



MINERÍA CONTINUA TUNELERAS TBM

Relator: Raul Tapia Rivera

¿QUÉ ES LA MINERÍA CONTINUA?

Lo primero es entender que la explotación tradicional o convencional se ejecuta a través de varios ciclos y por ello presenta muchos tiempos muertos.

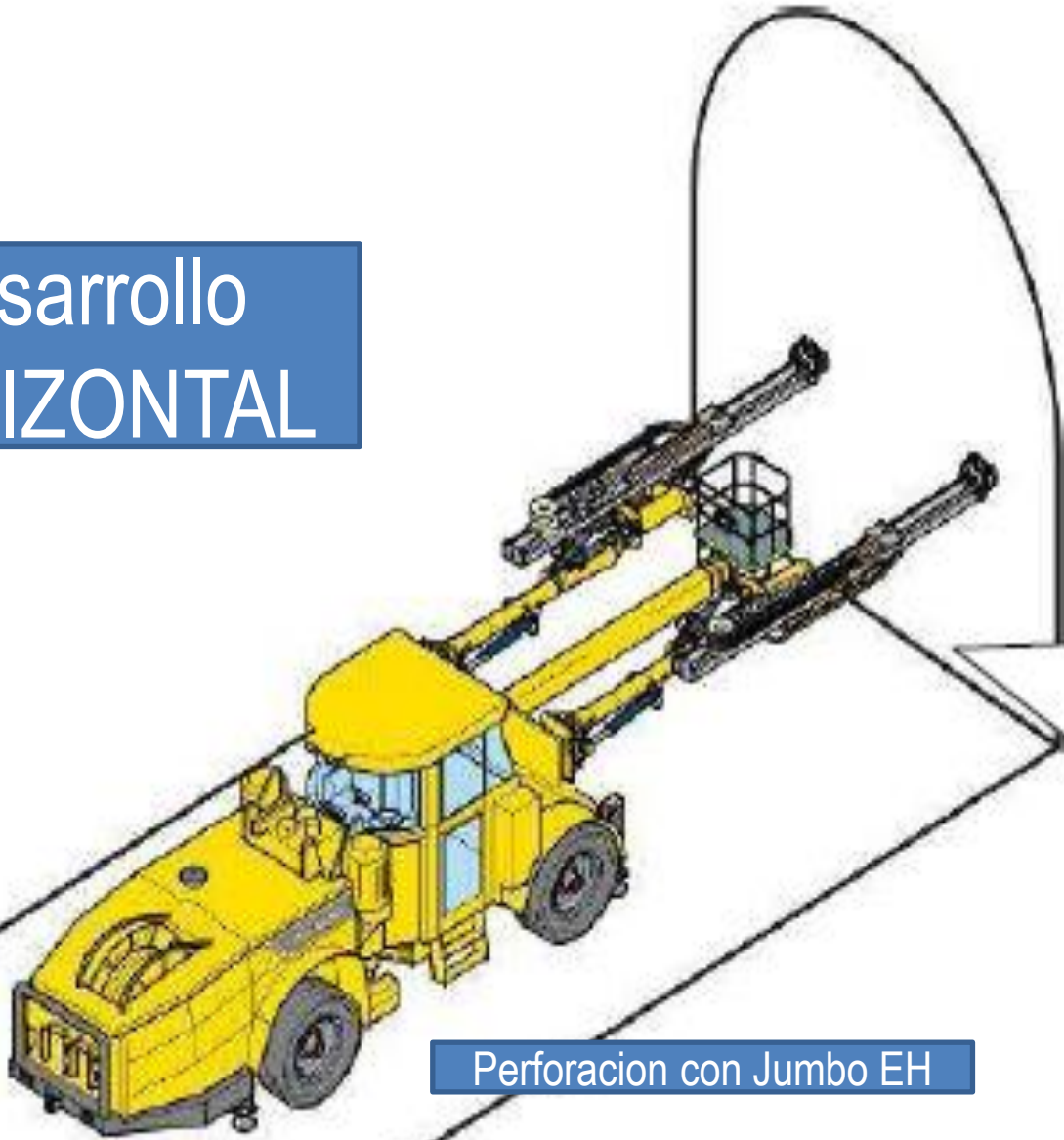
La operación continua -al eliminar tiempos muertos -podría reducir cerca de un 20% los costos de producción y mejorar la productividad en torno al 50%, según se estima en algunos proyectos. *

Consiste en estrategias impulsadas en EEUU , Canadá, Europa y Sud Africa, a través de un rediseño integral de las operaciones subterráneas y de superficie, con énfasis en equipamiento, sistemas operacionales, mecánica de rocas y apego a la seguridad y salud de los operadores.

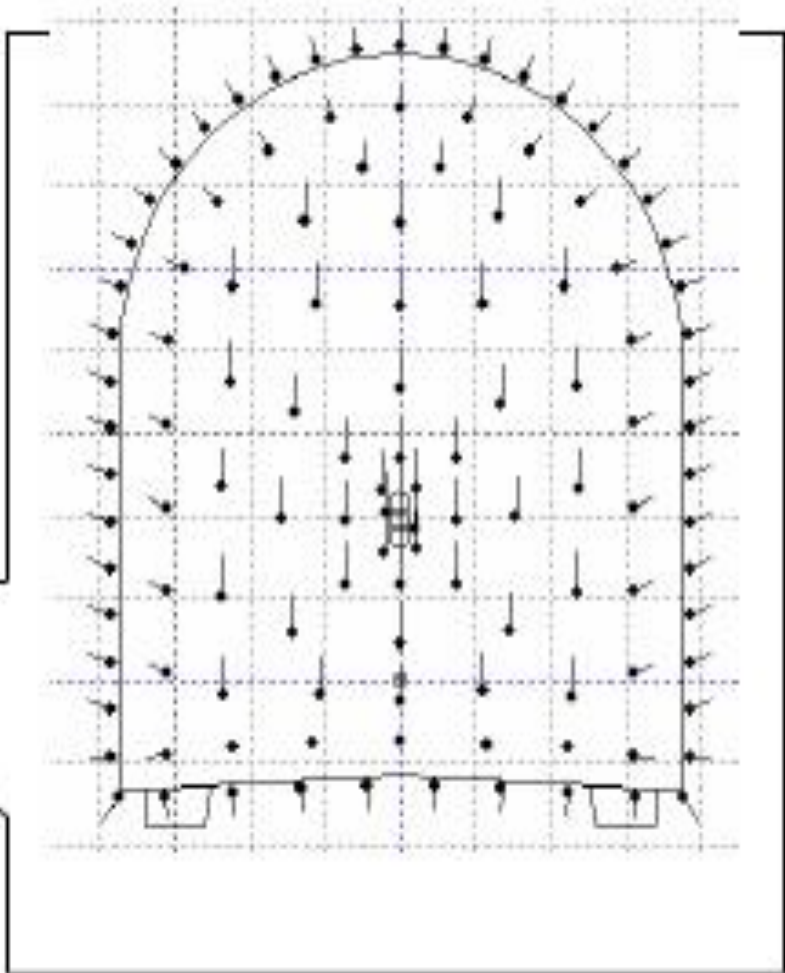


CONVENCIONAL

Desarrollo HORIZONTAL

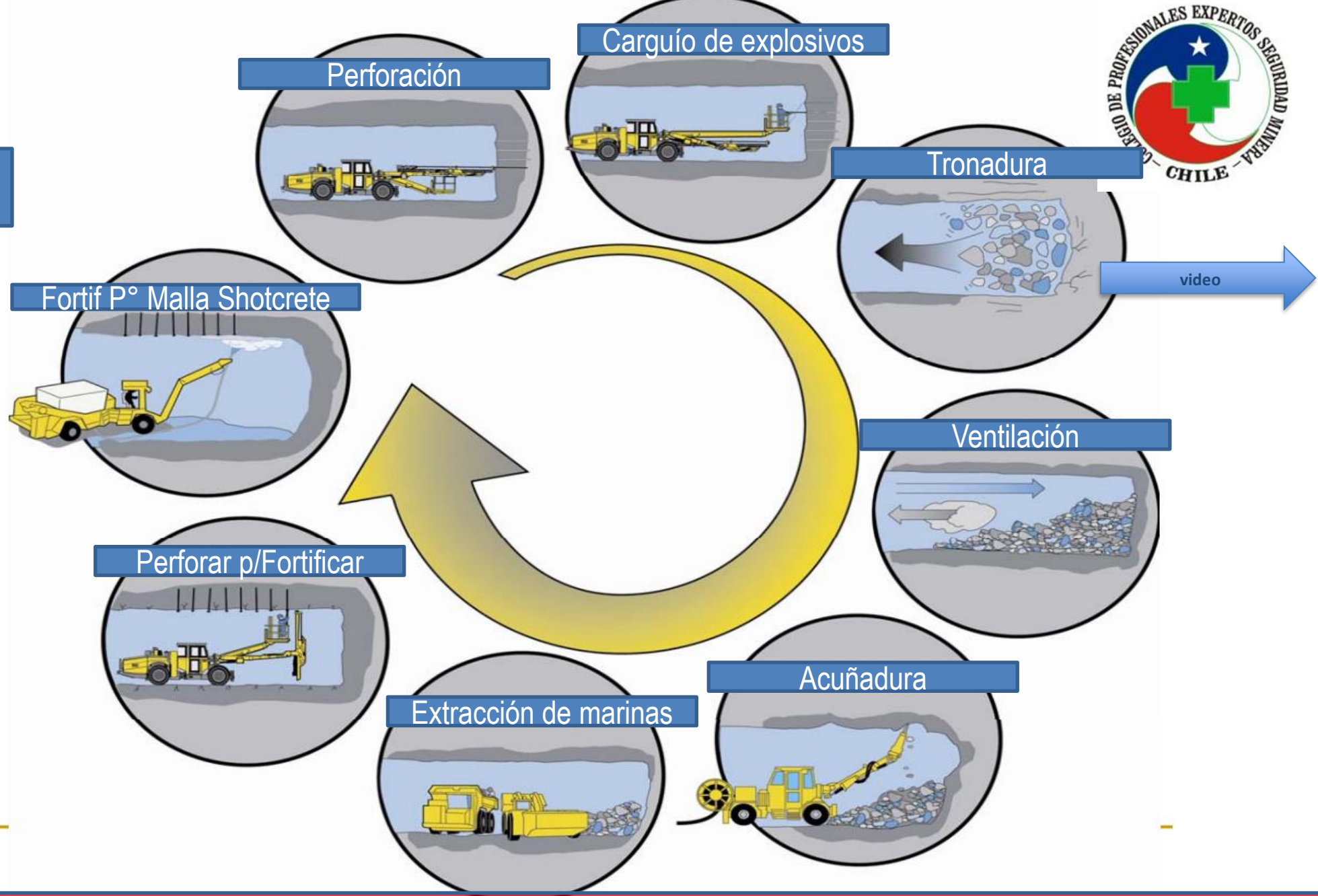


Perforacion con Jumbo EH



Round de disparo

CICLO MINERO



TRONADURA SUBTERRANEA

Los equipos de minería continua son maquinarias utilizadas en la industria minera para la operación-avance-extracción de minerales en forma continua, en contraste con los métodos convencionales que operan intermitentemente, como por ejemplo procesos de **perforación, tronadura y fortificación convencionales**.

Estos equipos son especialmente utilizados en minería subterránea, además de obras civiles de envergadura permitiendo una operación continua y eficiente.

Algunos equipos de este tipo son:

Minadores continuos. Máquinas que cortan, trituran y/o cargan mineral en un solo proceso.

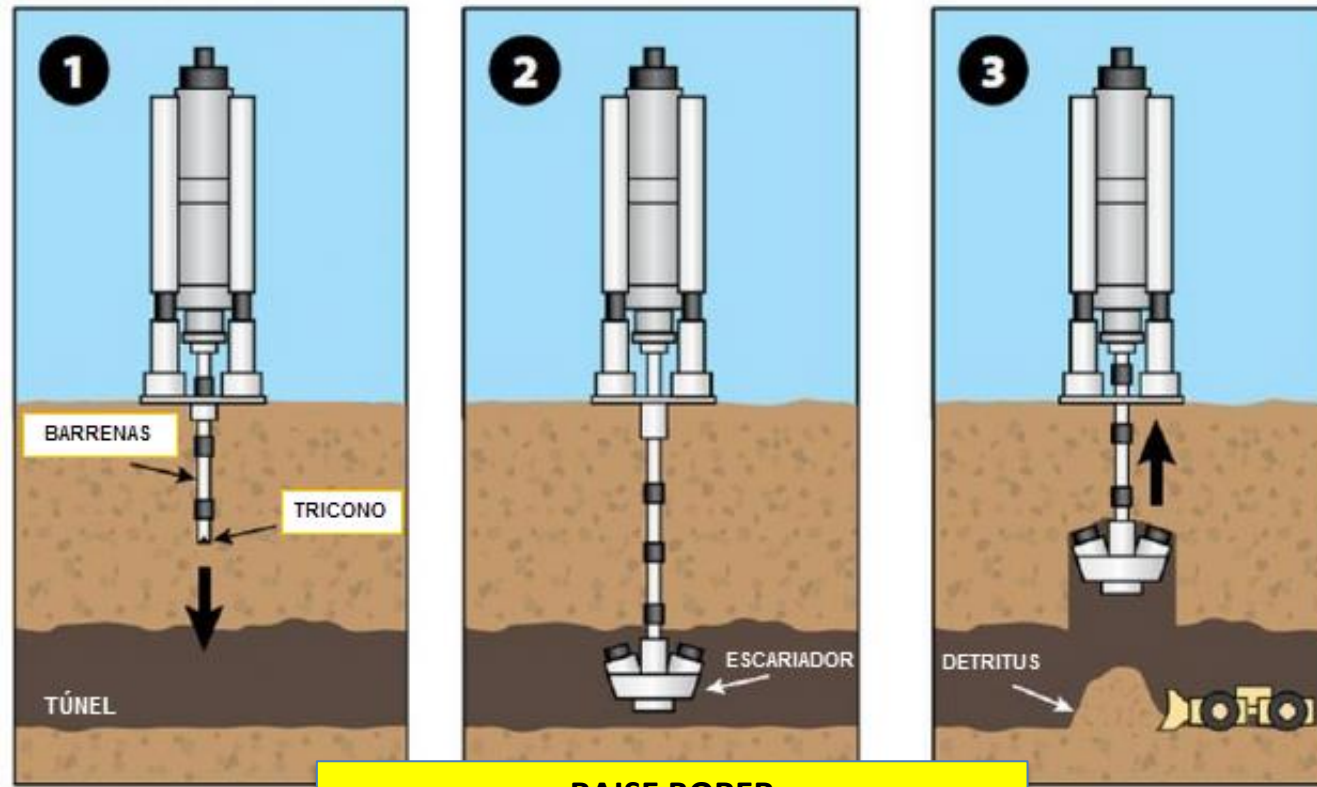
Generalmente equipados con una cabeza de corte giratoria que corta el material y otros extraen y cargan directamente hacia un buzón o cinta transportadora.

Acá destacamos escariadores verticales llamados Raise borer y Bore Hole (o Blind hole).

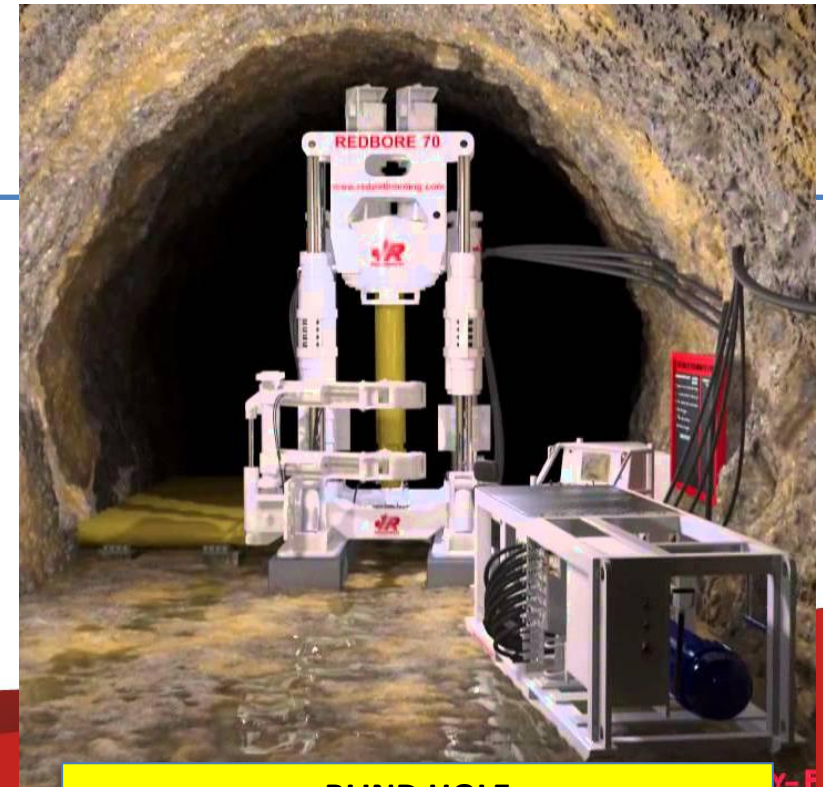
MINERÍA CONTINUA

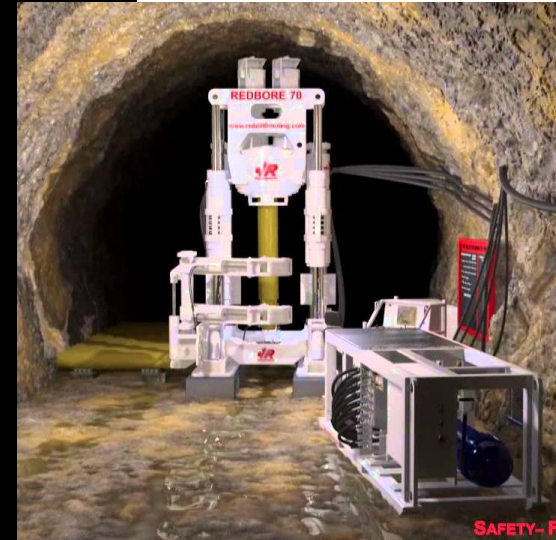
EN LA DECADA DE **1950**, NUEVAS TECNOLOGÍAS INCORPORAN EQUIPOS DE AVANCE VERTICAL Y HORIZONTAL CON CORTADORES CONTINUOS.

ESTOS SON **RAISE BORING** y **BLIND HOLE** PARA LABORES VERTICALES (PIQUES/CHIMENEAS) Y **TUNNEL BORING MACHINE -TBM-** PARA AVANCE HORIZONTAL, ES DECIR TÚNELES. (*)



Raúl Tapia Rivera





+Equipos de soporte y refuerzo (Fortificación). Estos equipos se utilizan para fortalecer y estabilizar techo y cajas de los túneles.

Son equipos del tipo Jumbo, que en forma integrada realizan perforación, anclaje de pernos con resina, postura de malla de fortificación.

Otros:

- Cargadores continuos (ejemplo: **Roto pala**)
- Transportadores de cadenas (feeder) o cintas mixtas
- Equipos auxiliares

Objetivo principal de estos equipos: aumentar la productividad y eficiencia, reducir los costos operativos, y mejorar la seguridad de las operaciones mineras.

En su implementación requieren mantención rigurosa, capacitación adecuada a operadores, y un diseño específico de la mina.



**ROTOPALA
Radomiro Tomic**

**50 M LARGO
25 M DE ALTURA
DISCO DE PALAS
19,5 m de diámetro**

**Peso 995 tons
Fabricación FAM
Alemania.**

AHORA VEAMOS OTRO EQUIPO DE MINERÍA CONTINUA

LAS TBM PARA AVANCE HORIZONTAL, ES DECIR TÚNELES. TAMBIÉN LLAMADOS TOPOS, TUVIERON VARIOS EQUIPOS PRECURSORES.

TRATAREMOS ALGUNOS TIPOS DE TBM.

LAS TBM, HOY PUEDEN ALCANZAR LOS 17 METROS DE DIÁMETRO Y DESARROLLAR PENDIENTES DE 30° DESCENDENTE Y 40° ASCENDENTE.

ES UN EQUIPO MUY VERSÁTIL, QUE COMO VERDADEROS GUSANOS, SE ABREN PASO EN LA ROCA PARA FORMAR TÚNELES DE SECCION CIRCULAR.

EVOLUCIÓN DE LAS TBM

1825

MARC BRUNEL
Idea escudo *

1845

TALADRADORA

1853

1a. PERFORADORA

1863-1870

1a. TUNELADORA

1875-1880

MAQUINA CON DISCOS

1952

JAMES ROBIN

1963

+CORREA
TRANSPORTADORA

1972

TBM DOBLE ESCUDO

1996

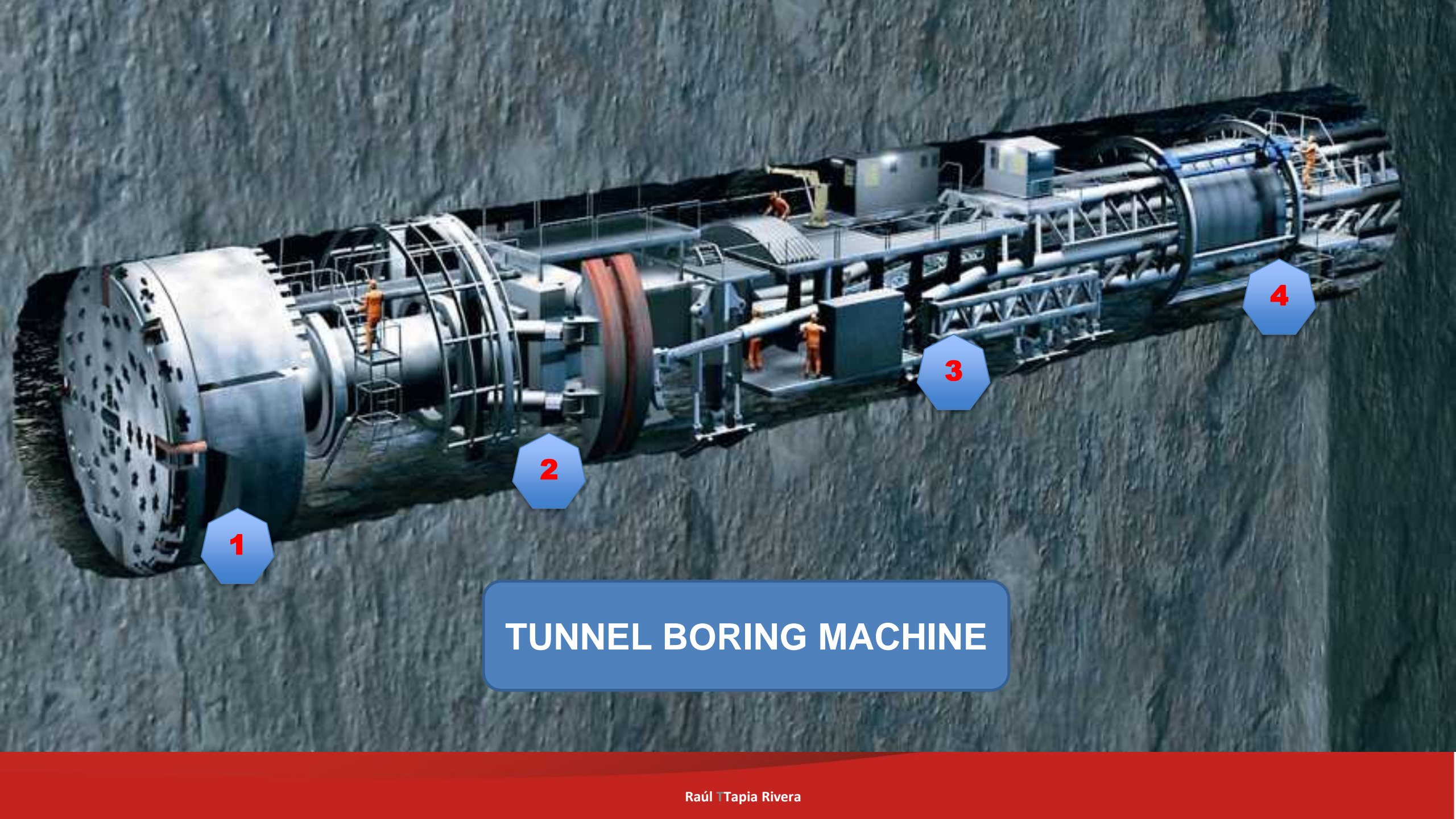
TBM PEQUEÑA

2006

MAYOR TBM

2015-2017

USO EFICAZ



1

2

3

4


TUNNEL BORING MACHINE

TBM siglas que designan en inglés a las "máquinas perforadoras de túneles".

TUNNEL BORING MACHINE

Estas tuneladoras son mucho más que un enorme y poderoso taladro: además del dispositivo frontal de corte giratorio, están dotadas de un sistema backup que permite recoger lo triturado a medida que abre las galerías y estabiliza su estructura.

Suelen pesar hasta 6.000 toneladas y alcanzar más de 140 metros de longitud.

Aquellas de 4 a 6 metros de diámetro pueden costar hasta 11 millones de euros, mientras que las de 15 metros de diámetro pueden alcanzar los 25 millones 

ES UN EQUIPO EFICIENTE Y SEGURO, PARA OPERAR EN EL ENTORNO DE CIUDADES U OTRAS INSTALACIONES QUE SE DESEE PROTEGER DE LOS IMPACTOS DE TRONADURAS.

PRINCIPALES APLICACIONES CIVILES, EN TUNELES DE CARRETERAS, METRO Y SANEAMIENTO, COMO POR EJEMPLO TUNELES DESTINADOS A ACUEDUCTOS EN HIDRO ELECTRICAS.

SE HAN DISEÑADO VARIANTES DE TBM, QUE PERMITEN LA FORTIFICACIÓN DEL TÚNEL A MEDIDA QUE SE AVANZA, ESPECIALMENTE CON DOBELAS DE HORMIGÓN.

EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS, ALGUNOS PROYECTOS MINEROS, LOS HAN UTILIZADO PARA SUS GALERÍAS DE ACCESO PRINCIPAL, VENTILACIÓN Y DRENAJE.

MINERÍA CONTINUA - TUNELERAS TBM

UNO DE LOS PROYECTOS EMBLEMATICOS:

DESARROLLO DEL TUNEL PARA FERROCARRIL BAJO EL CANAL DE LA MANCHA (7,6 m ϕ x 55 km), FACILITANDO LA COMUNICACIÓN ENTRE FRANCIA E INGLATERRA.

EN CHILE TAMBIÉN HAY EXPERIENCIAS, COMO EL TÚNEL SUR EN LOS BRONCES, TUNEL RÍO BLANCO EN EL TENIENTE (3,0 m ϕ x 11 km), Y RECIENTEMENTE ACUEDUCTOS EN LA CENTRAL ALTO MAIPO.

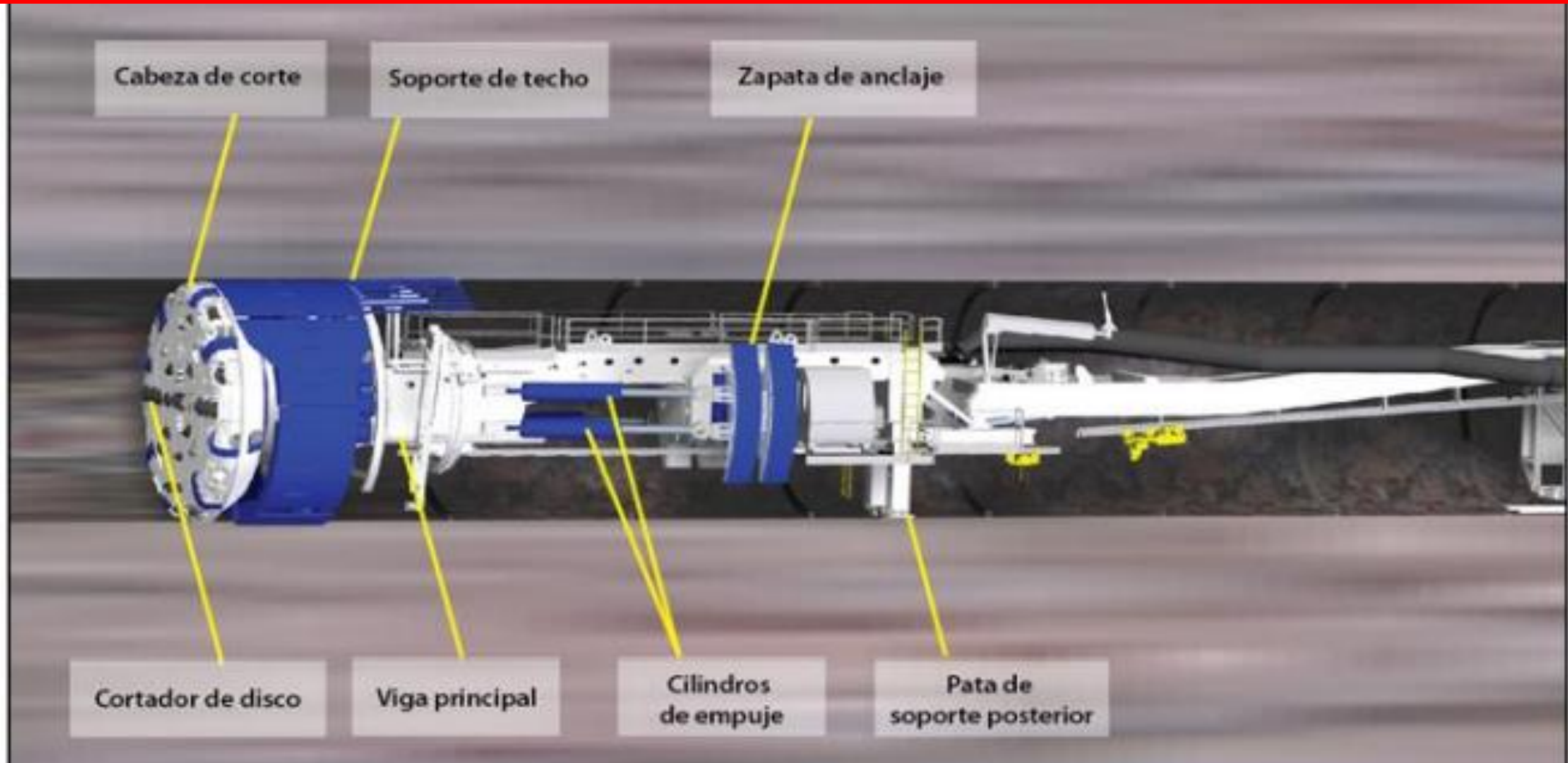
SE PROYECTA ADEMÁS UTILIZAR EN LÍNEA 7 DEL METRO DE SANTIAGO. (2024 en operación)

SU EVOLUCIÓN LES PERMITE HOY, TRABAJAR EN DIFERENTES TIPOS DE TERRENO.

LOS PRIMEROS EQUIPOS TBM, SOLO PODÍAN TRABAJAR EN TERRENOS ROCOSOS; EN UNA SEGUNDA ETAPA EN TERRENOS MENOS ESTABLES O DE ROCA ALTERADA Y POR ÚLTIMO UN NUEVO HITO, LES PERMITE TRABAJAR EN TERRENOS CON CONTENIDOS ARCILLOSOS (SUELOS).

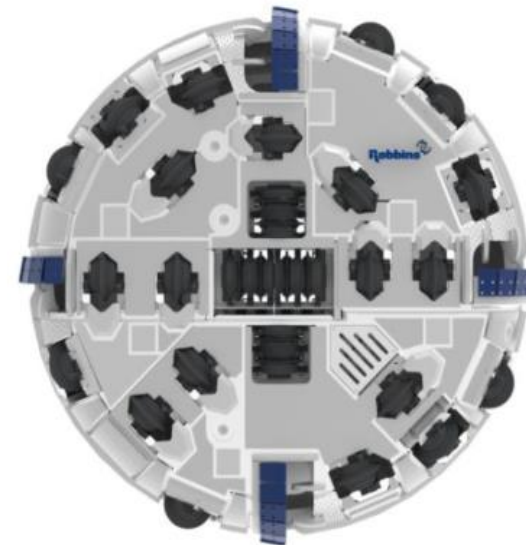
LO ANTERIOR, SE CONSIGUE MODIFICANDO LA PRESIÓN SOBRE EL CABEZAL EN EL FRENTE E INYECTANDO MATERIAL BENTÓNICO (TBM EPB).

MINERÍA CONTINUA - TUNELERAS TBM



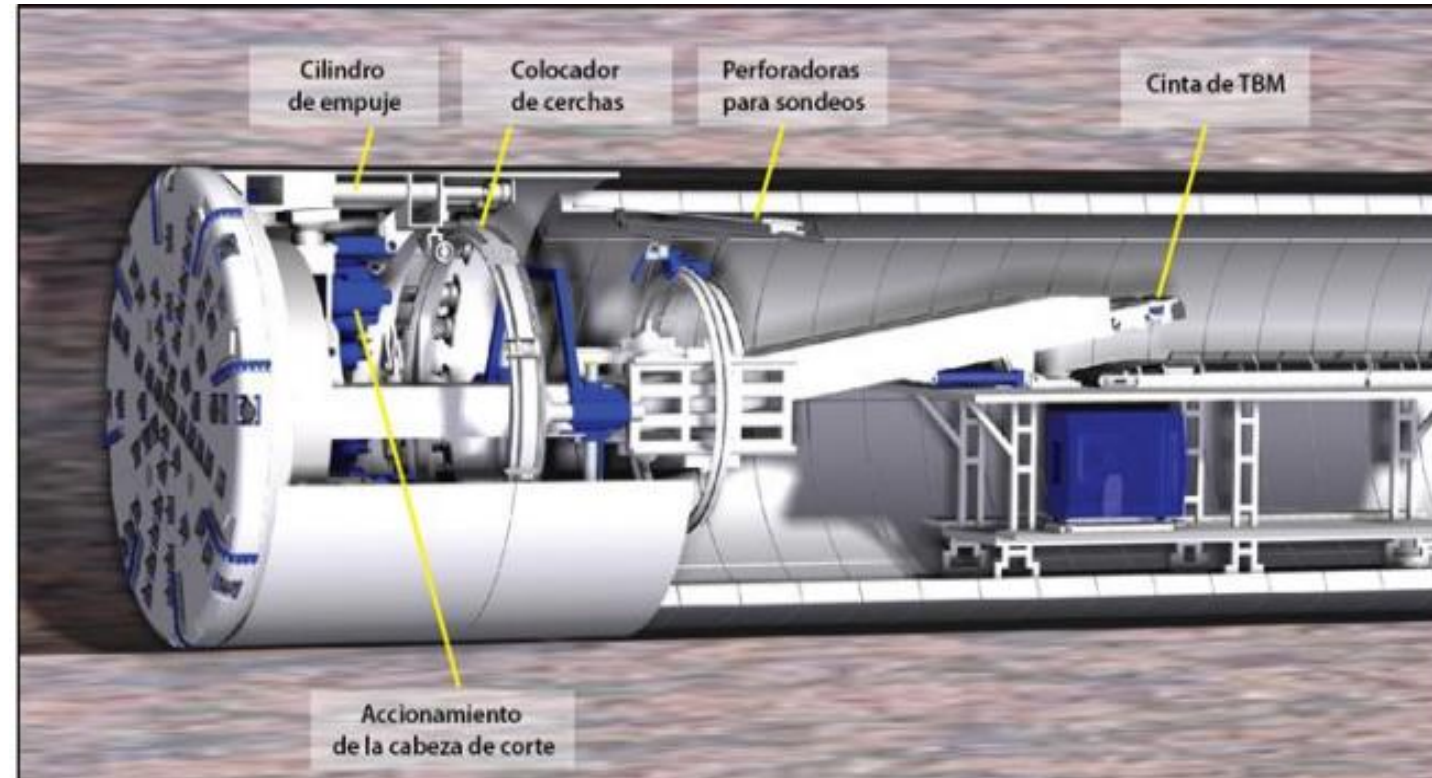
ESCUDO ABIERTO (Main Bean)

- ✓ Para rocas competentes, de calidad geotécnica regular. a buena
- ✓ Equipada para instalación de fortificación basada en pernos, malla y hormigón proyectado (shotcrete).



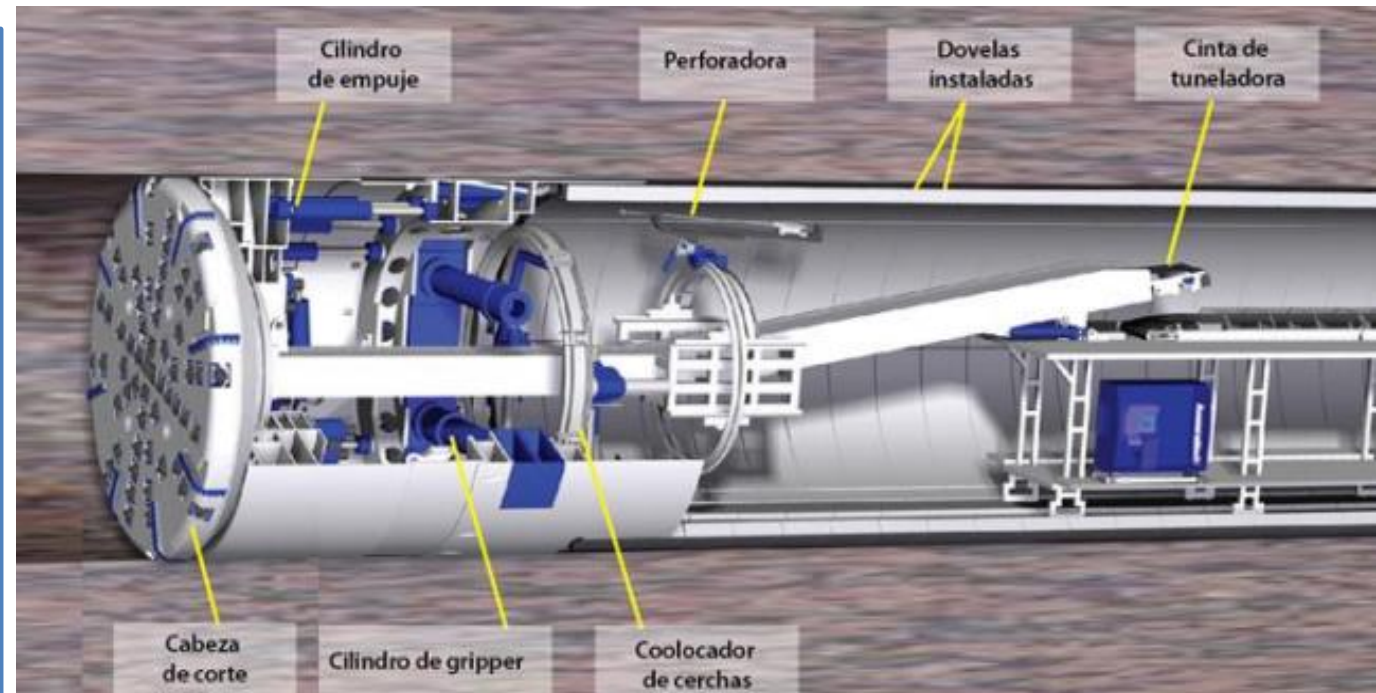
ESCUDO SIMPLE

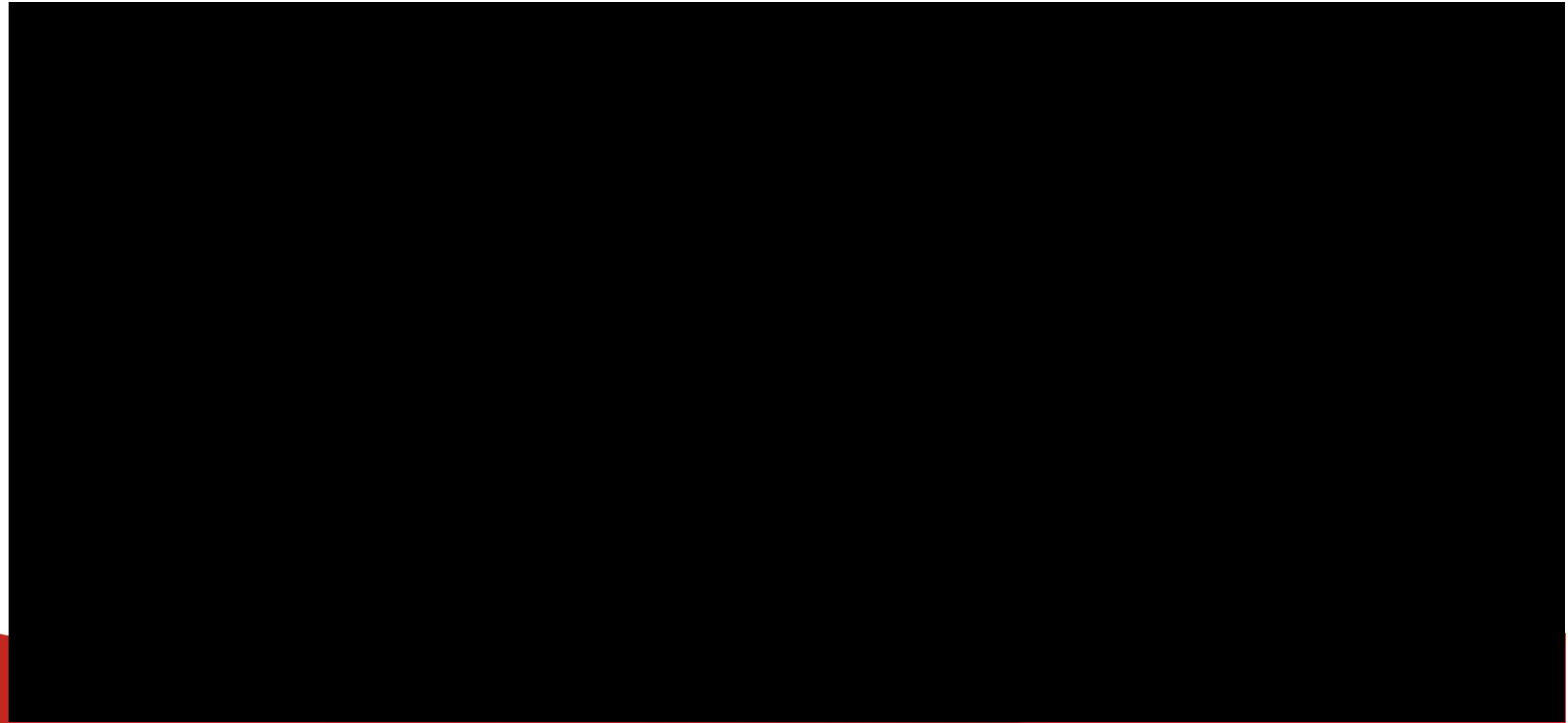
- ✓ Ideal para condición geológica de rocas con mala calidad geotécnica
- ✓ El escudo protege a los trabajadores de caídas de roca
- ✓ Preparada para instalar dovelas de hormigón o marcos de acero para fortificación, (opción shotcrete).



ESCUDO DOBLE

- ✓ Equipada con un escudo telescópico que incluye a los grippers, más un escudo en la cola
- ✓ Para condiciones de roca desfavorables
- ✓ (Arcillas-suelos)
- ✓ TBM-EPB (Earth Pressure Balance)





Generalidades

Rendimiento: cada ciclo de avance es de 1,4 a 2,0 m que se repite después de fortificar.

Mientras la cabeza gira, la tuneladora se apoya en los costados del túnel mediante zapatas de anclaje o grippers que la mantienen estacionaria, unos cilindros se extienden empujando la viga principal de la máquina y este empuje presiona a los cortadores contra la roca, logrando que esta se fracture y se desprenda del frente de excavación.

En condiciones favorables algunos equipos de 3,5 a 7 m de diámetro, han alcanzado avances entre 15 y 20 metros por día. Se han reportado avances con distintos tipos de TBM de hasta 500 m/mes

Generalidades

El avance será variable, según sean las condiciones de terreno y el método de fortificación seleccionado.

Los equipos de escudo abierto, permiten fortificar con sets de perno malla y shotcrete, haciendo más lento el avance.

En Europa han obtenido muy buenos resultados, como en los Pirineos y Los Alpes, sin embargo los mismos equipos en Los Andes no han sido muy eficientes.

Han enfrentado complejidades como el caso de los proyectos de Guadarrama y Abdalajís en España y en Venezuela el proyecto de túnel Yacambu.

Generalidades

Un antecedente del que se habla poco: 11 tuneladoras atascadas y en algunos casos abandonadas en EEUU, 2 en Venezuela, 6 en Perú y 4 en Chile.

Sin embargo estas tuneladoras –TBM – han sido una invención destacada en las excavaciones mecanizadas.

Los aspectos **geológicos y geotécnicos** son muy importantes para decidir el método de excavación de túneles, también se deben considerar, el nivel freático, la ubicación, logística del entorno y experiencia de los operadores en los distintos métodos mecanizados.

:

Uno de los últimos proyectos en Chile, ejecutados con tuneladoras de 2,7 m ϕ , son **dos acueductos** submarinos para La Escondida, como parte de su planta desaladora./

MINERÍA CONTINUA - TUNELERAS TBM

FOTO



TBM MAS GRANDES DEL MUNDO

1.- S-880 "Qin Liangyu" tiene un diámetro de escudo de 17,63 m, mide 120 m de largo, pesa en total 4.850 toneladas y su potencia de salida es de 5.600 kW, datos que la convierten para el Guinness World Records en la máquina perforadora de túneles más grande que existe.

Construida por la firma de ingeniería alemana Herrenknecht, para un proyecto de excavación del túnel de conexión Tuen Mun-Chel Lap Kok, en China (Hong Kong).

Capaz de abrirse paso por el subsuelo, a través de tierra y rocas pesadas creando aproximadamente 30 metros de galería al día.

TBM MAS GRANDES DEL MUNDO

TBM S-880 "Qin Liangyu"



TBM MAS GRANDES DEL MUNDO

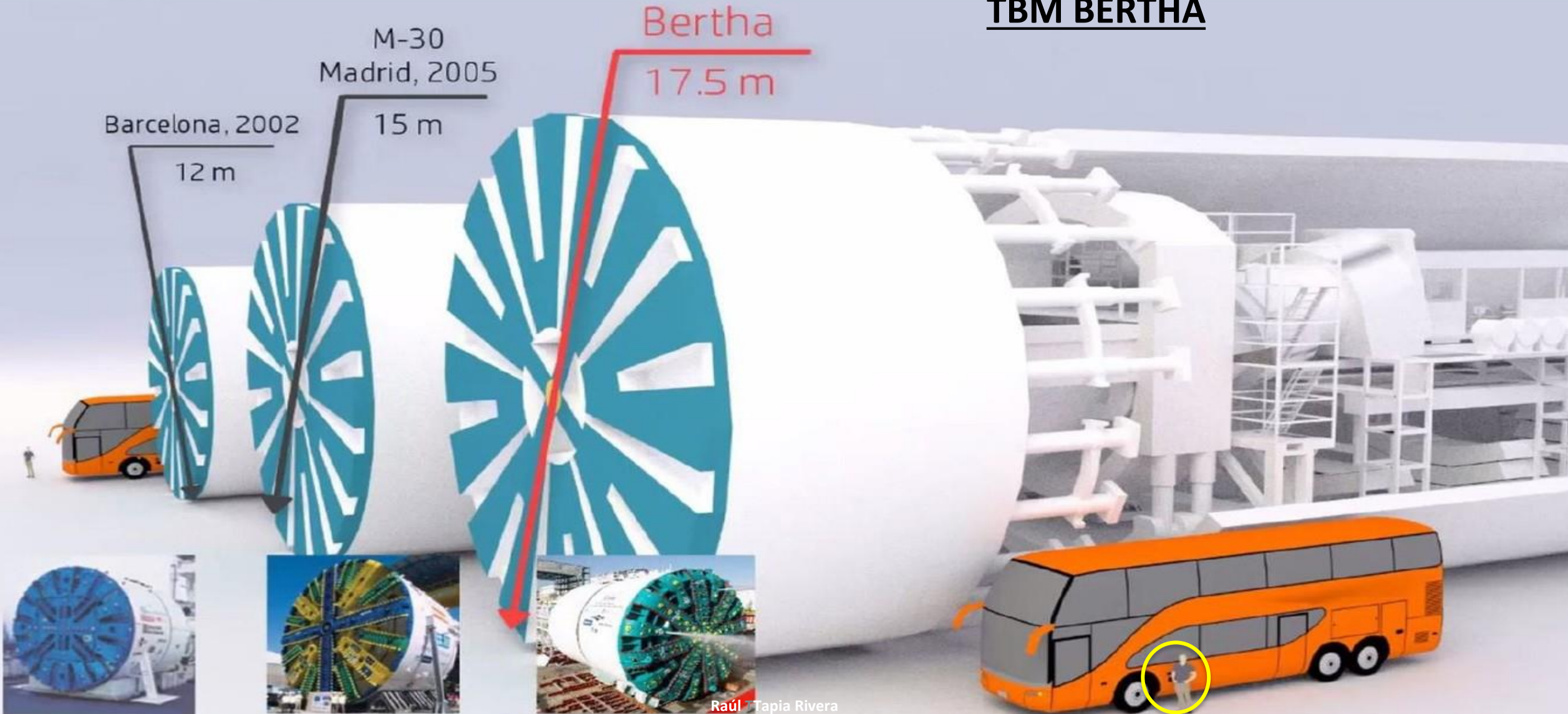
2.- Bertha; Guinness le reconoce la medalla de plata en el mundo de las tuneladoras.

Bautizada así en honor a la ex alcaldesa de Seattle, Bertha Knight Landes, impulsora de su utilización.

En 2013 su enorme cabezal de corte, de 17,5 metros de diámetro, empezó a abrirse paso bajo el suelo de EEUU para dar forma a un proyecto desafiante: un túnel para la ruta estatal 99 bajo Seattle.

TBM MAS GRANDES DEL MUNDO

TBM BERTHA



PARÁMETROS CLAVES

Analizados diferentes aspectos de la TBM y de su excavación, se pueden obtener los siguientes focos de atención:

- El rendimiento de excavación varía en función del material excavado. REQUIERE UN ACABADO ESTUDIO GEOLÓGICO, CON DETALLE DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS/TIPO Y CALIDAD DE ROCAS O SUELOS DE SECTORES A EXCAVAR.
- Según el tipo de material que se excave, se escogerá la TBM y la presión en la cabeza de corte y penetrar más en el material o aplicar menos presión e ir “rascando” el frente poco a poco.
- Elementos de control: alineamiento, velocidad de excavación; mortero inyectado entre el frente y/o las dovelas; indicadores mecánicos como empuje de cabeza de corte, el par, la velocidad de giro H/C y la presión de los grippers; control estadístico de fallos y **mantención.**

SEGURIDAD

- **Las operaciones con TBM, no están exentas de la ocurrencia de incidentes.**
- **Sus variadas funciones mecanizadas-robotizadas, durante el montaje, operación y mantenimiento, concentra accidentes leves a serios, principalmente en las actividades de montaje (uso de gruas), transporte de materiales como dovelas y otros suministros, funcionamiento de correa transportadora, erector de dovelas, cilindros de empuje de la viga principal, cambio de discos, sistemas electro-hidraulicos y otros.**

De acuerdo a lo anterior, diferentes proyectos han reportado en sus estadísticas, los siguientes orígenes y consecuencias de incidentes.

SEGURIDAD / CAUSAS Y CONSECUENCIAS

1. Fallas mecánicas:

- Desgaste o daño de las herramientas de corte y sus actividades de cambio en el frente.
- Problemas en los sistemas hidráulicos o eléctricos.
- Rotura de componentes estructurales.

2. Por Condiciones - Inundaciones y filtraciones:

- Penetración de agua subterránea no controlada.
- Terrenos saturados de agua, especialmente en suelos.
- Macisos rocosos alterados.

3. Colapsos del túnel:

- Colapso por inestabilidad del terreno (suelos).
- Atascamiento de equipo por desequilibrio de macro bloques rocosos
- Errores en la construcción del revestimiento del túnel.
- Insuficiente soporte temporal durante la excavación.

SEGURIDAD / INCIDENTES

4. Accidentes laborales:

- Atrapamiento de partes del cuerpo por maquinaria o fallas estructurales.
- Exposición a ambientes tóxicos o deficiencia de oxígeno.
- Caídas o lesiones durante la manipulación de sistemas/equipos.
- Apretado/golpeado por componentes mecánicos.

5. Problemas geotécnicos:

- Encuentro con terrenos imprevistos o más duros de lo anticipado.
- Presencia de fallas geológicas no detectadas.
- Movimientos del terreno causados por la excavación.

6. Amagos-Incendios y explosiones:

- Fugas de gases inflamables.
- Cortocircuitos o fallos eléctricos.

SEGURIDAD / MEDIDAS DE CONTROL

La seguridad en la operación de una TBM es crucial y requiere de medidas preventivas, como:

- Estudios geotécnicos detallados
- Mantenimiento regular de la máquina
- Monitoreo permanente de los procesos
- Capacitación especializada y continua de los operarios
- Implementación de estrictos protocolos de seguridad
- Programas de prevención de riesgos y respuesta ante emergencias
- Trabajo en equipo y comunicaciones
- Plan de preparación ante emergencias

Además logística y planificación acabada de cada sub proceso.

SEGURIDAD

COMO ANTES SE ADELANTÓ, ESTOS EQUIPOS - ASÍ COMO OTROS DE MINERÍA CONTINUA HAN PERMITIDO RETIRAR A OPERADORES DESDE EL MISMO FRENTE DE AVANCE, DISMINUYENDO ASÍ LA GRAVEDAD DE ACCIDENTES GRAVES Y/O FATALES Y EN ESPECIAL AMINORAN LA EXPOSICIÓN AL RIESGO DE INESTABILIDAD DE ROCAS.

ROTURA

REFLEXIÓN

¿PORQUÉ LA INNOVACIÓN ES IMPORTANTE?

”NO HAY UNA SOLA FORMA DE HACER LAS COSAS”

**INNOVAR = NUEVAS OPORTUNIDADES DE NEGOCIO Y DE
CRECIMIENTO...**





FIN tv