

Seguridad en trabajos con tuneladoras (II)

Safety works in tunnel boring machines (tbm) (II)
Securité en travail avec tunnelier (II)

Redactores:

José M^a Tamborero del Pino
Ingeniero Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES
DE TRABAJO

David Quílez Puig
Geólogo

ACCIONA INGENIERÍA

Esta NTP complementa la NTP 905 y describe las medidas de prevención y protección referidas a la seguridad en trabajos con tuneladoras.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

Las medidas preventivas y de protección a aplicar durante la ejecución del túnel deben idearse durante la fase de proyecto. La mejor medida preventiva es la que no necesita adoptar elementos de protección más allá de los que se derivan del propio método constructivo y necesarios para la ejecución de la obra. No obstante, y debido al dinamismo de la obra, pueden aparecer riesgos o situaciones de riesgo no previstas, que exijan la adopción de medidas preventivas complementarias.

Como ya se ha indicado, en la descripción básica de la tuneladora, ésta es una instalación industrial móvil que debe incorporar todos los elementos de seguridad como los necesarios para cualquier otro lugar o equipo de trabajo. Así, todas las plataformas de trabajo y zonas de paso deberán estar protegidas con barandillas, las escaleras de acceso deberán ser preferentemente con peldaños, evitando las escalas y escaleras de gato, tal como se muestra en la figura 1, las partes móviles de la máquina deberán estar protegidas o condenadas mediante barras o cadenas, para evitar que los trabajadores entren en contacto durante su funcionamiento, como en el caso del erector de dovelas, cintas, motores, etc. Se puede ver un ejemplo de las protecciones de las cintas transportadoras en la figura 2. Los huecos al mismo nivel deberán ser eliminados, y se señalarán los riesgos y los elementos de protección que obligatoriamente deben usar los trabajadores en cada zona de la tuneladora. Todos estos elementos deben estar contemplados en el diseño de la máquina y se debe controlar su incorporación durante el montaje de la tuneladora y su mantenimiento durante la ejecución de la obra.

A continuación se desarrollan las medidas preventivas y de protección describiendo las medidas preventivas de carácter general, las instalaciones de seguridad que debe incorporar el túnel durante su ejecución y la auscultación y prospección a la que se debe someter el trazado del túnel y sus proximidades para prever riesgos de posible colapso o subsidencia del terreno.

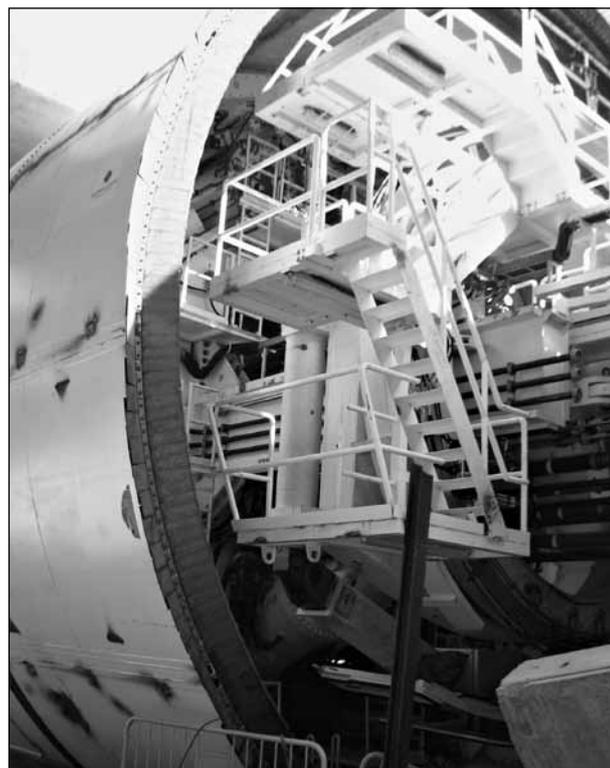


Figura 1. Imagen de las instalaciones del interior de la tuneladora de la parte trasera de la cabeza e inicio del tren de apoyo.

Al final de este apartado, y a modo de resumen, se adjuntan las tablas 1, 2 y 3, en las que se relacionan los riesgos y las medidas preventivas o constructivas a adoptar en la excavación de un túnel con tuneladora, asociando cada riesgo a la fase de obra y al agente causante. En la primera tabla se relacionarán los riesgos y medidas preventivas debidos a la geología del terreno, en la segunda, los debidos a la maquinaria e instalaciones de obra y, en la tercera, los debidos al ambiente de trabajo.



Figura 2. Cintas transportadoras de material excavado

Medidas preventivas de carácter general

Como ya se ha dicho al introducir este capítulo, las medidas preventivas deben ir ligadas a un adecuado proyecto constructivo en el que queden recogidos todos los aspectos que puedan comprometer la ejecución del túnel, además se debe incorporar una serie de medidas preventivas para aquellos riesgos que no queden controlados por el sistema constructivo. A continuación se destacan las siguientes:

- Reconocimiento geológico, geotécnico e hidrogeológico exhaustivo en fase de proyecto para definir el método constructivo y el tipo de tuneladora más adecuado, la longitud de pase (longitud máxima de túnel sin sostenimiento), y elegir el punto de emboquille del túnel en una zona suficientemente estable.
- Definición en fase de proyecto del sostenimiento que incluya, además, medidas para evitar pequeños desprendimientos o fallos del terreno que aunque no comprometan la estabilidad del túnel puedan afectar a los equipos de trabajo y trabajadores. Entre estas medidas pueden considerarse la colocación sistemática de malla de acero anclada con bulones simultáneamente a la excavación del túnel, sistemas de sostenimiento y protección de laderas inestables en la zona del emboquille, viseras en el emboquille para evitar caída de bloques en la boca del túnel o refuerzo del sostenimiento del emboquille e incluso iniciar la excavación en falso túnel.
- Realización de las operaciones de mantenimiento de la tuneladora y cambio de útiles de corte antes de entrar en zonas con incertidumbres geotécnicas para ejecutar estas operaciones en zonas de frente estable.
- Estudio de las características tensionales de las rocas para evitar episodios de estallido de rocas o fluencia.
- Protección mediante apantallamiento de las partes móviles de la maquinaria como engranajes y rodamientos, para evitar el riesgo de atrapamiento. Además las máquinas se dotarán de freno de emergencia. Previamente a la realización de operaciones de mantenimiento se procederá a consignar las máquinas para evitar su accionamiento inesperado. Si la consignación no fuera posible, se tomarán las medidas alternativas pertinentes a fin de garantizar la seguridad de los operarios implicados.
- Establecimiento de perímetros de protección apantallados para evitar los riesgos de proyección de fragmentos de roca u otros materiales y radiaciones en operaciones de soldadura.
- Estudio y realización de proyecto de instalación de grúas, con un cálculo preciso de la cimentación en

función de su estructura y cargas a elevar para evitar los riesgos de vuelco de aparatos de elevación.

- Revisión del buen estado de las eslingas, cadenas y cables de guiado en las operaciones de izado y transporte de cargas suspendidas para evitar la caída de objetos. Además se señalizará un perímetro de seguridad para evitar el desplazamiento de cargas sobre los trabajadores de la obra.
- Colocación de durmientes adecuadas en las zapatas de apoyo del sistema de empuje de la tuneladora contra los hastiales del túnel para evitar vuelcos de la máquina tuneladora por hundimiento del hastial.
- Revisión diaria y sistemática de los raíles de las vagonetas para evitar descarrilamientos. Como se puede observar en la figura 3, el sistema ferroviario de un túnel en construcción puede llegar a ser muy complejo.



Figura 3. Sistema ferroviario de un túnel para transporte de personal y material al frente de excavación

- Colocación de barandillas en todas aquellos lugares que puedan exponer al trabajador a riesgo de caída en altura.
- Uso de los equipos de protección individual necesarios en cada caso y zona de trabajo. Los EPI de uso general, y siempre bajo un estudio y planificación minuciosos de cada situación concreta, comprenderían calzado de protección, casco y protectores auditivos, complementándose con ropa de trabajo reflectante de alta visibilidad, mascarillas con filtro de partículas y gases dependiendo del ambiente de trabajo y guantes para manipulación de cargas y objetos.
- Finalmente, evitar cualquier comportamiento inseguro durante los trabajos, que pasa por una adecuada formación e información de los trabajadores y la vigilancia del cumplimiento de todas las instrucciones de trabajo.

Instalaciones de seguridad

Un túnel debe tener durante su ejecución una serie de instalaciones que garanticen la seguridad de los trabajadores:

- Instalaciones contra incendios
- Instalaciones para detección de gases
- Instalaciones de drenaje
- Instalaciones de ventilación
- Instalaciones eléctricas y de iluminación.
- Cámaras hiperbáricas, si se trabaja con escudos de presión de tierras
- Instalaciones de comunicación

Las características de cada una de estas instalaciones se detallan a continuación.

Instalaciones contra incendios

Para controlar el riesgo de incendio se deben usar preferentemente materiales ignífugos de revestimiento de cables y conducciones. Es preferente el uso de cinta transportadora para el transporte del escombros en lugar de trenes de vagones para evitar la presencia de motores de explosión, ya que la propagación de un incendio puede ser muy rápida a través de los materiales de revestimientos de cables, tuberías de ventilación, cintas transportadoras o maderas de encofrados. Las revisiones y el mantenimiento preventivo de motores de explosión y de la instalación eléctrica se deben hacer con frecuencia.

Para sofocar rápidamente un incendio, a medida que se avanza en la ejecución del túnel es necesario la instalación de sistemas fijos de extinción de incendios (extintores en toda la maquinaria, y extintores y bocas de incendio equipadas a lo largo del túnel). Además se debe formar un equipo de primera intervención en caso de emergencia preparado para sofocar el incendio o en su caso dar la alerta y evacuar el túnel.

Para prevenir los riesgos de inhalación de humos se debe disponer de equipos de protección individual (equipos autónomos con una autonomía mínima de 30 minutos) en el frente del túnel o en la tuneladora, en número suficiente para la plantilla máxima y con capacidad para proceder a su rescate. Se debe disponer de una cámara de supervivencia en uno de los remolques del tren de apoyo de la tuneladora con sistema de botellas de aire respirable con capacidad para 24 horas para toda la plantilla de la tuneladora. También se puede conectar dicha cámara con la red de aire comprimido intercalando un equipo purificador de aire. Como barrera para los humos se debe prever una instalación de agua nebulizada.

Si el proyecto incorpora la ejecución de galerías o pozos para evacuación de personas durante la fase de explotación, es conveniente realizarlas simultáneamente al avance del túnel para que puedan servir de evacuación, también, de los trabajadores de la obra.

Detección de gases

Se debe contar con una serie de detectores de gases para medir su concentración y dar la alarma, en caso de que ésta llegue a niveles peligrosos. Se dispondrán detectores automáticos de gas en toda la maquinaria, en las zonas próximas a puntos de alimentación de las máquinas (motores y transformadores), así como en las proximidades del frente de excavación. Se dotará al túnel de detectores de concentración de oxígeno, metano (grisú), monóxido de carbono, de sulfhídrico y radón, en aquellos tramos que la geología de la zona así lo aconseje. Las formaciones geológicas susceptibles de contener metano, son los niveles de carbón, pizarras carboníferas, calizas, etc., las de contener radón los batolitos graníticos, y el desprendimiento de sulfhídrico y metano puede deberse también a la filtración de aguas sulfurosas y lixiviados de vertederos y aguas residuales, que por filtración pueden llegar a la zona del túnel.

Drenaje

Para evitar la llegada de agua a la excavación o en caso contrario evacuarla convenientemente para que no llegue a inundar el túnel es fundamental disponer de un sistema de evacuación y drenaje de agua adecuado al caudal que pueda irrumpir durante la excavación del túnel.

El sistema de achique (bombas) tiene que estar dimensionado para el escenario más desfavorable en caso de que se dé una irrupción brusca de agua, además es aconsejable el ataque ascendente para favorecer el desagüe natural del túnel. Si el ataque tuviera que ser descendente y el estudio geológico e hidrogeológico realizado revelase la posibilidad de una entrada de agua con un caudal demasiado grande para ser evacuado, se aconseja la instalación de una pasarela en la bóveda del túnel para el rescate del personal.

Ventilación

La instalación de ventilación se debe diseñar con capacidad para reducir al máximo la concentración de gases y de materias en suspensión, garantizando una concentración de O_2 entre el 19 y el 23 %. El túnel debe tener una ventilación general forzada y si se realizan operaciones especiales como soldaduras se debe proveer de aspiración localizada.

Instalación eléctrica y de iluminación

La instalación eléctrica se dispondrá colgada de perchas o sobre soportes y se evitará que los cables estén sobre el suelo. Se instalarán cuadros eléctricos secundarios cuando sea necesario y no se realizarán empalmes siguiendo las prescripciones y buenas prácticas de las instalaciones de obra. El sistema de iluminación del túnel será preferentemente cruzado con el fin de mejorar la distribución y disminuir sombras. Las zonas de paso de la obra estarán permanentemente iluminadas evitando rincones oscuros. Al realizar el diseño de la iluminación se incluirá un sistema de alumbrado de emergencia.

Instalaciones para trabajos hiperbáricos

Los trabajos en ambiente hiperbárico sólo se darán en tuneladoras con presión de frente que se utilizan para la excavación de suelos blandos con poca cohesión y bajo el nivel freático, son las llamadas escudos EPB (Earth Pressure Balance). Para poder acceder al disco de la cabeza de corte y garantizar el sostenimiento del frente, se trabaja en condiciones hiperbáricas. Para ello es indispensable disponer de cámaras hiperbáricas para la aclimatación de los trabajadores, además de un tren o vehículo de evacuación y personal sanitario para asis-

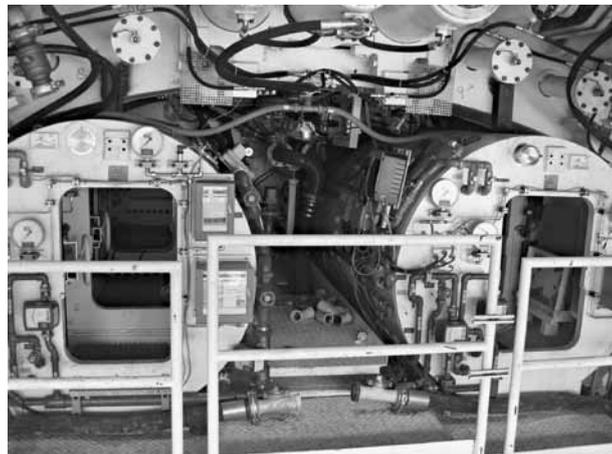


Figura 4. Cámaras de descompresión en una tuneladora de presión de tierras

tir a los trabajadores en caso de producirse accidentes disbáricos. En la figura 4 se observan las cámaras de descompresión de una tuneladora.

Comunicaciones

Se debe instalar un sistema de comunicaciones entre los trabajadores del interior del túnel y el exterior. Este sistema se puede establecer por radio y telefonía fija. También es conveniente disponer de cámaras de televisión en las diferentes zonas de trabajo para controlar desde el exterior que el túnel se ejecuta en condiciones seguras.

Auscultación y prospecciones de seguridad durante la ejecución de la obra

Para minimizar los riesgos sobre los trabajadores y edificios e infraestructuras colindantes es imprescindible llevar a término un sistema de auscultación que indique, antes de que se produzca un evento no deseado, su próxima producción, para llevar a cabo las medidas correctoras oportunas, o en casos muy graves, desalojar las zonas afectadas o interrumpir los servicios.

La medida de estos parámetros y su posterior análisis se debe realizar simultáneamente a la ejecución del túnel

RIESGO	FASE DE OBRA	CAUSA	MEDIDA PREVENTIVA /CONSTRUCTIVA	
RIESGOS DEBIDOS A LA GEOLOGÍA DEL TERRENO	Sepultamiento por subsistencia	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución de emboquille • Excavación del túnel en los primeros metros 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducido espesor de cobertera • Presencia de agua • Presencia de fallas • Cruce de valles y zonas de menor cobertera 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento geológico, geotécnico e hidrogeológico exhaustivo en fase de proyecto • Definición de la longitud de pase y sostenimiento (dovelas, cerchas, inyecciones, etc.) en función de presencia de fallas, espesor del recubrimiento, zonas cársticas, etc. • Refuerzo del sostenimiento del talud del frente de emboquille (paraguas, bulones, mallazo, hormigón proyectado, etc.) • Auscultación del túnel en fase de ejecución
	Sepultamiento por deslizamiento superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución de Emboquilles • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de depósitos coluviales • Laderas inestables • Paso a media ladera 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio geológico y geomorfológico exhaustivo en fase de proyecto • Elección de la zona de emboquille alejada de posibles movimientos de laderas • Auscultación de las posibles laderas inestables durante la ejecución del túnel (inclinómetros, piezómetros, etc.)
	Sepultamiento por colapso de frente	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación del túnel en operaciones de mantenimiento de cortadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Fracturación importante • Fallas • Terrenos sin cohesión 	<ul style="list-style-type: none"> • Elección del tipo de tuneladora en función de la geología del terreno • Estabilización del frente con inyecciones previas a la excavación • Campaña de reconocimiento del frente a excavar durante la ejecución del túnel • Realización de las operaciones de mantenimiento antes de entrar en zonas con incertidumbres geotécnicas.
	Atrapamiento por caída de bloques	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución del emboquille • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fracturación importante • Paso de fallas • Falta de sostenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de sostenimiento y protección de laderas inestables (drenajes, barreras dinámicas, mallas de contención, etc.) antes de la ejecución del emboquille • Colocación sistemática de malla de protección anclada con bulones simultáneamente a la excavación del túnel
	Ahogamiento por inundación del túnel	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de agua por infiltración, carsificación, fallas, fracturación y zonas de diques 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio hidrogeológico detallado en fase de proyecto • Sondeos de reconocimiento durante la ejecución del túnel y medida de niveles freáticos • Sondeos de drenaje en abanico • Impermeabilización con inyecciones • Sistema de drenaje con capacidad para el caudal máximo estimado • Pasarela en la bóveda para resguardo y evacuación en el caso de ejecución del túnel a contra pendiente
	Golpes por caída de bloques de pequeña dimensión	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecución del emboquille • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Fracturación del macizo • Fallas 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de malla de protección en el emboquille como complemento de otros sistemas de sostenimiento de rocas de más entidad si se considerase necesario. • Ejecución de bermas con cunetas, y viseras de protección • Colocación sistemática de malla de protección sostenida con bulones, simultáneamente al avance del frente
	Proyección de fragmentos o partículas	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Estallido de rocas a grandes profundidades (rockburst) • Ejecución de perforaciones para bulones e inyecciones • Proyección de gunita para el sostenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de las características tensionales de las rocas a grandes profundidades en fase de proyecto • Establecimiento de un perímetro de seguridad • Uso de casco, ropa de trabajo y gafas antiproyecciones
	Incendios y explosiones	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de gases inflamables (metano, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las máquinas periódicamente • Determinar la posible presencia de gases en fase de proyecto • Protecciones antideflagrantes en las máquinas de avance del túnel • Usar materiales ignífugos • Implementar detectores de gases • Instalación de cámaras de supervivencia con sistema de aire respirable • Instalación de agua nebulizada como barrera para los humos • Construcción simultánea del túnel y de las salidas de emergencia necesarias para la explotación (galerías de conexión en proyectos bitubo y pozos de evacuación en proyectos monotubo)

Tabla 1. Riesgos debidos a la geología del terreno, fase de obra en la que se produce el riesgo, causa del riesgo y medida preventiva y/o constructiva a adoptar

RIESGO	FASE DE OBRA	CAUSA	MEDIDA PREVENTIVA /CONSTRUCTIVA
Caídas a distinto nivel	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución del emboquille Excavación del túnel Sostenimiento del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Acceso al pozo de ataque desde la maquinaria 	<ul style="list-style-type: none"> Usar protecciones colectivas contra caída a diferente nivel altura: barandillas Usar preferentemente plataformas elevadoras móviles de personal para trabajos en altura Usar sistema de arnés anticaídas anclado a un elemento seguro o línea de vida, cuando no sea posible la protección colectiva Usar andamios montados completamente y bien arriestrados, con elementos de protección colectiva (barandillas con rodapié) y acceso mediante escalera interior
Caída de objetos desprendidos	<ul style="list-style-type: none"> Montaje y desmontaje de la tuneladora Ejecución del sostenimiento del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Izado y transporte de las piezas de la tuneladora Izado de las dovelas de hormigón armado o cerchas para sostenimiento del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Eslingas y cuerdas de guiado adecuadas al peso y tamaño de las piezas
Atrapamiento entre partes móviles de la máquina	<ul style="list-style-type: none"> Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Accesibilidad a órganos móviles en operaciones de cambio de cortadores o picas de la cabeza de la tuneladora Mantenimiento en cintas transportadoras en funcionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Enclavamiento de la cabeza de giro de la tuneladora mientras dura la operación de sustitución de las piezas Consignación de cintas transportadoras previamente a operaciones de mantenimiento Asegurarse que existe freno de emergencia de las cintas accesible
Atrapamiento por vuelco de máquinas	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución del emboquille En el montaje y desmontaje de la tuneladora En la excavación del túnel Pozo de ataque Recorrido de las máquinas a lo largo del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Derrumbe de la grúa o puente grúa por cimentación inadecuada Vías de circulación de vagones en mal estado Fallo del terreno en el apoyo de las zapatas de la tuneladora Fallo del terreno de apoyo de los gatos de la maquinaria 	<ul style="list-style-type: none"> Proyectar la cimentación de la grúa de acuerdo a las cargas a suspender (piezas de la tuneladora con dimensiones y pesos inusuales, dovelas de los anillos de sostenimiento, etc.) Comprobación diaria del estado de los raíles y traviesas de las vías de ferrocarril instaladas Establecimiento del método de excavación y tipo de máquina a usar Reforzar mediante durmientes adecuadas los apoyos de las zapatas de la tuneladora
Contactos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> Montaje y desmontaje de la tuneladora Excavación del túnel Colocación del sostenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> No comprobación de la instalación eléctrica del interior del túnel para alimentación de la tuneladora, del sistema de iluminación y de las bombas de drenaje y/o de los Grupos Electrógenos 	<ul style="list-style-type: none"> Comprobación periódica de la correcta instalación de la puesta a tierra Comprobación periódica de los elementos de seguridad de los cuadros eléctricos
Atropellos	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución del emboquille Montaje y desmontaje de la tuneladora Excavación del túnel Colocación de la tuneladora 	<ul style="list-style-type: none"> Coexistencia de operarios y maquinaria durante su recorrido a lo largo del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Instalar la iluminación adecuada para los trabajos en el interior del túnel Circular a velocidad moderada Dotar a la maquinaria de avisadores acústicos y luminosos para advertir su presencia Uso de ropa reflectante por parte de los trabajadores
Incendios y explosiones	<ul style="list-style-type: none"> Excavación del túnel 	<ul style="list-style-type: none"> Recalentamiento de motores de máquinas y locomotoras Presencia de gases inflamables (metano, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Revisar las máquinas periódicamente Determinar la posible presencia de gases en fase de proyecto Protecciones antideflagrantes en las máquinas de avance del túnel Usar materiales ignífugos Implementar detectores de gases Instalación de cámaras de supervivencia con sistema de aire respirable Instalación de agua nebulizada como barrera para los humos Construcción simultánea del túnel y de las salidas de emergencia necesarias para la explotación (galerías de conexión en proyectos bitubo y pozos de evacuación en proyectos monotubo)
Radiaciones y quemaduras en la soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Montaje de la tuneladora 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de protecciones 	<ul style="list-style-type: none"> Usar equipo de protección individual contra quemaduras y radiaciones: pantalla facial, botas, guantes, casco, traje de trabajo específico para soldador Aislar el proceso mediante apantallamiento que proteja al resto de trabajadores de la obra
Sobreesfuerzos (Lesiones musculoesqueléticas)	<ul style="list-style-type: none"> Montaje y desmontaje de la tuneladora Colocación del sostenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Posturas forzadas Manipulación de cargas 	<ul style="list-style-type: none"> Usar equipos de trabajo para izado de cargas Usar equipos de elevación de personas y plataformas de trabajo para alcanzar la zona de trabajo sin adoptar posturas forzadas

Tabla 2. Riesgos debidos a la maquinaria e instalaciones del túnel, fase de obra en la que se produce el riesgo, causa del riesgo y medida preventiva y constructiva a adoptar

RIESGO	FASE DE OBRA	CAUSA	MEDIDA PREVENTIVA /CONSTRUCTIVA	
RIESGOS DEBIDOS AL AMBIENTE DE TRABAJO	Ruido	• Excavación de túnel	• Emisión de ruido por motores eléctricos y neumáticos y su transmisión en la excavación del túnel	• Dotar los motores de silenciadores • Uso de protectores auditivos parte de los trabajadores • Cabina de mandos de las máquinas aisladas acústicamente
	Vibraciones	• Excavación del túnel	• Manipulación de maquinaria • Manipulación de máquinas eléctricas y neumáticas	• Usar máquinas con asientos que absorban las vibraciones y mangos protegidos con espumas absorbentes de las vibraciones • Usar guantes y muñequeras absorbentes de las vibraciones
	Caídas al mismo nivel	• Excavación del túnel • Colocación del sostenimiento	• Falta de iluminación • Mangueras tendidas en el suelo • Suelo mojado y resbaladizo	• Iluminar el túnel adecuadamente • Colgar las mangueras y alargaderas de los hastiales • Colocar dovela base para mejorar la superficie de circulación • Orden y limpieza de los tajos • Drenaje adecuado del túnel para evitar encharcamientos
	Inhalación de polvo	• Excavación del túnel	• Corte mecánico y perforación de rocas y elementos de hormigón	• Instalación de difusores de agua y de captadores de polvo
	Inhalación de gases tóxicos o gases asfixiantes	• Excavación del túnel	• Presencia de gases	• Determinar la posible presencia de gases en fase de proyecto • Implementar detectores de gases y medidores de la concentración de oxígeno, metano, monóxido de carbono, etc. • Instalación de cámaras de supervivencia con sistema de aire respirable • Diseño amplio del sistema de ventilación para reducir al máximo el porcentaje de gases y materias en suspensión
	Choques contra objetos inmóviles	• Excavación del túnel • Colocación del sostenimiento	• Iluminación deficiente del túnel	• Iluminar el túnel y las zonas de trabajo adecuadamente
	Accidentes disbáricos y enfermedades decompresivas	• Excavación del túnel	• Operaciones de mantenimiento en la cabeza de la tuneladora en ambiente hiperbárico (Escudos de presión de tierras, EPB)	• Personal entrenado y formado para trabajar en ambientes hiperbáricos • Seguir el protocolo de descompresión en cámara hiperbárica • Estar asistido en todo momento por un equipo médico • Establecer un protocolo de trabajo en condiciones hiperbáricas

Tabla 3. Riesgos debidos al ambiente de trabajo, fase de obra en la que se produce el riesgo, causa del riesgo y medida preventiva y/o constructiva a adoptar

para la toma de decisiones tan pronto sea posible. En este sentido no se deben dejar tramos del túnel excavado sin sostenimiento más tiempo de lo estrictamente necesario. Se debe establecer un mecanismo de lectura, interpretación y alerta que obligue a la paralización de los trabajos, refuerzo del sostenimiento o replanteo de la metodología de excavación.

Por otra parte se debe anticipar al avance del túnel los datos sobre la geología, geotecnia e hidrogeología del terreno que se está a punto de excavar para corroborar que las hipótesis de proyecto son correctas o por el contrario se encuentran diferencias que hagan replantear la

excavación y el sostenimiento como la presencia de agua, gases, cavidades u otros condicionantes no previstos.

También su importancia estriba en detectar con la antelación suficiente cambios en la naturaleza de los materiales geológicos que obligue a la sustitución de los elementos de corte en zonas geológicamente más estables o a la ejecución de un recinto estanco apantallado para poder acceder a la cabeza de corte, desde la superficie, sin riesgo de desprendimientos o colapsos. De esta manera se puede prescindir de trabajar en condiciones hiperbáricas, lo que elimina los riesgos derivados de estas condiciones de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Se relaciona en la NTP-905

Fotografías: David Calvet Ruiz
Dibujos: Gemma Balagué Viladrich

Empresa colaboradora: Acciona Ingeniería – Delegación de Barcelona.

Agradecimientos: ADIF: Dirección de Obra del túnel del tren de alta velocidad en Girona.

UTE IBERINSA-AEPO: Asistencia técnica a la Dirección de Obra del túnel del tren de alta velocidad en Girona.