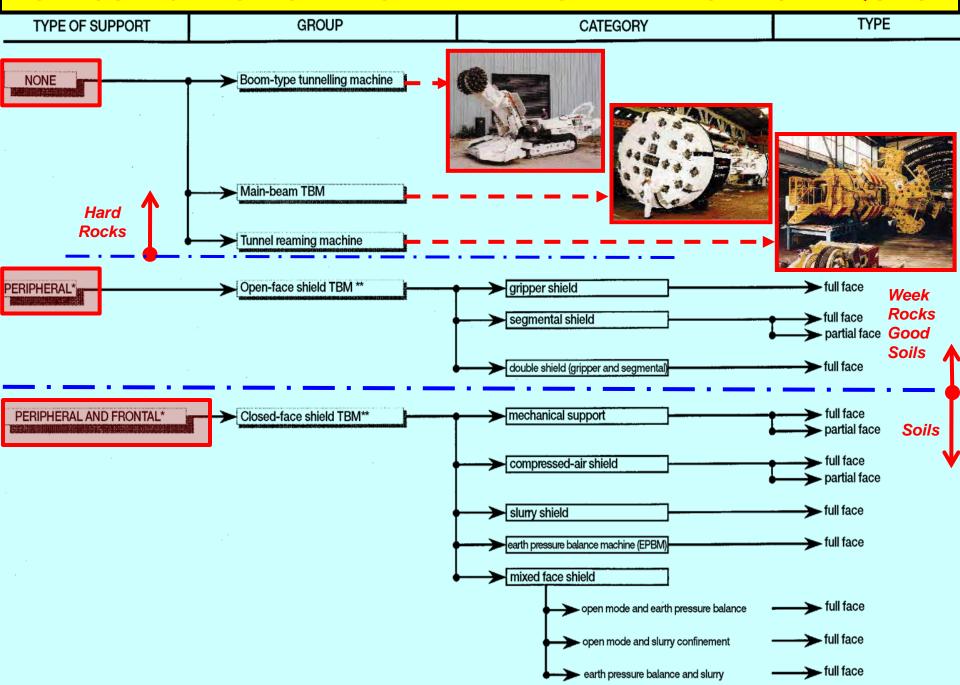
Interferencias - Deformaciones - Asentamientos







CLASSIFICATION OF MECHANIZED TUNNELLING TECHNIQUES

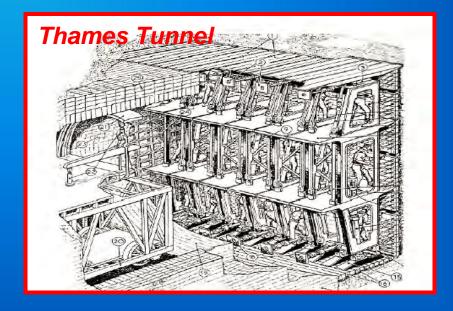


Las TBM de Escudos de frente completamente abierto, ó parcialmente y mecánicamente cerrado cuando el frente era muy inestable, fueron las primeras en ser utilizadas cuando, hacia 1850, se emplearon para la excavación de túneles urbanos en terrenos muy blandos.

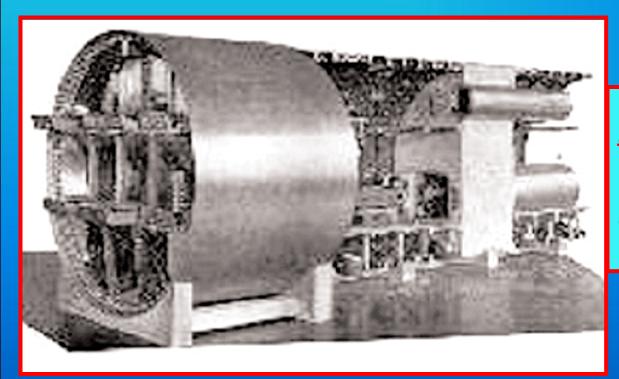
Consistían esencialmente de un cilindro metálico (el escudo), protector de la cavidad próxima al frente, dentro del cual se ensamblaba y se instalaba el revestimiento del túnel contra el cual accionaba el sistema de empuje que hacía posible la progresión del avance del túnel, mientras el frente se excavaba 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 para el metro de la capital inglesa. En 1879, en el Reino Unido, se construyó el Greathed Tunnel





Para controlar la estabilidad del frente del túnel en las excavaciones que debieron ejecutarse debajo del nivel freático ó, en otros casos, bajo condiciones de terrenos especialmente difíciles, a las TBM de Escudos se le añadió el uso de las tecnologías neumáticas a integración ó en substitución de los medios de soporte del frente que, actuando de manera puramente mecánica, habían sido empleados originalmente.



Uno de los primeros

<u>Escudos de aire comprimido</u>

fue el que se empleó en

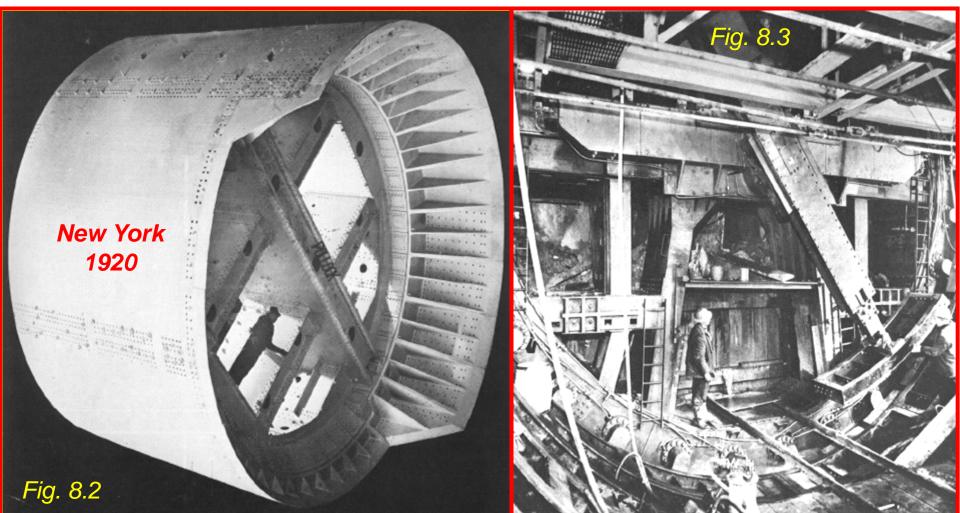
1907 para la excavación

del Steinway Tunnel en NY.

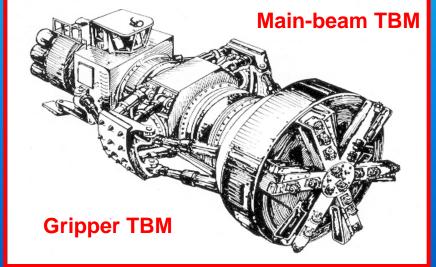
(now Queensboro Tunnel)

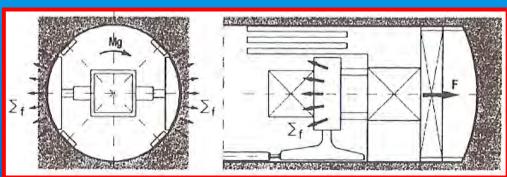
The minimum length of the skin is determined by (a) the minimum width of the working space needed to excavate the ground ahead of the internal structure, (b) the dimensions of the jacks, and (c) the necessity for the tail of the shield to always overlap the tunnel lining by at least a half-course when 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



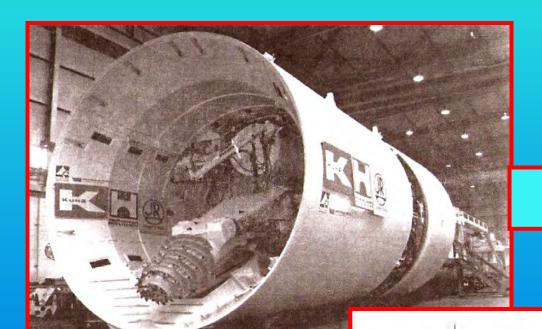
Las TBM de Topos para terrenos duros y sucesivamente rocas duras, aparecen prácticamente un siglo después de las de Escudos cuando, entre 1930 y 1960, son de hecho aplicaciones directas y progresivas de aquellos escudos de rueda de frente abierto para la excavación de terrenos cada vez más competentes, 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.





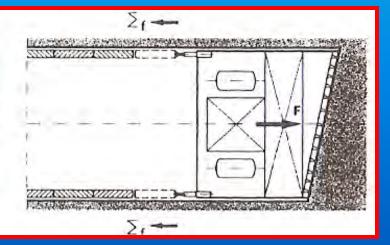
El paso inmediatamente siguiente en la evolución de las primeras TBM de Escudos consistió en añadirle medios mecánicos de excavación, en substitución o a integración de los originales medios manuales y semi-manuales.

Inicialmente fueron los medios mecánicos puntuales "de brazos mecánicos" y sucesivamente fueron los medios mecánicos integrales "de ruedas".



Escudo de Brazo Mecánico Alpine Westfalia – Metro de Munich

Esquema básico de Escudo de cabeza giratoria - ó "de rueda"-



Los Escudos de Brazo Hidráulico, en algunos casos, también fueron construidos incorporando el control de la estabilidad mediante aire comprimido en la cámara del frente, con el eventual complemento de las compuertas mecánicas, a usarse para las suspensiones de las labores ó en las emergencias.



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, en algunos casos recurrían a escudos presurizados neumáticamente para estabilizar el frente y, en todo caso, 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 de pequeñas aberturas tipo ventanas que podían regularse mecánicamente.

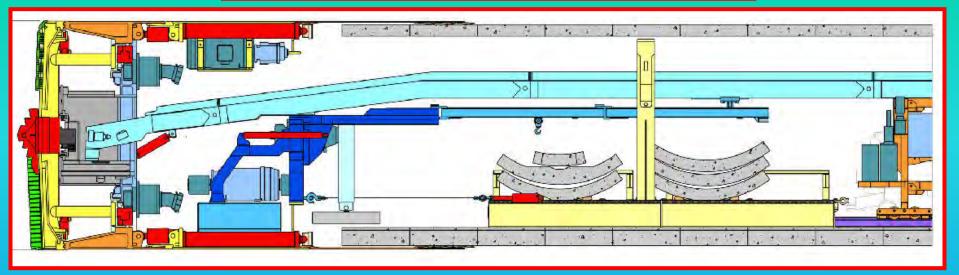
Ambas tecnologías originalmente utilizadas en las **TBM de Escudos** de rueda para excavar en terrenos blandos (sea la presurización neumática del entero escudo y sea las compuertas apalancadas hidráulicamente) han sido prácticamente abandonadas entre finales de los años 80 y comienzos de los años 90 para ser sustituidas por las tecnologías de **TBM con frente en presión**, mientras para los túneles excavados en terrenos relativamente blandos pero con frentes relativamente estables, aún 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.



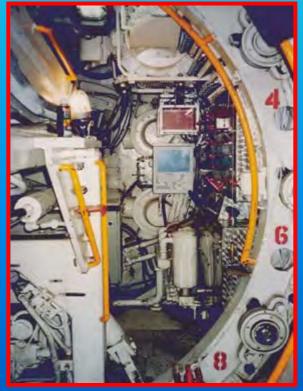




Ventanas cerradas

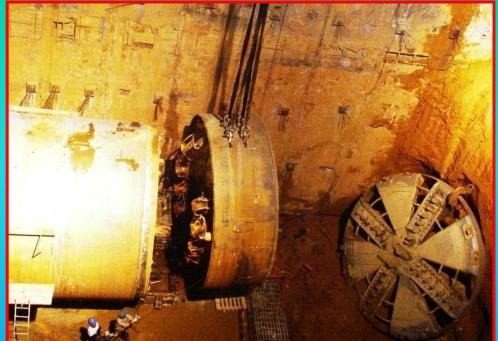


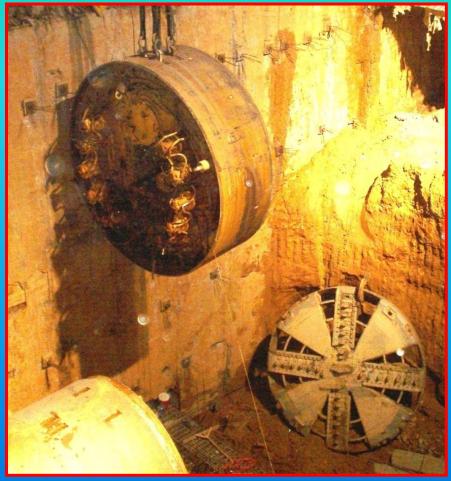












Trinchera de Coche Línea 3 – Metro de Caracas



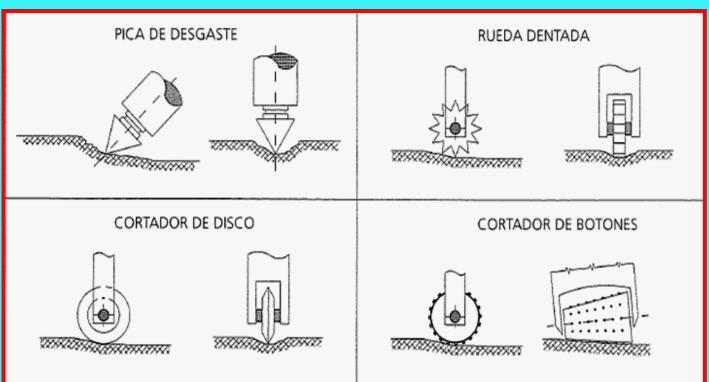






Herramientas de Corte de las TBM











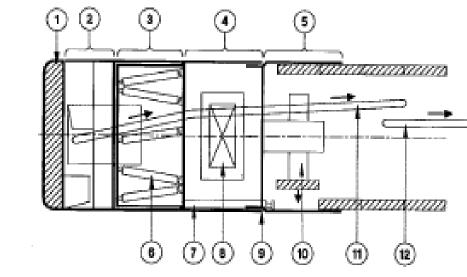
DOBLE SHIELD: Gripper & Segmental TBM





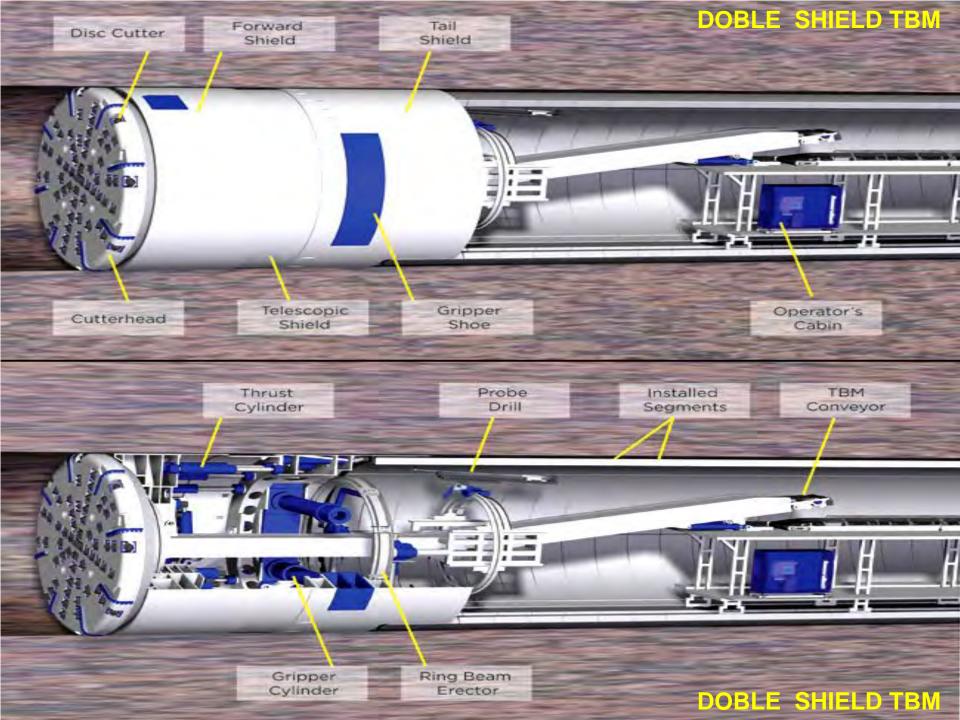
DOBLE SHIELD: Gripper & Segmental TBM





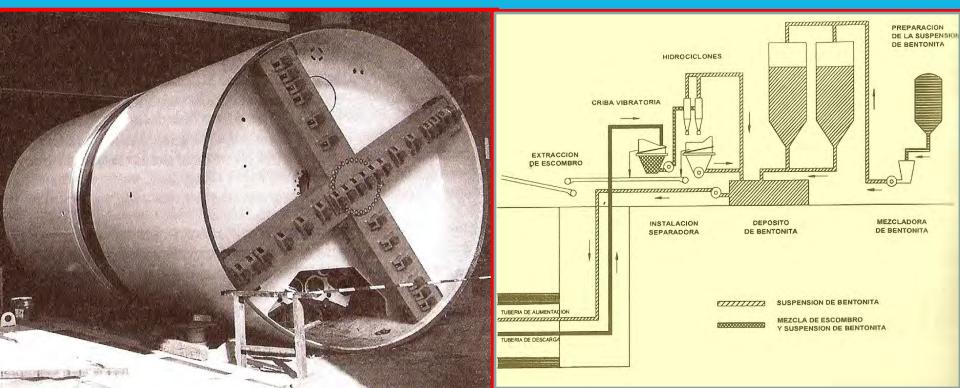
- Cutterhead
- b Front can
- Telescopic section
- d Gripper unit.
- e Tailskin
- f Main thrust rams

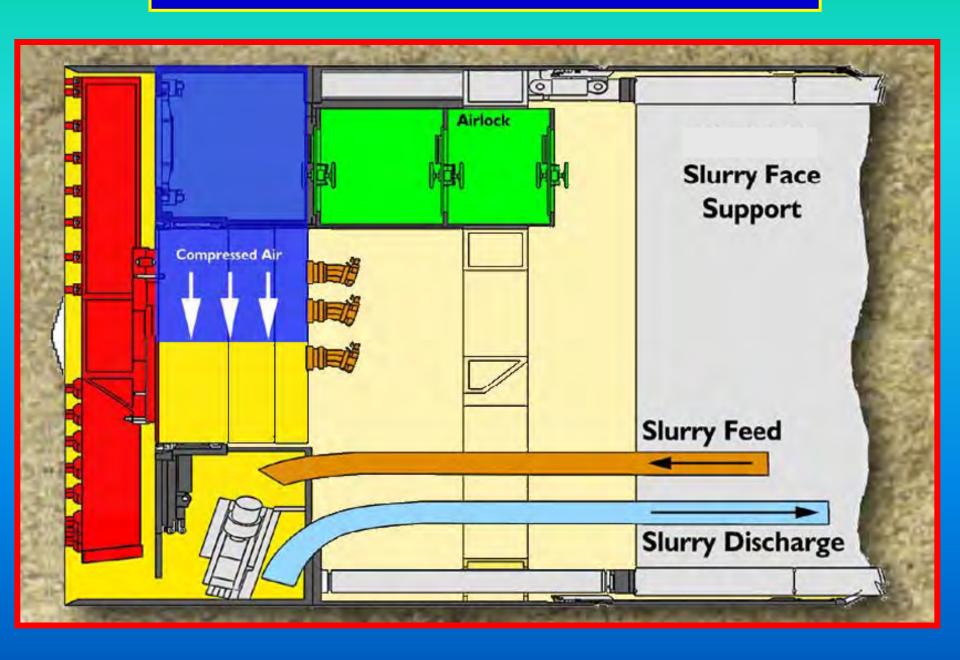
- g Longitudinal thrust rams
- h Grippers
- Tailskin articulation (option)
- j Segment erector
- k Muck extraction conveyor
- Muck transfer conveyor

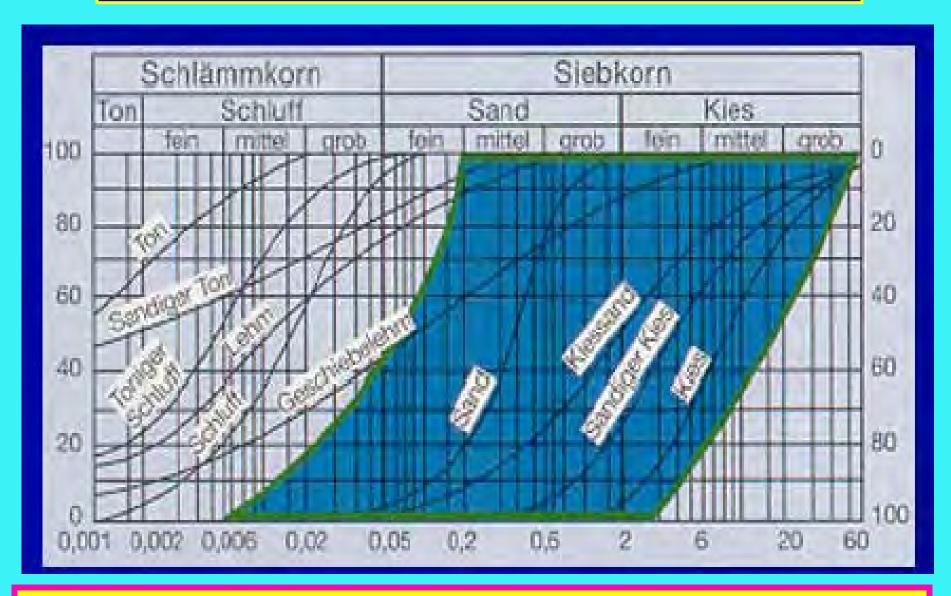


La peligrosidad ligada a la presurización del escudo y la incapacidad de las compuertas mecánicas de poder garantizar la estabilidad del frente y el avance en circunstancias especialmente o sistemáticamente críticas, hicieron finalmente abandonar tales practicas a favor de soluciones que previeron la 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, neumáticamente (tecnología ahora prácticamente abandonada) o mediante lodos bentoniticos: Escudos de Lodos (*Slurry Shields*), también llamados Hidro-escudos (*Hydro Shields*)

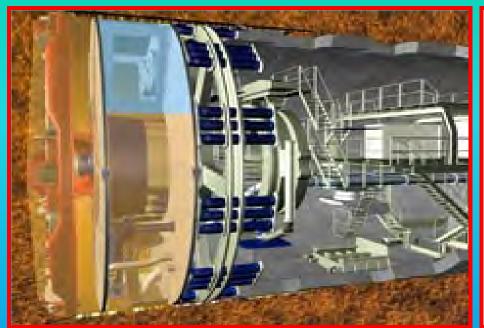
- El Slurry Shield, or Hydroshield fue patentado en Inglaterra en 1964 por John Bartlet -

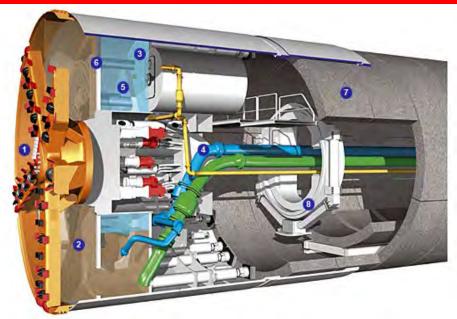






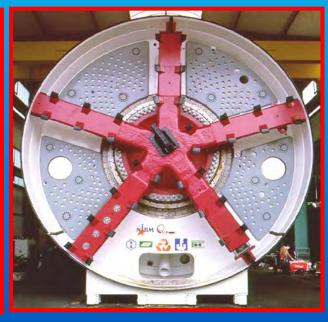
Distribuciones granulometricas ideales para los Hydro Schields







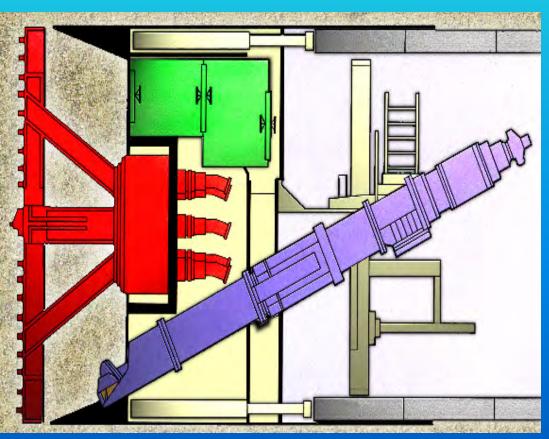


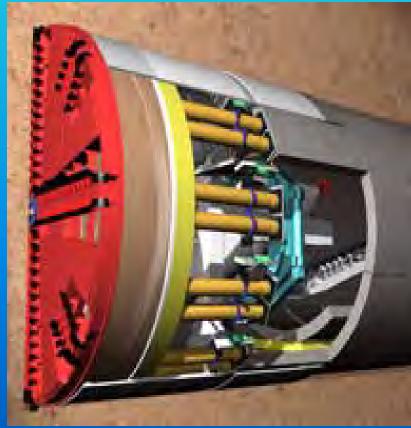






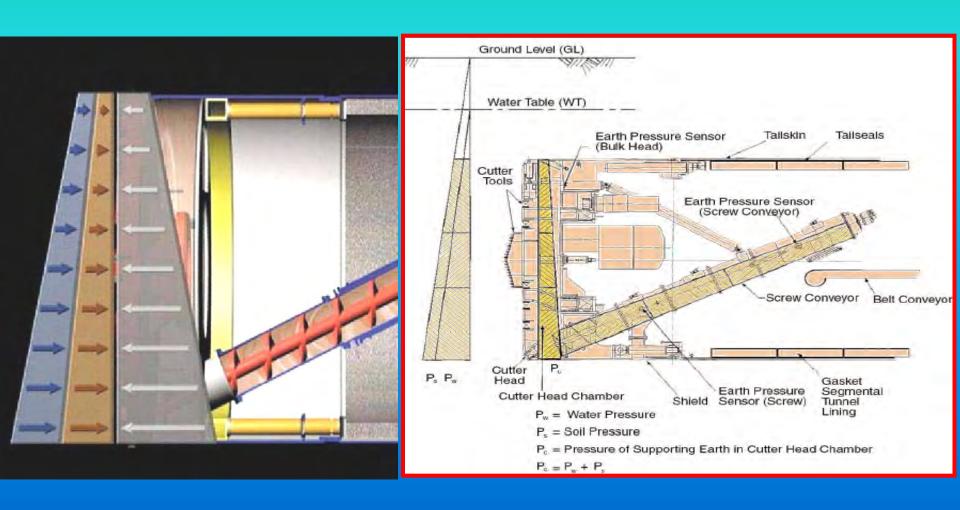
Finalmente, algunos inconvenientes de la presurización del frente con lodos bentoniticos, la dificultades en terrenos con presencia de *boulders*, lo complejo de sus instalaciones y obstáculos ambientales entre otros, llevaron entre finales de los años 80 y comienzos de los 90 a la concepción y utilización 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 t*unneling* 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.
- 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 perdidas 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.



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)

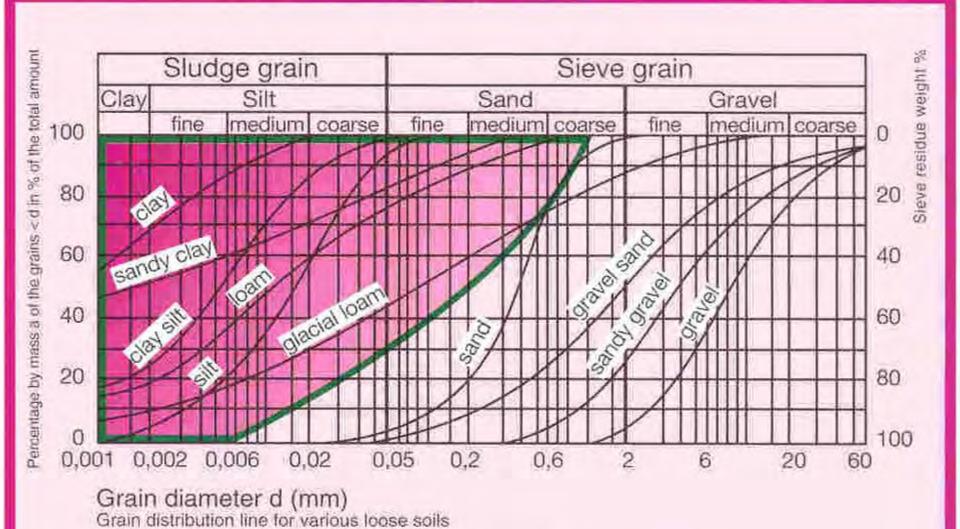




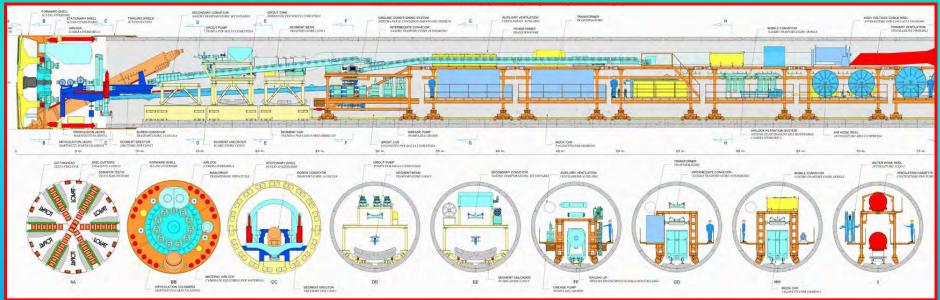


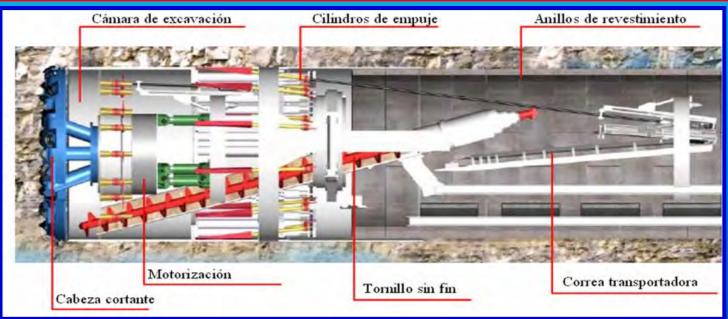


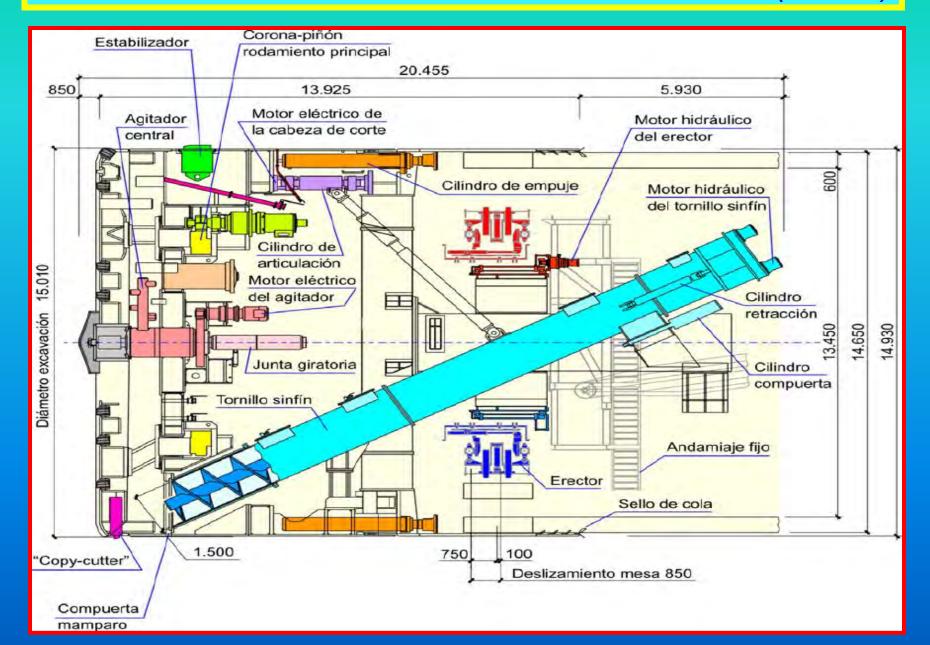




Distribuciones granulometricas ideales para la tecnologia EPB









Escudos de Presión de Tierra Balanceada (EPBS)

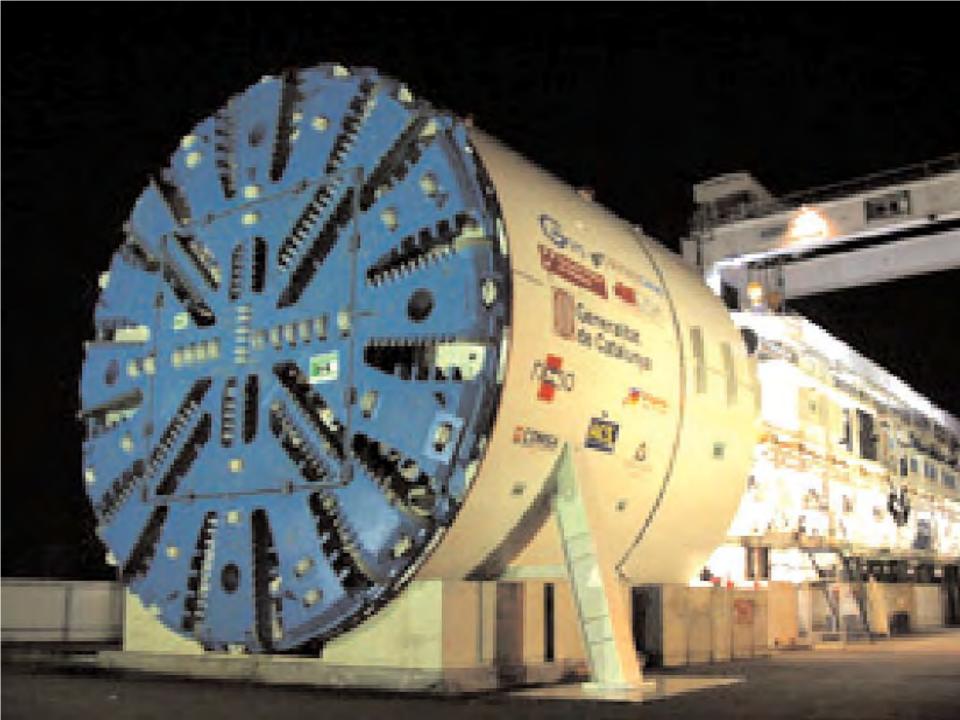














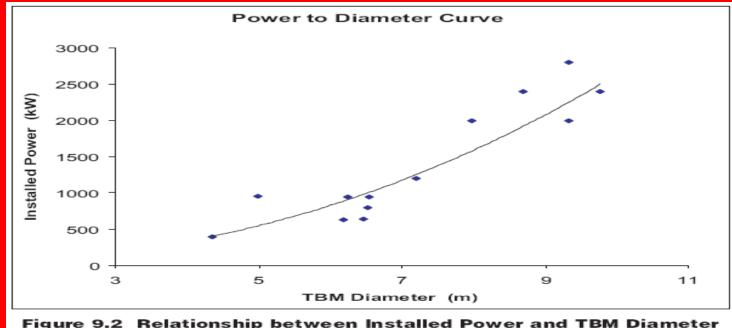


Figure 9.2 Relationship between Installed Power and TBM Diameter

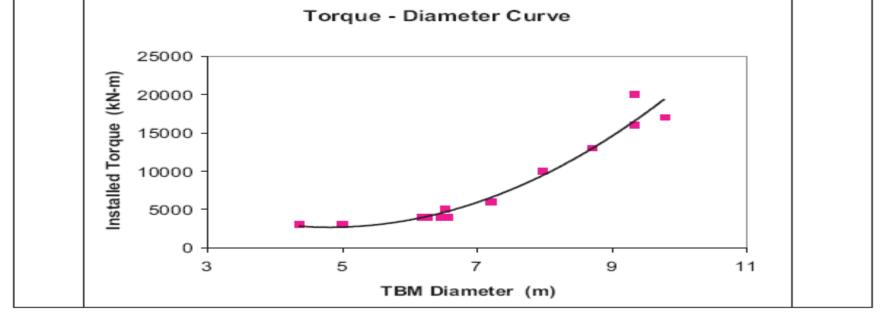
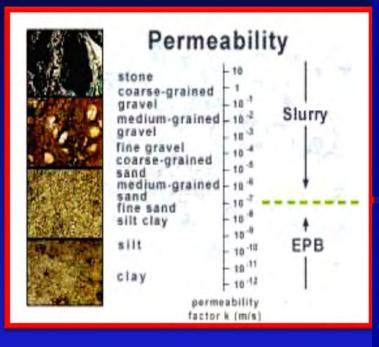
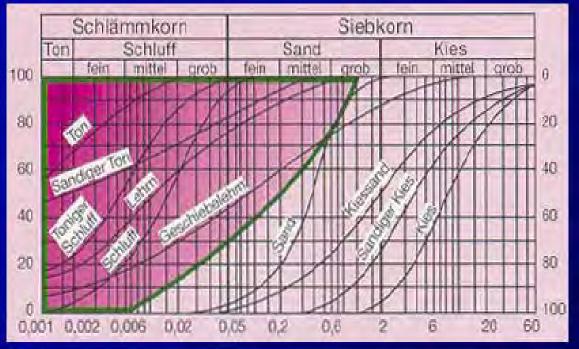
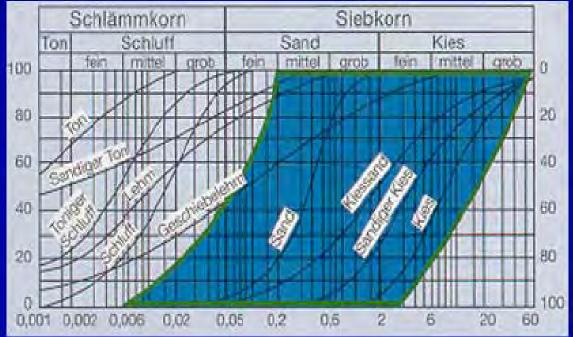


Figure 9.1 Relationship between Installed Torque and TBM Diameter

EPBS Vs. SlurryS







EPB vs SLURRY

EPB	SLURRY	EPB and Additives	SLURRY and Additives	Ground Type	Grain Size Range
X		Х	Х	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	Х*	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
- Incase of face collapse amount of ground loss is limited
- Muck is immediately ready for disposal
- Able to take advantages of selfsupporting 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

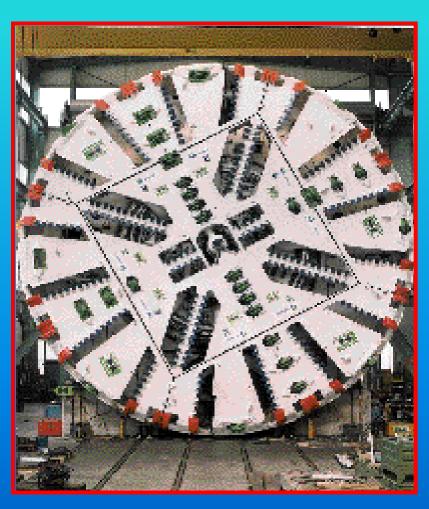
SLURRY Advantages

- 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 selfsupporting 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)

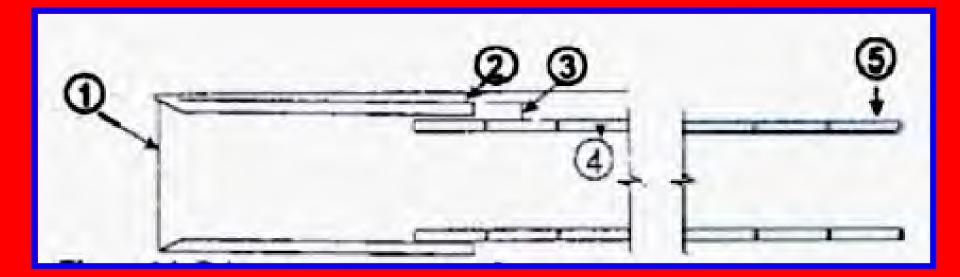
Mixed-face shield TBMs have full-face cutterheads and can work in closed or open mode and with different confinement techniques. Changeover from one work mode to another requires mechanical intervention to change the machine configuration. Different means of muck extraction are used for each work mode:

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.

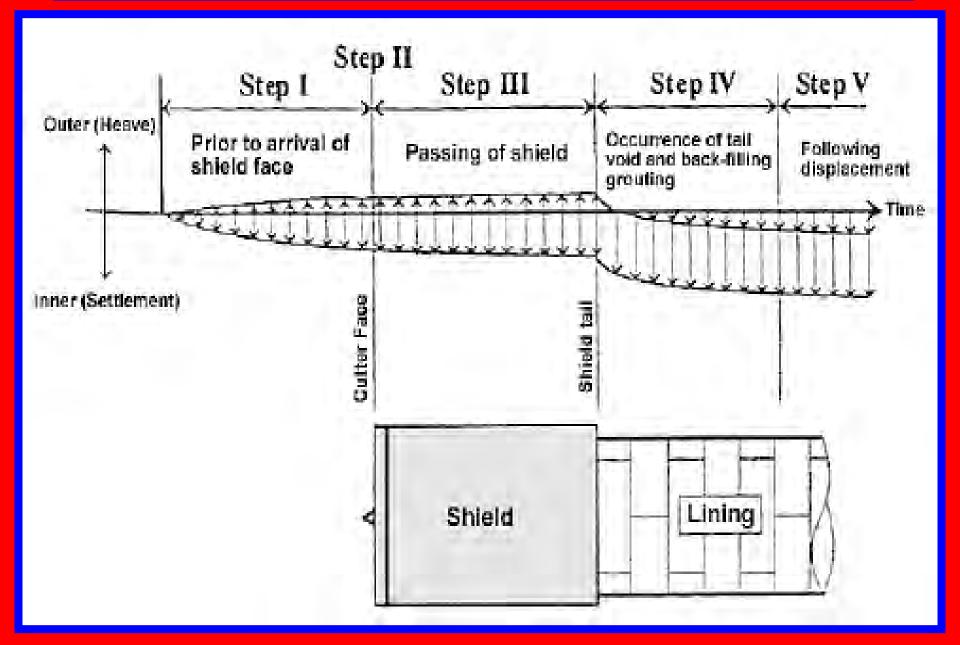
Deformaciones y Asentamientos del Terreno



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

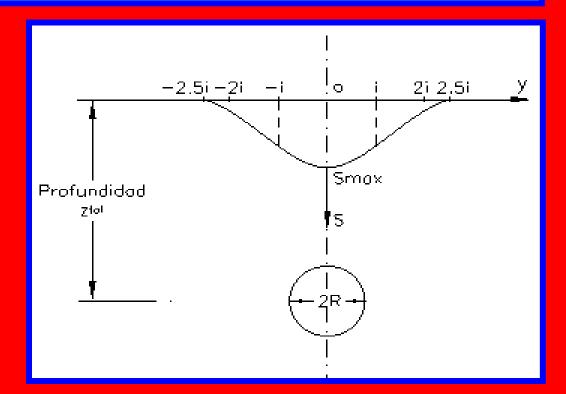
Deformaciones y Asentamientos del Terreno



Asentamientos en Superficie

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

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



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



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

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

Terrenos granulares:

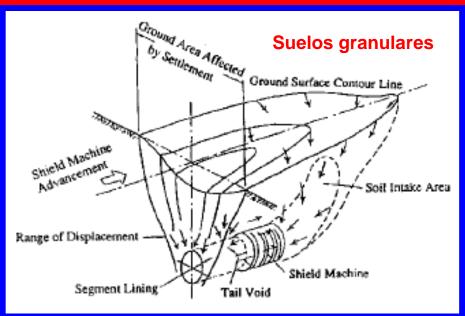
0.25 < k < 0.35

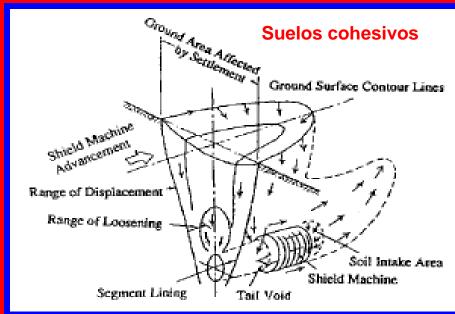
Terrenos cohesivos:

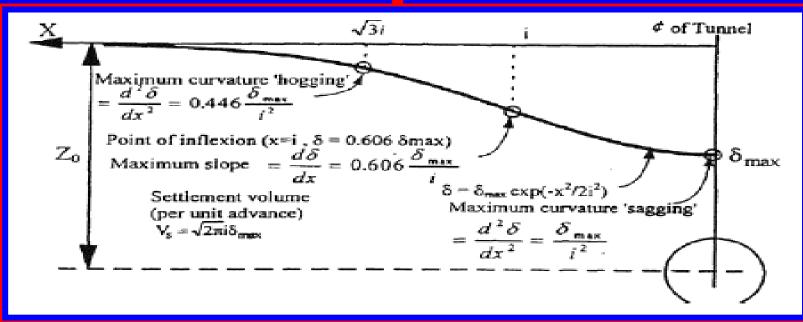
0.40 < k < 0.70

$$V = {}_{\mbox{\tiny{\%}}} A$$

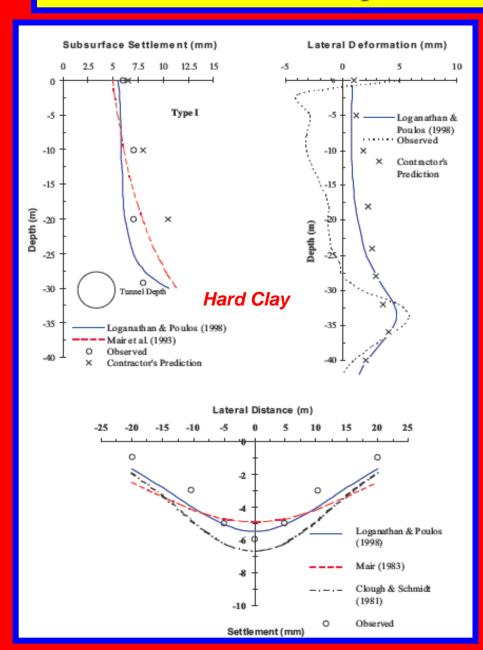
Deformaciones y Asentamientos del Terreno

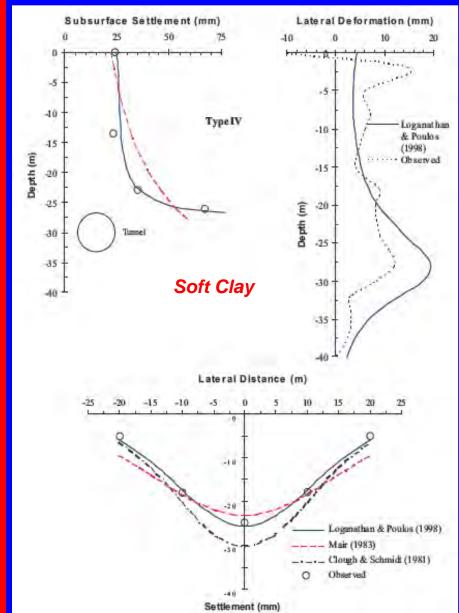






Deformaciones y Asentamientos del Terreno





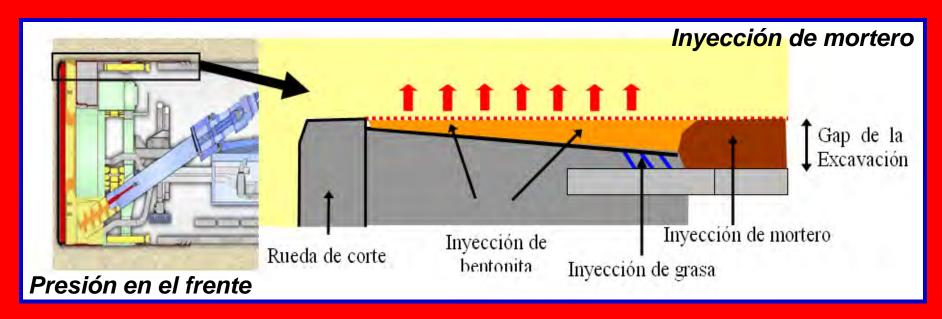
Categoría de Daños en Edificaciones

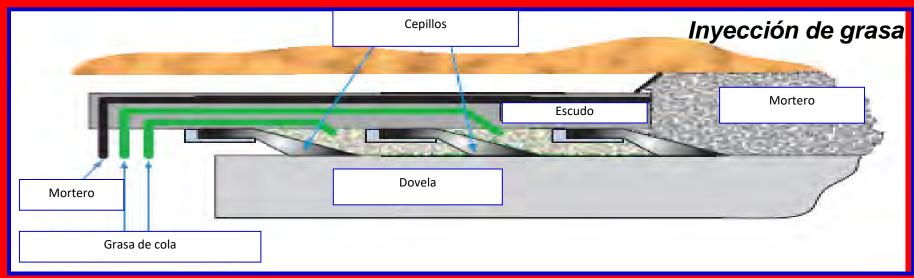
Categoría del daño	Descripción del daño	Máximo asentamiento del edificio	Ancho aproximado de la grieta
Daño apenas perceptible	Fisuras muy finas con espesor equivalente al de un cabello.	s ≤ 10 mm	< 0.1 mm
Daño Muy Ligero	Fisuras que pueden ser tratadas y reparadas fácilmente. Se observan solamente de cerca y en algunas tabiquerías externas.	10 < s ≤ 50 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 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 mm	5 - 15 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 >> 50 mm	15 – 25 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 >>> 50 mm	> 25 mm daño función del número de las mismas

Daños en Edificaciones vs. Distorsión Estructural

Descripción del daño	Limite de angular β	Fuente Autores
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

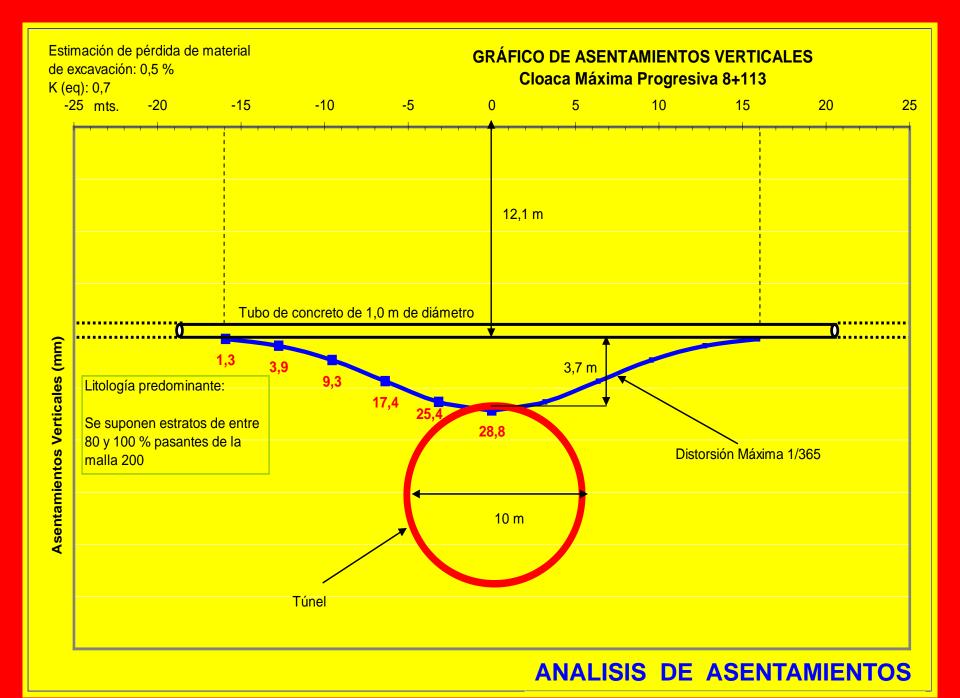


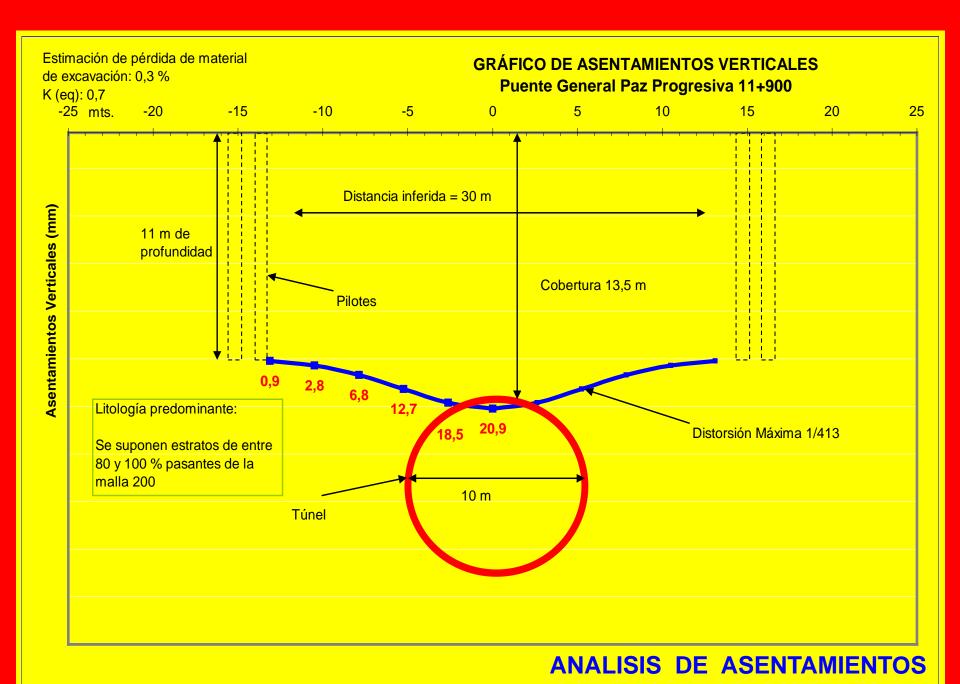


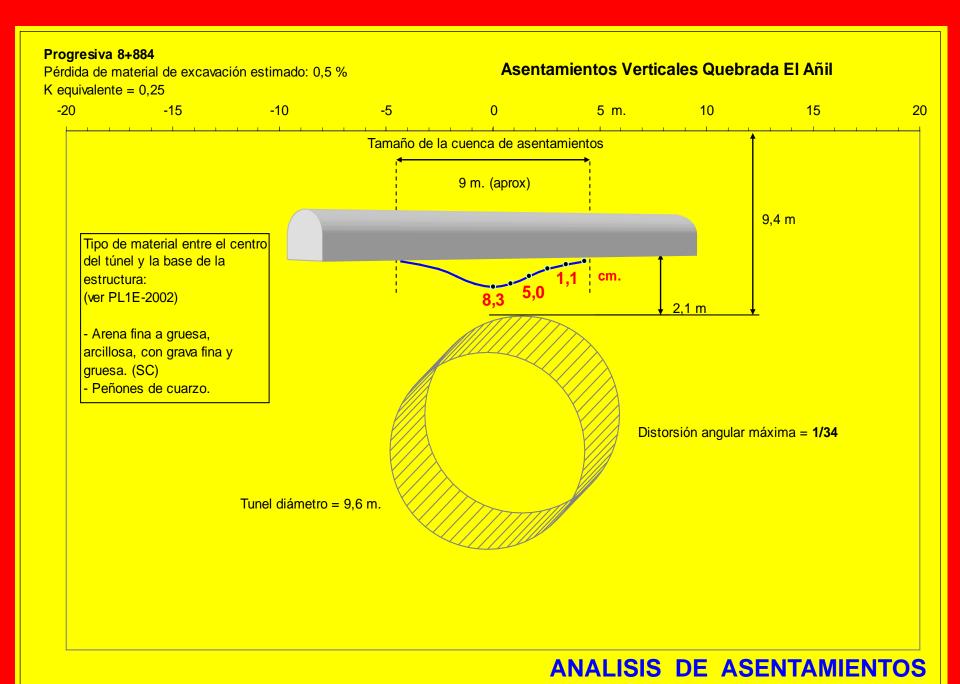
LEGENDA Asentamientos (m) 0 - 0.0050.045 - 0.050 0.005 - 0.010 0.050 - 0.0600.010 - 0.015 0.060 - 0.070 0.015 - 0.020 0.070 - 0.0800.020 - 0.0250.080 - 0.0900.025 - 0.030 0.090 - 0.1000.030 - 0.035 0.100 - 0.110 0.035 - 0.0400.110 - 0.120 0.040 - 0.045 0.120 - 0.130 Alineamento de trazado

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

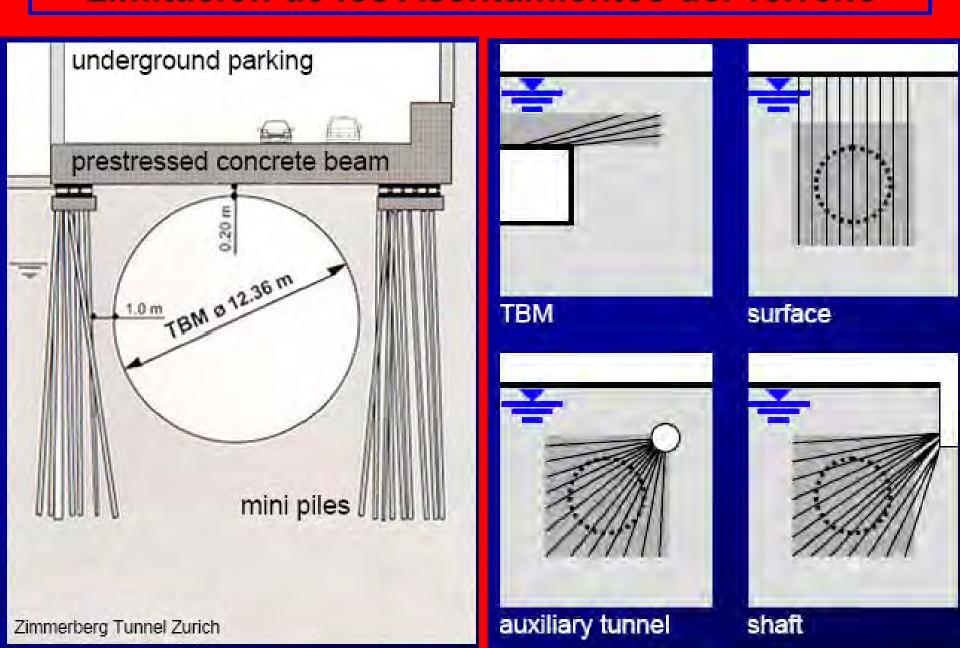


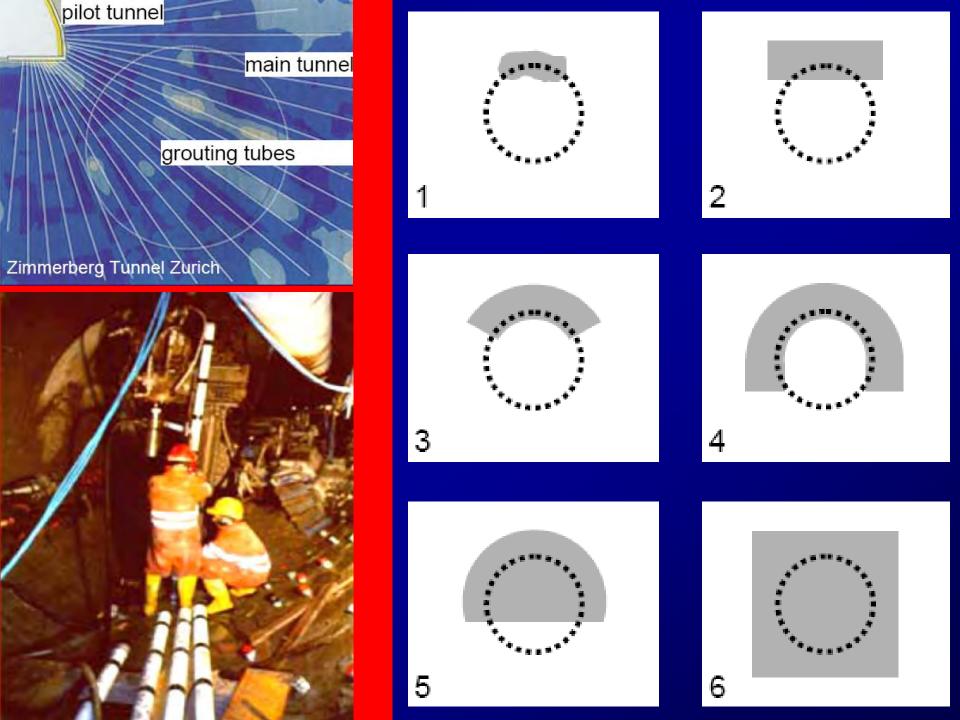




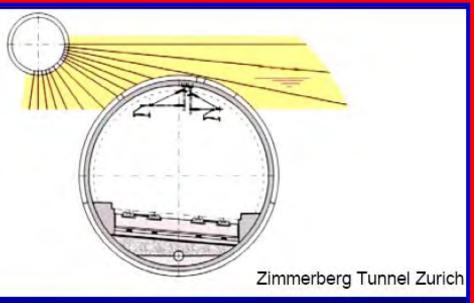


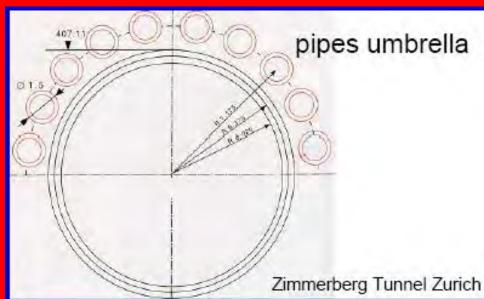
Limitación de los Asentamientos del Terreno





Limitación de los Asentamientos del Terreno

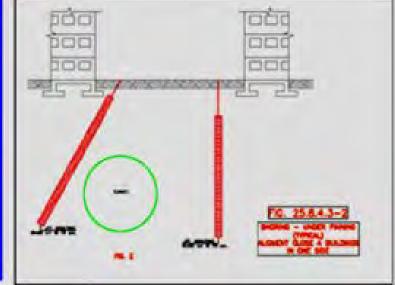


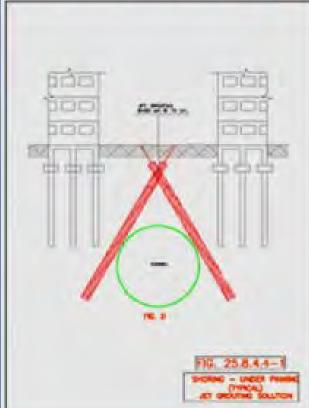


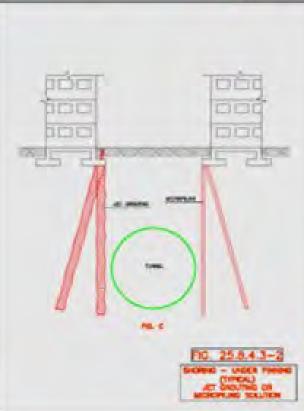


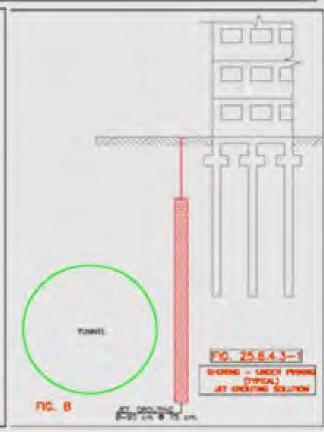


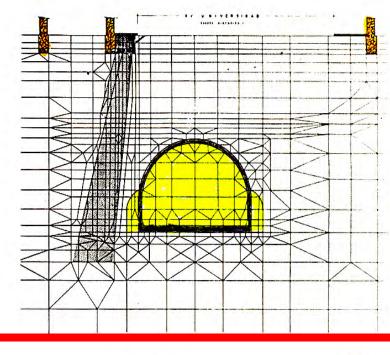




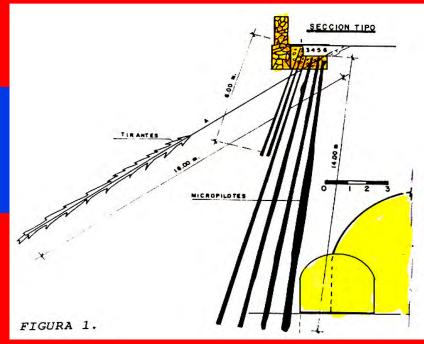


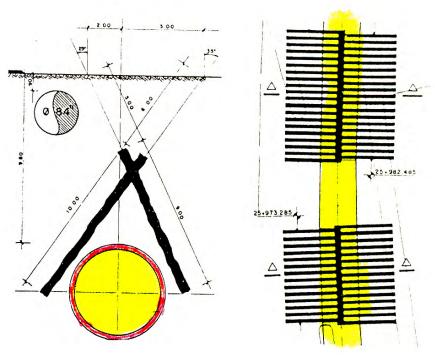


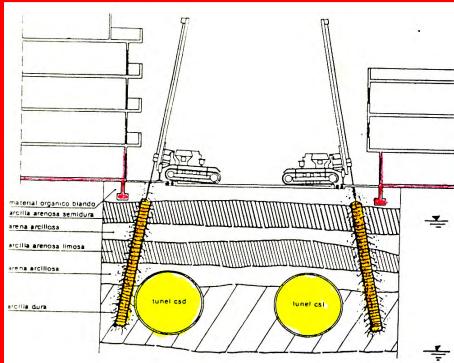




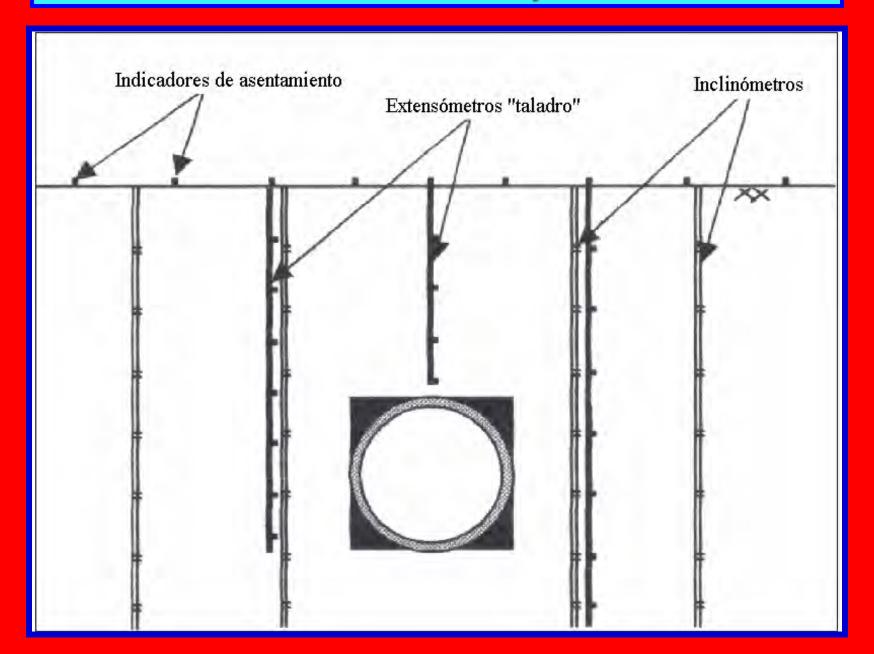
Línea 1 Metro de Caracas



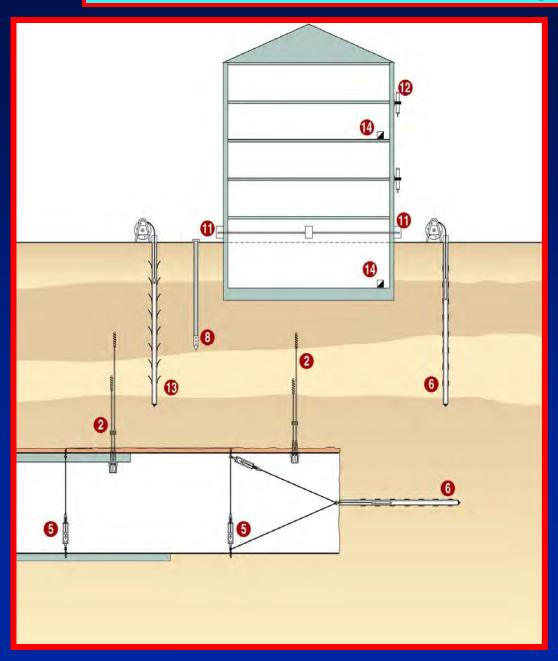




MEDICIÓN de DEFORMACIONES y ASENTAMIENTOS



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-assestimetrica

Controllo della piezometrica e dei cedimenti

11 Sistema livellometrico DSM

Misura dei cedimenti differenziali

12 Clinometro di superficie

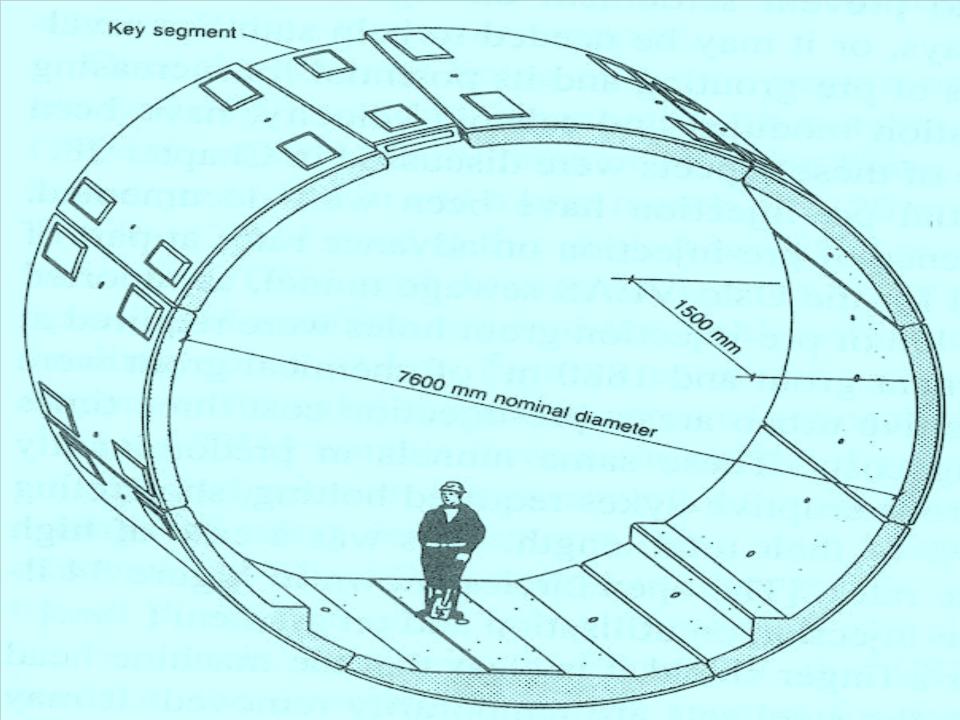
Misura di verticalità su strutture

13 Assestimetro magnetico

Cedimento del terreno di copertura

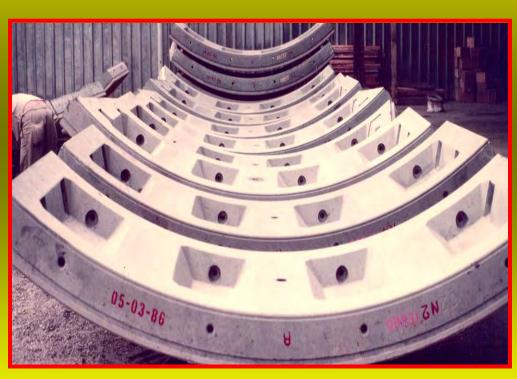
14 Accelerografo Smach

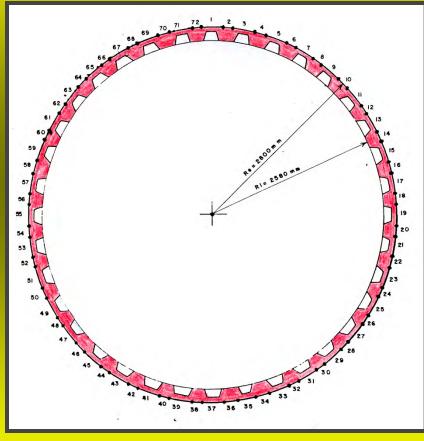
Monitoraggio delle vibrazioni durante gli scavi



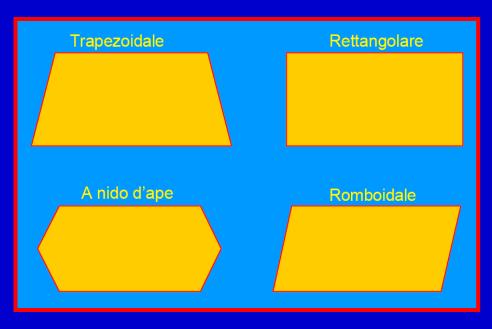


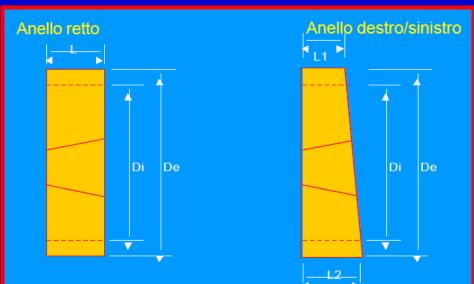
Metro de Caracas – Anillo estándar Original Líneas 1 - 2 –3

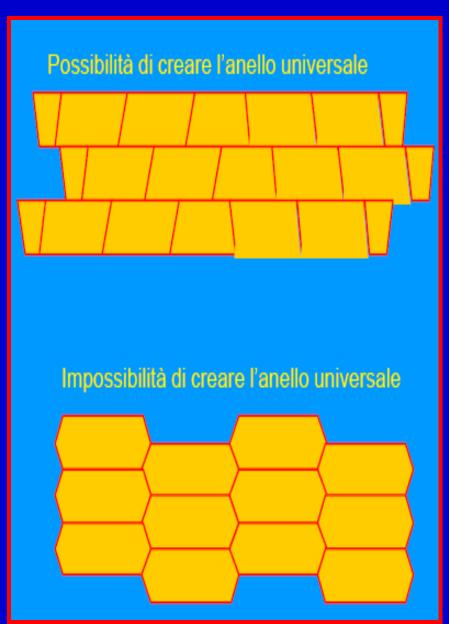




FORMAS DE LAS DOVELAS DE LOS ANILLOS

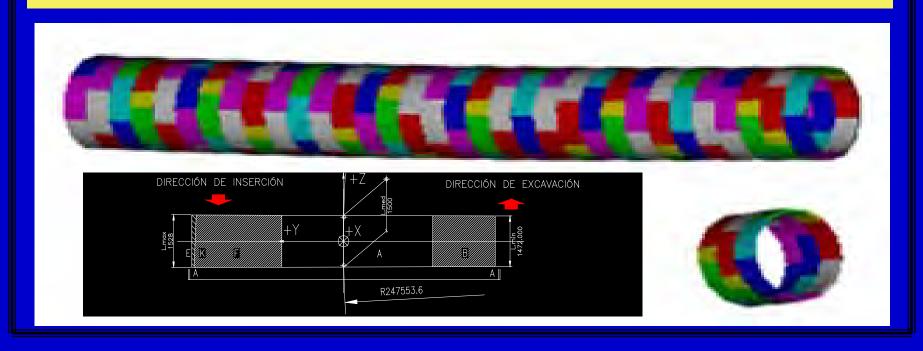




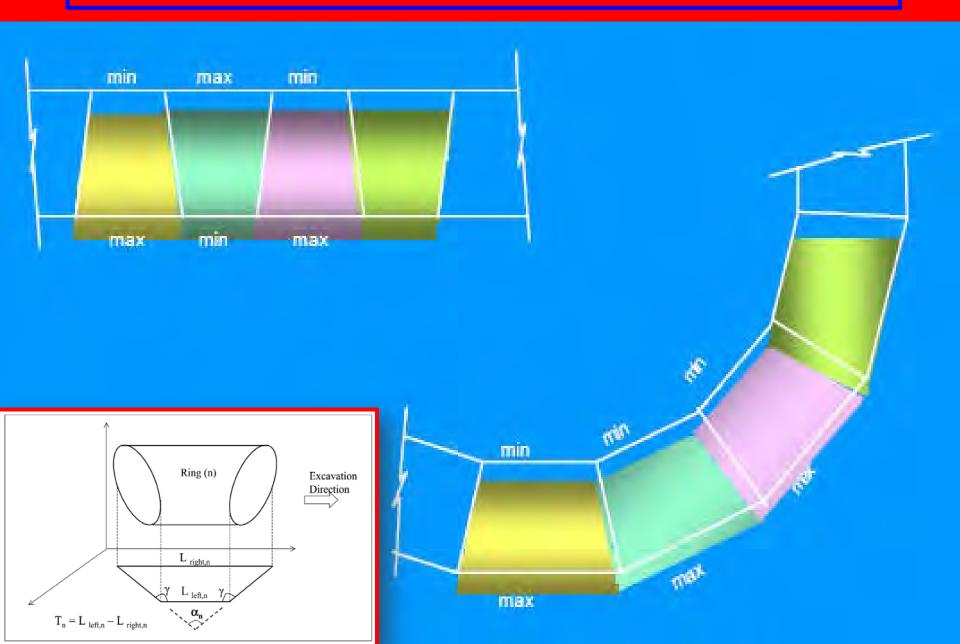


El Anillo Universal

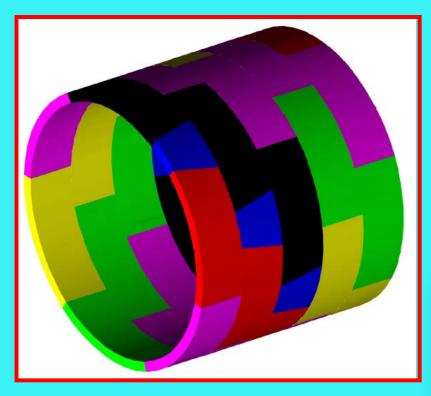
La característica geométrica fundamental de un anillo universal se basa en el hecho que las dos secciones terminales del mismo no son paralelas (conicidad del anillo); en consecuencia los segmentos que componen el anillo tienen longitudes diferentes entre ellos, variables a lo largo del perímetro. La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

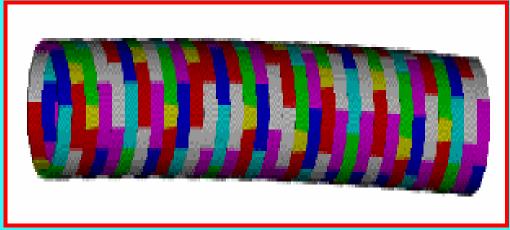


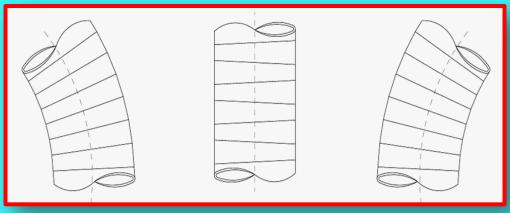
Conicidad del El Anillo Universal

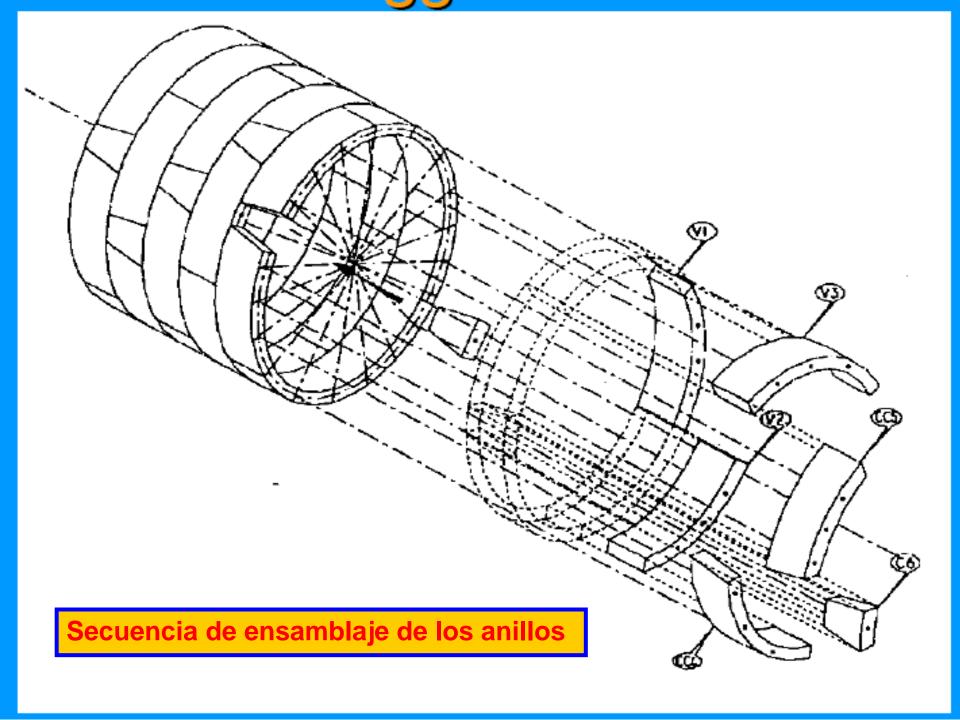


El Anillo Universal

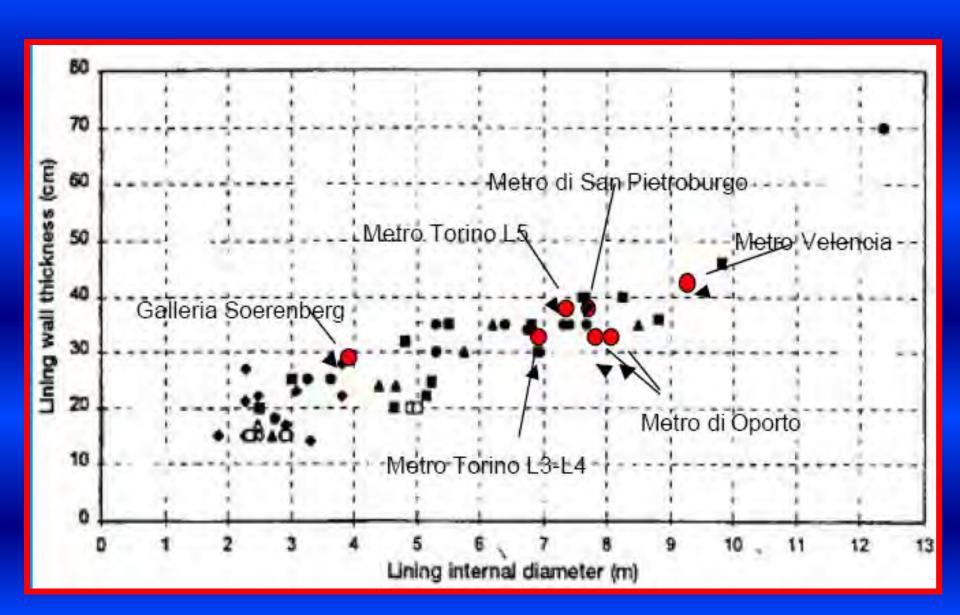








ESPESOR Y RELACIÓN DE ESBELTEZ DEL ANILLO

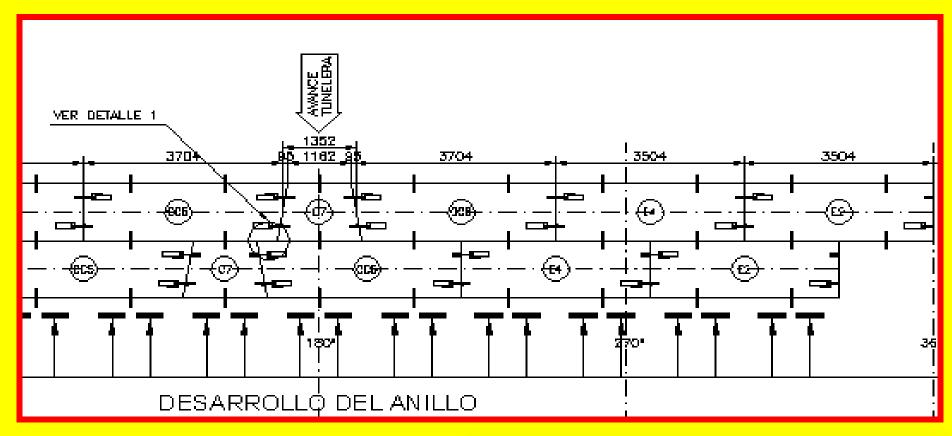


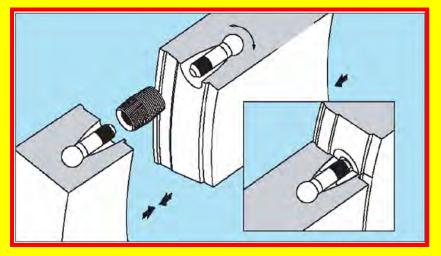


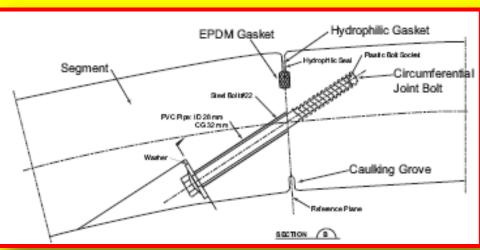




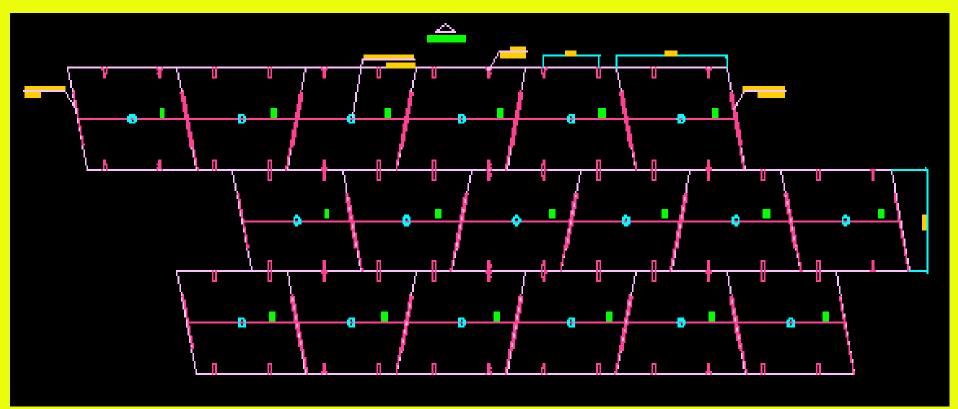






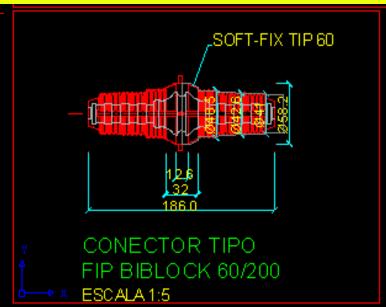




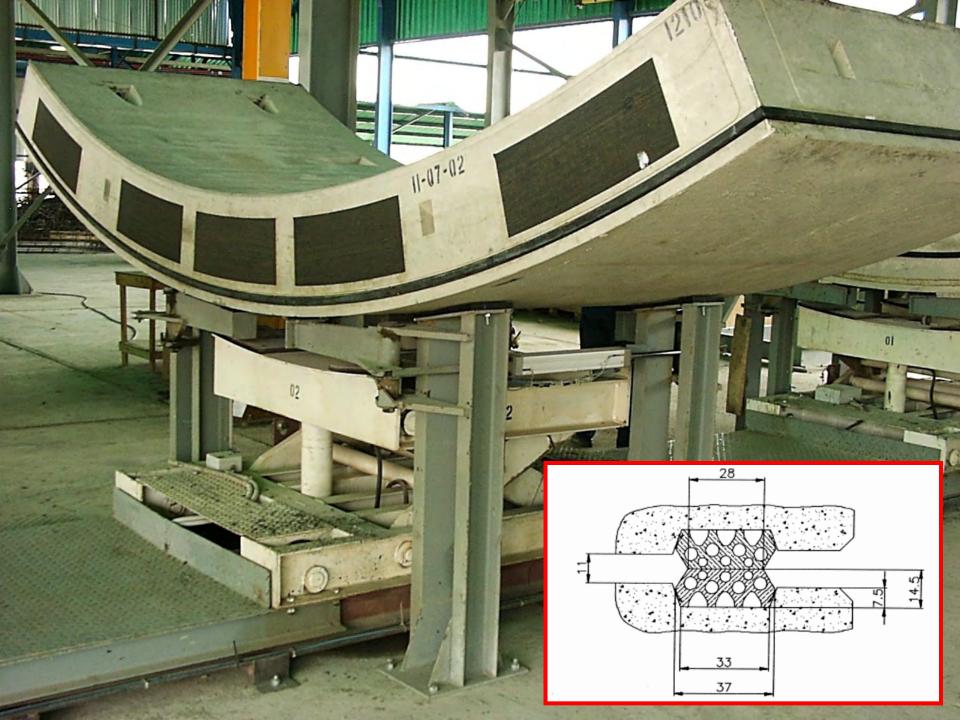










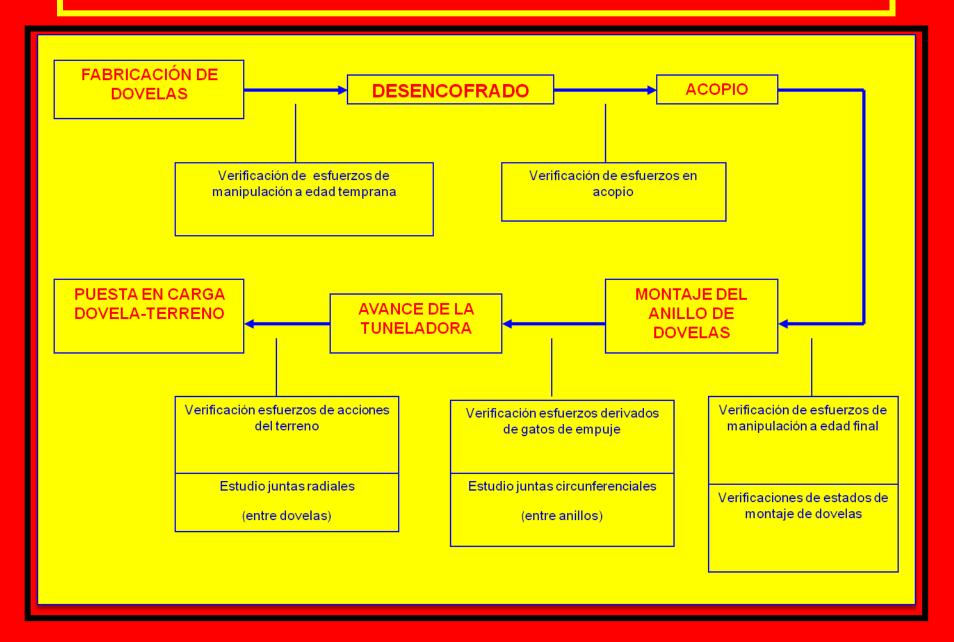








Solicitaciones en las dovelas de los anillos

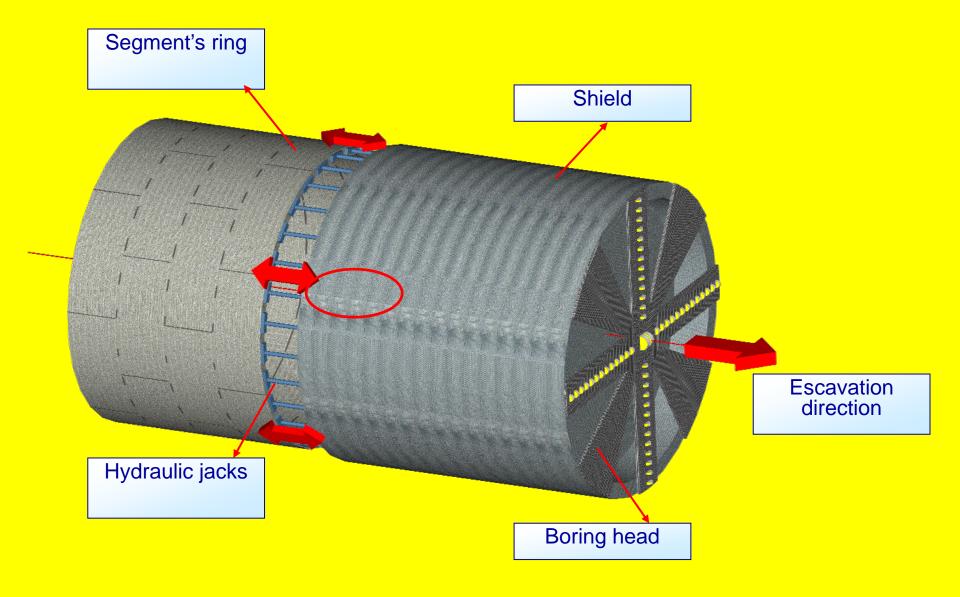


Almacenamiento de las Dovelas de los Anillos

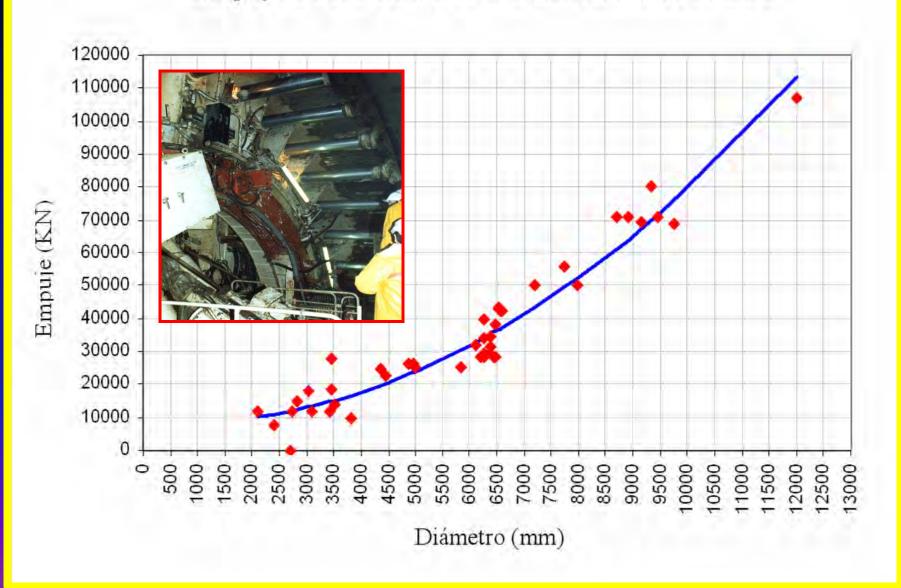




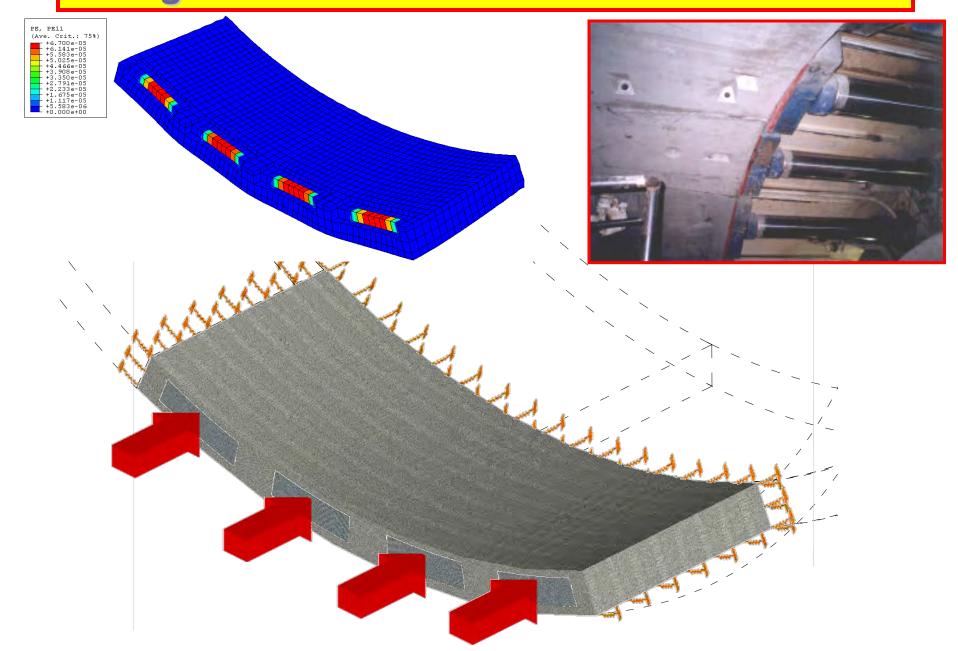
Cargas sobre las dovelas durante el avance

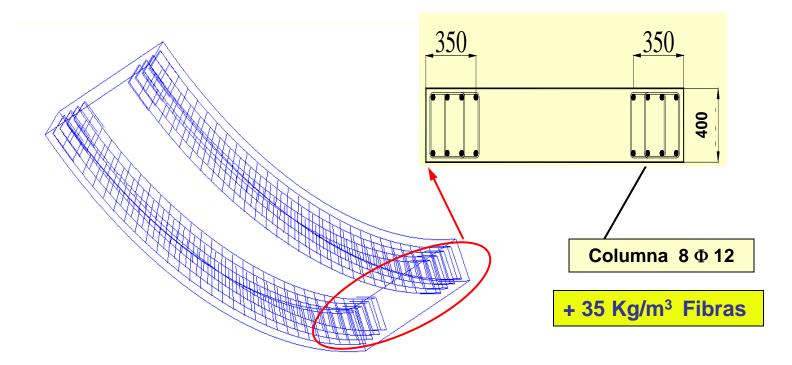


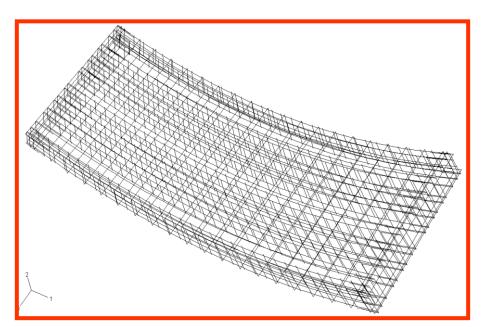
Empuje de los cilindros – Diámetro escudo EPB



Cargas sobre las dovelas durante el avance



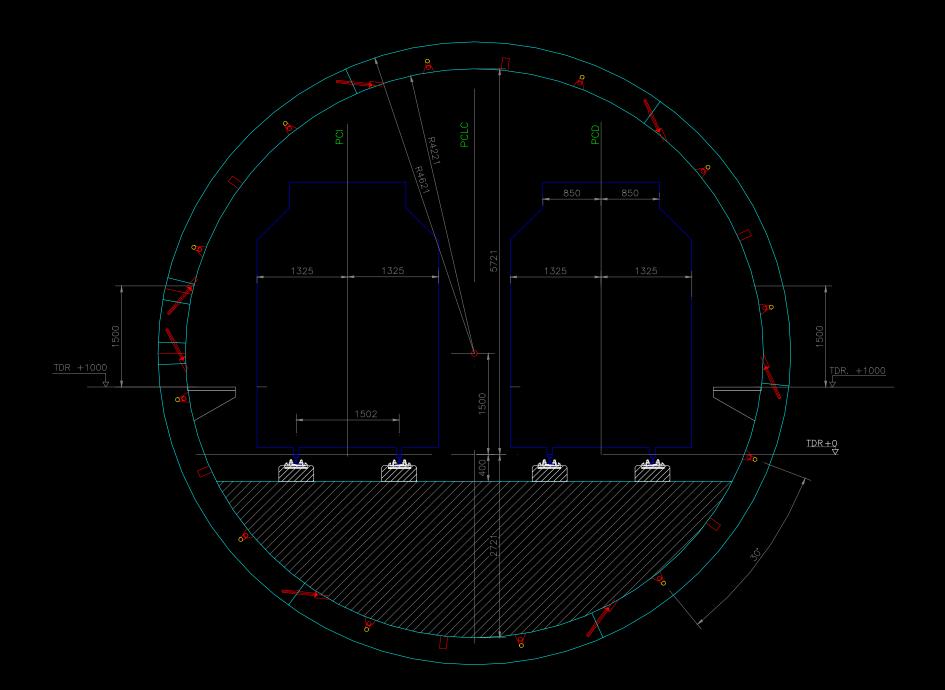


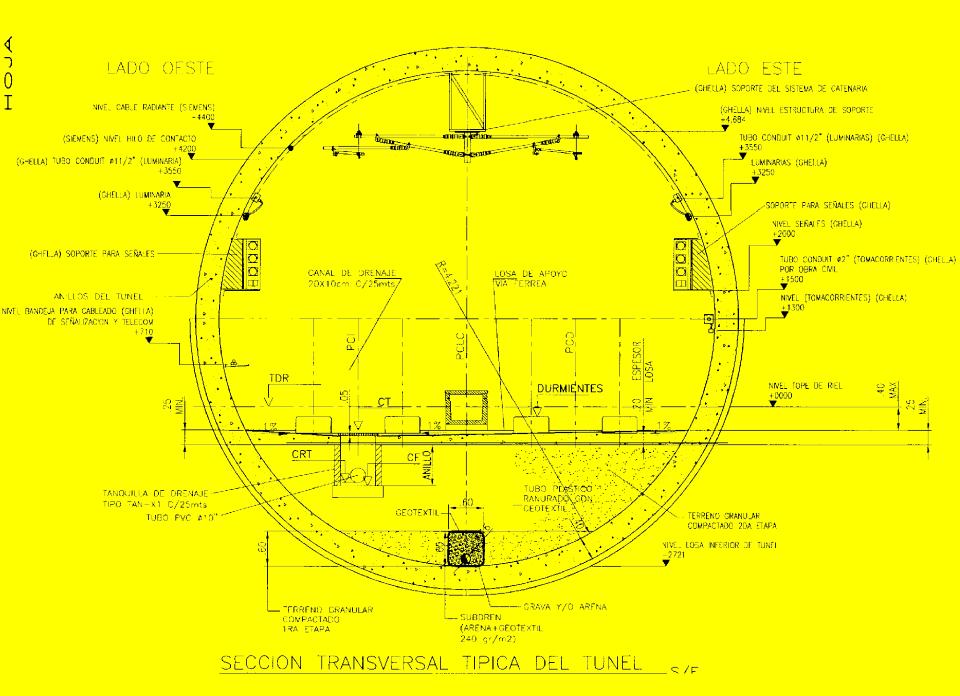


ARMADURAS DE LAS DOVELAS

EL TÚNEL del Metro de Valencia - Venezuela

- El túnel de 4221 mm de radio interno neto (8,442 m de diámetro) está siendo construido de manera totalmente mecanizada, mediante el uso de una maquina TBM de fabricación LOVAT, escudada y con la posibilidad de controlar las presiones en el frente de excavación mediante la adecuada aplicación de presiones de estabilización y control (EPBS).
- El túnel esta siendo soportado y revestido mediante secuencia continua integrada a la excavación, con anillos prefabricados en concreto armado largos 1.5 m, compuestos de 7 (6+1 clave) elementos de espesor uniforme igual a 40 cm y diámetro interno igual a 8,442 m (el externo será 9,242 m).
- El confinamiento del terreno circundante la excavación está garantizado por el escudo de acero de la TBM, luego al frente por la presión ejercida en la cabeza de la TBM en una cámara de presión de tierra balanceada (EPB) y en la cola, por medio de una inyección a presión de mezcla de cemento que se ejecuta contemporáneamente con el avance de la máquina a la salida de cada anillo con el propósito de garantizar el llenado del vació anular existente entre la parte externa del anillo de revestimiento y el perfil de excavación logrando al mismo tiempo el confinamiento total del anillo de revestimiento.
- La impermeabilidad del revestimiento se garantiza mediante sellos plásticos ubicados en los alojamientos dispuestos para este fin sobre el contorno, en proximidad de la cara externa, de cada elemento de los anillos.

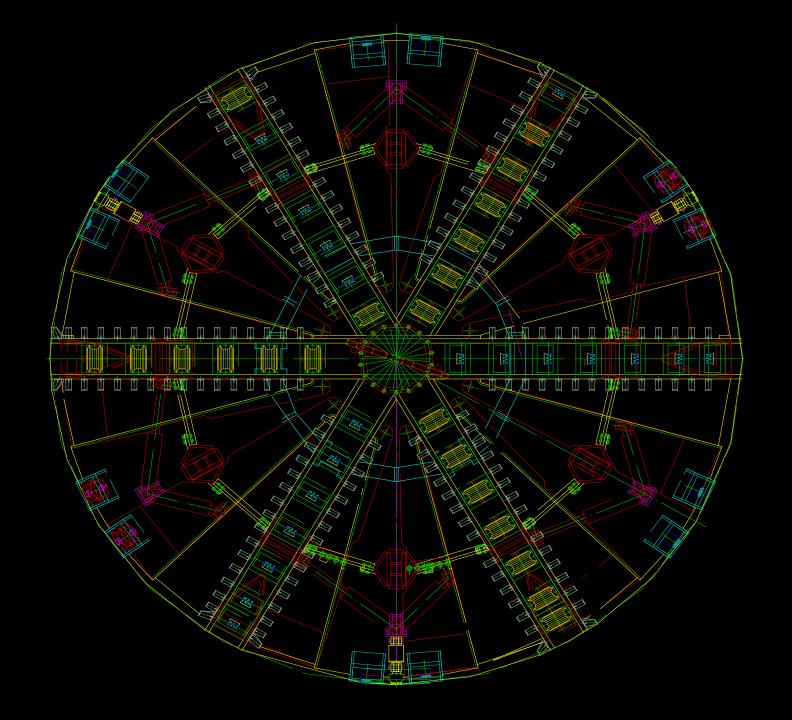


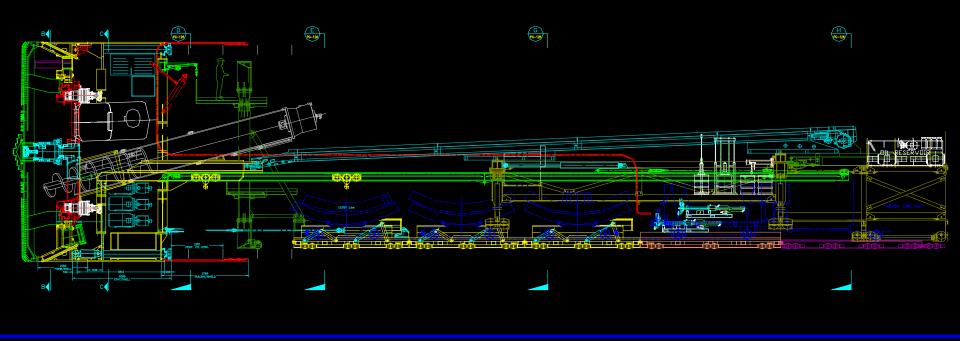


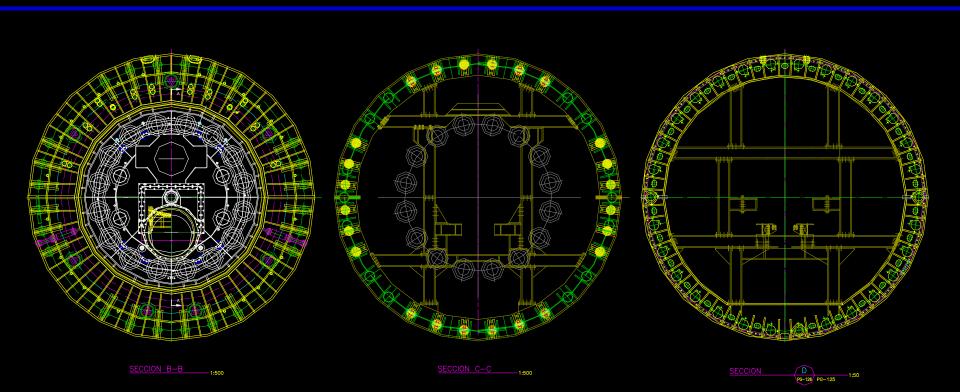
Especificaciones Básicas de la TBM LOVAT (EPBS)

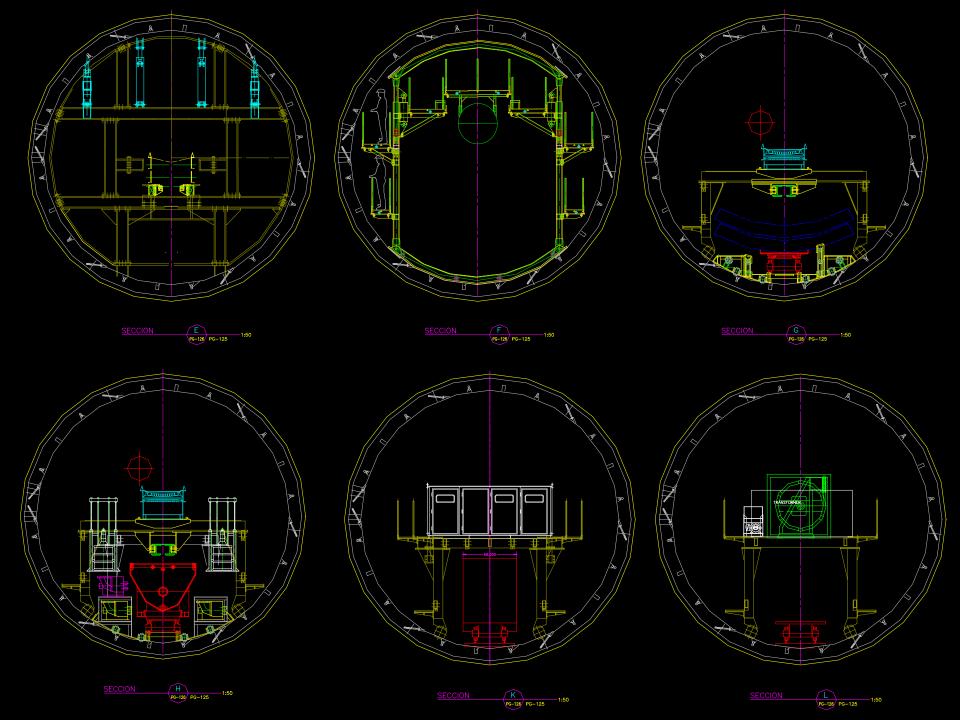
Diámetro excavación	9.519m
Longitud del escudo + Backup	180 m
Peso de la TBM + Backup	990 ton est.
Velocidad de avance de diseño	8 cm/min
Mínimo radio de curvatura	300 m
Conicidad del escudo	13mm
Potencia total instalada	5 100 kw
Torque de la cabeza cortadora	1 022 t.m @ 1,97 rpm
Máximo torque de la cabeza cortadora	2 043 t.m @ 0,98 rpm
Torque pico de la cabeza cortadora	2 452 t.m
Presión de diseño sello estático	8 Kg/cm ²
Potencia de la cabeza cortadora	2 700 kw
Diámetro de tornillo sin fin	1,1 m
Potencia del tornillo sin fin	300 kw
Numero gatos de empuje	30
Empuje por gato a 340 Kg/cm ²	180 t/gato
Empuje máximo total a 340 Kg/cm ²	5400 t
Empuje por gato a 408 Kg/cm ²	215 t/gato
Empuje máximo total a 408 Kg/cm ²	6450 t
Carrera de los gatos	2.250 m
Dimensiones zapatas de empuje	813 mm * 311 mm
Area zapatas de empuje	2445 cm2
Radio cilindro de empuje	4437 mm



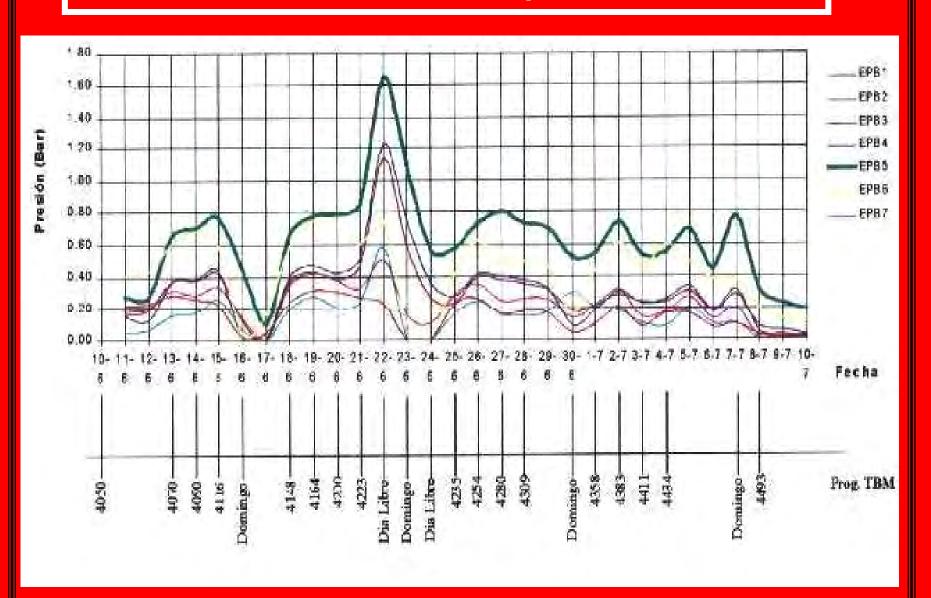




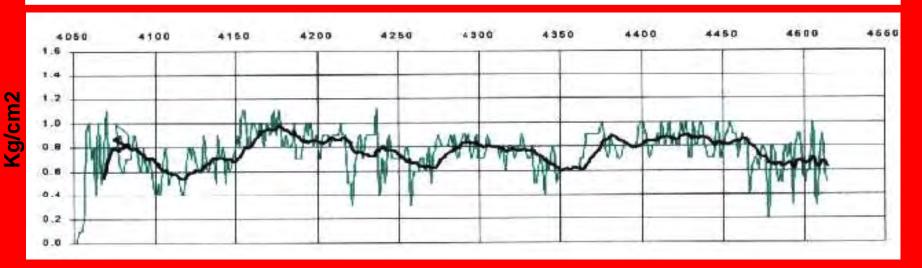




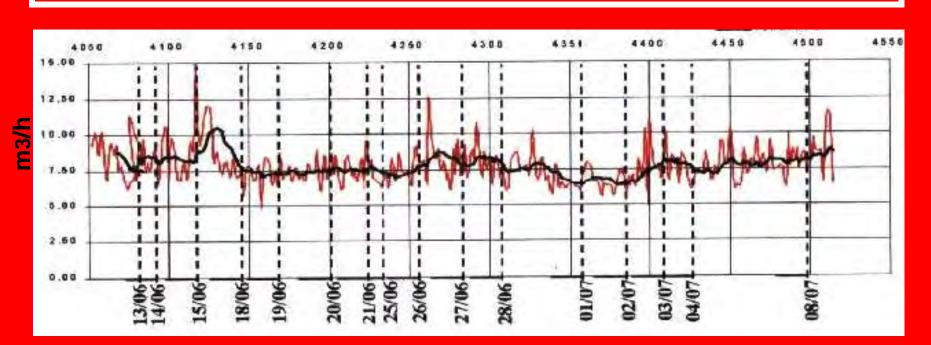
Presiones en la camara EPB: promedios del dia



Presion de inyeccion del mortero de relleno en la cola del escudo



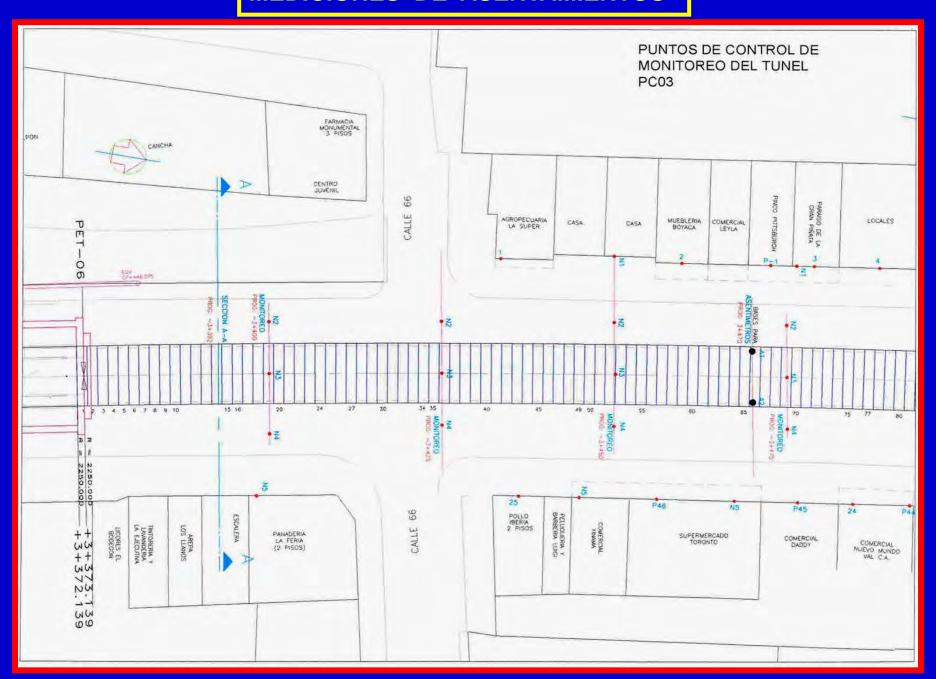
Volumen de inyección del mortero de relleno en la cola del escudo



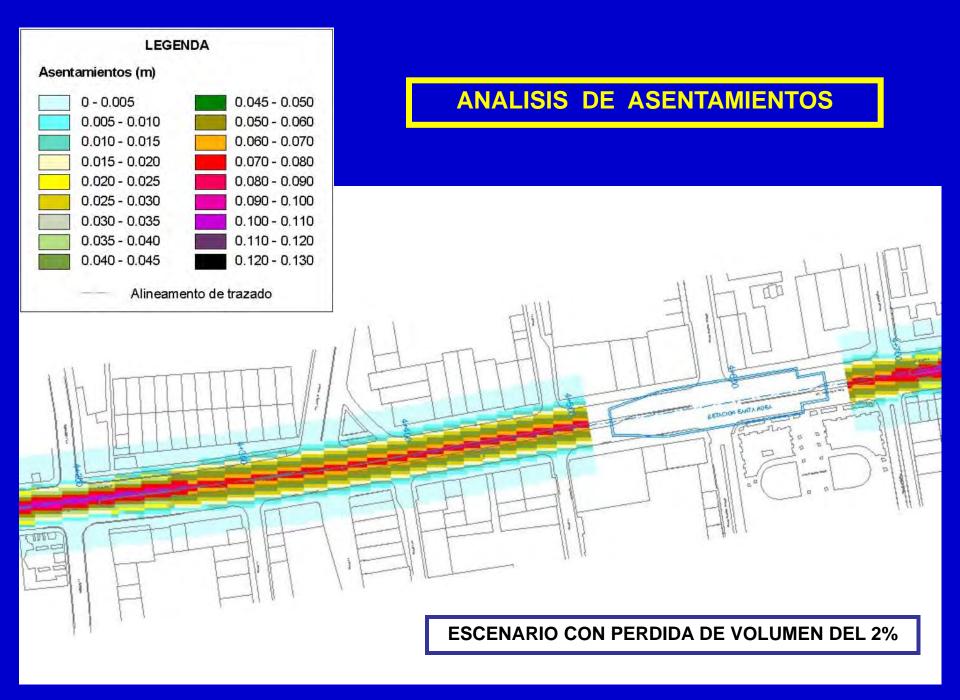
EL REVESTIMIENTO

- El revestimiento del túnel del Metro de Valencia está constituido por un anillo de concreto armado de espesor igual a 40 cm, compuesto por 7 elementos prefabricados (segmentos, o dovelas) ensamblados para configurar anillos de longitud 1.5 metros.
- Ya que la TBM avanza y excava apoyándose en la secuencia de anillo ya montada, el dimensionado y la verificación de los segmentos que conforman los anillos, dependen en gran parte de las condiciones de interacción con el sistema de empuje de la máquina (gatos).
- El anillo diseñado es de tipo universal, es decir idóneo ya sea para seguir el curso de las curvas verticales y horizontales presentes a lo largo del trazado (hasta con un radio = 300 m), ya sea para continuar la excavación en línea recta, con la posibilidad también de corregir eventuales desviaciones propias de la máquina.
- Una secuencia de anillos universales en efectos, cada uno de los cuales rotado oportunamente en torno al propio eje respecto al anillo precedente ya instalado y sin incluir ningún anillo especial, permite seguir cualquier trazado manteniendo sobre una única superficie plana la zona de contacto entre anillos sucesivos.

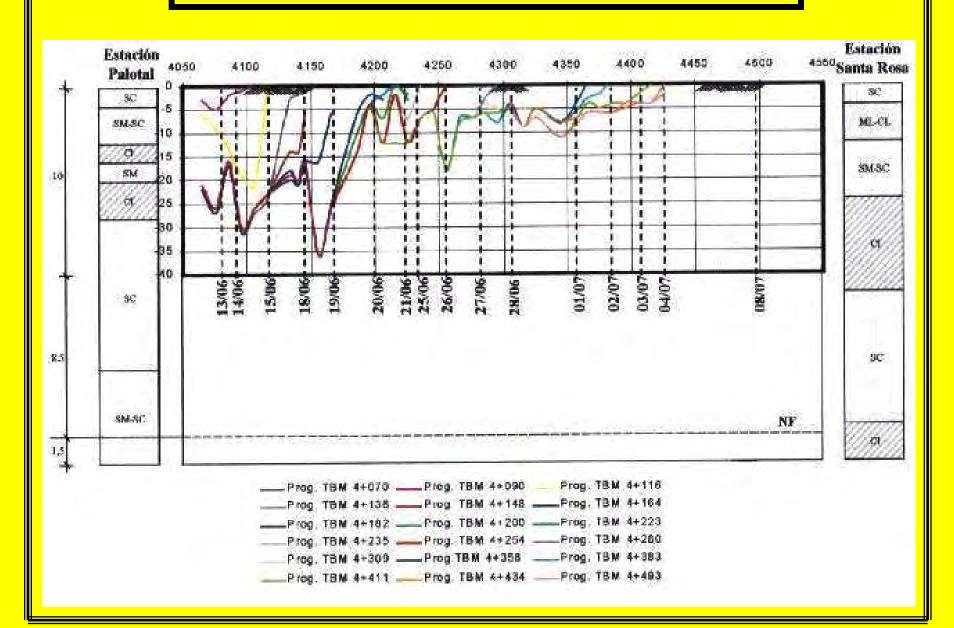
MEDICIONES DE ASENTAMIENTOS



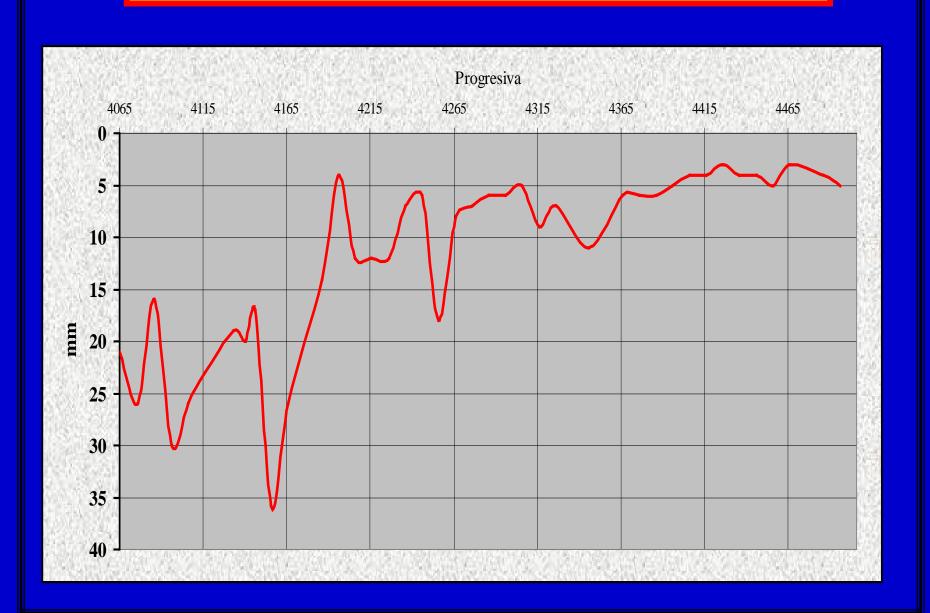
LEGENDA Asentamientos (m) 0 - 0.0050.045 - 0.0500.005 - 0.010 0.050 - 0.060ANALISIS DE ASENTAMIENTOS 0.010 - 0.015 0.060 - 0.070 0.015 - 0.0200.070 - 0.0800.020 - 0.0250.080 - 0.0900.025 - 0.0300.090 - 0.1000.030 - 0.0350.100 - 0.1100.035 - 0.0400.110 - 0.120 0.040 - 0.045 0.120 - 0.130 Alineamento de trazado ESTACION PALOTAL **ESCENARIO CON PERDIDA DE VOLUMEN DEL 0.5%**



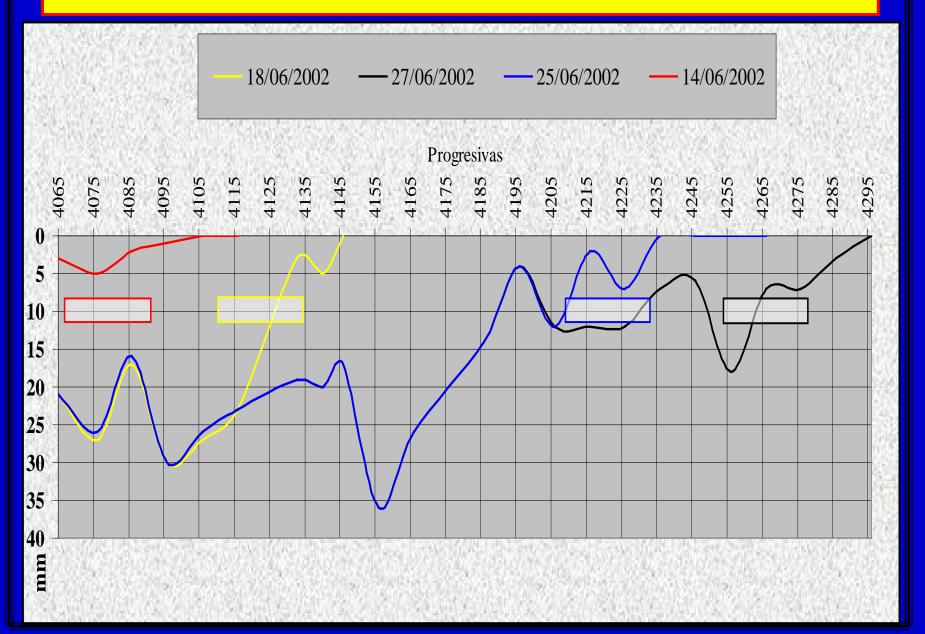
ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA



ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA



ASENTAMIENTOS TRAMO PALOTAL – SANTA ROSA

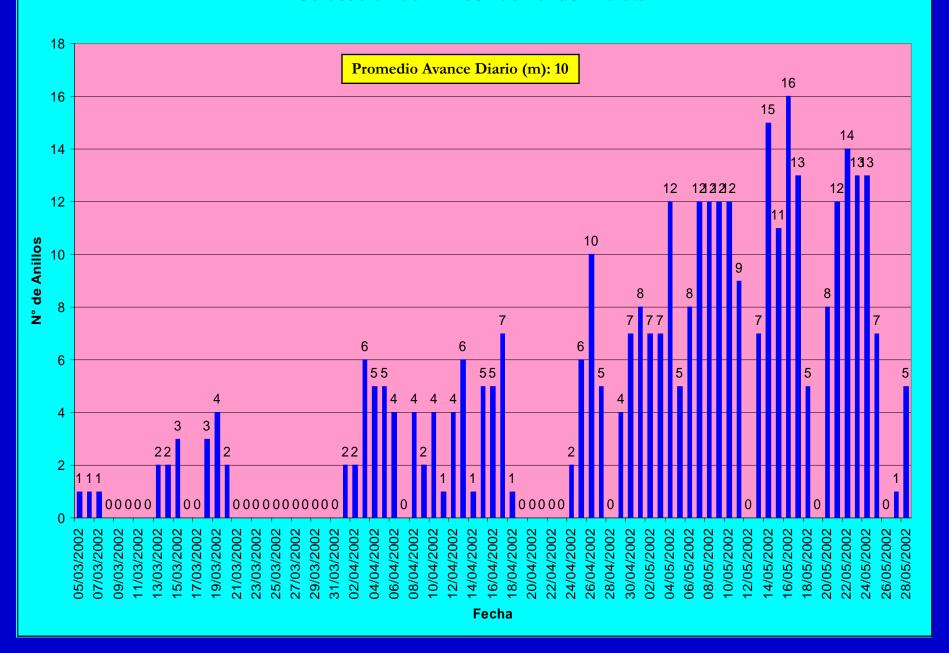




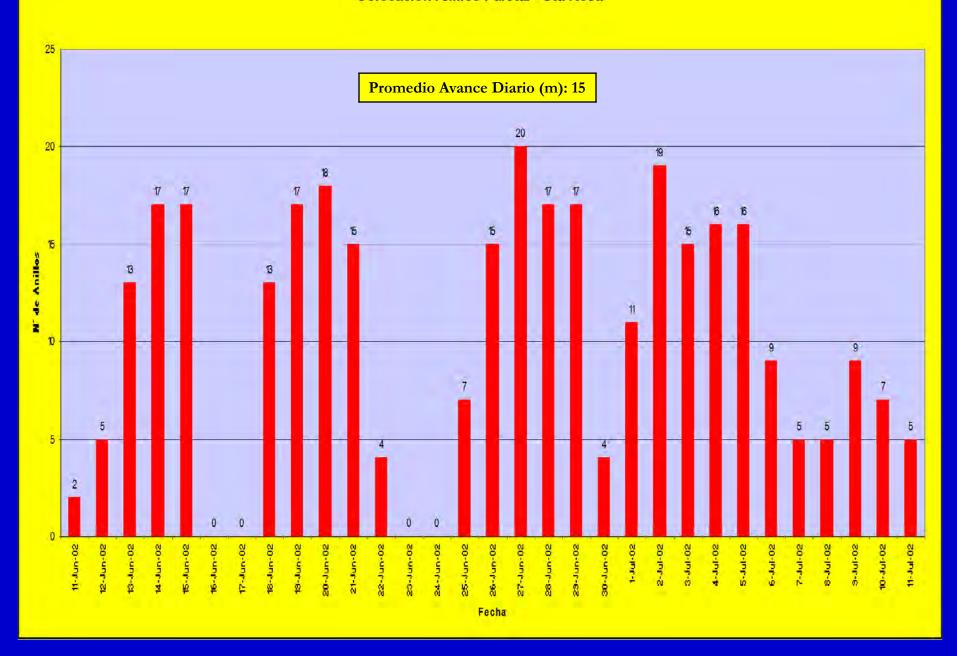




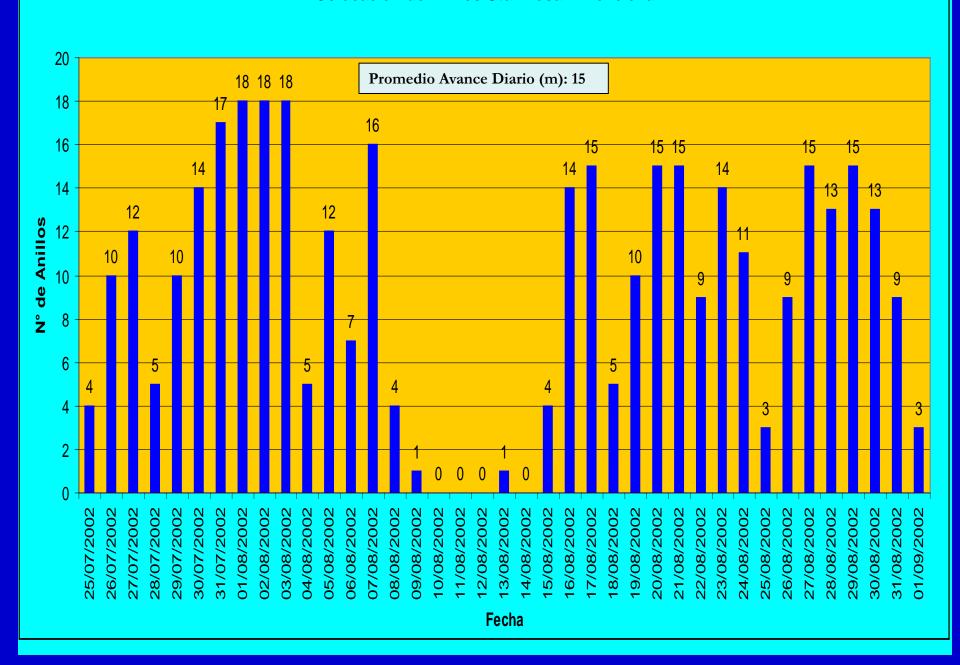
Colocación de Anillos Las Ferias - Palotal



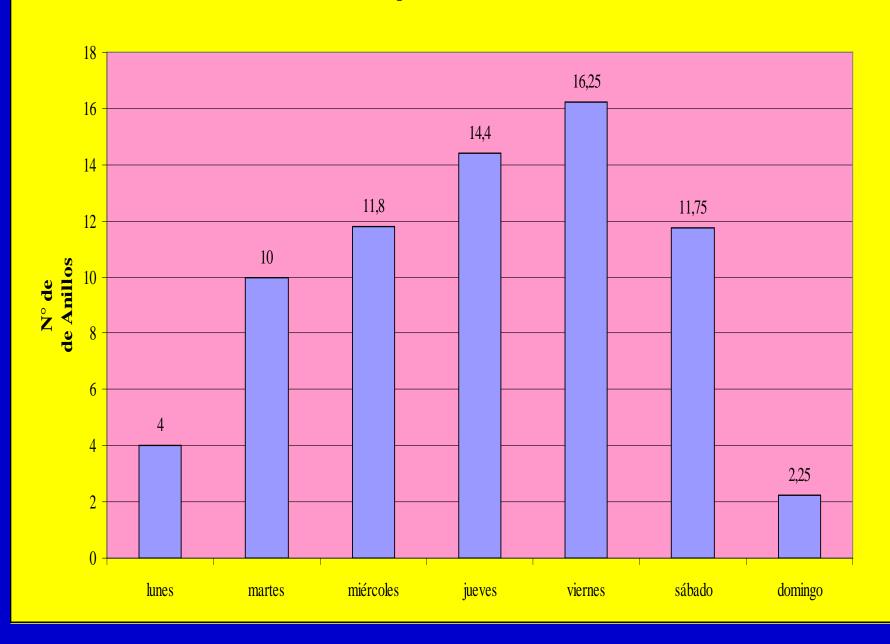
Colocación Anillos Palotal - Sta Rosa



Colocación de Anillos Sta. Rosa - Michelena



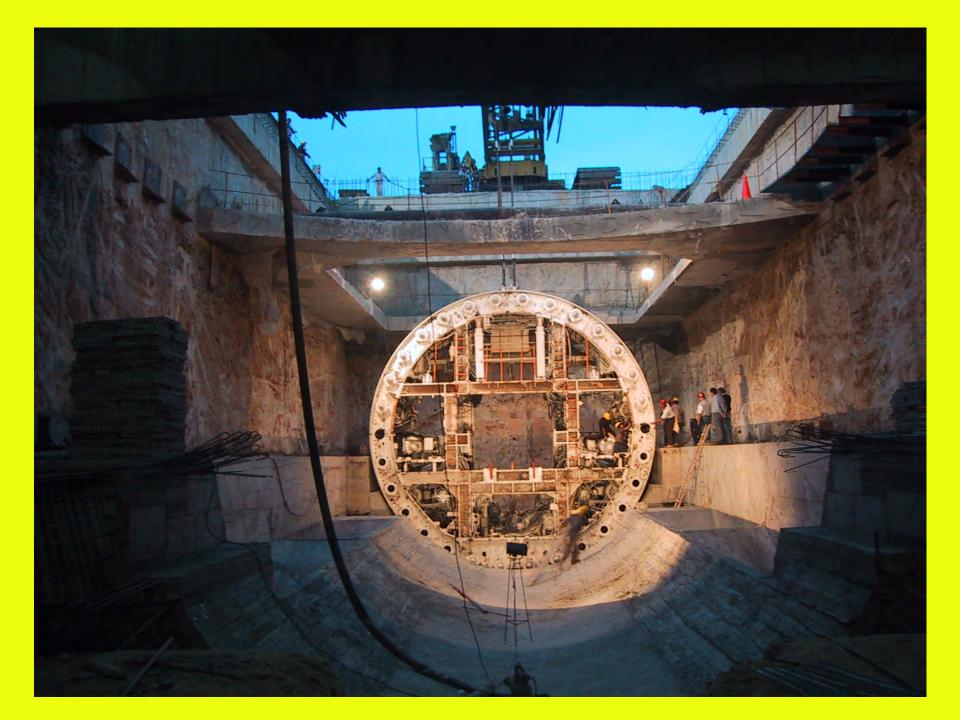
Promedio de Anillos Según Día de la Semana Palotal-Sta. Rosa





















































































ANILLO SEMI-UNIVERSAL DE LA LÍNEA 3 DEL METRO DE CARACAS

