

Gestión de firmes: ejemplos de actuaciones en vías de la Diputación de Toledo

Road pavement management: examples of actions on the roadways of Toledo Provincial Council

Pablo GARCÍA CHAVES

Jefe de Obra y Conservación. Concesionaria Bervia

María MARTÍNEZ NICOLAU

Directora Técnica. Innovia Coptalia

RESUMEN

La Diputación de Toledo ha sido la primera Administración en España que ha concesionado toda su red, estableciendo un plan de choque para rehabilitar todas las carreteras y manteniéndolas dentro de unos estándares de calidad fijados por indicadores, a lo largo de 20 años.

El pliego de prescripciones técnicas marca unas pautas de rehabilitación y los estándares de calidad a conseguir y mantener. No obstante, este sistema permite al concesionario cierta libertad de gestión de las carreteras en lo referente a las soluciones de rehabilitación a adoptar, siempre en consonancia con la Diputación.

En este artículo se detalla la experiencia en la rehabilitación de los firmes de la denominada Zona 2, concesionada por Bervia.

PALABRAS CLAVE: Firme, Gestión, Rehabilitación, Indicador de calidad, Concesión, Puesta a cero, Mezcla asfáltica, Reciclado, Toledo, Diputación.

ABSTRACT

The Provincial Council of Toledo has been the first Administration in Spain that has granted its entire road network, establishing a crash plan in order to rehabilitate all roads, maintaining them within quality standards set by indicators, over 20 years.

The Technical Specifications Sheet, establishes some rehabilitation guides, and the quality standards to be achieved and maintained. However, this procedure allows the Concessionaire a certain degree of freedom to manage the roads in relation to the rehabilitation solutions to be adopted, always in conformity with the Provincial Council.

This article details the experience in rehabilitation of the pavements of Zone 2, under concession by Bervia.

KEY WORDS: Road pavement, Manage, Rehabilitation, Quality indicator, Concession, Zeroing, Asphalt mix, Recycled, Toledo, Provincial Council.

En diciembre de 2005 la Diputación de Toledo licita 3 concursos de concesión para la puesta a cero y la explotación de cada una de las 3 zonas en las que divide su red de carreteras. Los ámbitos de actuación de los contratos de concesión son los siguientes:

- Zona 1: comarca de Talavera (oeste de la provincia): 417 km.
- Zona 2: comarcas de La Sagra y Ocaña (noreste de la provincia): 251 km.
- Zona 3: comarca de Toledo (sureste de la provincia): 321 km.

El plazo de los contratos es de 20 años. La Diputación Provincial de Toledo estableció como objetivos para estos contratos:

- La necesidad de una puesta a cero de su red de carreteras de 989 km, con unas inversiones a corto plazo inasumibles por la Diputación.
- Exigencia de no endeudamiento, por parte de la Diputación, recurriendo a la financiación por parte del adjudicatario.
- Incentivar la calidad del mantenimiento en base a la imposición de unos índices de calidad.
- Linealizar los gastos destinados a esta puesta a cero y a este mantenimiento a lo largo del periodo de la concesión.

Finalmente se obtiene como resultado unos contratos de concesión que se resumen a continuación:

- Redacción de los proyectos constructivos para las actuaciones de puesta a cero.
- Ejecución de las actuaciones de puesta a cero:
 - ▶ Refuerzos,
 - ▶ Ensanches, y
 - ▶ Modificación de curvas.
- Conservación y mantenimiento de las carreteras (durante los 20 años de concesión), en lo que se refiere a conservación ordinaria:
 - ▶ Limpieza,
 - ▶ Vialidad invernal,
 - ▶ Inspecciones específicas,
 - ▶ Reparación y reposición (cunetas, firmes, señales, balizamientos...etc.),
 - ▶ Ayuda a la explotación (labores administrativas, gestión... etc.), y

- ▶ Vigilancia, control e inspección, y policía de las infraestructuras.

Los presupuestos de los tres contratos son 36 Meuros para la zona 1, 27 Meuros para la zona 2, y 34 Meuros para la zona 3. El total implica 10 millones de euros anuales para 1.000 km de vía.

Para más información, puede remitirse al artículo de Alberto Collado Martínez de la bibliografía⁽¹⁰⁾.

Caso Particular. Zona 2

Como ya se ha adelantado, el contrato preveía unas actuaciones para el acondicionamiento de las carreteras de la zona. Básicamente eran ensanches y refuerzos de firme con mezcla bituminosa en espesores comprendidos entre 4 y 14 cm, obviamente empleando los mayores en las carreteras de primera y segunda categoría.

Ya en fase de licitación se estudiaron posibles alternativas de gestión de los firmes, con el fin de optimizar las rehabilitaciones y que no estuvieran sólo basadas en mezclas bituminosas en caliente, pues sobre todo en la comarca de Ocaña se trataba de carreteras con tráfico tipo T41 y T42. En la comarca de La Sagra los tráfico son T3 y T2, y en alguna ocasión incluso superior. Las explanadas son arcillosas.

Una vez adjudicado el contrato y al empezar a diseñar y construir las soluciones de rehabilitación, se pusieron de manifiesto, además, otras circunstancias:

- Los pueblos de la comarca de la Sagra tenían aprobados o en trámite de aprobación *Planes de Actuación Urbanística (PAU)* muy significativos.
- En ocasiones, las carreteras de la Diputación se convierten en calles del PAU, con secciones muy distintas de las ofertadas por la concesionaria.
- Los Ayuntamientos solicitan accesos, generalmente glorietas, a los polígonos, a las carreteras, semáforos en travesías, etc. (ver Foto 1).



Foto 1. Travesía de Ontígola TO-2542, límite de provincia con Madrid. A la izquierda estado en diciembre de 2005. A la derecha, mismo punto en julio de 2007.



Foto 2. Carretera TO-2657, Los Barrios – N-400. A la izquierda estado en diciembre de 2005. A la derecha, mismo punto en julio de 2008, con la A-40 al fondo.

- A partir del año 2.000 en la provincia de Toledo y en particular en la Zona 2, se han construido nuevas infraestructuras (AP-41, Autovía de la Sagra, A-40... etc.) que deben convivir con las carreteras de la Diputación y, en ocasiones, con los incrementos de tráfico, y en consecuencia la mayor degradación de las carreteras los debe asumir la concesionaria (Foto 2).

Por todo ello es muy complicado asegurar el equilibrio de la concesión.

Llegado el momento de las rehabilitaciones, en algunos casos bastantes años después de la redacción del *Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares PPTP* del contrato, varias carreteras se encontraban en un estado de deterioro más importante del previsto, lo que hizo reestudiar las soluciones inicialmente previstas para los acondicionamientos, proyectándose soluciones distintas más acordes a las necesidades reales.

Para la elección de las actuaciones a proyectar se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Valor de los indicadores en el momento de proyectar. Principalmente deflexión e Índice de Regularidad Internacional IRI.
- Categoría de la carretera de las que establece el PPTP.
- Diferencial entre el requerimiento a cumplir en cada indicador tras la rehabilitación y el valor de partida de los mismos.
- Estado y composición del firme en todo su espesor.
- Posibles fallos de explanada.
- Tráfico pesado actualizado.
- Estado de la red de desagüe y drenaje.

Esta recopilación de datos permite realizar un diagnóstico del firme y proyectar la solución más eficaz para la rehabilitación que permitiera devolver a la carretera a los estándares de calidad que establece el contrato.

Las causas más comunes que han intervenido en el fallo de los firmes de las carreteras de esta red son:

- Secciones escasas para las solicitaciones del tráfico que soportan las carreteras. Buena parte de la red se encuentra encuadrada en la comarca de la Sagra con un notable desarrollo. Muchas de las carreteras son conexiones directas con la autovía A-42 que une con Madrid.
- Defectos en ensanches anteriores que se traducían en zonas fisuradas y hundimientos a lo largo de ensanche. Con la nueva

geometría de la calzada, ese punto crítico generalmente coincide con la zona de rodada exterior y como es lógico no ha podido soportar las solicitaciones.

- Red de desagüe en mal estado, prácticamente inexistente en la mayor parte de los casos por invasión de las cunetas por las labores agrícolas.

Para la rehabilitación de buena parte de las carreteras se han proyectado las siguientes soluciones distintas a las recogidas en el PPTP del contrato:

- Reciclado *in situ* con cemento + Mezcla bituminosa en caliente.
- Reciclado *in situ* con emulsión bituminosa + Mezcla bituminosa.
- Reciclado en planta con emulsión bituminosa + Mezcla bituminosa.
- Mezcla bituminosa de altas prestaciones tipo SMA ("Stone Mastic Asphalt").
- Gravaemulsión + Mezcla bituminosa en frío y Gravaemulsión + Microaglomerado en frío.

El objetivo es conseguir carreteras que se adapten mejor al terreno y que la durabilidad sea mayor, de tal manera que se minimicen las futuras actuaciones de refuerzo necesarias para mantener los indicadores dentro de los umbrales establecidos en el PPT.

En los apartados siguientes se describen con mayor detalle las anteriores soluciones.

Reciclado *in situ* con cemento + Mezcla bituminosa en caliente

Esta solución se ha empleado cuando había combinación de varias de las siguientes situaciones:

- Actuaciones que combinaban ensanche de plataforma y refuerzo de firme. Es una solución muy apropiada para tratar de evitar el habitual fallo de los ensanches.
- Deflexiones de partida elevadas, muy alejadas del umbral que marca el PPTP a mantener en el contrato tras la rehabilitación.

- Intensidad Media Diaria IMD de la carretera considerable en comparación con la media de las carreteras de la zona, y sobre todo IMD de vehículos pesados. Generalmente se ha aplicado para tráfico T31 y T32, aunque se ha aplicado en tráfico inferior cuando la carretera estaba muy deteriorada y se daban otros factores de los enunciados.
- IRI deficiente, sólo corregible extendiendo un espesor de mezcla bituminosa considerable. Para estos casos previo al reciclado debe emplearse topografía para poder proyectar una nueva rasante, aportando el material necesario para asegurar que pueda conseguirse el perfil longitudinal y transversal proyectado sin necesidad de tener que desplazar el material durante la ejecución para evitar segregaciones, pérdidas de humedad e incluso sobrepasar el tiempo de trabajabilidad por el mayor tiempo que requeriría el refinado.
- Capa bituminosa (generalmente sólo había una capa) muy agotada con avanzado cuarteo en malla.
- Capa granular con capacidad estructural escasa. Normalmente se trataba de zahorras aptas para poder realizar un reciclado con cemento junto con el material bituminoso. Siempre se ha asegurado tener un espesor total de 25 cm a 30 cm de material para poder conseguir los espesores de capa reciclada que dieran cumplimiento a las secciones de firme que establece la norma 6.1 I.C en función de la explanada y el tráfico pesado. En ciertas ocasiones ha sido necesario aportar material sobre el firme existente.
- Inexistencia de fallos de explanada que pudieran provocar roturas frágiles de la capa reciclada con cemento. Además de inspecciones visuales necesarias, se evaluaron los valores de las deflexiones y se realizaron placas de carga a nivel de explanada en los puntos con valores más altos.

Elegida esta solución para la rehabilitación estructural de la carretera el procedimiento de trabajo es ampliamente conocido. Se destacan seguidamente los puntos que a nuestro criterio son claves para el correcto diseño y ejecución de esta solución.

Obviamente todo empieza por la toma de muestras mediante catas para obtener en laboratorio la o las fórmulas de trabajo. Es muy importante detectar los posibles cambios de secciones de firme tanto en espesor como en material. En este tipo de carreteras es muy probable que existan ensanches anteriores que normalmente tienen sección distinta a la carretera primitiva. Hay que localizarlos y realizar fórmulas para ambas secciones. Es posible que haya que emplear dosificaciones de cemento e incluso porcentajes de humedad distintos para esas zonas de ensanche.

En época calurosa es recomendable el empleo de cementos con adiciones para prolongar el tiempo de trabajabilidad ya que es clave dejar terminado el tramo antes de que se empiecen a formar los enlaces del cemento.

En lo que se refiere a la ejecución propiamente dicha, destacan varios detalles a cuidar por su gran repercusión en la calidad de la unidad de obra:

- Si se va a reciclar todo el ancho de calzada debe hacerse una limpieza previa de los márgenes para que no se produzcan contaminaciones.
- Hay que controlar que haya un solape mínimo de 20 cm entre las distintas bandas, así como en los arranques transversales de los diferentes tajos.
- Aunque resulta una obviedad, es necesario comprobar el buen estado de los equipos y verificar que dosifican correctamente. En el reciclado por vía húmeda es muy perjudicial tener que repetir zonas en las que se haya detectado ausencia de conglomerante. La aportación de cemento se hace en forma de lechada y por tanto al repetir la operación se le vuelve a incorporar agua al material. Esta demasía de humedad puede ocasionar blandones sobre todo si la ejecución se hace fuera de los meses más cálidos. Cuando se emplea la vía húmeda destinar una persona detrás de la recicladora para estar controlando que se esté distribuyendo cemento y vea y palpe la homogeneidad y humedad de la mezcla puede evitar muchos problemas. La presencia de cemento se aprecia desde atrás con bastante claridad tanto por el color como por el olor que desprende la aportación del mismo.
- Es importantísimo que antes de iniciar el reciclado la rasante esté muy ajustada a la proyectada para evitar que una vez compactado el grueso de la capa queden zonas bajas que durante el posterior refinado se rellenen con pequeños espesores de material que ya no ligan correctamente. Se incide en la importancia de tratar que el material se desplace lo menos posible para evitar segregaciones y pérdidas de humedad.
- Con respecto a la prefisuración, para que sea efectiva debe emplearse un sistema que garantice que el corte penetre los 2/3 del espesor. No todos los equipos que se destinan a esta operación lo consiguen porque no tienen la potencia o el peso suficiente para hacer el corte en la profundidad requerida. En ese caso la cuchilla entra mucho menos para poder avanzar o hace cortes intermitentes en función de la oposición que ofrezca la capa. Los extremos de capa también son puntos críticos a este respecto y debe estudiarse el modo de ejecución para que la prefisuración se realice correctamente hasta el final. Si no se emplea un equipo adecuado esta operación puede llegar a ser inservible.
- Tras la prefisuración se termina de compactar, se refina y acto seguido se da la última pasada de rodillo para dejar la capa sellada y terminada, lista para aplicar el riego de curado que evita la evaporación del agua necesaria para que el cemento actúe. Para que esta maniobra pueda realizarse de inmediato tras el refinado es necesario disponer en obra del rodillo neumático que es el que realmente sellará la capa. No debiera caerse en el error de tratar de ejecutar la unidad con un único rodillo porque siempre llega el momento que se simultanean el compactado principal de capa tras la recicladora



Foto 3. Diversas fases de la rehabilitación reciclando con cemento *in situ*, más mezcla bituminosa en caliente.

con la última pasada tras el refinado del tajo anterior. Que el compactado final y riego de curado se realice a su tiempo mejora mucho la calidad de la capa y asegura una buena puesta en obra de las unidades posteriores. En caso contrario serían frecuentes los problemas de descarnaduras, bien por el tráfico de obra o bien cuando se procede a realizar el barrido para aplicar el riego de adherencia y extender la mezcla bituminosa. Esas zonas *pegadizas* suelen desprenderse y dejar irregularidades que habría que tratar previamente. Todo ello dificulta la buena ejecución del riego de adherencia porque por mucho que se quieran barrer esas zonas *alteradas* ya se está abocado a aplicar sobre una superficie pulvulenta que penalizaría muchísimo la eficacia del riego.

Como resumen, lo correcto sería llegar a conseguir que la nivelación se limite a *cortar* la capa retirando el material sobrante propio del esponjamiento a los laterales pasando a formar parte de la berma, terminar de compactar la capa con el rodillo neumático y ejecutar el riego de curado de inmediato.

En la Foto 3 se exponen diversos aspectos de las fases del reciclado *in situ* con cemento y la posterior ejecución de la mezcla bituminosa en caliente.

Se ha empleado esta técnica en las siguientes carreteras:

- TO-2323 Recas a A42.
- TO-2628 (ahora TO-2836) Villasequilla a Villamuelas.
- TO-2515 tramo Recas-Lominchar.
- TO-2628 (ahora TO-2836) CM-4005-Villanueva de Bogas.
- TO-2657 tramo AP-36 a N-400 (Noblejas).

- TO-2988 La Puebla de Almoradiel a Miguel Esteban.
- TO-2423 A-42-Estación de Villaluenga.
- TO-2875 Villanueva de Alcardete a N-301 (en estudio).

Reciclado *in situ* con emulsión bituminosa + Mezcla bituminosa

Esta solución se ha empleado en carreteras con las siguientes particularidades:

- Tráficos superiores a la media de la red y con un tráfico pesado igualmente considerable. Se ha aplicado hasta en un T31, que con anterioridad ha llegado a ser un T2 cuando las múltiples cerámicas que acceden directamente a esa carretera estaban en plena actividad durante el boom inmobiliario de años anteriores. Por consiguiente se trata de carreteras con dos o más capas de mezcla bituminosa.
- Gran porcentaje de superficie con síntomas de agotamiento de las capas bituminosas.
- Inexistencia de fallos de explanada. Igual que para la solución del reciclado con cemento se realizaron inspecciones visuales, prestando especial atención a los puntos con valores altos de deflexiones.
- Diferencial moderado entre el valor de deflexión en el momento de la rehabilitación y el umbral a mantener exigido por el PPTP, pudiendo llegar a obtenerse esa mejora requerida con este tipo de rehabilitación.
- IRI aceptable.



Foto 4. Diversos aspectos de la rehabilitación mediante reciclado *in situ* con emulsión bituminosa.

Al igual que en la solución del reciclado con cemento nos centraremos en los aspectos que consideramos más importantes para el correcto diseño y ejecución de esta solución.

Lo primero es decidir el espesor a reciclar. Para ello hay que conocer la composición del firme existente así como ver el estado de las diferentes capas. Esta fase es determinante y debe realizarse una campaña de calcatas y testigos tratando de encontrar los puntos singulares. Para la elección de los puntos donde hacer las calcatas es importante disponer igualmente de una auscultación de deflexiones reciente. De este modo se puede abrir catas en puntos con valores similares y con valores distintos y ver el estado de las diferentes capas. Igualmente debe comprobarse si existe adherencia o no entre las distintas capas bituminosas. Las catas deben abrirse demoliendo y retirando capa por capa de manera escalonada. Una vez retirada la capa superior se puede limpiar la superficie y ver si, como en principio es lo habitual, la fisuración es ascendente y por tanto proviene de la capa inferior.

Definidos los espesores teóricos a reciclar con emulsión deben adaptarse para tratar capas completas más 1 cm para evitar dejar *lajas* de capa sin tratar.

En paralelo se realiza un dimensionamiento de la rehabilitación por deflexiones según la norma 6-3 I.C. para determinar el espesor de la capa de mezcla bituminosa necesaria para obtener la capacidad portante requerida.

Proyectada la solución de rehabilitación, se refieren seguidamente los aspectos a destacar en la ejecución y control de la unidad del reciclado con emulsión:

- Se deben tomar muestras mediante fresado con una máquina semejante a la que ejecutaría posteriormente la obra para tratar de que las granulometrías sean acordes a lo que en su momento se obtendrá en obra y poder obtener fórmulas de trabajo lo más reales posibles. Hay que verificar que se pueda emplear la misma dosificación para cuando se reciclen 1 o 2 capas.
- Lo deseable es realizar un tramo de prueba pero la realidad es que no siempre se ejecuta, sobre todo si se trata de obras pequeñas. Esto genera ciertas dificultades para el posterior control de obra, sobre todo en el control de densidades. Igualmente pasarán unos

días de incertidumbre hasta que se puedan obtener los primeros valores de resistencias. Por eso no se debe caer en la tentación de reducir emulsión, más bien hay que dosificar del lado de la seguridad al menos hasta tener los primeros resultados de resistencias.

- El día de inicio es necesario conocer cuanto antes la humedad del material fresado, para poder dosificar la humedad correctamente desde el principio, por su gran influencia para poder conseguir la máxima densidad.
- Igualmente el primer día deben ensayarse granulometrías y contenido de ligante residual del material fresado para comparar con los obtenidos en la fórmula de trabajo. Del mismo modo hay que sacar un contenido de ligante y humedad de la mezcla reciclada para comprobar que la dosificación de emulsión y el porcentaje de humedad que se está aplicando es correcto. Se fabricarán probetas para posteriormente obtener las resistencias.
- Como la densidad suele ser una incertidumbre hasta que puedan sacarse testigos, bastantes días más tarde de terminar la obra, hay que emplear medios de compactación adecuados, que no deben ser inferiores a los que indica el artículo 20 del PG-4. Estas mezclas son más *agrietas* y es más complicado compactarlas que las mezclas en caliente.

Se ha empleado esta técnica en las siguientes carreteras (Foto 4):

- TO-2515 tramo Lominchar-Cedillo del Condado, y
- TO-2324 de A-42 (Yuncler) a Lominchar.

La práctica habitual es realizar el reciclado con emulsión *in situ* por sus ventajas económicas e incluso medioambientales porque se reducen, por ejemplo, todas las emisiones procedentes del transporte del material, así como el consumo de materias primas, esto es áridos y ligante.

No obstante, con esta técnica hemos encontrado dificultades constructivas en las zonas con avanzado cuarteo. A pesar de llevar la recicladora a una velocidad lenta para tratar de desmenuzar al máximo el material, éste no se disgrega lo necesario porque las picas lo arrancan al estar ya muy fragmentado. Si además el espesor



Foto 5. Fases de fresado, criba en planta, mezclado y descarga sobre camión en el reciclado en planta con emulsión bituminosa.

de aglomerado es reducido, es aún más probable que el material salte rápido al tocarle las picas y no es suficiente el golpeo con las paredes del tambor para desmenuzar los trozos.

En estas circunstancias la mezcla reciclada puede incluir una cantidad importante de trozos de aglomerado sin disgregar de tamaño considerable, que perjudican las propiedades mecánicas de la capa así como su compactación. Para corregir eso sólo se puede actuar reduciendo la velocidad de avance de la recicladora y quitar manualmente todos esos fragmentos grandes que se vean a la salida de la regla con operarios destinados a este fin. Incluso con estas medidas pueden llegar a quedarse bastantes pedazos ocultos.

Reciclado en planta con emulsión bituminosa + Mezcla bituminosa

Para evitar el problema anteriormente expuesto, el último reciclado con emulsión se ha realizado en una planta de sue-

locemento con una línea de emulsión y otra para el agua de preenvuelta. Retirando el material a la planta tenemos la posibilidad de clasificarlo. Tan sólo con pasarlo por una criba de 40 mm hemos conseguido eliminar esos trozos de material de tamaño inadecuado que pueden comprometer la calidad de la capa (Foto 5).

Adicionalmente se consiguen otras ventajas, no menos importantes, como son (Fotos 5 y 6):

- Posibilidad de poder ejecutar un riego de adherencia para garantizar la unión con el soporte de esta nueva mezcla reciclada, se puede ver perfectamente el espesor retirado e incluso el estado del soporte pudiendo modificar este espesor de reposición en caso de detectar alguna zona muy rota.
- El mezclado es más homogéneo que el realizado en el tambor fregador de la recicladora por la distribución de las paletas y porque se le puede dar más tiempo de amasado.



Foto 6. Fases de extendido y compactación en el reciclado en planta con emulsión bituminosa. Detalle de limpieza de las ruedas de los camiones para no dañar el riego de adherencia.



Foto 7. Mezcla bituminosa de altas prestaciones tipo SMA realizada en la carretera TO-2542 desde A4 a Ontígola. Aspecto en 2017, tres años después de su extensión.

- Se mejora la regularidad de la carretera pues se fresa y se extiende la mezcla reciclada en el ancho de carril completo de una sola vez.
- Se elimina el solape y los posibles errores de dosificación en esa zona.
- Por último para el caso de la última rehabilitación, hacer el reciclado en planta permitió ejecutar una obra *a la carta* en la que había varios espesores de reciclado, fabricando una mezcla perfectamente dosificada sin tener que dejar en manos del operario de la recicladora el tener que variar constantemente ese parámetro en función de la profundidad que el proyecto marcaba para cada tramo.

Esta técnica sin embargo solo es rentable si la planta se encuentra en un radio menor de 25 km de la obra.

En breve se va a rehabilitar una carretera con otro reciclado con emulsión con esta técnica precisamente porque la capa bituminosa a reciclar está muy cuarteada y el espesor de la misma es tan sólo de 6 o 7 cm, con mucho riesgo de saltar los trozos y no poder ser disgregados con los equipos de reciclado *in situ*.

Se ha realizado un tramo de prueba para ver si se conseguían las granulometrías adecuadas empleando fresadora con tambor con tres velocidades y con una velocidad de avance muy lenta. El resultado ha sido satisfactorio por lo que se incluirá esta solución en el proyecto de acondicionamiento de la carretera. En esta ocasión la rodadura será una mezcla bituminosa abierta en frío ya que la explanada y la capa granular son muy deformables y este tipo de mezcla tendrá un mejor comportamiento mecánico.

Se ha empleado esta técnica en las siguientes carreteras:

- TO-2421 tramo Villaluenga a Cobeja, y
- TO-2899 entre Quintanar y Los Hinojosos (ejecutado un tramo de prueba).

Mezcla bituminosa de altas prestaciones tipo SMA (“Stone Mastic Asphalt”)

Esta solución se ha empleado en una carretera con un estado estructural aceptable con valores de deflexiones en el rango de los

umbrales a cumplir durante el contrato, pero con una rodadura con fisuración que pudiera reflejarse en superficie más rápidamente si se hubiese extendido una mezcla convencional como la que preveía el PPTP del contrato.

Las SMA (“Stone Mastic Asphalt”) aportan macrotextura, tienen pocos huecos y un alto contenido de ligante modificado (6,5 %) que se incorpora para dar elasticidad a las mezclas, y mejor comportamiento a fatiga, de tal modo que se retarda el ascenso de las fisuras de las capas inferiores. Adicionalmente ofrecen ventajas prestacionales ya que la elevada macrotextura mejora la adherencia y favorece el contacto entre el neumático y el pavimento en presencia de agua.

La obra se ejecutó hace 4 años y de momento no hay ningún reflejo de la fisuración que presentaba el pavimento viejo en gran parte de su superficie (ver Foto 7).

Está previsto extender otra mezcla SMA sobre otro tramo en el que se ha detectado inicios de fisuración en superficie. Se han auscultado deflexiones en 2015 y 2017 para ver la evolución de las mismas desde que se detectaron las patologías. Con los valores de la última campaña y para el tráfico pesado actual se está llegando al límite que establece la norma 6.3 I.C. entre actuación preventiva y un recricado de 5 cm, motivo por el cual se ha propuesto extender una mezcla de esta tipología.

Gravaemulsión + Mezcla bituminosa en frío o Gravaemulsión + Microaglomerado en frío

Esta es la última propuesta de actuación planteada a la Diputación para rehabilitar una carretera provincial que se encuentra en pésimo estado estructural y también de regularidad superficial. El firme está compuesto por una capa de macadam y riegos asfálticos de espesor variable entre 15 y 20 cm apoyado en una explanada de mala calidad. En algunos laterales se ha detectado zorra, signo de que en algún momento se construyó un pequeño ensanche.

La carretera apenas tiene tráfico, con la particularidad de que en un tramo de la misma va a generarse cierto tráfico pesado procedente de una cantera de yeso que se va a reactivar para abastecer una fábrica recién implantada en el municipio donde se inicia la carretera.

Se ha realizado una auscultación de deflexiones, pero como era de esperar los valores son muy dispares y, aunque se ha tramificado conforme dice la norma, realmente es muy complicado aplicar soluciones para cada tramificación. Por otra parte existen unas restricciones constructivas no menos importantes como que para conseguir una regularidad adecuada en la carretera es necesario el extendido de dos capas de material bituminoso.

Es muy difícil encontrar una solución que cumpla con la normativa 6.3. I.C y tenga viabilidad económica. La carretera actualmente tiene una IMD de unos 100 vehículos/día. Pero lo que es cierto es que había que proponer alguna alternativa para ejecutar el acondicionamiento de esta carretera que encuentre el equilibrio técnico-económico.

Siendo el firme muy flexible y construido sobre una explanada de mala calidad, lo más adecuado es el empleo de capas bituminosas con una gran flexibilidad, ya que el empleo de mezclas bituminosas en caliente convencionales conllevaría a un agotamiento prematuro de las mismas dado que no podrían soportar las deformaciones de la explanada y firme existente donde se apoyarían.

Para el caso que nos ocupa se ha propuesto el extendido de una capa de gravaemulsión en un espesor medio de 8 cm (el espesor recomendado para estas capas es entre 6 y 12 cm). La carretera está muy deformada y para poder regularizarla se gastarán como mínimo 2 cm de sobreespesor sobre el mínimo establecido para estas capas.

La gravaemulsión es un material de excelente calidad para la constitución de capas de base para tráficos pesados de intensidad media o baja, y para capas de refuerzo sobre firmes flexibles (como es el caso). Su forma de funcionamiento y rigidez, intermedia entre la mezclas abiertas en frío y las mezclas en caliente, hace que puedan sustituir con ventaja a las bases granulares constituidas por capas de zahorra artificial con espesores mayores. Tiene muy buena resistencia a compresión por su esqueleto mineral y una gran resistencia a flexotracción gracias al mortero bituminoso, lo que confiere muy buen comportamiento a fatiga por lo que se adaptan perfectamente a soportes deformables. Además presenta una excelente impermeabilidad de las capas inferiores del firme, proporcionando mayor durabilidad, especialmente en el caso de explanadas de limitada resistencia como es el caso que nos ocupa.

La solución a proyectar se completa con el extendido de una capa de 4 cm de mezcla bituminosa abierta en frío en el tramo por el que circularán los vehículos procedentes de la cantera para disponer de un espesor total de mezcla acorde al tráfico pesado que va a soportar ese tramo. En el resto de longitud la gravaemulsión se protegerá con un microaglomerado en frío que se considera suficiente para aguantar las sollicitaciones a las que estará sometida.

Conclusiones

El contrato concesional exige al adjudicatario mantener las infraestructuras en unos estándares de calidad claramente establecidos en el *Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares PPTP* a través del cumplimiento de varios indicadores. Esta obligación debe tenerse en cuenta desde el momento de proyectar las soluciones para las rehabilitaciones iniciales de las carreteras.

Deben tenerse en cuenta las distintas variables que intervienen para poder plantear diferentes soluciones y encontrar la más eficaz. Esta eficacia debe entenderse como la minimización del coste total de la actuación.

El coste total se compone de tres sumandos: coste inicial de la obra proyectada, coste de mantenimiento *ordinario* y coste de posibles *grandes reparaciones* a causa de fallo en la ejecución o de posibles defectos constructivos.

Tras la redacción del proyecto el trabajo sigue y el objetivo es minimizar el tercer sumando, para lo que hay que poner todos los medios y cuidado en la correcta ejecución de cada unidad de obra por su total incidencia en la durabilidad de las mismas. Terminada la obra deben hacerse inspecciones periódicas para poder programar una conservación *ordinaria* preventiva, para que la carretera tenga un buen envejecimiento.

Bibliografía

- I. Norma 6.1 IC. "Secciones de firme". Ministerio de Fomento.
- II. Norma 6.3 IC. "Rehabilitación de firmes". Ministerio de Fomento.
- III. Alberto Collado. "La financiación privada de carreteras locales. Ventajas e inconvenientes. Génesis y funcionamiento de los contratos de obra pública para la explotación de la red de carreteras dependiente de la Diputación Provincial de Toledo".
- IV. Juan José Potti y Jose Antonio Soto, "Empleo de mezclas en frío para capas de base". Revista Carreteras, nº 139, "Especial. Tecnología en frío".
- V. Alberto Bardesi y María Martínez, "Análisis de las distintas capas de rodadura". Revista Carreteras, nº 139, "Especial. Tecnología en frío".
- VI. "Grava-emulsión". Monografía Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB).
- VII. "Guía de firmes para las carreteras dependientes de las Administraciones locales". Asociación Española de la Carretera (AEC). ■