

# Los túneles de Pajares en la Línea de Alta Velocidad Noroeste Excavación mecanizada de túneles en presencia de gases deflagrantes 1ª parte: legislación, perforación e instalación eléctrica del túnel

## The Pajares tunnels on the Northwest high-speed railway line. Mechanized excavation of tunnels in the presence of explosive gases Part 1: legislation, boring and electrical installation

**Raúl Míguez Bailo.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Jefe de Infraestructura. Dirección de Línea de Alta Velocidad Noroeste. ADIF. rmiguez@adif.es  
**José María Jiménez Sánchez.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director de Obra. Tramo Túneles de Pajares. Lotes 3 y 4. INECO. jose.sanchez@ineco.es

**Resumen:** La presencia de gases de naturaleza orgánica en el macizo provoca una mayor complejidad en la ejecución de túneles con tuneladora. Además, existe una carencia de legislación en materia de seguridad que contemple los avances tecnológicos experimentados en la ejecución de infraestructuras de transporte terrestre. En este artículo se pretende exponer la experiencia acumulada hasta la fecha en el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias y los criterios adoptados para la elaboración de los planes de seguridad y salud en las obras de los Túneles de Pajares.

**Palabras Clave:** Pajares; Alta Velocidad; Tuneladora; Metano; Seguridad

**Abstract:** The existence of methane and other gases in the rock mass increases the difficult of TBM driving. In addition, there exist a lack of risk management procedures in our legislation which take in account the advances of civil engineering in underground works. This article updates the experience in excavation of large base tunnels in the national railway network operated by *Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)* and it shows the methods, facilities and procedures that have been used in Pajares Tunnels.

**Keywords:** Pajares; High Speed; Tunnel Boring Machine; Methane; Risk Management

### 1. Introducción

En las últimas obras de grandes túneles de base que están siendo ejecutadas por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) con máquinas de excavación integral mecanizada se están sufriendo los problemas derivados de la presencia de gases de naturaleza orgánica en el seno del material de excavación. Esta situación genera una problemática añadida en la planificación de la seguridad de los operarios que trabajan en nuestras obras.

La presencia de estos gases, cuyo más conocido exponente es el metano, supone realizar trabajos en una atmósfera contaminada con el riesgo potencial

de sufrir una deflagración en el interior del túnel en el caso de que la concentración de este gas se sitúe entre el 5 % y el 15 % de concentración volumétrica en aire. Esta atmósfera de aire mezclado con metano es lo que se denomina grisú en las labores mineras. Fuera de dichos límites de concentración la mezcla resultante no es deflagrante, pero hay que señalar que valores de concentración de metano superiores al 15 % pueden provocar asfixia.

En esta primera parte, de las dos que compondrán este artículo, se estudian las características del gas grisú, la legislación existente en relación con la excavación en presencia de este gas y, tras hacer una breve referencia a la excavación integral mecaniza-

da, se detalla el esquema general de la instalación eléctrica en los túneles de Pajares, en la Línea de Alta Velocidad Noroeste.

## **2. Presencia de gas en el material de excavación**

### **2.1. Composición y origen del gas grisú**

Normalmente, en las cuencas carboníferas el grisú se encuentra contenido en las propias capas de carbón y en las rocas encajantes, especialmente si éstas son porosas como puede suceder con algunas formaciones calcáreas características de la cordillera cantábrica. Este gas se compone fundamentalmente de metano, aunque puede contener también dióxido de carbono, nitrógeno, hidrocarburos tipo etano, propano, etc... y otros gases como hidrógeno, helio y argón. La concentración de todos estos elementos que pueden entrar a formar parte del grisú depende en gran medida del proceso de formación del carbón y de la composición de la materia original a partir de la cual se forma. Asimismo, el gas migrado a través de la fracturación de un macizo rocoso puede modificar su composición inicial en función de las características de presión, temperatura y humedad a las que se vea sometido, así como por procesos tectónicos.

La formación del gas grisú en las capas de carbón puede dividirse en dos fases en una aproximación general:

- Fase bioquímica, en la que la materia orgánica se descompone, provocando el desprendimiento de grandes cantidades de metano hacia la superficie.
- Fase geoquímica, en la que los residuos de la etapa anterior se someten a presiones y temperaturas muy elevadas derivadas del recubrimiento geológico, lo que produce la aceleración de procesos químicos que generan grandes cantidades de metano que queda ocluido en el carbón formado.

### **2.2. Concentración de gas en el macizo y desprendimiento durante la excavación**

Los estudios geológicos relacionados con la presencia de gas en un túnel están dirigidos a determinar los siguientes parámetros:

- Concentración de grisú en el terreno, parámetro que en España se determina a través del ensayo normalizado denominado "Método de medición de grisú para capas españolas". Los valores medios de este parámetro en las cuencas carboníferas españolas están comprendidos entre 6 y 14 m<sup>3</sup>/t.
- Desprendimiento específico, que es la cantidad de gas que se desprende como consecuencia de la excavación, expresado en metros cúbicos de grisú por tonelada bruta de terreno excavada.

Estos parámetros permitirán conocer la cantidad de gas que puede contener el terreno a excavar así como la cantidad del mismo que puede aparecer en el túnel a consecuencia de la ejecución de los trabajos. En las labores de minería dichos parámetros se emplean para clasificar los frentes de trabajo en función del riesgo existente de aparición de gas.

La presencia del gas grisú en el interior del material de excavación puede darse en tres formas diferenciadas:

- Libre: ubicado en fisuras y en poros a una presión determinada. Los valores normales indican que el gas libre supone un 5 % del volumen total de grisú retenido en un terreno determinado.
- Absorbido: Se trata del gas grisú contenido en la propia estructura molecular del carbón, que sólo puede ser extraído mediante un tratamiento químico.
- Adsorbido: El gas se encuentra unido a las superficies libres internas mediante fuerzas de Van Der Waals. Representa el 90% del volumen total de gas retenido y la ejecución de la excavación en el macizo puede provocar su desprendimiento, ya que el gas se presenta en forma de monocapa adherida a la superficie interna del material.

Cómo puede verse, la fracción más importante para su estudio a la hora de afrontar una excavación subterránea es la del gas grisú adsorbido, pues su aparición viene asociada a la propia excavación y puede originar un desprendimiento brusco de un volumen importante de gas en el interior del túnel. La capacidad de almacenamiento de gas grisú adsorbido depende de factores tales como la presión a la que se encuentra el gas, la temperatura, humedad, tamaño de los poros existentes (cuanto menor es el tamaño de los poros, mayor es el volumen de gas adsorbido), la permeabili-

dad, el porcentaje de cenizas y el rango del carbón en caso de excavaciones en dicho material.

El gas grisú adsorbido por la roca suele existir en unas condiciones de altas presiones. Dicho gas se encuentra en equilibrio con el gas grisú libre contenido en los poros y fisuras de la roca. La excavación subterránea genera una serie de tensiones que alteran el equilibrio existente y parte del grisú adsorbido se desprende de las superficies libres de la roca pasando a ser gas libre. Este gas se difunde a través de los poros hasta encontrar una fisura a través de la cual fluye de forma laminar. El gas desprendido puede provenir del mismo terreno excavado o de otros terrenos adyacentes comunicados con el primero por medio de fisuras en el macizo. El desprendimiento de gas puede ser de varios tipos atendiendo al tiempo de duración del fenómeno:

- Constante, con una salida de gas de manera continua y uniforme
- Súbito, cuando procede de fallas o fisuras en el macizo
- Instantáneo; se trata de fenómenos gaseodinámicos en los que existe proyección de material y desprendimiento masivo de metano y anhídrido carbónico. Este tipo de fenómenos han estado ligados principalmente a las labores mineras, existiendo pocos ejemplos de obras civiles en las que se describa la aparición de esta problemática.

Los factores que influyen en el desprendimiento de grisú en un terreno dado se relacionan a continuación:

- Estructura geológica; las zonas de contacto y cizalla pueden presentar material muy pulverizado y paquetes de gas asociados a los planos de debilidad. También existe mayor riesgo de desprendimiento en zonas cercanas a fracturas o fallas.
- Profundidad; A mayor profundidad en el macizo, el gas se encuentra a presiones más elevadas, por lo que el gradiente de presión resultante al excavar un túnel es mayor, lo que supone mayores riesgos de desprendimiento de gas.
- Humedad; al aumentar ésta, disminuye el riesgo de desprendimiento.

Fracturación de la roca; la microfracturación está relacionada con la permeabilidad, por lo que una roca con mayor número de fisuras favorece el desprendimiento de gas.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el parámetro fundamental del fenómeno del desprendimiento de gas es, además de la concentración de gas existente en una formación, la velocidad de desorción o velocidad de desprendimiento de la fracción adsorbida del gas. La velocidad de desorción depende de los siguientes factores:

- Granulometría; si ésta disminuye, la velocidad de desorción aumenta.
- Temperatura; la velocidad de desorción aumenta con la temperatura
- Profundidad de la excavación; este factor está ligado con el anterior por el gradiente térmico existente en la propia corteza terrestre. A mayor profundidad, mayor velocidad de desorción.
- Naturaleza y composición del gas grisú; en función de la composición del gas la velocidad de desorción puede tener variaciones. Así, si el contenido en dióxido de carbono es elevado, la velocidad de desorción aumenta. Sin embargo, una mayor proporción de etano disminuye la velocidad de desorción.

Por lo tanto, es de suma importancia, al afrontar la ejecución de una obra subterránea en terrenos susceptibles de alojar gases deflagrantes, realizar un estudio detallado para caracterizar la posible presencia de gas en el macizo. Se debe determinar la concentración de gas existente así como la posibilidad de desprendimiento del mismo una vez iniciada la excavación. De la misma forma, es muy importante prever la forma en que puede producirse el desprendimiento de gas, lo que se caracteriza mediante la velocidad de desorción.

### 3. Legislación en la ejecución de túneles

La ejecución de túneles de infraestructuras de transporte terrestre se ha centrado históricamente en nuestro país en las zonas urbanas, con la ejecución de las redes de transporte metropolitano ferroviario y los túneles carreteros como grandes y exitosos ejemplos de la capacidad de aprovechamiento del espacio subterráneo en zonas densamente pobladas. Fuera de estas zonas urbanas, los túneles han constituido un elemento a minimizar o incluso evitar, forzando los trazados en la configuración de las líneas de ferrocarril

convencional y en las redes de carreteras de toda índole. Naturalmente, el desarrollo de las redes de altas prestaciones tanto en carreteras (autovías y autopistas) como en ferrocarriles (red de alta velocidad) supuso un cambio radical en el enfoque de los trazados. El reflejo de este cambio de filosofía se ha visto encumbrado finalmente con la ejecución de grandes túneles de base para atravesar los principales sistemas montañosos de nuestro país: túneles de Guadarrama, Pajares, Abdalajís y Le Perthus en la red ferroviaria de alta velocidad y túneles como el de Somport o Piqueiras en la red de carreteras.

Pero, a pesar del notable desarrollo experimental en la ejecución de túneles, existe una carencia de normativa de referencia en materia de seguridad que permita homogeneizar las condiciones mínimas de seguridad exigibles en las obras subterráneas de infraestructuras de transporte terrestre. Quizás uno de los motivos de dicha carencia se deba a la gran variedad de técnicas de construcción empleadas a lo largo del desarrollo de dichas infraestructuras. Esta situación ha provocado, debido a factores de índole muy diversa, que en las obras de ejecución de túneles de infraestructuras de transporte terrestre se adopte habitualmente como referencia en materia de seguridad el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) que lo desarrollan.

Las evidentes diferencias existentes entre las actividades a realizar en una explotación minera y las características de la ejecución de obras civiles de carácter lineal motivaron la aparición de la Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre (IOS-98), instrucción que pretendía ser el primer elemento normativo común dentro de las infraestructuras subterráneas de transporte terrestre. Esta instrucción fue derogada por el Tribunal Supremo en enero de 2005 aduciendo un defecto de forma en su tramitación, con lo que se perdió la oportunidad de sentar las bases para definir un cuerpo normativo específico para los trabajos mencionados.

A la vista de la cantidad de obras subterráneas que se están llevando a cabo en nuestro país como parte de las redes de infraestructuras de transporte terrestre, sería muy deseable contar con un documento de carácter normativo que sirviese de referencia para abordar los estudios y planes de seguridad y salud de unas actuaciones tan singulares. En esa línea, hay que

señalar que existe un proyecto de Real Decreto para aprobar Instrucciones para la elaboración de proyectos y dirección, ejecución y explotación de obras de infraestructura de transporte terrestre de interés general. Asimismo, determinadas autonomías están redactando documentos similares para las obras promovidas por parte de las administraciones regionales. Dentro de estas nuevas normas deberán quedar definidos criterios básicos en los aspectos derivados de la seguridad y salud.

En relación a la normativa existente relativa a la presencia de gases deflagrantes en obras subterráneas, es necesario remitirse al citado Reglamento de Normas Básicas de Seguridad Minera y a las ITC que lo desarrollan. En concreto, el capítulo V de las ITC está dedicado íntegramente a "*minas subterráneas de carbón y labores con riesgo de explosión*". La ITC 05.0.02 fija las concentraciones límite (volumétricas) de metano y anhídrido de carbono de la siguiente manera:

- 0,80 % en los retornos de aire considerados principales
- 1,50 % en las restantes labores, salvo en los retornos de los talleres electrificados que se limita al 1,00 %

En el caso de existir control automático permanente de la concentración de grisú, los límites anteriores podrían ser modificados por la autoridad competente como sigue:

- 1,00 % en los retornos de aire principales
- 1,50 % en los retornos de talleres electrificados

Asimismo, la instrucción señala que, en caso de llegar a alcanzar los valores anteriores, se deberá observar la tendencia de esta acumulación. Si el contenido sobrepasa el 2,50 %, la labor será abandonada por el personal.

Estos valores sirven de referencia a los proyectistas de túneles de infraestructuras de transporte terrestre para la elaboración de los estudios de seguridad y salud en aquellos casos en que es previsible la aparición de gases deflagrantes en el macizo a excavar.

Por otra parte, y puesto que el desarrollo de trabajos en atmósferas potencialmente explosivas está íntimamente ligado al uso de sistemas de protección y equipos antideflagrantes, cabe destacar como normativa de referencia en cuanto a la fabricación y uti-

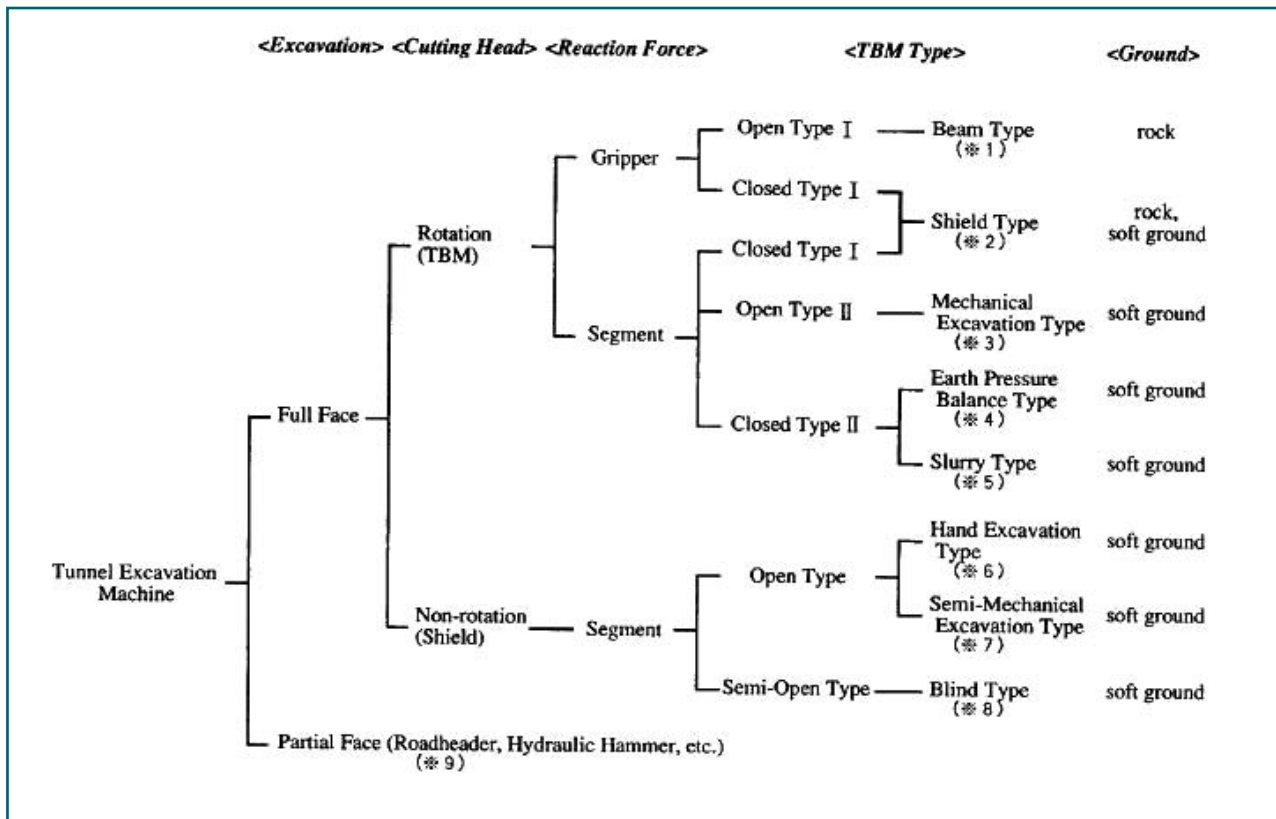


Fig. 1. Clasificación general de máquinas tuneladoras en función de la sección de excavación "AITES" (Association Internationale des Travaux en Souterrain) "ITA" (International Tunnelling Association).

lización de este tipo de aparatos, la Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de marzo de 1994 y su transposición al Derecho español mediante el Real decreto 400/1996 de 1 de marzo de 1996. Esta normativa define los requisitos esenciales que deben respetar los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas explosivas y se trata, en general, de especificaciones de tipo eléctrico que influyen en el diseño, la fabricación y los ensayos del material utilizable para este fin.

Del mismo modo y en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, el 12 de junio de 2003 se aprobó el Real Decreto 681/2003 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo, procediendo de este modo a la transposición al Derecho español del contenido de la Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999. Este real decreto establece una serie de obligaciones del empresario, con objeto de prevenir las explosiones y de proteger a los trabajadores contra éstas, debiendo adoptar diferentes medidas de carácter técnico u organizativo, combinadas

o completadas con medidas contra la propagación de explosiones.

#### 4. Excavación integral mecanizada

##### 4.1. Clasificación y problemática actual

Como ya es sabido, el término excavación integral mecanizada hace referencia a la excavación que se realiza mediante el empleo de máquinas integrales, conocidas habitualmente por sus siglas en inglés TBM (*Tunnel Boring Machine*), o más comúnmente llamadas tuneladoras. Son máquinas capaces de excavar un túnel a plena sección colaborando, en función del tipo de máquina, en la colocación de un sostenimiento provisional o en el montaje en obra del revestimiento definitivo.

Los avances experimentados en materia de tuneladoras han sido muy notables en los últimos años, optimizándose los procesos de producción y desarrollándose nuevos sistemas de seguridad en las tuneladoras, gracias a la evolución tanto de materiales como de maquinaria, lo que ha permitido alcanzar eleva-



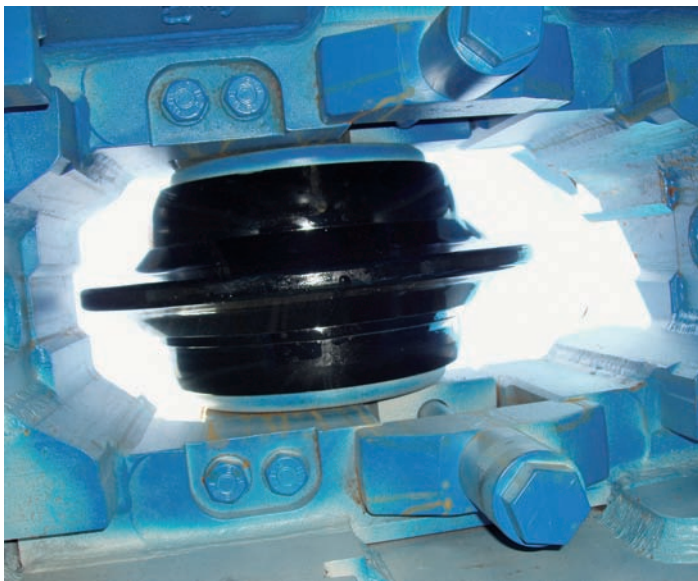


Fig. 2. Cortador de disco nuevo.



Fig. 3. Cortadores desgastados.

dos rendimientos de ejecución con calidad y seguridad. Esto ha hecho posible afrontar proyectos cada vez más ambiciosos, como la excavación de grandes túneles de base, y los grandes túneles submarinos. Asimismo, hay que destacar que esta evolución tanto en el diseño de las máquinas, como en la ingeniería de materiales, ha permitido incrementos sucesivos en el diámetro de excavación llegando en la actualidad a superarse los 15 metros de diámetro, como sucede en el caso de las tuneladoras utilizadas para la perforación de los túneles del Bypass Sur de la M-30, de 4 kilómetros de longitud cada uno.

Sin embargo, a pesar del gran avance experimentado en este campo, son muchos los escollos que aún quedan por superar, constituyendo en la actualidad un auténtico desafío para los fabricantes de estas máquinas. Algunos de los problemas que se plantean en la excavación de túneles con máquinas tuneladoras se detallan a continuación:

- Problemas derivados de la heterogeneidad de materiales, duros y blandos, lo que obliga a un diseño de compromiso entre máquina de roca dura y máquina de suelos, máquina mixta capaz de excavar en ambos materiales, sin lograr hasta la fecha resultados fiables.
- Elevado tiempo empleado para el cambio de herramientas de corte, en concreto los cortadores de disco. Una de las limitaciones se encuentra en el

tamaño y el peso de los cortadores, así como las duras condiciones de trabajo dentro de la cámara de la cabeza de la máquina. Aunque para rocas extraduras (resistencia a compresión simple  $> 300$  MPa) llegaron a desarrollarse cortadores por encima de las 17" pulgadas de diámetro (de 19", 20" y 21"), su elevado peso (un cortador de 17" pesa 125 kg aproximadamente) y la verificación de que por encima de este diámetro no hay un aumento sustancial de la penetración de la TBM, hizo que este diámetro se considere hoy como el máximo recomendable en la mayoría de los casos. A pesar de que los fabricantes han desarrollado medios auxiliares especiales para facilitar el cambio de cortadores de sus máquinas, operación que debe poder hacerse siempre desde el interior de la cabeza, se ha comprobado que se llega a emplear más de un 30 % del tiempo útil en el cambio de herramientas de corte en terrenos extraduros y abrasivos por el elevado contenido en sílice.

- Necesidad de mejora de los equipos de prospección para que permitan realizar tratamientos e inspecciones del terreno más eficaces, con independencia o no del proceso de producción, ya que la falta de flexibilidad del trabajo con tuneladoras constituye un verdadero inconveniente para aplicar, desde el interior del túnel, los procedimientos habituales empleados en la excavación por métodos convencionales.

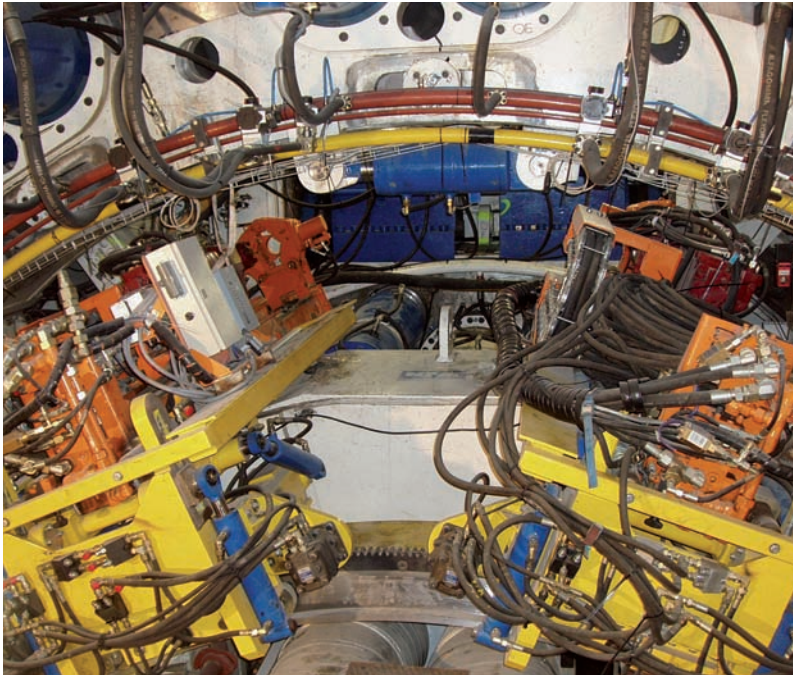


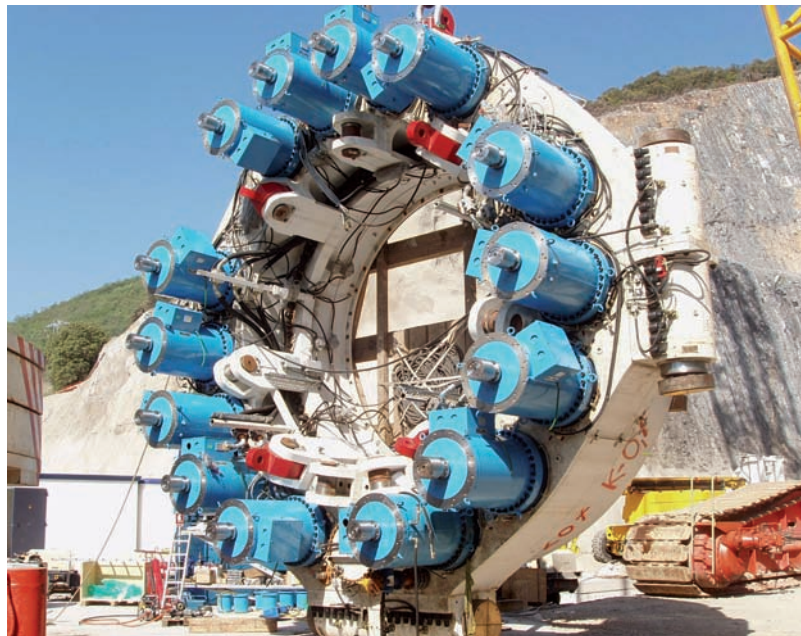
Fig. 4. Perforadoras instaladas en la TBM.

- La excavación con tuneladoras en terrenos con atmósferas explosivas se considera hoy día un problema irresoluble, debido a la gran cantidad de componentes eléctricos que forman parte de la tuneladora, cuyo funcionamiento en dicha atmósfera, provocaría un alto riesgo de deflagración. Por lo tanto, la presencia de gases deflagrantes durante la excavación con tuneladoras constituye hoy día uno de los mayores riesgos durante la operación con este tipo de máquinas, ya que se deben detener todos los trabajos de excavación y proceder a la desconexión de todos los equipos no antideflagrantes, con el consiguiente perjuicio al rendimiento de ejecución que ello conlleva. Hasta la fecha las únicas líneas de actuación que permiten la excavación en este tipo de terrenos consisten en crear una burbuja de seguridad, mediante la detección temprana del gas a través de sensores distribuidos a lo largo de la TBM, y la dilución de dicho gas en base a un complejo sistema de ventilación para mantener las concentraciones del mismo dentro de los límites seguros.
- Problemas derivados de la presencia de agua en el terreno cuando se emplean máquinas que no trabajan en presión y el revestimiento se compone de dovelas prefabricadas de hormigón armado.

#### 4.2. Instalación eléctrica en un túnel ejecutado con TBM. Ejemplo de los túneles de Pajares

Como se ha comentado anteriormente, la ejecución de un túnel con tuneladora lleva asociado el desarrollo de una compleja instalación eléctrica para garantizar el suministro a todos los equipos. Puesto que el grueso de la instalación y la mayor parte de equipos eléctricos no cuentan con protección antideflagrante, su funcionamiento se hace incompatible en presencia de una atmósfera explosiva, por el elevado riesgo de deflagración. A pesar del gran avance que en los últimos años se ha experimentado en esta materia, en base a la directiva europea que lo regula (Directiva Europea ATEX 94/9/CE), hoy día el desarrollo de una tuneladora de estas características, con protección intrínseca, se considera inviable, por la imposibilidad técnica de desarrollar ciertos equipos antideflagrantes, como el accionamiento de la rueda de corte, así como por el elevado presupuesto que supondría generalizar esta medida a todos los equipos donde fuese técnicamente posible, lo que no haría rentable la ejecución de la obra con TBM. Por tanto la única posibilidad de trabajar con este tipo de máquinas pasa por garantizar en todo momento una atmósfera limpia en el interior del túnel, libre de gases deflagrantes. A continuación se detalla el esquema general de la instalación eléctrica en un túnel que se ejecuta con tuneladora.

Fig. 5. Accionamiento de la rueda de corte (rodamiento principal y motorización).







4.2.1. Instalación eléctrica en la tuneladora.

La tuneladora se alimenta a través de un cable de cobre AT de 20 kV de 3x95 mm, anclado al hastial del túnel mediante soportes, que se prolonga en tramos de aproximadamente 300 metros y realizando el empalme de cada una de las fases entre tramo y tramo. En el funcionamiento de la tuneladora se trabaja con tres tensiones diferenciadas en función de su uso; así pues, se usará una baja tensión de 24 voltios en corriente continua para la alimentación de sensores, electroválvulas y señales de supervisión y control de la tuneladora, una tensión de 400 voltios para alimentación de la ventilación, agotamiento y cintas de extracción de escombros, y 690 voltios para la alimentación del accionamiento principal de la rueda de corte.

#### 4.2.1.1 Transformadores

La energía eléctrica suministrada a la tuneladora a través del cable de cobre AT es transformada de alta tensión (20kV), a baja tensión (400 V y 690 V) por 3 transformadores situados en el back-up de la máquina con conexión eléctrica a través de un tambor de enrollamiento de cable móvil AT:

- **2 transformadores primarios** del tipo aceite de silicona situados en uno de los remolques del back-up alimentan los variadores de frecuencia de la moto-

Fig. 6. Tambor de enrollamiento de cable móvil AT.

Fig. 7. Transformador auxiliar instalado en el back-up.



rización de la cabeza de corte. La tensión de entrada del primario es de 20 kV, y su tensión secundaria en circuito abierto es 690 V. Los variadores de frecuencia de la motorización a los que alimentan se encuentran protegidos contra sobreintensidades por dos dispositivos Masterpack, y de forma individual por fusibles, control de orden de fases y defecto de aislamiento. Están además encerrados en cabinas con protección IP 55. Las tuneladoras que están ejecutando los túneles de Pajares cuentan con un sistema de accionamiento de la rueda de corte eléctrico de frecuencia variable (FVD), al objeto de poder ajustarse a las condiciones geológicas de la manera más efectiva posible. El sistema consta de 14 motores de inducción estándar de 350 kW con control de frecuencia variable, refrigerados por agua, donde cada motor incluye un detector térmico empotrado para procesamiento de fallos mediante un PLC.

- **1 transformador auxiliar** del tipo aceite de silicona situado en otro de los remolques suministra baja tensión a los otros equipos eléctricos dentro de la tuneladora. Su tensión de entrada primaria es 20 kV, y la tensión secundaria en circuito abierto es 400 V. Este transformador es el encargado de dar servicio al resto de componentes de la tuneladora, estando su salida limitada en intensidad por un Masterpack y protegida por un control permanente de aislamiento y un control de orden de fases. El





Fig. 8. Grupo electrógeno de emergencia instalado en el back-up.

transformador auxiliar se encuentra en un contenedor presurizado para protección Eex (antideflagrante), conectado a los equipos eléctricos que quedan bajo tensión en caso de detección de metano. De esta manera se garantiza un suministro seguro a los equipos con protección antideflagrante a través de dicho transformador.

#### 4.2.1.2 Grupo electrógeno de emergencia

Para los casos de emergencia o avería en que se produzca un corte en el suministro eléctrico a la tuneladora, se dispone en el propio back-up de un generador auxiliar de 300 KVA (aproximadamente), que garantiza los sistemas básicos de ventilación, iluminación y comunicación para los trabajadores que se encuentran en la tuneladora en ese momento. Dicho generador, cuyo principal componente es un motor térmico diesel que mediante un acoplamiento acciona un alternador, produce energía para el dispositivo de seguridad principal de la tuneladora. La tensión de

salida a plena carga suministrada por el alternador es 400 voltios, protegida por un interruptor magnetotérmico de salida. Además, con objeto de reducir la contaminación en el túnel, se lleva a cabo el tratamiento del humo mediante un convertidor catalítico reduciendo la emisión de gases nocivos.

#### 4.2.1.3 Iluminación

La tuneladora, como centro de trabajo, debe disponer de una iluminación adecuada ya que en su interior se encuentran decenas de trabajadores realizando actividades de toda índole. En la instalación se pueden diferenciar tres tipos de iluminación en función del área de trabajo que está previsto cubrir:

- Iluminación normal en pasarelas, puestos de trabajo en el escudo y en el back-up.
- Iluminación mediante spots de alta potencia en los puestos de trabajo principales del escudo y del back-up.

- Iluminación de seguridad (antideflagrante) para señalar la vía de evacuación de la tuneladora en caso de emergencia.

#### 4.2.2. Instalación eléctrica en el túnel.

##### 4.2.2.1 Iluminación

La iluminación del túnel consta de una serie de componentes que se enumeran a continuación:

- Transformadores de 3800 V a 380 V se colocan a lo largo del túnel, uno cada 1000 m.
- Cuadros de iluminación y enchufes de 380/220 V se sitúan a lo largo del túnel cada 150 m.
- Luminarias de 2x36 W que se colocan una cada nueve metros a lo largo del túnel y seis en los entronques de las galerías de conexión. Están conectadas entre sí mediante un cable de cobre de 3x2.5 mm<sup>2</sup> y 230 V que sale de cada cuadro de iluminación. Para garantizar un alumbrado de seguridad en caso de desconexión de la alimentación en el túnel, una de cada cinco de estas luminarias lleva acoplada una batería de tres horas de autonomía. En el caso de los entronques de las galerías de conexión tres de las seis luminarias disponen de baterías.

##### 4.2.2.2 Comunicaciones

El sistema de comunicaciones permite, mediante tecnología wifi, la comunicación entre las diferentes ubicaciones posibles de la obra. La comunicación se puede efectuar tanto a través de teléfonos portátiles, como de teléfonos fijos instalados en puntos señalados (tuneladora, burladeros de seguridad a lo largo

del túnel, playa de vías, locomotoras, oficinas exteriores, etc.)

Además de la comunicación por teléfono existen dos líneas de datos: una para la conexión desde el exterior con el PLC de la tuneladora que permite la visualización de las pantallas de operación de la cabina de control de la TBM y otra para la comunicación de la cinta de extracción de material del túnel. A continuación se detallan los elementos más importantes de la instalación:

- Cuadros wifi: Uno cada 250 m. Por cada cuadro hay un teléfono IP instalado.
- Cables: una manguera de fibra óptica monomodo de 8 hilos para telefonía (conexión PLC), datos (ordenador de supervisión) y comunicación de la cinta de extracción de material del túnel (se usan tres pares y queda uno libre). Para este cable hay colocado además un amplificador de señal cada 4.500 metros, aproximadamente, por las pérdidas de señal a largas distancias. Además se usa un cable armado de fibra óptica monomodo de 4 pares para toda la instalación wifi, telefonía y comunicación.

##### 4.2.2.3 Seguridad

Por si existiera algún problema visible en la cinta de extracción de material del túnel existe una línea de interruptores de emergencia para la parada de la misma. Estos interruptores están situados cada 250 metros y están conectados por una manguera de 3x2x1 mm<sup>2</sup>.

Existe además aviso luminoso en forma de lámpara led situadas 100 m antes de cada cambio de vía colocado en el túnel en ambos sentidos de circulación. ♦

#### Referencias:

- Ministerio Fomento (2003). "Proyecto Básico de los Túneles de Pajares."
- Ministerio Fomento (2003). "Proyecto y obra de plataforma de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias. Tramo: Túneles de Pajares. Lotes 1, 2, 3 y 4"