

# Construcción Subterránea: Tunelería Empleando Equipos TBM (Tunnel Boring Machine)

Raúl Bracamontes



# TBM (Tunnel Boring Machine)

Ing. Raúl Bracamontes



# Elección del método constructivo

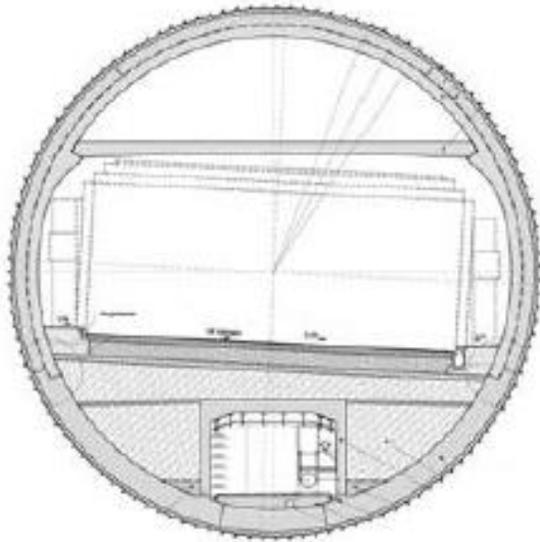
## Factores de influencia

Análisis y comparación de los siguientes factores

- Condiciones geológicas y posibles escenarios de riesgo
- Seguridad y salud
- Protección del medio ambiente (transporte de escombros, afectaciones, etc.)
- Costos de construcción/ ciclo de vida
- Sección de excavación, (estaciones, bifurcaciones, lumbreras, etc)
- Tiempo de construcción
- Condiciones legales
- Accesos
- Logística

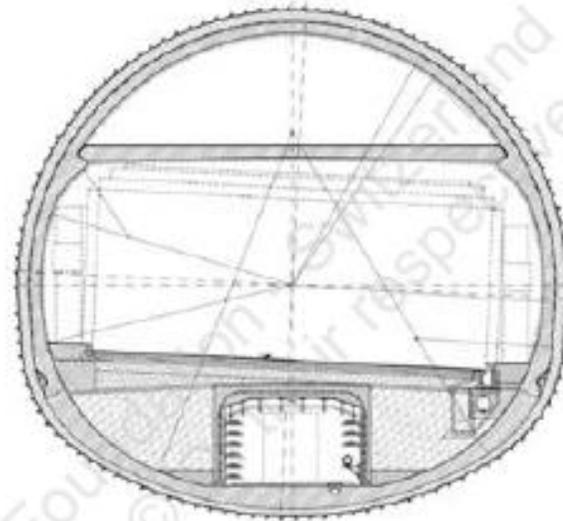


# Factores de forma



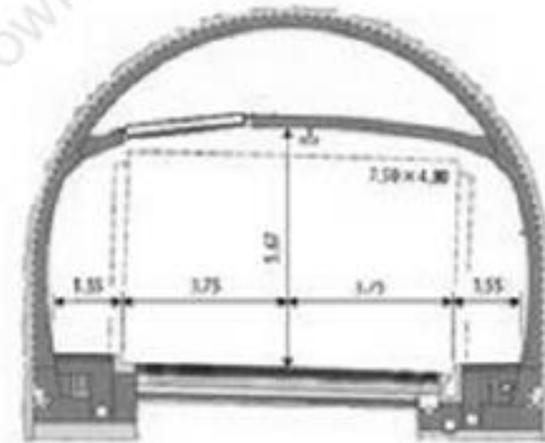
## Sección circular

- TBM
- (Perforación y voladura)
- Excavación con medios mecánicos



## Sección abovedadas con hastiales curvos y contrabóveda

- Perforación y voladura
- Excavación con medios mecánicos



## Sección en herradura:

- Perforación y voladura
- Excavación con medios mecánicos





*By Raul Bracamonte*

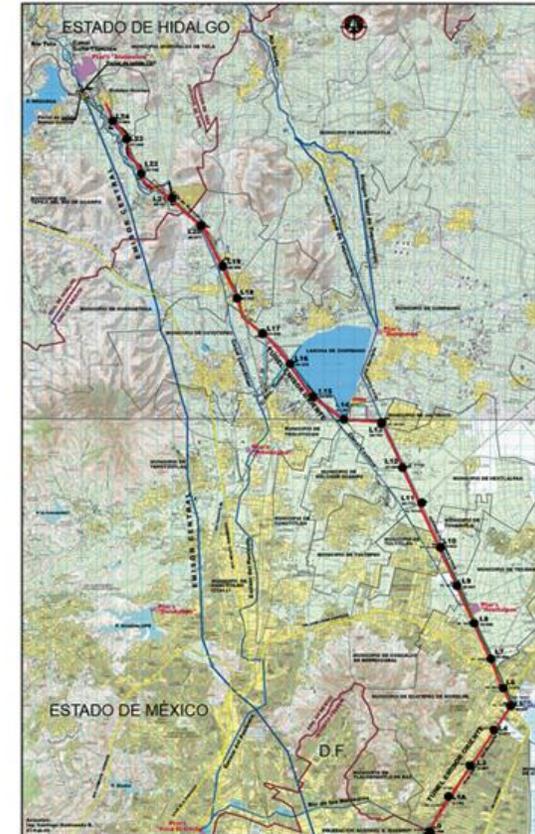




# Factores de influencia el trazo

By Raul Bracamontes

- Consideraciones respecto al trazo
- pendiente de la rasante admisible
- Radio de curva horizontal / vertical admisible
- Ubicación de las galerías de acceso
- Consideraciones de fallas
- Consideraciones de estructuras afectadas (edificio, presas, etc)



# Factor de influencia: longitud y acceso

- Aplicación económica razonable de la TBM : longitud mayor de 2 km

## Accesos

- Acceso a través de galerías o pozos
- Suficiente espacio para la instalación y montaje de la TBM
- La combinación de lumbreras y el empleo de TBM grandes es imposible





*By Raul Bracamontes*

# Factores de influencia: sostenimiento y revestimiento

## Sostenimiento

- El efecto “squeezing” en túneles profundo requiere de un sostenimiento flexible para permitir las deformaciones
- Los túneles de poca cobertura en suelos requieren de un sostenimiento rígido con un sistema de soporte que trabaje inmediatamente para reducir deformaciones

## Revestimiento

- Revestimiento simple o doble
- Concreto lanzado
- Concreto colado in situ
- Dovelas TBM
- Explosivos no se pueden usar dovelas





By Raul Bracamonte

# LSC (Lining Stress Controllers) soporte flexible en tuneles

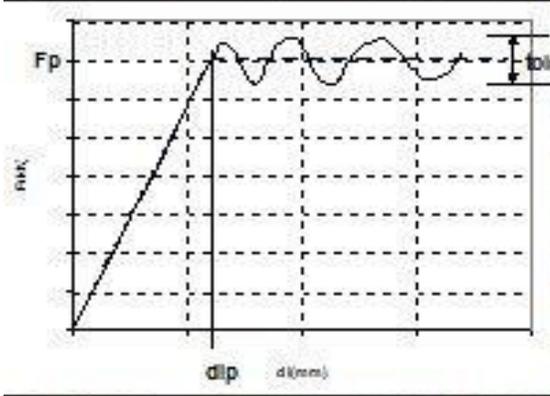
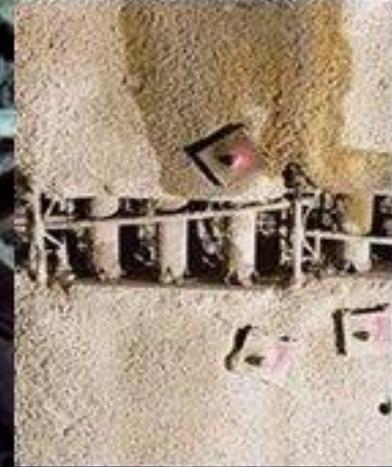
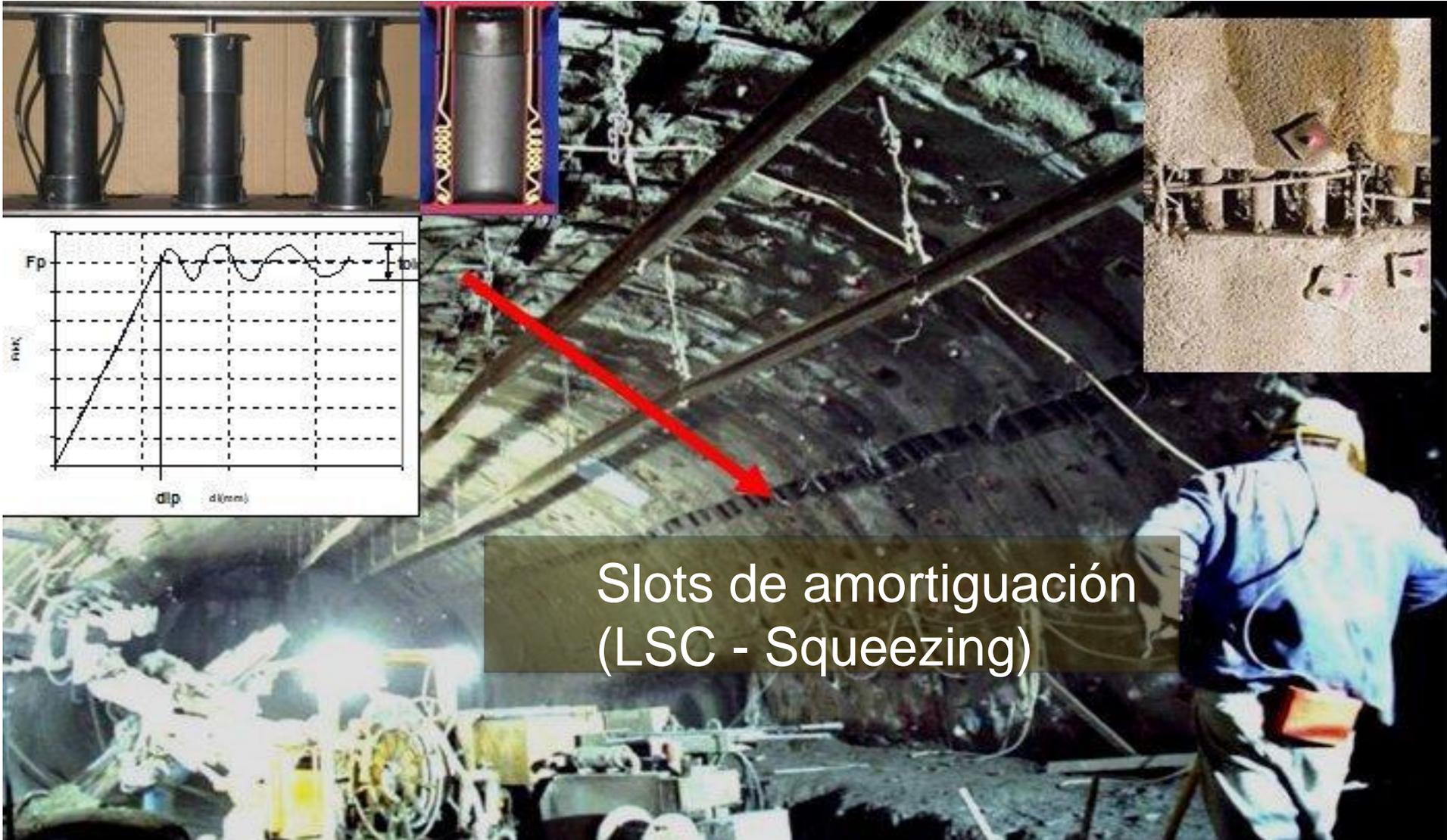


© DWIDAG SYSTEMS INTERNATIONAL DSI





By Raul Bracamonte



Slots de amortiguación  
(LSC - Squeezing)





*By Raul Bracamontes*

# Colapso del Túnel





*By Raul Bracamonte*





SHOTCRETE

*By Raul Bracamonte*



10/10/2002





# Factores de influencia agua subterranea

By Raul Bracamontes

- Nivel freático alto excluye TBM de escudo abierto y el uso de explosivos sin pre inyección
- Puede necesitar TBM de escudo cerrado o tratamiento al terreno como congelamiento , inyecciones, etc
- Revestimiento drenado o impermeabilización





SHOTCRETE

By Raul Bracamonte





# Pre inyección

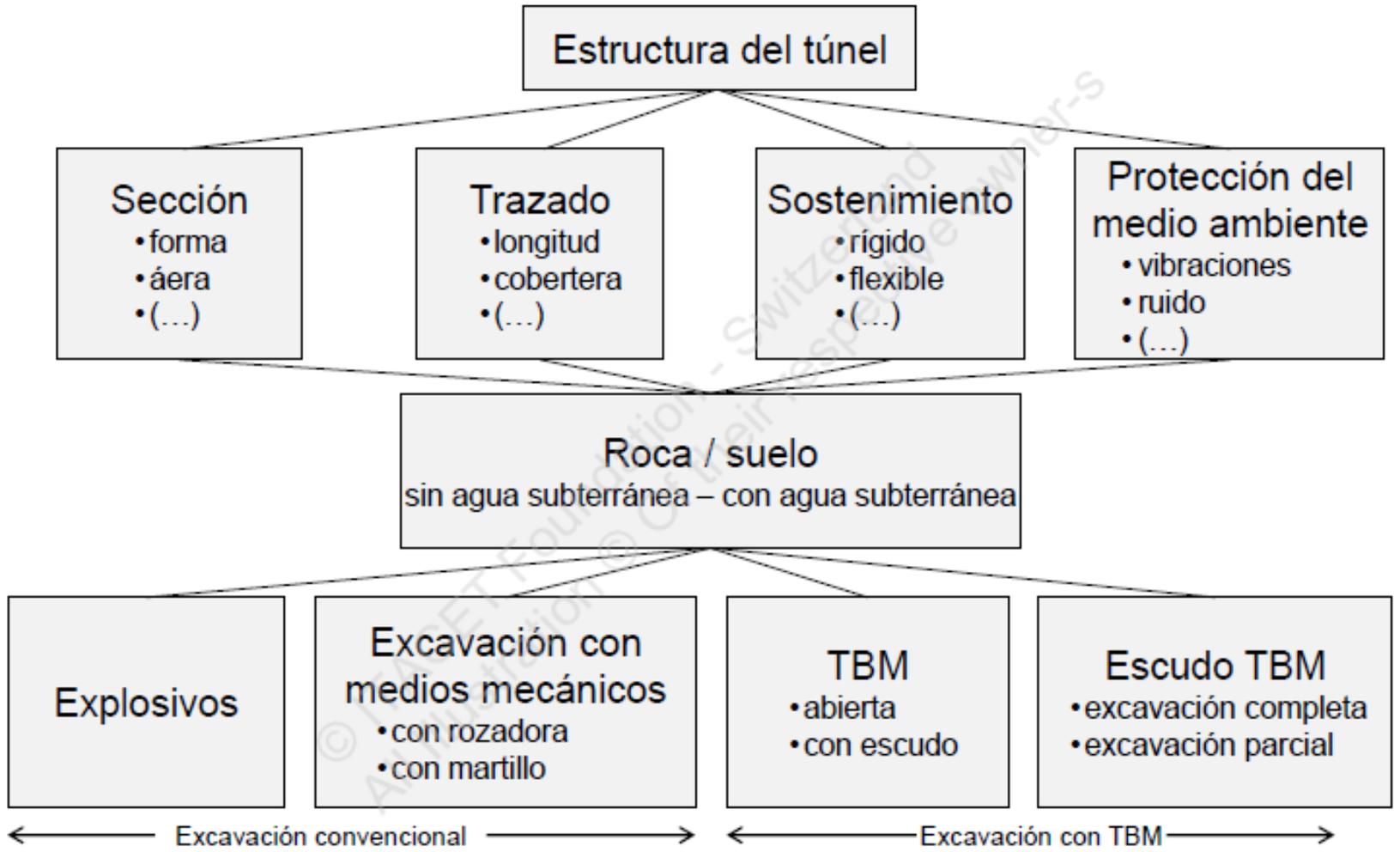
*By Raul Bracamontes*





# Elección del método constructivo resumen

By Raul Bracamontes





# Introducción

*By Raul Bracamontes*

TBM es toda una fabrica movible

- Solo se necesitan realizar pequeños trabajos de acabado después de utilizar una TBM. La TBM puede hacer
  - Sistemas de perforación
  - Aplicación de concreto lanzado
  - Colocación de recubrimientos
  - Soporte de roca
  - Hincado de tuberías
  - Extracción de material excavado





# Diversos procesos en la construcción de túneles cut and cover

*By Raul Bracamontes*





# Perforación y voladura

*By Raul Bracamontes*

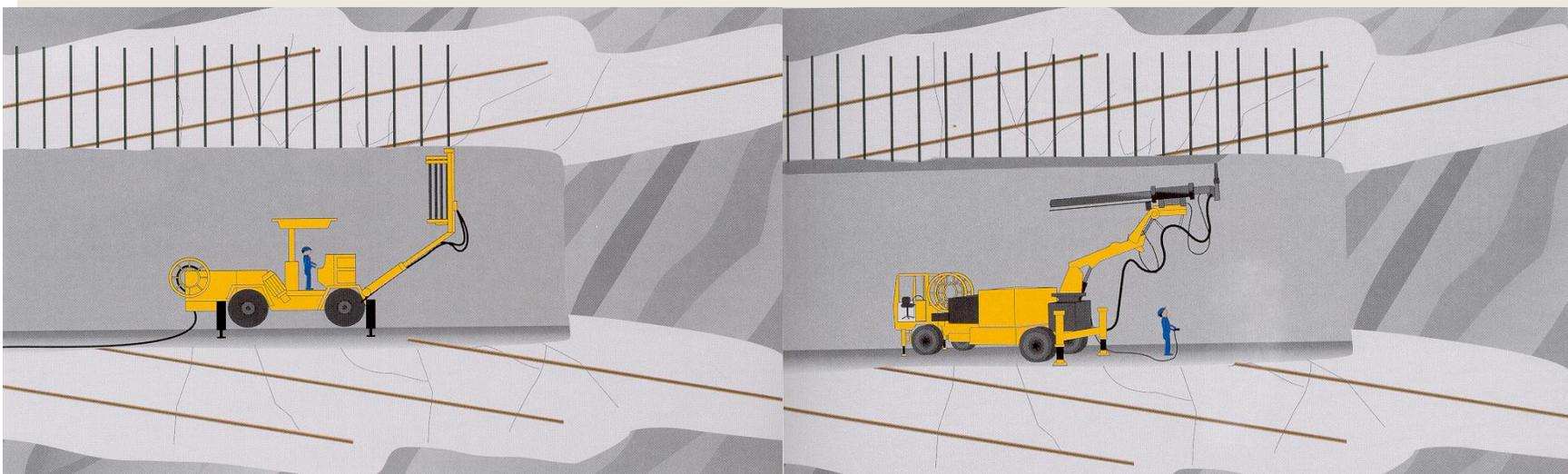
- Antes de los equipos TBM, el método de perforación y voladura era el único método económico de excavar túneles largos en roca dura donde excavar no era posible
- Hoy en día sigue siendo un método muy utilizado en la construcción de túneles
- El inconveniente principal es el daño que genera al terreno circundante





# Diversos procesos en la construcción de túneles perforación y voladura

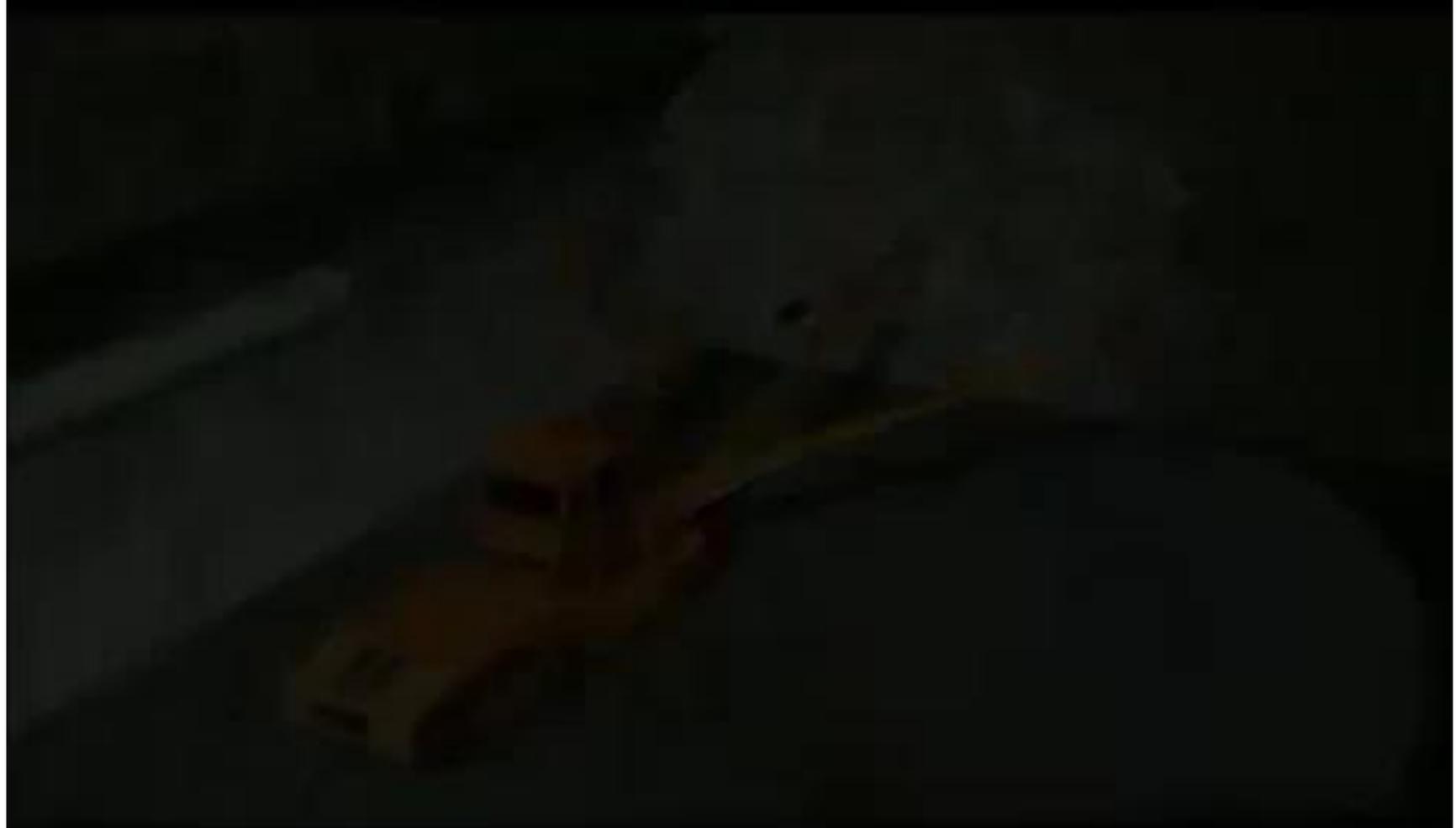
*By Raul Bracamontes*





# Ciclo de excavación con perforación y voladura

*By Raul Bracamontes*





# Ejemplo de excavación y soporte en diferentes rocas

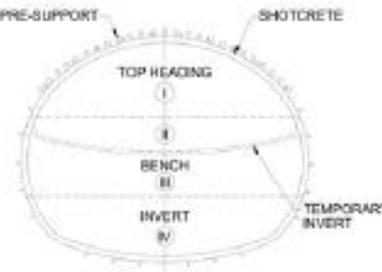
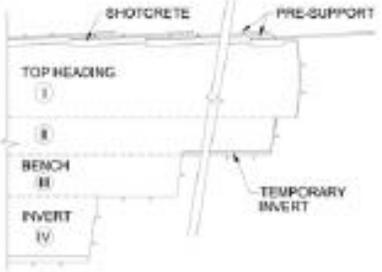
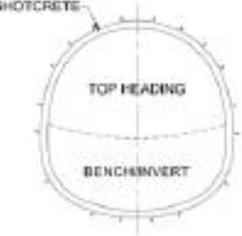
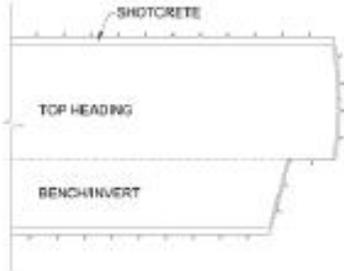
By Raul Bracamonte

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
<p><b>Intact Rock:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spot bolting</li> <li>Occasional sealing shotcrete</li> <li>Full face or top heading/bench excavation</li> <li>Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: 8'-12" (2.5-3.7 m)</li> <li>Bench: Up to 16'-0" (4.9 m)</li> </ul> </li> <li>Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 20'-0" (6 m)</li> <li>Width: 29'-0" (8.8 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> Bergen Tunnels, NJ</p>			
<p><b>Stratified Rock:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Systematic rock doweling</li> <li>Systematic shotcrete initial lining</li> <li>Top heading excavation</li> <li>Bench excavation follows distant</li> <li>Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: 6'-6" (2 m)</li> <li>Bench: 6'-6" (2 m)</li> </ul> </li> <li>Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 29'-6" (9 m)</li> <li>Width: 36'-0" (11 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> Zederhaus, Austria</p>			
<p><b>Fractured Rock:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Systematic rock doweling</li> <li>Systematic shotcrete initial lining</li> <li>Top heading excavation</li> <li>Bench excavation follows any time</li> <li>Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: 7'-2" (2.2 m)</li> <li>Bench: 13'-0" (4.0 m)</li> </ul> </li> <li>Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 28'-0" (8.5 m)</li> <li>Width: 36'-5" (11.1 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> Devil's Slide Tunnels, CA</p>			



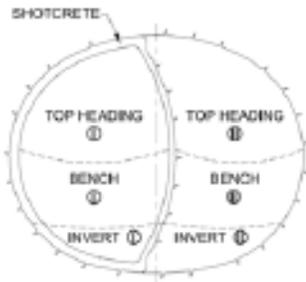
# Ejemplo de excavación y soporte en diferentes rocas

By Raul Bracamonte

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
<p><b>Soft Ground – shallow cover:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systematic pre-support</li> <li>▪ Systematic shotcrete initial lining support with early ring closure</li> <li>▪ Top heading excavation (with temporary invert), bench and invert excavation</li> <li>▪ Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: I – 3’-3” (1 m)</li> <li>Top Heading: II – 6’-6” (2 m)</li> <li>Bench III/Invert IV – 6’-6” (2 m)</li> </ul> </li> <li>▪ Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 38’-0” (11.6 m)</li> <li>Width: 48’-0” (14.7 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> Fort Canning Tunnel, Singapore</p>			
<p><b>Soft Ground – deep level:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systematic shotcrete support with early ring closure</li> <li>▪ Top heading excavation closely followed by bench/invert excavation</li> <li>▪ Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: 3’-3” (1 m)</li> <li>Bench: 6’-6” (2 m)</li> </ul> </li> <li>▪ Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 20’-3” (6.3 m)</li> <li>Width: 20’-3” (6.3 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> London Bridge Station, London, UK</p>			

# Ejemplo de excavación y soporte en diferentes rocas

By Raul Bracamonte

Description	Cross Section	Longitudinal Section	Photo
<p><b>Soft Ground – deep level:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systematic shotcrete support with early ring closure</li> <li>▪ Sub-division into sidewall drifts</li> <li>▪ Top heading excavation closely followed by bench and invert excavation</li> <li>▪ Round Length               <ul style="list-style-type: none"> <li>Top Heading: 3'-3" (1 m)</li> <li>Bench: 6'-6" (2 m)</li> <li>Invert: 6'-6" (2 m)</li> </ul> </li> <li>▪ Dimensions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Height: 30'-2" (9.2 m)</li> <li>Width: 37'-0" (11.3 m)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Example:</b> London Bridge Station, London, UK</p>			





# Diversos procesos en la construcción de túneles TBM

*By Raul Bracamontes*





# Introducción

*By Raul Bracamontes*

- Se utilizan para excavar túneles con una sección circular
- Puede excavar prácticamente en cualquier tipo de terreno desde roca hasta arena
- Diferentes tipos de TBM para diferentes terrenos
- Su uso como una alternativa al método de perforación y voladura
- Limita la perturbación del terreno circundante y produce un túnel suave
- Ideal para zonas densamente urbanizadas
- Los diámetros van desde 1 metro hasta 19.25 metros de diámetro





# Geotecnia

*By Raul Bracamontes*

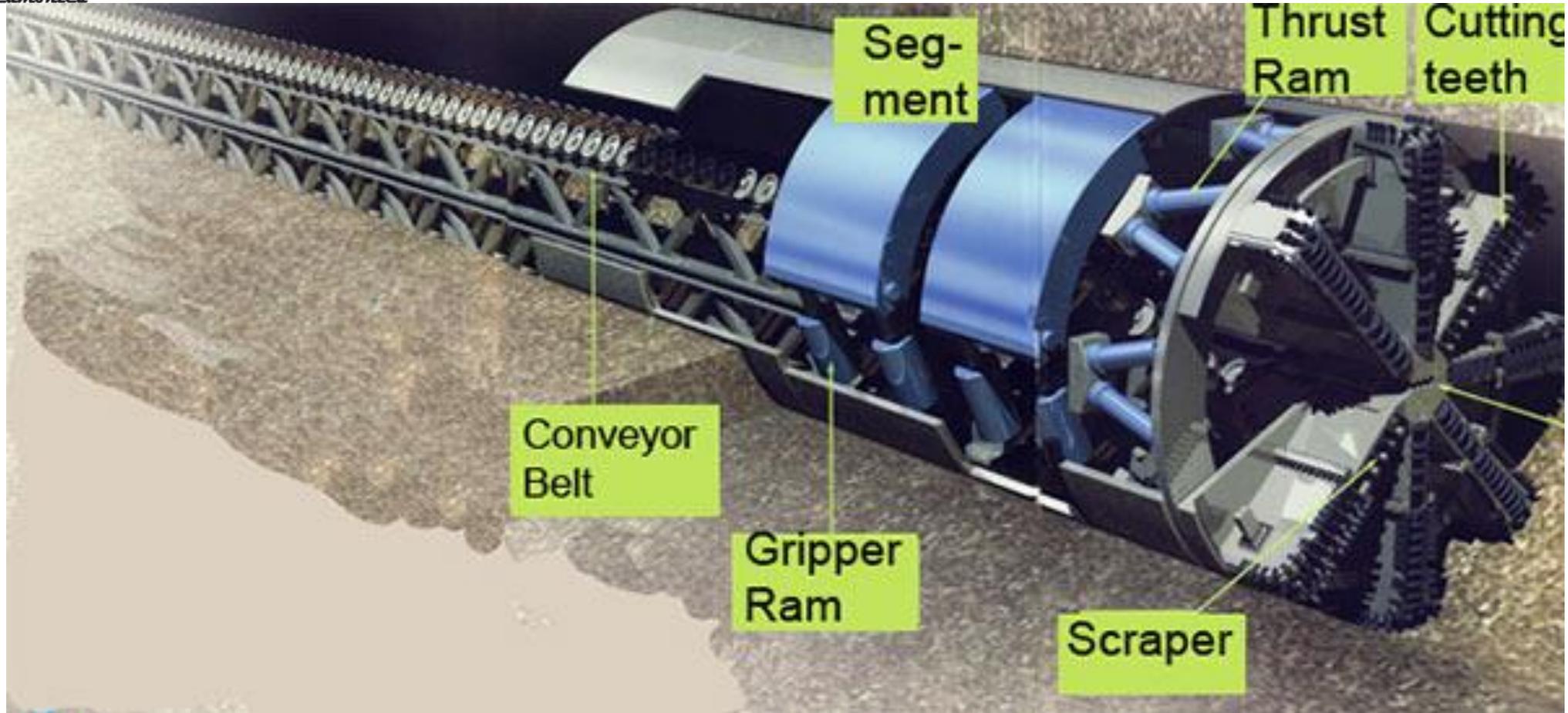
- La información geológica e hidráulica acerca del suelo es la información principal para la planeación y ejecución del los proyectos de tunelería e hincado de tubería
- Provee la información básica para seleccionar el método de tunneleria, la cabeza de corte que excavará en el terreno natural de manera eficiente y económica
- Los principales parámetros para el diseño de un TBM
  - Curva granulométrica del suelo
  - Penetración de agua
  - Limites de consistencia
  - Calidad del la roca
  - Dureza de la roca
  - Mineralogía de la roca/arcillas





# Partes de una TBM

By Raul Bracamontes





# Discos de corte

*By Raul Bracamontes*

- Son utilizado para desgarrar el suelo y roca de la frente
- Se montan en la cabeza cortadora
- Hay de diferentes tipos según las condiciones del terreno
- Se colocan de forma radial para maximizar su eficiencia
- Giran 360°
- Se remplazan periódicamente
- Presionan el terreno con una fuerza de 26 toneladas

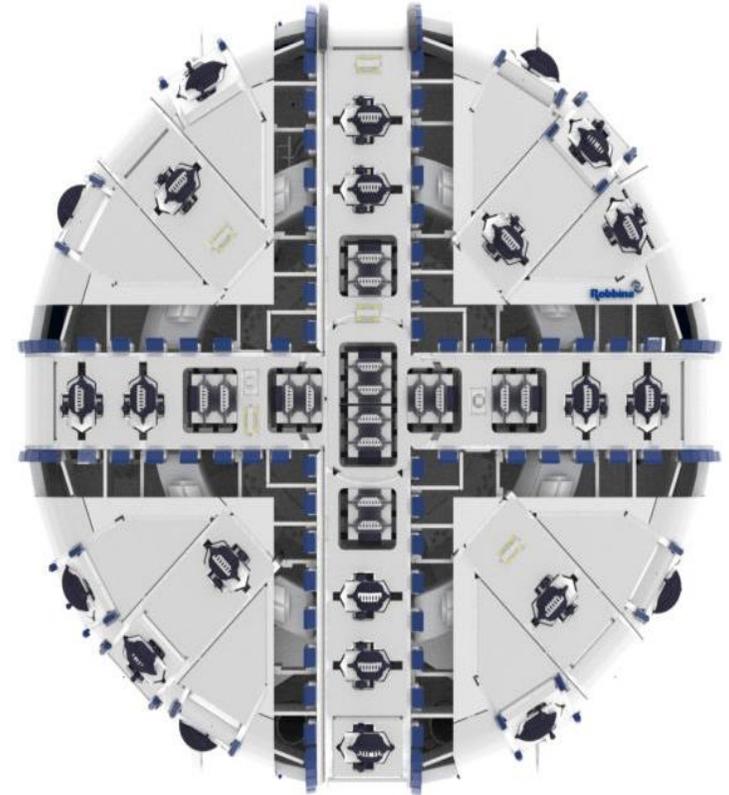




# Cabeza cortadora

*By Raul Bracamontes*

- Es la parte de la TBM en contacto con el terreno a ser excavado
- Gira con una velocidad de 1 a 10 rpm
- Aquí se montan los discos de corte
- Gira 360 grados
- También cuenta con aberturas llamadas “muck buckets” para retirar el material excavado hacia la banda transportadora





# Gripper

*By Raul Bracamontes*

- Son los brazos de soporte de la TBM durante el avance. Deben soportar la fuerza necesaria para el avance de la TBM, proporcionada por los cilindros de empuje y transmitida a las paredes del túnel
- Los cilindros de empuje son los que proporcionan a la maquina el empuje necesario contra la frente para realizar la excavación su recorrido oscila entre 1.5 y 2 metros y marca la longitud de cada ciclo de avance





# Tipos de TBM

*By Raul Bracamontes*

- Según las condiciones del terreno, los TBM se pueden clasificar en dos tipos principales:
  - TBM de roca blanda o suelo
  - TBM de roca dura





# Tipos de tuneleras

*By Raul Bracamontes*

## Tuneleras para roca:

- Tunelera abierta de viga principal con zapatas laterales
- Escudo sencillo
- Escudo doble
- Escudos con rozadoras

## Tuneleras para suelos:

- EPB's
- Slurry TBM
- Tuneleras tipo dual
- Crossover TBM's





By Raul Bracamonte.

CRITERIO GEOTECNICO PARA LA SELECCION DE TBM														
TIPO DE MAQUINA A EMPLEAR	RESISTENCIA DE ROCA					ESTRUCTURA DE ROCA					INGRESO DE AGUA			
	RESIS. COMP. (Mpa)	COHESION CU KN/m²	SOPORTE FRENTE	ESCUDO	INST. RECUBR.	JUNTAS		TAMAÑO GRANO		SOPORTE DEL FRENTE	ESCUDO	INST. RECUBR.	VOL POR 30 m³	CONSECUENCIAS EN
						RQD	DISTANCIA	<0.02mm	<0.06mm					
TBM's ESCUDOS PARA SUELOS EPB SLURRY TBM ESCUDO SENCILLO TBM CON ESCUDOS TBM PARA ROCA	ROCA													
	>250												ILIMITADO	CAP DE BOMBEO
	250 - 100				ATRAS DE TBM	100 - 90%	> 2 M					ATRAS DE TBM	ILIMITADO	CAP DE BOMBEO
	100 - 50				ATRAS DE TBM	90 - 75%	2.0 - 0.6 M				POSIBLE	ATRAS DE TBM	> 20L/S	CAP DE BOMBEO
	50 - 25			RECOMENDADO	ATRAS DE TBM	75 - 50%	0.6 - 0.2 M			POSIBLE MECANICO	RECOMENDADO	EN AREA TBM	> 10 L/S	SOPORTE DE FRENTE
	25 - 5			REQUERIDO		50 - 25%	0.2 - 0.06 M			MECANICO	REQUERIDO	CON ESCUDO	> 5 L/S	SOPORTE DE FRENTE
	5 - 1		RECOM.	REQUERIDO	CON ESCUDO	<25%	< 0.06 M			MECANICO POSIBLE EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO	> 2L/S	METODOLOGIA
	<1	>30		REQUERIDO	CON ESCUDO	<25%	< 0.6 M	VARIABLE		MECANICO POSIBLE EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO	> 2L/S	METODOLOGIA
	SOIL													
		30 - 10	RECOM.	REQUERIDO	CON ESCUDO	<25%		>30%		MECANICO POSIBLE EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO	> 2L/S	METODOLOGIA
		10 - 5	RECOM.	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA			>20%	<50%	EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA	> 2L/S	METODOLOGIA
		5 - 1	REQUE.	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA			>10%	<30%	EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA	> 2L/S	METODOLOGIA
	0	REQUE.	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA			>10%	<20%	EPB / SLURRY	REQUERIDO	CON ESCUDO / INYECCION DE MORTERO INMEDIATA	> 2L/S	METODOLOGIA	

Tabla 7.1. Criterio geotécnico para selección de una TBM, con base a la experiencia en tunelaje mecanizado. Lars Babendererde. 3er Curso Internacional de Túneles, Guadalajara, México.

# SISTEMAS DE EXCAVACION- CAMPO DE UTILIZACION

TIPO DE MAQUINA	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LA ROCA (Kg/cm <sup>2</sup> )										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	
TBM CABEZA GIRATORIA										(L)	
TBM BRAZOS ROTATIVOS ARTICULADOS											
ROZADORAS			□	○	△						
ESCUDO CON BRAZO ROZADOR				○							
ESCUDO CON BRAZO RIPPER O EXCAVADORA			○								
ROMPEDORES DE IMPACTO			○								
VER SISTEMA DE ESTABILIZACION FRENTE	ESCUDO DE DISCO ABIERTO (EN ESTRELLA)	□									
	ESCUDO DE DISCO CERRADO	□									
	ESCUDO DE PANELES MOVILES DE BLINDAJE DEL FRENTE	□									
EXCAVACION CON EXPLOSIVOS								□	○	⊗	

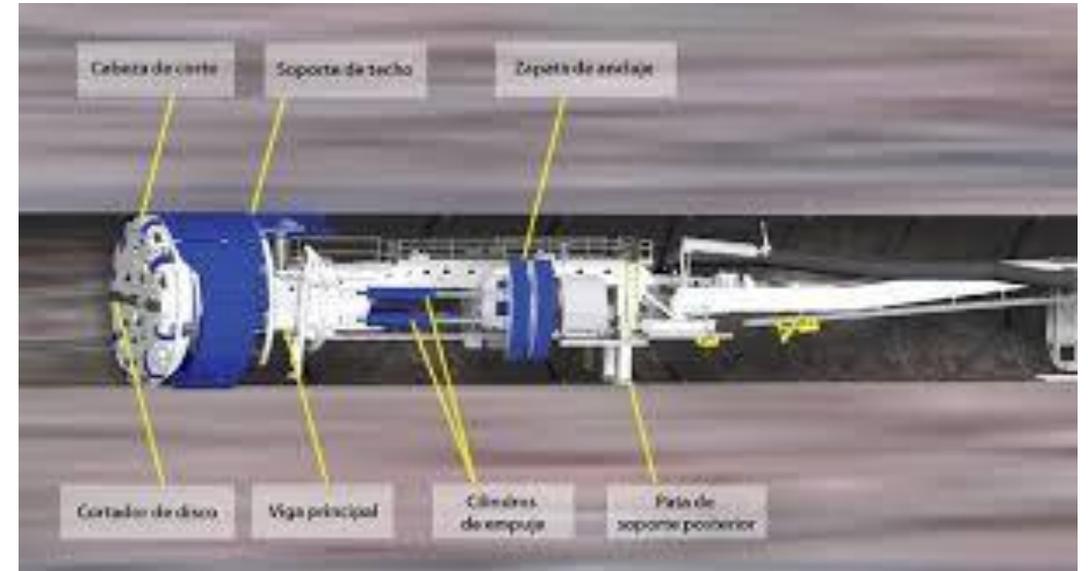
## Simbolos.—

- (L) SE NECESITA UNA LONGITUD MINIMA PARA QUE LA EXCAVACION SEA ECONOMICAMENTE RENTABLE
- CUALQUIER FORMA DE SECCION EXCAVADA
- PERMITE LA EXCAVACION EN FASES
- △ LIMITACIONES DE PENDIENTES
- { ROZADORAS PESADAS 30/40%  
ROZADORAS LIGERAS 30/80%
- ⊗ LIMITACIONES DE USO



# Tuneleadora de roca

By Raul Bracamontes



Es una maquina abierta, no protegida totalmente

La alta abrasividad de algunas rocas así como los contenidos elevados de sílice pueden producir elevados desgastes en los cortadores, lo que conlleva un aumento en el costo





# Tuneleadora de roca

*By Raul Bracamontes*





# Aplicación de concreto lanzado en TBM de roca dura

*By Raul Bracamontes*





*By Raul Bracamonte*

# Tuneleadora escudo sencillo

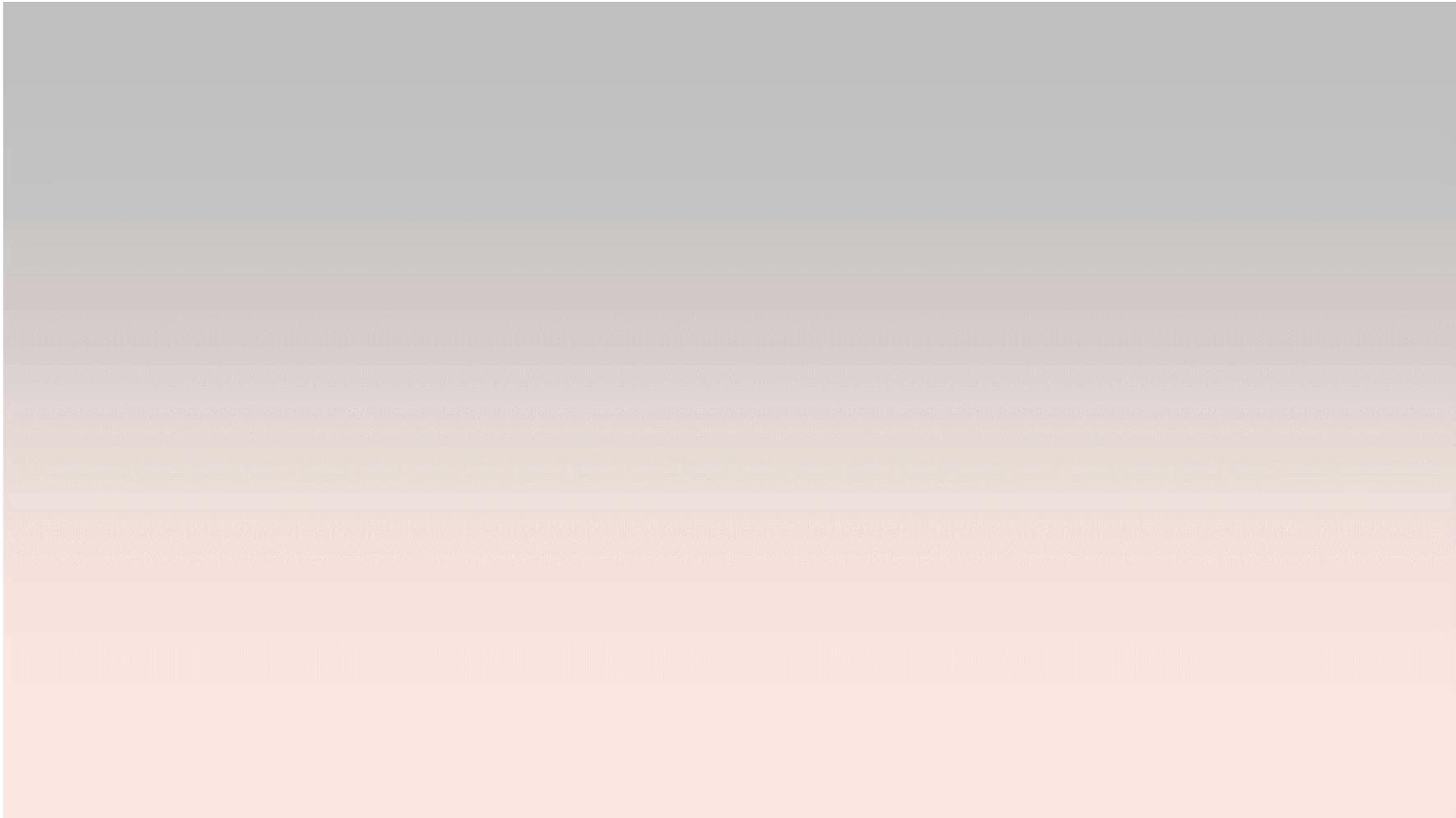
- Consta de una cabeza de corte giratoria de forma circular donde van alojados los discos cortadores. Detrás de la cabeza se encuentra un sistema formado por gatos que presionando sobre el terreno y sobre la cabeza ejercen en ésta la presión necesaria para realizar con éxito la excavación de la roca. El escombros se carga automáticamente en el frente y se conduce hacia atrás mediante una cinta transportadora, que lo deposita en unas vagonetas para su traslado al exterior, o sistema de bandas continuo.





*By Raul Bracamontes*

# Tuneleadora escudo sencillo





# TBM escudo doble

*By Raul Bracamontes*

- Esta máquina es similar a la anterior de escudo sencillo con la ventaja de tener doble escudo que le permite realizar dos operaciones simultáneas, la de excavar avanzando la cabeza cortadora al mismo tiempo que en el escudo trasero se instalan las dovelas correspondientes del recubrimiento primario.
- Otra ventaja importante es que al estar en terreno muy fracturado o débil, la máquina se puede impulsar del mismo recubrimiento primario de dovelas.





# Ventajas

*By Raul Bracamontes*

- Mayor avance
- Operación continua
- Menor daño a la roca, sección exacta
- Menos requerimientos de soporte
- Características uniformes del producto de excavación
- Mayor seguridad
- Potencial de aplicación remota y automática
- Menos contaminaciones ambientales (ruido, polvo, humo, etc.)





# Desventajas

*By Raul Bracamontes*

- Son necesarios mayor de estudios geológicos que con perforación y voladura
- Inversión inicial
- TBM son caras de construir y difíciles de transportar
- TBM no pueden operarse en reversa
- Riesgos de rendimiento cuando se encuentran variaciones inesperadas en las condiciones geológicas.
- Flexibilidad limitada: dificultad para cambiar el sistema una vez establecido
- Limita los radios de curva y ampliaciones





*By Raul Bracamontes*

Muchas gracias por su  
atención

