

RESUMEN TEMA 11 GRUPO INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE.**SUBGRUPO 1 CARRETERAS**
TÚNELES EN CARRETERAS (I)**1. TÚNELES EN CARRETERAS (I).**

Un túnel se define como un “Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación”. El túnel surge de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso, o bien un entorno urbano. En España existen aproximadamente más de 700 tubos de túneles de carretera, gestionados por las distintas administraciones, de los que el 70% corresponde a la RCE, y un 15% gestionados por las CC.AA. y otro 15% son túneles urbanos

Concretamente, en la RCE, con los últimos datos disponibles del Seminario de Túneles 2019 celebrado en Oviedo, se encuentran en servicio **354 túneles, con una longitud aproximada de 304 km**, lo que supone algo **más del 1% de la longitud de la RCE**. Aunque no existe un elevado número de túneles de los que se conocen como de gran longitud, si que se cuenta con 14 de ellos con una longitud superior a los 3 km.

2. METODOS CONSTRUCTIVOS.

En el proyecto de túneles deben considerarse aspectos como la **sección tipo, el tipo de excavación, sostenimiento y revestimiento, la estanqueidad y el drenaje, los sistemas constructivos y la auscultación y en particular**, la calidad del sustrato a excavar, que podemos designar en función del RMR del macizo a perforar. En base a todo ello, tendríamos que entre los procedimientos constructivos mas aconsejables están:

- En primer lugar, aquellos que emplean **maquinaria convencional** como:
 - Los sistemas para **túneles superficiales** o con maquinaria desde superficie, los conocidos como cut and cover.
 - Los sistemas de **gran frente abierto** como el nuevo método austriaco.
 - Los sistemas **tradicionales** con ejecución en fases: hastiales, bóveda, destroza y contrabóveda con el empleo de maquinaria de ataque puntual y explosivos.
- En el otro gran apartado se tendrían los sistemas que emplean **maquinaria especial** como los minadores y tuneladoras, que veremos en el apartado siguiente.

Dentro del primer grupo, para la **excavación de túneles superficiales**, la técnica del **falso túnel o cut and cover**, requiere para ello un sistema de sostenimiento fuerte para soportar las cargas del material que cubre el túnel. Es apropiado cuando hay un escaso recubrimiento de terreno sobre el túnel o por requisitos de impacto ambiental. Además, habría que citar otros dos procedimientos como es el **método bottom up** excavando a cielo abierto la totalidad del hueco ocupado y construye en el interior y el método **top down** mediante muros pantalla o pantalla de pilotes, procedimiento utilizado en multitud de túneles como la M-30.

En cuanto a los **métodos de gran frente abierto** destaca el **Nuevo Método Austriaco** que se basa en excavar grandes secciones de túnel incluso a sección completa y que el propio terreno forme un anillo de descarga en el contorno que reduzca las presiones a absorber por el

revestimiento del túnel, para lo que requiere un revestimiento provisional inmediatamente después de la excavación. Es un método adecuado para túneles fuera de núcleos urbanos que atraviesan macizos montañosos, si bien sus problemas pueden solucionarse incorporando elementos de sostenimiento físicos directos del frente con placas metálicas o apuntalamientos, así como disminuyendo las secciones abiertas a frentes de trabajo de entre 1-3 m², que es la particularización del NMA conocido como método de Madrid.

Entre los **sistemas tradicionales** podemos destacar el **Método clásico de Madrid** para luces entre hastiales de hasta 8 m, consistiendo en abrir una pequeña galería en la clave del túnel que se va ensanchando hasta permitir hormigonar toda la bóveda, suponiendo una particularización del método belga. La galería de avance tiene una sección de unos 3 m² en general reduciendo mucho la posibilidad de hundimiento del frente, si bien requiere el empleo masivo de mano de obra especializada. Otros métodos utilizados son el **Método alemán** (indicado para luces > 8 m) o el **Método Inglés** (indicado para terrenos en arcillas y areniscas).

3. MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES.

Centrándonos en los sistemas de ejecución que emplean maquinaria especial, podemos hablar en primer lugar de las **maquinas minadoras** que son máquinas de ataque puntual para excavación de rocas duras. Son básicamente máquinas excavadoras que realizan su trabajo mediante una cabeza giratoria, provista de herramientas de corte montada en un brazo monobloque o articulado, además de un sistema de recogida y transporte de material. Entre las tipologías podemos encontrar Minadores de brazo, de tambor o de cadenas.

Y, por otro lado, ya en los sistemas de excavación a sección completa, están las **tuneladoras o TBM** por sus siglas en ingles, que son máquinas capaces de excavar túneles a sección completa a la vez que colabora con la colocación de un sostenimiento si es necesario. La excavación se realiza normalmente mediante una cabeza giratoria equipada con elementos de corte y accionada por motores hidráulicos. El empuje necesario para avanzar se consigue mediante un sistema de gatos perimetrales que se apoyan en el último anillo de sostenimiento colocado o en zapatas móviles llamadas **grippers**, accionados por gatos que las empujan contra la pared del túnel. Los rendimientos obtenidos con tuneladoras son elevadísimos si se comparan con otros métodos, pero su uso no es rentable hasta una longitud mínima a excavar ya que hay que poder amortizar el precio de la máquina y el tiempo necesario en diseñarla, fabricarla, transportarla y montarla y además los túneles tienen que ser circulares con grandes radios de curvatura. **Se distinguen dos grandes grupos: los topes y los escudos.**

Los topes son tuneladoras para excavar rocas duras o medianas sin mucha necesidad de sostenimiento. Su diferencia fundamental con los escudos es que no están dotados de un cilindro de hacer tras la rueda de corte que realice la función de entibación provisional. **Los escudos** por su parte son tuneladoras diseñadas para excavar rocas blandas o suelos en terrenos que necesitan sistemáticamente la colocación del sostenimiento para lo que cuentan con una carcasa metálica exterior que sostiene provisionalmente el terreno desde el frente de avance hasta algo mas allá desde donde se coloca el sostenimiento definitivo y garantiza por tanto en todo momento la estabilidad del túnel. Si bien **no permiten colocar el revestimiento y avanzar en la excavación de forma simultánea.**

Los escudos son tuneladoras diseñadas para excavar rocas blandas o suelos, terrenos que necesitan sistemáticamente la colocación de un sostenimiento. Hay dos grandes tipos de escudos, los de frente abierto que protegen el perímetro de la excavación pero dejando el frente del túnel abierto y desprotegido y los escudos de frente cerrado que se usan cuando el frente del túnel es inestable, como en terrenos poco cohesivos y saturados de agua, entre estos últimos se destaca principalmente los escudos de balance de presión de tierras o EPB donde el material excavado queda almacenado en una cámara en la cabeza de la máquina donde se conserva a la misma presión horizontal que tenía el terreno y sostiene además la presión del agua del terreno de forma que el túnel no puede colapsar, y posteriormente se extrae el detritus de la cámara por un tornillo helicoidal.

En último lugar se tienen los **dobles escudos**, capaces de trabajar como topo o como escudo, en función de la calidad del macizo rocoso, siendo la mejor solución para macizos con tramos de tipología variable suelo-roca. El escudo está dividido en 2 partes, la delantera en donde se tiene la cabeza de corte y la trasera donde se hace el montaje del anillo de dovelas. Tiene por tanto características intermedias entre los topes y los escudos y como característica principal, se tiene que están dotados de dos sistemas de propulsión independientes donde el primero de estos corresponde al sistema de propulsión del escudo y el segundo con el del topo. Además, esta máquina **es capaz de avanzar bien apoyándose en el terreno como un topo o bien en el revestimiento y avanzar en la excavación simultáneamente.**

En cuanto a los medios auxiliares, además de la maquinaria habitual para la carga y descarga del material o los sistemas de ventilación durante las obras, cabría destacar como un medio auxiliar característico de las obras de túneles, el **Jumbo**, que se emplea para la perforación de los barrenos de los trabajos de voladuras e incluso para los barrenos donde se instalaran los bulones para el sostenimiento. Actualmente constan de sistemas electrónicos de posicionamiento y programas informáticos para descargar el esquema de tiro proyectado

4. SOSTENIMIENTO. REVESTIMIENTO.

Se define como **sostenimiento** el conjunto de elementos que se colocan en una excavación subterránea para contribuir a la estabilización, con funciones como evitar los desprendimientos, limitar las deformaciones y resistir los empujes del terreno. Entre la tipología de los sostenimientos están los sistemas flexibles como los bulones o la gunita, los semiflexibles como los preanillos o las chapas bernol y las técnicas complementarias como los paraguas de inyecciones y los micropilotes.

El **revestimiento** por su parte es la estructura que reviste la cavidad y está en contacto directo con el terreno o con el sostenimiento previamente colocado. Su colocación viene impuesta por su función resistente asumiendo en determinados casos las funciones del sostenimiento, impermeabilización, estética o carácter funcional ya que mejora la eficiencia de la iluminación o la ventilación del túnel. Los revestimientos suelen ser de hormigón por su buen acabado lo que permite un alto grado de calidad de la iluminación o en algunos casos mediante elementos prefabricados. Un diseño adecuado del revestimiento nos permite conseguir un aumento en la seguridad del usuario y en la seguridad de las estructuras y una reducción de costes tales como el consumo de energía.

5. EQUIPAMIENTO E INSTALACIONES EN LOS TÚNELES.

El RD 635/2006, el cual veremos con mayor detalle a continuación, establece en su anexo I una clasificación de los túneles en base a la cual se determina el **equipamiento mínimo**. A grandes rasgos podemos distinguir:

- **Túneles Unidireccionales:** aplicable a túneles independientes en función de su longitud e IMD y aplicable a grupos de túneles que cumplan determinados criterios.
- **Túneles Bidireccionales:** aplicable a túneles independientes en función de su longitud e IMD y aplicable a grupos de túneles que cumplan determinados criterios.
- **Túneles urbanos:** situados en entorno urbano, con tráfico urbano y FHP > 0,80.

De manera general, en cuanto a los **equipamientos e instalaciones de un túnel**, el proyecto del mismo debe contener básicamente la documentación relativa a Redes de servicio, iluminación, ventilación, instalaciones de seguridad y control y telemática.

En cuanto a las **redes de servicio** deben comprender energía eléctrica, señalización, megafonía, agua a presión contraincendios o para labores de conservación y sistemas de desagüe por bombeo con accionamiento automático.

La **iluminación** será obligatoria en túneles de longitud mayor de 200 metros, y en túneles menores se debe estudiar cada caso. Será de aplicación la OC 36/2015 sobre Criterios de Iluminación de Túneles, en la que se establece un total de 5 zonas de estudio: acceso, umbral, transición, interior y salida y se distingue entre iluminación normal, de seguridad y de emergencia.

La **ventilación** es un sistema crítico a la hora de garantizar la seguridad dentro del túnel, tanto en operación normal como en caso de incendio. Podemos distinguir varios sistemas de ventilación, como la ventilación **natural**, basada en fenómenos de tiro natural (por viento o por efecto chimenea) y por efecto pistón creado por el paso de los vehículos, o la ventilación **artificial** que podrá ser longitudinal, transversal y semitransversal.

En cuanto a las **Instalaciones de Seguridad y Control y Telemática**, se encuentran los Circuitos Cerrados de Televisión, sistemas de detección de incendios, postes de auxilio o los centros de control, así como las obras adicionales cuyo objeto básico es la seguridad como son las salidas de emergencia, los túneles transversales de conexión en túneles bitubo cada 1200 m o los ensanches de calzada y carriles adicionales.

En cuanto al **sistema de drenaje**, su fin es impedir que las filtraciones puedan afectar al revestimiento estructural, así como a las instalaciones. La **primera etapa** consiste en la captación de las filtraciones singulares y su encauzamiento al colector general y una **segunda etapa** de impermeabilización general a través de telas impermeables como el PVC o láminas de geotextil para posteriormente recoger dichas surgencias con tubos perforados longitudinales y conducirlos al colector situado bajo la solera de la calzada o bajo las aceras. Además, indicar que el RD 635/2006 prescribe que en los túneles de **longitud > 500 m**, si se permite la circulación por el túnel de **vehículos de transportes de mercancías peligrosas**, deberán disponerse caces con ranuras, u otros dispositivos, situadas dentro de las secciones transversales de los túneles, que permitan el **drenaje de líquidos tóxicos e inflamables**.

6. REAL DECRETO 635/2006 DE 26 DE MAYO SOBRE REQUISITOS MINIMOS DE SEGURIDAD EN LOS TUNELES DE CARRETERAS DEL ESTADO.

La Directiva 2004/54/CE, de 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras tiene por objeto garantizar un nivel mínimo de seguridad a los usuarios de la carretera en los túneles de la RTE con medidas de prevención y de protección y es **aplicable a todos los túneles de la RTE con L > 500 m**. La **transposición se llevó a cabo a través del RD 635/2006 y resulta de aplicación tanto a los túneles de la RTE como al resto de túneles de la RCE, tanto si están en servicio como si se encuentran en fase de construcción o proyecto**.

Este RD 635/2006 recoge **3 figuras específicas** a las que compete la responsabilidad de la seguridad de los túneles, con unas funciones y cometidos específicos para cada uno de ellos:

- ✚ **Autoridad administrativa: responsable del cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos en la normativa.** Recae sobre la actual Secretaría de Estado del MITMA, que se encargara entre otras funciones de autorizar la apertura de túneles, suspender su funcionamiento o comprobar e inspeccionar los túneles. Es de señalar que algunas de estas competencias, como la autorización de la puesta en servicio inicial del túnel o aprobar la metodología del análisis de riesgo están **delegadas** en el titular de la Secretaría General de Infraestructuras.
- ✚ **Gestor del túnel: responsable del proyecto, construcción y explotación de los túneles.** Recae sobre la DGC, si bien en fase de explotación se podrá designar a una empresa explotadora como gestor del túnel para realizar las operaciones necesarias para el correcto funcionamiento y de sus instalaciones debiendo mantener actualizado el correspondiente Manual de Explotación
- ✚ **Responsable de seguridad: responsable del coordinar todas las medidas para garantizar la seguridad de la infraestructura, de los usuarios, del personal y del medio ambiente.** Será designado por la DGC, y podrá ser distinto en cada una de las fases de proyecto, construcción y explotación si bien no recibirá instrucciones del mismo en el ejercicio de sus funciones. Entre las tareas a desarrollar están las de informar al Gestor del Túnel y a la Autoridad Administrativa sobre el proyecto antes de su aprobación en la fase de proyecto, la de verificar las instalaciones de seguridad en la fase de construcción o la de planificación de las operaciones de emergencia en fase de explotación.

Este RD define el **Manual de Explotación** como el documento donde quedan reflejadas todas las instalaciones del túnel para una explotación segura y eficiente, así como las tareas de mantenimiento y control de la instalación (permanentes, periódicas y ocasionales). Su elaboración **en fase de proyecto** (actualizable en posteriores fases de construcción y explotación) será responsabilidad del **Gestor del Túnel**, con dictamen por parte del **Responsable de Seguridad** y aprobado por el **Director General de Carreteras**.

Igualmente, el RD establece la obligación de realizar **Inspecciones** para la comprobación de unos umbrales mínimos tanto de la obra civil, de los equipamientos y como de los recursos humanos, con una **periodicidad máxima entre inspecciones sucesivas de 5 años**

(recomendable también 6 meses después de la entrada en servicio) y de acuerdo al **Plan de Inspección de Túneles aprobado por la DGC**. Y, por otro lado, el RD establece que **cada 2 años** se llevara a cabo la redacción de los **informes de accidentes e incendios** por la DGC que serán remitidos a la Comisión Europea, **y al menos cada 4 años** se realizaran los **simulacros de seguridad** de túneles.

Por último, destacar en primer lugar el **ANEXO I en el que se recogen las Medidas de seguridad** y se detallan todas las instalaciones de las que deben dotarse los túneles, así como las medidas de diseño que deben adoptarse en función de diversos parámetros, fundamentalmente la longitud y el volumen de tráfico. El **ANEXO II** recoge la documentación de seguridad que debe reunirse de forma sistemática en dichas medidas y la actuación en caso de emergencia, la realización de simulacros periódicos y los procedimientos a seguir para la apertura y reapertura, en su caso, de túneles de carreteras y finalmente, el **ANEXO III** contiene las peculiaridades de la **señalización en túneles**, que permitan facilitar a los usuarios su utilización en condiciones adecuadas de seguridad

En la actualidad, la **puesta en práctica** del cumplimiento de los requisitos recogidos en este RD 635/2006 ha llevado a la aprobación del **Plan de Adecuación de los túneles de la RCE**, el cual, estableciendo **3 niveles de prioridad**, fijaba el siguiente calendario:

1. Los que pertenezcan a la Red Transeuropea y tengan una longitud > a 500 m: antes del 30 de abril de 2019 – Plazo obligado por la Directiva. **Son un total de 77 túneles**
2. Los que pertenezcan a la Red Transeuropea y tengan una longitud < a 500 m: antes del 30 de abril de 2019 – Plazo obligado por el RD 635/2006. **Son un total de 87 túneles**
3. Resto de túneles: antes del 31 de diciembre de 2019 – Plazo obligado por la Resolución del Secretario de Estado que aprobó el Plan de Adecuación de 2007. En revisión para adecuarlo a las disponibilidades presupuestarias y a los plazos asumidos por otros países europeos. **Son un total de 190 túneles**

Como ya se ha indicado, en la RCE nos encontramos con 354 túneles, de los cuales:

- a) Gestionados por la DGC: del total de 308, están ya adecuados 118.
- b) En régimen de Concesión: del total de 46, están ya adecuados 16

En paralelo a la redacción de estos proyectos y para el caso de los túneles de prioridad 1 y 2, se está llevando a cabo la **realización de Análisis de Riesgos siguiendo la MARTE** (Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la RCE del MITMA), para determinar, en aquellos casos que resulte necesario, las medidas compensatorias a ejecutar. A grandes rasgos, el **método general** (hay otro método específico para el caso de mercancías peligrosas) se basa en **comparar el túnel “real”, con un túnel “virtual”** de igual longitud, carriles y tráfico que cumple todo lo exigido por el RD 635/2006. Tras un proceso analítico, partiendo de 5 escenarios de incendio, se obtiene el denominado **Índice de Riesgo (IR)**, que nos permitirá determinar si el túnel puede considerarse seguro o no:

- IR < 1,15 Túnel seguro
- 1,15 < IR < 1,50 Túnel con posibles restricciones
- IR > 1,50 Túnel con peligrosidad eleva