

Evolución del CRT en túneles de gran longitud con pavimento asfáltico. El caso práctico de los túneles de la M-30

**Dulce Rodríguez Gutiérrez**

Ingeniera Técnico Industrial
Empresa de Mantenimiento y Explotación M-30 S.A. (Emesa)

Manuel Muelas Peña

Director Técnico
Empresa de Mantenimiento y Explotación M-30 S.A. (Emesa)

Sonia Suárez Moreno

Miembro del Comité de Conservación y Gestión de Carreteras
Asociación Técnica de Carreteras (ATC).

Directora de Producción
Empresa de Mantenimiento y Explotación M-30 S.A. (Emesa)

Los túneles de la M-30

La M-30 es la vía de circunvalación que rodea la almendra central de Madrid. Por ella se realizan diariamente una media de 1,5 millones de trayectos, lo que la convierte en la infraestructura de transporte más utilizada por los madrileños.

Su inauguración data de 1974, si bien esta vía ha experimentado diferentes fases de modificaciones y mejoras, siendo la más relevante la remodelación llevada a cabo con el Proyecto de “Madrid Calle30” entre los años 2004 y 2007.

Dentro de este proyecto de remodelación se lleva a cabo el soterramiento mediante el método “cut and cover” del tramo anexo a la ribera del río Manzanares y la construcción mediante tuneladoras de los túneles

del “by-pass Sur” que conectan directamente el tramo este y oeste, librando el enlace con la autovía A-4.

Estos túneles suman una longitud total de 48 km entre calzadas principales y ramales de conexión, siendo la red de túneles urbanos más larga de Europa.

En cuanto a la IMD, ésta varía entre los 60.000 veh/día en el “by-pass Sur” y los 180.000 veh/día en las calzadas centrales paralelas al Río Manzanares.

Mezcla asfáltica utilizada en rodadura

Para la capa de rodadura de los túneles se utilizaron mezclas bituminosas discontinuas tipo BBTM 11A y BBTM11B. La justificación de la utilización de estas

mezclas se expone con claridad en la Monografía 5 de ASEFMA “Influencia de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles” [Grupo de Trabajo 1 del Comité Técnico de ASEFMA. Marzo 2009] y atiende a los siguientes aspectos:

1. Resistencia al fuego

El Real Decreto 635/2006 de 26 de mayo sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado contempla que el pavimento deberá disponer de las garantías adecuadas para que, en caso de incendio, no dé lugar a una propagación de éste.

Varios estudios realizados por prestigiosas entidades, entre ellos el realizado por el Instituto Federal de Carreteras de Alemania (Bundesanstalt für Straßenwesen) o CSIB, concluyen que los pavimentos de mezclas asfálticas no producen propagación del fuego, y que los gases producidos en la combustión son muy bajos comparados con los producidos por los vehículos incendiados, por lo que este tipo de pavimentos no suponen mayor riesgo que aquellos fabricados con hormigón.

En este mismo sentido, la PIARC indicaba en su informe de 1999 que: “las mezclas bituminosas convencionales no tienen un impacto significativo adverso en la seguridad durante el incendio y pueden ser empleadas en túneles de carreteras”. Esta posición quedó refrendada en la publicación de 2006 aprobada por el Comité Técnico C.3.3. de la AIPCR que concluía lo siguiente: “las mezclas bituminosas, como material del firme, no constituyen una contribución significativa al tamaño del incendio (tanto en lo referente a la tasa de emisión de calor como a la carga total de fuego) en caso de un incendio en túnel de carretera. Esto es especialmente cierto en la fase inicial del incendio, cuando la auto evacuación y la evacuación deben tener lugar”

2. Ruido de rodadura

El ruido de la rodadura afecta tanto al confort de la circulación como al ruido que perciben los vecinos ubicados en las inmediaciones. En túneles urbanos debe tenerse en cuenta también este último aspecto, ya que en las bocas de los túneles se produce el efecto tolva, incrementándose el ruido generado por el tráfico.

Según demuestran los estudios realizados, las mezclas discontinuas finas son, tras los pavimentos

porosos, las que más reducen el ruido de rodadura, siendo capaces, por un lado, de disminuir el ruido generado por la rodadura, y por otro, capaz de absorber parte del ruido generado.

Debido al problema que pueden suponer las mezclas porosas ante un posible vertido, al facilitar su distribución, se opta por una mezcla discontinua.

3. Resistencia al deslizamiento

Los factores que influyen en la adherencia neumático-pavimento son: la resistencia al pulimento del árido; la macrotextura del pavimento; y la capacidad de evacuación del agua superficial de la mezcla, si bien éste último factor adquiere en túnel menor relevancia, al no haber agua usualmente en la superficie.

Las mezclas discontinuas proporcionan buenos valores de microtextura y macrotextura, permitiendo, además recrecimientos en capas muy finas.

4. Regularidad longitudinal y transversal

La regularidad superficial del firme influye en el confort de la circulación del usuario, pudiendo incluso afectar a la seguridad en el caso de que el firme presentase grandes irregularidades, ya que se disminuiría la adherencia neumático-pavimento.

Las mezclas bituminosas discontinuas permiten la extensión de capas de pequeño espesor para conseguir esta regularidad superficial.

Por otro lado, las mezclas bituminosas presentan la ventaja frente a los firmes de hormigón de una mayor facilidad en el mantenimiento y reparación.

Puesta en servicio de los túneles. Problemática detectada

La puesta en servicio de los túneles de la M-30 tiene lugar en 2007, y tras el primer año de explotación se observa cómo los valores del coeficiente de rozamiento transversal (CRT) disminuyen de una forma muy acelerada.

Ante éste hecho, se analiza la posible influencia del árido grueso de la capa de rodadura, para lo que se toman muestras para ensayar el árido mediante el ensayo de pulimento acelerado, tanto en superficie como en túnel. Los resultados de los ensayos arrojan datos de CPA similares en superficie y en túnel, con CPAs en torno a 0,47, descartándose que sea éste el

motivo de la disminución tan acusada en los valores de CRT en el interior de los túneles. Paralelamente se consultan distintas referencias para intentar averiguar el motivo y el patrón de la evolución del CRT en los túneles, encontrándose una publicación sobre la evaluación del coeficiente de rozamiento en túneles austriacos con pavimentos de hormigón; "Skid resistance evaluation of Austrian tunnels"[Maurer P., Gruber J. y Steigenberger J. 2008]. Este estudio destaca la diferencia de comportamiento del coeficiente de rozamiento en túneles respecto a cielo abierto y en túneles cortos frente a túneles de más de 1000 m de longitud, concluyendo que este hecho parece deberse mayoritariamente a las condiciones de exposición.

Una de las condiciones de exposición sería la de la ausencia de precipitaciones, por lo que se consideró que el descenso de los valores del CRT pudiera deberse a que la limpieza ordinaria con barredora y baldeadora no fuera lo suficientemente efectiva. A fin de verificar o descartar esta hipótesis se realizan diversas pruebas de limpieza más intensiva para intentar mejorar los valores de CRT: mediante limpieza mecanizada con agua a 180 bares de presión, con equipos manuales de agua a presión a 600 bares, con jabón desengrasante de varios tipos, con barredora de firmes drenantes, etc, no consiguiéndose mejoras salvo ligeros incrementos en algún valor puntual, de entre 3 y 7 puntos.

Sin embargo, durante el desarrollo de las diferentes pruebas¹ realizadas se observa la existencia de una película cristalizada de betún residual en la superficie de los áridos que genera una superficie dura y con bajo rozamiento y que no se consigue eliminar con ninguno de los sistemas de limpieza utilizados.



Figura 1. Capa de betún residual

Esto representa un hecho diferencial con respecto a las zonas a cielo abierto donde esta película de betún superficial desaparece tras unos meses de puesta en servicio debido a la acción de los rayos ultravioleta, de la lluvia y del tráfico pesado.

Primera actuación. Eliminación del betún residual

Una vez establecida la posible causa de los bajos valores de CRT, se realizan pruebas con técnicas encaminadas a eliminar la película de betún residual.

1. En primer lugar se realiza una prueba mediante cepillado con acero laminado, consiguiendo mediante esta técnica únicamente rayar el betún, sin conseguir eliminarlo.



Figura 2. Cepillo de acero laminado

2. Posteriormente, por un lado, se realizan pruebas mediante granallado, consistente en la proyección sobre la superficie del pavimento de pequeñas bolas de acero de 0,8 a 1,2 mm de diámetro y, por otro lado, mediante hidrodesebaste, se aplica agua a muy alta presión, en torno a 2.000-2.600 bares.

De estas pruebas se concluye que ambas técnicas resultan eficaces para la eliminación de la capa de betún residual, consiguiéndose para el caso del granallado, valores de CRT por encima de 60, y para el caso del hidrodesebaste valores incluso superiores a 80.

¹ Las diferentes pruebas se realizan por Emesa en el marco del "Convenio para la "Investigación para la optimización de los procedimientos de aplicación de agentes químicos para la eliminación de la contaminación en los pavimentos de túneles" suscrito entre Madrid Calle30 y la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y se resumen en el documento del mismo nombre firmado por D. José Ramón Marcobal Barranco de fecha Enero de 2011.

Sin embargo, el granallado presenta dificultades en superficies con un alto grado de humedad además del inconveniente de dejar residuo de bolas de acero sobre el pavimento. Esto, unido a que el hidrodesebaste tiene menor coste y mayores rendimientos, y que es menos agresivo con la mezcla, hace que finalmente sea la técnica elegida para eliminar la capa de betón residual de los túneles de la M-30.

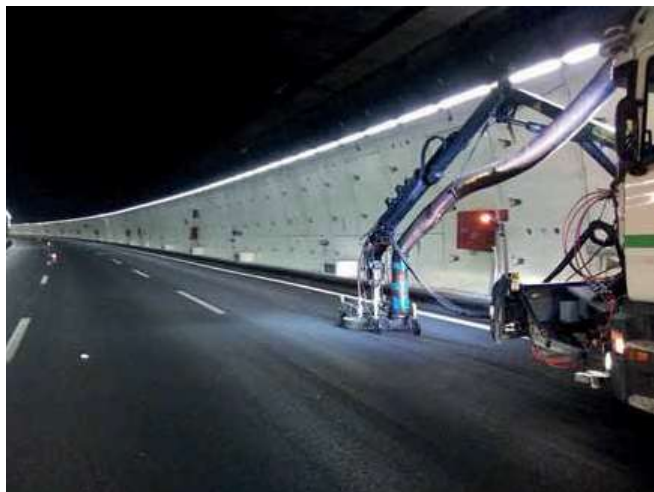


Figura 3. Hidrodesebaste



Figura 4. Estado pavimento hidrodesebastado

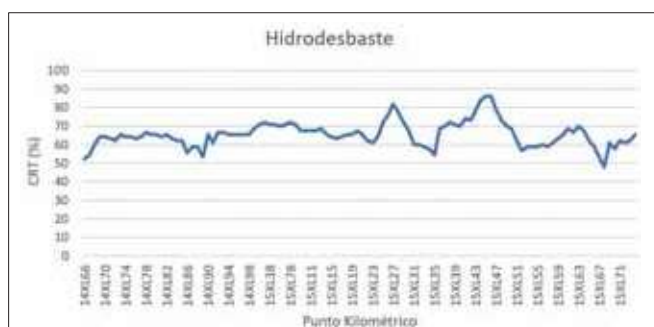


Figura 5. Valores de CRT obtenidos con equipo SCRIM tras actuación hidrodesebaste

3.- Por otro lado, se realiza una prueba de asfaltado en uno de los ramales de la M-30, pasando una barredora de púas de acero inmediatamente después a la extensión de la mezcla, obteniendo en este caso valores medios de CRT de unos 65 puntos y llegando a valores máximos próximos a 80.



Figura 6. Barredora de púas de acero utilizada



Figura 7. Estado pavimento antes y después de pasar barredora de púas de acero



Figura 8. Valores de CRT obtenidos con equipo SCRIM tras cepillado con barredora de púas de acero

A raíz de esta prueba se concluye, que con esta técnica se consigue, desde la puesta en servicio de la mezcla, unos valores adecuados de CRT eliminando el betún superficial en primera instancia evitando que éste cristalice y que tenga que recurrirse a posteriori a técnicas de hidrodesebaste o granallado para su eliminación.

Evolución del CRT en el primer año tras la eliminación del betún residual

Pasado un año de la eliminación de la capa de betún residual se observa que los valores de CRT han disminuido unos 14 puntos de media, observándose que la disminución en cada túnel está en general, relacionada con la longitud del túnel, a mayor longitud, mayor disminución de los valores de CRT.

Tras una nueva observación en campo se aprecia que los áridos y los huecos de la mezcla se encuentran colmatados por los residuos procedentes de los gases de combustión de los vehículos, los denominados compuestos orgánicos volátiles (COV).

Esta sustancia no se elimina mediante los procedimientos habituales de limpieza con barredora y baldeadora, por lo que se realiza una prueba de limpieza con el camión de hidrodesebaste, a una presión de 1.200-1.500 bares. Mediante esta limpieza consiguen eliminarse los COV de los huecos de la mezcla y se recuperan las caras vistas de los áridos, elevándose los valores de CRT a los alcanzados mediante hidrodesebaste en el año anterior.



Figura 9. Valores de CRT obtenidos con equipo SCRIM tras limpieza profunda a 1200-1500 bares

Evolución del CRT. Años posteriores

Las conclusiones sacadas después del análisis de la evolución del CRT y de las actuaciones realizadas

en los cinco siguientes años han sido las resumidas a continuación:

- Los efectos de las limpiezas a 1.200-1.500 bares de presión duran entre dos y cinco años, en función del tramo. Las zonas en las que los valores de CRT descienden más rápidamente corresponden a las rampas de entrada y salida, y en las zonas de incorporación o de salida de ramales a superficie, donde la acumulación de COV es mayor.
- En algunas zonas no se consiguen recuperar los valores de CRT mediante este tipo de limpiezas a alta presión. Estos son los casos en los que se ha producido el pulimento de los áridos, y las actuaciones con agua a presión, incluso aquellas de hidrodesebaste a presiones de 2.000-2.600 bares, no consiguen recuperar la microtextura de la mezcla, habiendo sido necesario recurrir a actuaciones de granallado

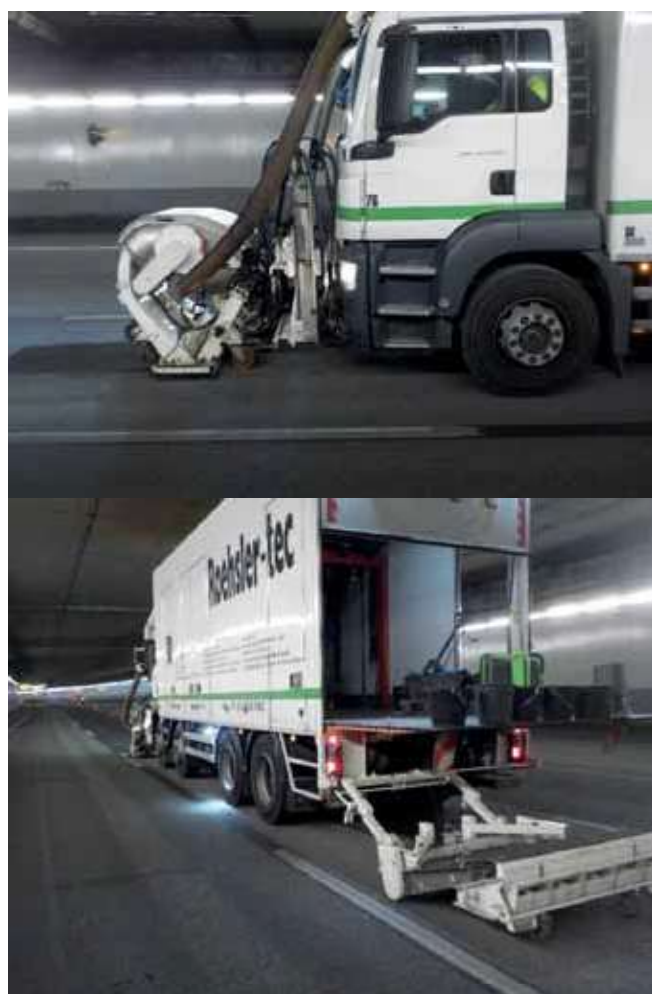


Figura 10. Granallado

Conclusiones

Del estudio realizado sobre la evolución del coeficiente de rozamiento transversal en los túneles de la M-30 se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Tras la puesta en obra de la mezcla asfáltica en el túnel se hace necesario eliminar la capa de betún que recubre los áridos, ya que ésta no desaparece con el paso del tiempo al no estar expuesta a la radiación ultravioleta, la lluvia y el tráfico pesado. Como resultado de este estudio se considera una solución eficaz la eliminación de esta capa inmediatamente después de la extensión de la mezcla mediante una barredora con púas de acero. En caso de hacerse a posteriori, deberá recurrirse a técnicas de hidrodesebaste a 2.000-2.600 bares de presión o de granallado, considerándose la primera más adecuada al ser económicamente más viable, obtener mayores rendimientos, y ser menos agresiva con la mezcla bituminosa.
- Una vez eliminada la capa de betún inicial, es necesario realizar un mantenimiento periódico mediante limpieza con agua a presión en torno a 1.200-1.500 bares, ya que con las limpiezas ordinarias con barredora y baldeadora no es posible retirar los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se depositan y se compactan por efecto del tráfico sobre la mezcla.
- Estas limpiezas son eficaces siempre que no se haya producido el pulimento del árido, el cual se facilita por la propia existencia de los COV, teniendo que recurrir en esta situación a actuaciones de granallado para conseguir recuperar la microtextura de la mezcla y con ello elevar los valores de CRT.
- Se ha observado que la disminución del CRT en los túneles de la M-30 parece estar relacionada con la longitud de los túneles, produciéndose a nivel general, una mayor disminución en los túneles más largos y siendo las zonas más críticas las correspondientes a rampas de entrada y salida y a las zonas de incorporación o de salida de ramales a superficie.

Referencias

- [1] "Skid resistance evaluation of Austrian tunnels". [Maurer P., Gruber J. y Steigenberger J. 2008]
- [2] Monografía 5 de ASEFMA "Influencia de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles" [Grupo de Trabajo 1 del Comité Técnico de ASEFMA. Marzo 2009]
- [3] "Convenio para la "Investigación para la optimización de los procedimientos de aplicación de agentes químicos para la eliminación de la contaminación en los pavimentos de túneles". [Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. José Ramón Marco-bal Barranco. Enero 2011]
- [4] "Comportamiento del CRT en túneles de gran longitud con pavimento asfáltico. Estudio basado en los túneles de la M-30. [Dulce Rodríguez Gutiérrez. Septiembre 2018]". ❖