



# La seguridad en tuneladoras

Elisa Escobar

DPTO. GERENCIA DE RIESGOS  
ITSEMAP STM (España)

**"Son las características del terreno las que determinan el tipo de tecnología que debemos aplicar o las modificaciones que debemos solicitar al fabricante de tuneladoras. Por ejemplo, en el caso de que el terreno que tenemos que atravesar sea roca en la que se detecte presencia de fallas o terreno fracturado, con el consiguiente riesgo de atrapamiento de la tuneladora, se puede pedir al fabricante un incremento de la fuerza de empuje en la rueda de corte, y que la T.B.M. (Tunnel Boring Machine) venga provista de equipos de perforación en cabeza."**

## Definición y clasificación de tuneladoras

Los trabajos de construcción de túneles consisten básicamente en ejecutar una estructura, el túnel, en el interior de formaciones naturales de terreno. Como consecuencia de la heterogeneidad del terreno al atravesar roca dura, roca blanda y suelos, y también de las limitadas dimensiones y accesibilidad al frente de trabajo y de las posibles afecciones (roturas, filtraciones) que puede ocasionar en su entorno (edificios colindantes), se plantea una problemática que implicará que, en función de las características y comportamiento del terreno (inestabilidad, abrasividad de la roca), se aplique el procedimiento de excavación que mejor se adapte a cada terreno.

De este modo, el éxito en la construcción de un túnel se deberá a procedimientos de trabajo que permitan la obtención de unos rendimientos adecuados, manteniendo la estabilidad general del entorno afectado.

La excavación mecánica logra esos objetivos, consiguiendo dotar de altos grados de mecanización y automatización a todo el proceso, mediante el sucesivo desarrollo de nuevas máquinas con nuevas tecnologías y la ayuda de técnicas constructivas complementarias.

Dentro de los procedimientos mecánicos de excavación de un túnel, el sistema de tuneladoras ofrece mayores posibilidades de desarrollo y expansión en comparación con otros métodos convencionales de excavación.

Este sistema de excavación consiste en la utilización de máquinas denominadas tuneladoras integrales, conocidas habi-

tualmente por las siglas en inglés T.B.M. (*Tunnel Boring Machine*), en tanto que son capaces por sí solas de excavar el túnel a sección completa (en general la sección de la excavación es circular) a la vez que colaboran en la colocación de un sostenimiento provisional o definitivo para garantizar la estabilidad de la excavación y además retiran los escombros. La máquina avanza dejando detrás de sí el túnel terminado.

La variabilidad de los tipos de terrenos y de sus propiedades mecánicas (abrasividad de las rocas, inestabilidades) a lo largo del túnel, así como las distintas condiciones impuestas por el entorno (presencia de agua, construcciones próximas) implican que las necesidades de sostenimiento y revestimiento y los problemas que puedan surgir a medida que se realiza la excavación sean diferentes de un terreno a otro. Esto, con frecuencia, plantea problemas constructivos por falta de adaptación de la maquinaria utilizada a situaciones muy distintas y dispares; la máquina puede tener graves problemas si el terreno cambia demasiado. Por todo ello, no se puede hablar de una tuneladora "universal" que solucione todos los problemas derivados de la heterogeneidad del terreno que deseamos atravesar (roca o suelo). Siendo así, la tuneladora debe adaptarse al tipo de terreno y, según sea el comportamiento geotécnico de éste, ésta puede presentar diferencias que se reflejan tanto en su diseño como en las operaciones que sea capaz de realizar.

Son las características del terreno, por tanto, las que determinan el tipo de tecnología que debemos aplicar o las modificaciones que debemos solicitar al fabricante. Por ejemplo, en el caso de que el terreno que tenemos que atravesar sea roca en



la que se detecte presencia de fallas o terreno fracturado, con el consiguiente riesgo de atrapamiento de la tuneladora, se puede pedir al fabricante un incremento de la fuerza de empuje en la rueda de corte, y que la T.B.M. venga provista de equipos de perforación en cabeza.

Como consecuencia, las tuneladoras son prototipos adaptados a cada tipo de terreno, por tanto, no suelen ser reutilizables salvo en caso de que se produzca una similitud de las características de los suelos.

Las tecnologías básicas que pueden ser aplicadas en función del tipo de terreno que deseamos atravesar se pueden dividir en dos grandes grupos: Tuneladoras de roca dura (topos) y tuneladoras de rocas blandas o suelos (escudos). Durante los últimos años se han desarrollado modelos que podrían denominarse máquinas mixtas, al combinar elementos de los modelos anteriores.

## Ventajas de la utilización de las tuneladoras

La utilización de tuneladoras presenta una serie de ventajas frente a los métodos tradicionales:

- ▶ **Mayor rendimiento** en el avance de la excavación, además de quedar el túnel prácticamente terminado al colocarse el revestimiento al mismo tiempo que se va perforando el terreno.

**"Se ha de tener en cuenta que se está ante una máquina de alto coste y que es un prototipo diseñado para responder a las necesidades de un terreno de características determinadas. Una inadecuada elección o mal diseño de la tuneladora o un equipo humano no especializado en su manejo supondrán un fracaso en su correcta utilización."**

- ▶ La mecanización y automatización de la excavación (transporte de escombros mecanizado, operación de corte, etc.) **han reducido considerablemente el esfuerzo físico de los operarios.**
- ▶ Al tratarse de una máquina integral que abarca la sección completa, esto supone una protección de la clave y se disminuye el posible riesgo derivado de la inestabilidad del frente de excavación; como consecuencia de aplicar la T.B.M. un empuje relativamente constante en la roca, lo que supone un **incremento de la seguridad**. A esto hay que añadir que son máquinas que han sido diseñadas teniendo en cuenta medidas preventivas de seguridad (barandillas de paso de operarios, cámaras de supervivencia, sistemas de extinción de incendios). Y gracias a su aplicación los accidentes laborales en el frente casi han desaparecido y existe un control riguroso de acceso a la obra.



## TUNELADORAS DE ROCA DURA O MEDIA

### TOPOS

Son convenientes cuando la excavación es en roca dura o media, sin grandes necesidades de soporte inicial.

#### ABIERTO TOPO CONVENCIONAL



#### DE ESCUDO PARA ROCA DURA



## TUNELADORAS DE ROCA BLANDA O SUELO

### ESCUDOS

Diseñados para la excavación en roca blanda y en suelos, en muchos casos inestables y en ocasiones por debajo del nivel freático, en terrenos saturados de agua que necesitan la colocación inmediata de un sostenimiento definitivo.

Se subdividen, en función de la estabilidad del frente y las afluencias de agua, en:

#### DE FRENTE ABIERTO

Convenientes en aquellos casos en los que el frente del túnel es estable y las afluencias de agua son reducidas.

#### DE FRENTE CERRADO

Son convenientes para solucionar los problemas de trabajo derivados de terrenos difíciles con frentes inestables, no cohesivos o saturados de agua con bajo nivel freático, realizando una presurización total del túnel.

Subdivisión en función del producto utilizado para la presurización de la cabeza

#### ESCUDOS DE RUEDA CON CIERRE MECÁNICO

#### ESCUDOS PRESURIZADOS CON AIRE COMPRIMIDO

#### HIDROESCUDOS (*Hydro shields*)

Inyectan lodos bentoníticos en la cámara de la cabeza, de manera que este lodo forma con el material excavado una mezcla viscosa que se mantiene a presión para estabilizar el terreno del frente. Esta mezcla se bombea al exterior con una bomba de lodos.

#### ESCUDOS DE BALANCE DE PRESIÓN DE TIERRAS (*E.P.B.-Earth Pressure Balance Machines*)

El material excavado y el agua del propio terreno forman una mezcla plástica con la que se logra la estabilización y es extraída mediante un tornillo sinfín, sobre cintas y vagones ordinarios. Es más usado sobre todo en obras urbanas o próximas a ciudades.



## TUNELADORAS MIXTAS (Doble escudo)

Diseñados para resolver el problema que se presenta en la excavación al atravesar terrenos de diferente naturaleza, hecho que ocurre con frecuencia, sobre todo en túneles de gran longitud. Las T.B.M. de doble escudo son máquinas que pueden trabajar en terrenos de muy diferentes características y que presentan propiedades conjuntas de los topos y escudos.

### Relación entre los riesgos T.B.M. en roca dura y T.B.M. en roca suelta

| Exposición al riesgo         | T.B.M. roca dura | T.B.M. roca blanda |
|------------------------------|------------------|--------------------|
| Peligros Naturales           |                  |                    |
| Geología                     |                  |                    |
| Incendio                     |                  |                    |
| Planificación                |                  |                    |
| Error Humano                 |                  |                    |
| Maquinaria construcción      |                  |                    |
| Retraso en construcción      |                  |                    |
| Daños a terceros             |                  |                    |
| Influencias medioambientales |                  |                    |

EFFECTOS: normal altos muy altos

No hay que olvidar que el trabajo se desarrolla bajo tierra (ambiente subterráneo) y que, además, existe desplazamiento a medida que excavamos. Es por ello que, durante la ejecución de la obra y a su terminación, se pueden presentar riesgos. Así, en el estudio del terreno se deben tener en cuenta factores como:

- ▶ Posibilidad de asentos del terreno que puedan suponer un colapso del túnel, por lo que se intentará siempre que por encima del túnel haya suficiente montera.
- ▶ Posibilidad de presencia de agua que pueda suponer problemas en la excavación, tales como derrumbes.
- ▶ Pérdida de terreno que hace que en ocasiones aparezcan chimeneas.
- ▶ Bloqueo de la tuneladora en el terreno.

- ▶ La dureza y abrasividad de las rocas se traducen en una reducción importante del rendimiento y un aumento considerable del mantenimiento de la máquina; por ejemplo, el cambio de los discos de corte que, debido a la abrasión del terreno, se desgastan con mayor facilidad. Y como consecuencia de ello puede pasar que el procedimiento deje de ser económicamente rentable o incluso resulte inviable.

- ▶ Presencia de gases.

- ▶ Posibilidad de que se produzca un incendio. Este riesgo se incrementa en túneles de gran longitud, y puede disminuir, sobre todo si se van construyendo a la vez las necesarias vías de emergencia.

- ▶ Imposibilidad de realizar tratamientos del terreno desde el interior del túnel.

### Riesgos en el empleo de tuneladoras

El empleo de tuneladoras mejora la seguridad. Esto no significa que se esté exento de riesgos; aun con las T.B.M., una construcción de túneles es una obra dinámica, en la que siempre ocurren imprevistos.

Además, se ha de tener en cuenta que se está ante una máquina de alto coste y que es un prototipo diseñado para responder a las necesidades de un terreno de características determinadas. Una inadecuada elección o mal diseño de la tuneladora o un equipo humano no especializado en su manejo supondrán un fracaso en su correcta utilización, puesto que una vez comenzada la obra, no se pueden realizar cambios en la máquina. En caso de atrapamiento, los

trabajos de liberación son lentos, difíciles y peligrosos, y provocan paradas durante meses (así ha sucedido con una de las máquinas del túnel de San Pedro para el AVE Madrid- Valladolid). Esta situación puede suponer, en algunos casos, un coste tan elevado que hace que el sistema deje de presentar ventajas. Por tanto, la versatilidad de las máquinas debe tenerse en cuenta en el momento de elegir las. Para hacer una selección correcta de la tuneladora, resulta imprescindible tener un conocimiento preciso y a tiempo de las características del terreno que debemos atravesar para una definición correcta de dicho terreno. De tal modo que podamos establecer todas las medidas que prevengan la aparición de tipos de suelos imprevistos y evitar peligros que afecten tanto al equipo humano como a los medios técnicos.



Las tuneladoras son máquinas complejas que requieren para su manejo y buen funcionamiento de un equipo humano especializado, que pueda sacar el máximo provecho de la tuneladora y tenga capacidad de reacción sobrada para encontrar soluciones a todos los problemas e imprevistos que puedan surgir.

El coste de mantenimiento de una tuneladora es muy elevado, y se compensa con el aumento del rendimiento que la utilización de ésta supone ante otros métodos de excavación. En ocasiones y debido a circunstancias ajenas a la excavación en sí, pueden producirse riesgos financieros (fundamentalmente "Pérdida de Beneficio"), debidos a un retraso en la obra por problemas tales como aumen-

to del tiempo invertido en recambios, atrasos logísticos y de abastecimiento, y mantenimiento. Por ejemplo, la tuneladora necesita ser abastecida de forma continuada con energía eléctrica y un retraso en la logística del proceso supone largos tiempos de parada de la excavación por razones ajenas a la misma que, además, pueden suponer un riesgo financiero.

La rutina en la tarea puede suponer un inconveniente al olvidar el personal los riesgos presentados en el entorno de trabajo.

### ¿Cómo se asegura?

La cobertura mediante seguro de los posibles siniestros que puedan acaecer en la construcción de túneles es similar a

la que cubre cualquier otro tipo de obra de construcción.

Entre los seguros se distinguen:

#### ► Seguro de Todo Riesgo

**Construcción (TRC).** Cubre todas las causas de siniestros salvo las que queden expresamente excluidas en la póliza. No se incluyen los defectos de construcción. La construcción se asegura contra los daños materiales causados por accidentes de todo tipo.

Con carácter opcional, se puede incluir una cobertura que cubra los daños materiales que se producen por trabajos de mantenimiento (aun cuando su causa sea atribuible a un evento ocurrido durante el periodo de construcción)



durante dicho periodo de mantenimiento; siendo éste el periodo posterior a la finalización de los trabajos de construcción, generalmente 12 meses.

▶ **Seguro de Trabajos de Montaje.** La cobertura de montaje es similar a la del seguro de construcción. El equipamiento de los túneles abarca muchos trabajos de montaje, como el de las instalaciones mecánicas y eléctricas (sistemas de ventilación, líneas de alimentación eléctrica, ordenadores para el control de trenes, etc.).

Los trabajos de construcción pueden poner en peligro los equipos de montaje y viceversa, por lo que es conveniente asegurarlos conjuntamente, ya que separados pueden dificultar la delimitación de los distintos trabajos.

La cobertura mediante seguro de los posibles siniestros que puedan acaecer en la construcción de túneles es similar a la que cubre cualquier otro tipo de obra de construcción. Entre los seguros se distinguen:

**SEGURO  
DE TODO RIESGO  
CONSTRUCCIÓN  
(TRC)**

**SEGURO  
DE TRABAJO  
DE MONTAJE**

**SEGURO  
DE RESPONSABILIDAD  
CIVIL DE  
CONSTRUCCIÓN**

**SEGURO  
DE MAQUINARIA  
Y EQUIPOS DE  
CONSTRUCCIÓN**

▶ **Seguro de Responsabilidad Civil de Construcción.** Con este seguro, se cubren los daños personales y daños a la propiedad de terceros provocados por los trabajos de construcción. En este tipo de obras es conveniente este tipo de seguros, teniendo en cuenta los efectos que las construcciones subterráneas tienen en ocasiones sobre las características naturales y las edificaciones urbanas; máxime cuando éstas son muy densas. Un ejemplo instructivo podría ser el siniestro acaecido durante la ampliación de la red de metro de Shangai en el año 2000 denominada Pearl line, ya que al producirse un derrumbamiento de parte del túnel, se sucedieron hundimientos de la superficie con graves consecuencias para los edificios vecinos y otras obras; algunos edificios comerciales sufrieron graves daños y se derrumbaron, y se dañó el dique de contención para las crecidas del río.



### ► Seguro de Maquinaria y Equipos

**de Construcción.** Se puede asegurar mediante el seguro de maquinaria de construcción o de equipos de construcción, que cubre, en principio, los daños que se producen en la maquinaria, debidos a causas externas a ellas, por lo que quedan excluidos los fallos eléctricos o mecánicos propios de la máquina.

En este tipo obras, es aconsejable la adquisición de este seguro, dado que las T.B.M. utilizadas en la construcción son máquinas complejas, especiales y de coste elevado.

**"Una particularidad de las obras de construcción en túneles es que las reparaciones que deben hacerse tras un siniestro suelen incurrir en costes en ocasiones muy superiores a los costes de construcción de ese mismo tramo que se pretende reparar. Por ejemplo, en el derrumbamiento de un túnel en una longitud de 5 m con costes de construcción de EUR 300.000, pueden producirse costes a causa de complejas y costosas medidas de reparación, que sean 40 veces mayores a las originales."**

Para el asegurador la particularidad de los trabajos de ejecución de un túnel con T.B.M., no está tanto en la innovación de los procedimientos de ejecución, sino, más bien, en la problemática que puede derivarse de una mala combinación de aspectos, tales como planificación, método constructivo elegido, condiciones geológicas y la experiencia de las partes que participan en el proyecto. La ejecución de estos tipos de obras suele tener una duración de varios años y en ella existen operaciones muy

## Conclusión

Al ser las tuneladoras máquinas construidas según el comportamiento del terreno que tenemos que atravesar, sólo en los casos en los que se produzca gran similitud de dichos terrenos son entonces reutilizables y, además, el coste y mantenimiento es muy elevado, puesto que al calcularlo incluimos el tiempo que se invierte en su diseño, fabricación, transporte y montaje. Por todo ello, la amortización de las T.B.M. se pone de manifiesto a partir de una cierta longitud de túnel en la que se compensa el presupuesto con el aumento de seguridad y rendimiento.

La utilización de las tuneladoras en la construcción de túneles se está

generalizando día a día. No obstante, es importantísimo continuar investigando, con el fin de poder subsanar determinados problemas como la relativa lentitud en el recambio de piezas y operaciones de mantenimiento o la reducida adaptabilidad a terrenos heterogéneos, que impiden en esas ocasiones la reutilización de las T.B.M., etc.

Actualmente se está investigando en el desarrollo de máquinas versátiles "universales", que en un futuro podrán, con la ayuda de técnicas auxiliares (inyección, congelación, aire comprimido, abatimiento del nivel freático, etc.), excavar en cualquier tipo de terreno y en cualquier situación.

recurrentes, y de ellas se pueden ir obteniendo conclusiones a diferentes problemas (o siniestros) surgidos durante la ejecución, debidos a errores en la realización de operaciones problemáticas, y todos ellos nos pueden servir para evitar o reducir siniestros posteriores. Una modificación en la planificación, materiales que deben ser empleados o método constructivo pueden suponer reducir los costes de un posible siniestro en situaciones posteriores que pudieran ser similares. Otro factor importante es la experiencia de las empresas que ejecuten las obras; por ejemplo, una poca experiencia podría suponer un aumento del riesgo del asegurador.

Una particularidad de las obras de construcción en túneles es que las reparaciones que deben hacerse tras un siniestro suelen incurrir en costes en ocasiones

muy superiores a los costes de construcción de ese mismo tramo que se pretende reparar. Por ejemplo, en el derrumbamiento de un túnel en una longitud de 5 m con costes de construcción de EUR 300.000, pueden producirse costes a causa de complejas y costosas medidas de reparación, que sean 40 veces mayores a las originales; lo que supone que la reparación hasta llegar al estado que tenía inmediatamente antes del siniestro se eleve a EUR 12 millones. Por tanto, además del tipo de siniestro, es sobre todo esta circunstancia un factor que debe tenerse en cuenta en el "seguro de construcción de túneles".

Éstas y otras particularidades obligan al asegurador a disponer de conocimientos especiales para asegurar este tipo de obras. ■