

Las mesas redondas sobre firmes de las X Jornadas de Conservación de Carreteras



D. Adolfo Güell en un momento de su intervención en la mesa redonda nº 2.

Adolfo Güell Cancela, Jefe de Conservación y Explotación de la Unidad de Carreteras del Estado en Ourense y Presidente del Comité de Firmes de la A.T.C.

Durante las X Jornadas de Conservación de Carreteras, que tuvieron lugar en Cáceres del 6 al 8 de junio de 2006, se desarrollaron tres mesas redondas, que contaron con la presencia de expertos nacionales e internacionales para desarrollar los temas.

Entre estas mesas redondas, hubo dos que trataron cuestiones relacionadas con los firmes:

■ MR2: Patología de mezclas bituminosas.

■ MR3: Reciclado de firmes.

En este artículo se pretende recopilar los aspectos más significativos

desarrollados, con objeto de que puedan servir de guía a la hora de diseñar, construir y conservar obras de firmes con mezclas bituminosas.

***MR2. Patología de Mezclas Bituminosas**

Bajo la presidencia de D. Adolfo Güell Cancela, tuvo lugar esta mesa redonda, que contó con la presencia de los siguientes intervinientes:

■ D. Carlos Centeno Ferruelo, que habló sobre la calidad de los áridos.

■ D. Baltasar Rubio Guzmán, que habló sobre la calidad de los betunes.

■ D. José María Membrillo, que habló sobre la calidad en la fabricación.

■ D. Jacinto Luis García Santiago, que, habló sobre sistemas de compactación.

■ D. Paul Lavaud Aguirre, que habló sobre medios de extensión.

■ D. Javier Cameo Bel, que se ocupó de las conclusiones.

1.- Calidad de los áridos

En esta ponencia se recordó que, desde el 1 de junio de 2004, los áridos deben obligatoriamente tener marca CE, tanto para su comercialización como para su uso. Por esto, conviene que las diversas Administraciones y cualquier Propiedad exijan estas marcas en sus obras, cuando se utilicen áridos que provengan de canteras comerciales en explotación.

Asimismo, se trataron varios temas en los que actualmente se presentan problemas de interpretación, para clarificar conceptos.

En cuanto a las granulometrías y tamaño máximo de áridos: Se debe tomar diariamente al menos una muestra de la mezcla de áridos en caliente, y determinar su granulometría según la UNE-EN 933-1.

Cuando se defina la granulometría de los áridos combinados en la fórmula de trabajo, se debe definir un huso restringido (obtenido sumando las tolerancias a la granulometría) y comprobar que dicha granulometría está incluida en el huso especificado.

El número mínimo de tolvas para áridos en frío será función del número de fracciones de árido de la fórmula de trabajo adoptada; pero nunca menor que 4.

Hay que separar el árido grueso del fino en el tamiz 2 mm.

Se resalta la importancia del coeficiente de pulimento acelerado (CPA) de los áridos y de la textura de la capa de rodadura, por su incidencia en los valores de coeficiente de rozamiento transversal (CRT) de las carreteras.

En cuanto a la densidad relativa y absorción: Se recomienda la determinación de la densidad relativa en aceite de parafina, con la mezcla total de áridos y filler NLT-176(74), dado que, al discriminar entre poros permeables al agua y poros permeables al betún, este valor es el más cercano al correcto, y es el que debe usarse en los cálculos de dosificación.

En cuanto a la relación filler/betún: La relación que viene recogida en la normativa es independiente de las tolerancias admisibles para filler y betún.

En cuanto a las proporciones mínimas de polvo mineral: Se debe comprobar ésta con la periodicidad de ensayos fijados para el polvo mineral de aportación según la NLT-176.

En cuanto a la estabilidad: A veces hay problemas de estabilidad ocasionados por valores bajos del equivalente de arena, o de porcentaje de caras de fractura o por curvas granulométricas inadecuadas.

Para medir exactamente el porcentaje de finos menores que 0,063 mm,

se recomienda el tamizado por lavado.

El bajo porcentaje de caras de fractura suele ocasionar desplazamiento de los áridos dentro de la masa de aglomerado en las operaciones de extensión y compactación, ocasionando que las caras redondeadas queden en la parte exterior, lo que da lugar a superficies más deslizantes.

En cuanto al coeficiente de desgaste de Los Angeles, que suele estar en el límite, debe observarse el valor CEE certificado y realizar el ensayo con la periodicidad mensual marcada.

- Textura:

La resistencia al pulimento se declarará de acuerdo con la tabla 13 de la UNE-EN-13043.

Asimismo, y con objeto de cuidar la textura de las mezclas, debe realizarse un tramo de prueba de la capa de rodadura.

En dicho tramo de ensayo se deberá realizar la medida de la macro-textura superficial según la NLT-335.

En cuanto a la naturaleza del árido fino, se podrá emplear un árido fino de otra naturaleza que mejore alguna otra característica, en especial la adhesividad; pero, en cualquier caso, procederá de un árido grueso que cumpla las especificaciones del coeficiente de Los Angeles.

2.- Calidad de los betunes

El betún representa una parte relativamente pequeña de las mezclas bituminosas, pero condiciona en gran medida la mayoría de las propiedades mecánicas y reológicas de la mezcla.

Las propiedades fundamentales que deben poseer los betunes asfálticos para su empleo en carreteras son:

- Carácter termoplástico.
- Buena adhesividad a los áridos.
- Buen comportamiento mecánico y reológico.
- Resistencia al envejecimiento.

Los deterioros más frecuentes producidos por los betunes asfálticos son los siguientes:

- Deformaciones.
- Fisuración.
- Desprendimientos.
- Exudaciones.

Para paliar los deterioros producidos por los betunes, se pueden realizar las siguientes acciones:

- Elección adecuada del ligante: El tipo de ligante debe seleccionarse de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona, del tipo de mezcla y su posición en el firme, de la categoría del tráfico, del tipo de vía, de la tipología de las otras capas del firme y de la orografía. En los Art. 542 y 543 del PG.3, relativos a las mezclas bituminosas, se establecen los tipos de ligante que se deben emplear.

- Evaluar la calidad del betún seleccionado: Los ensayos recogidos en las especificaciones españolas son suficientes para garantizar la calidad de los ligantes; y sólo en algunos casos especiales, por sus características y peculiaridades, es conveniente valorar mejor el comportamiento con ensayos complementarios.

- Dosificación del contenido óptimo de ligante: Las mezclas densas, semidensas, gruesas y de alto módulo se dosifican hasta ahora empleando el método Marshall. La entrada en vigor de la normativa europea armonizada en materia de mezclas bituminosas en caliente, EN-13108 sobre especificaciones y control de calidad de la fabricación y EN-12697 sobre métodos de ensayo, supondrá cambios importantes en esta materia. Estas mezclas son muy críticas en cuanto al contenido del ligante. Se debe prestar atención a la curva de huecos en áridos, comprobando que no presenta grandes pendientes y que, aun siendo plana, se encuentra en el límite del valor especificado. Además, se comprobará que, para el contenido óptimo de ligante, el valor de huecos en áridos corresponde a la rama descendente de la curva para evitar problemas de inestabilidad.

Las mezclas discontinuas tipo F deben dosificarse con betunes de altas prestaciones y elevadas relaciones polvo mineral/betún, para proporcionar elevada cohesión a la mezcla.



La foto recoge un momento de la intervención del Sr. Membrillo.

Las mezclas drenantes y monogranulares se dosifican mediante el ensayo Cántabro (también para este tipo de MBC la entrada en vigor de la normativa europea armonizada sobre MBC supondrá cambios importantes). Estas mezclas no son críticas respecto al contenido de ligante; pero su durabilidad depende de la resistencia a los agentes climáticos, especialmente al agua, por lo que es necesario evaluar su sensibilidad al agua mediante el ensayo Cántabro después de inmersión. En general exigen betunes modificados y polvo mineral de aportación de excelente calidad.

3.- Calidad en la fabricación de mezclas bituminosas

Se pasó revista a los problemas que acontecen en el proceso de fabricación de mezclas bituminosas, que son:

- Transporte de áridos y formación de acopios.
- Tolvas de alimentación en frío.
- Tambor secador.

■ Tolvas de almacenamiento y alimentación en caliente.

Transporte y acopio de áridos

Hay que seguir unas normas elementales que son:

- Preparar la superficie donde se van a realizar los acopios.
- Separación real de las fracciones.
- Colocar los áridos de manera que se pueda eliminar el exceso de agua.

■ Realizar acopios amplios.

■ Evitar las segregaciones.

■ Evitar las contaminaciones.

Hay que controlar regularmente la calidad y granulometría de estos acopios.

Tolvas de alimentación en frío

Las tolvas deben estar llenas en un 75% para evitar segregaciones. Deben evitarse la entrada de piedras en ellas, así como la formación de bóvedas por exceso de arena o apelmazamiento.

Tambor secador

Conseguir que el tambor trabaje eficazmente depende de:

- La producción de la planta.

■ La potencia de calentamiento del mechero.

■ El tamaño del tambor.

■ La humedad de los áridos.

Los áridos con humedad excesiva pueden afectar al rendimiento de la instalación.

Una sobrecarga en la alimentación del tambor secador produce áridos insuficientemente calentados.

Un mal funcionamiento del mechero produce un combustible no quemado en su totalidad que puede ensuciar el *filler*. Dicho polvo mineral ensucia las mangas de los recuperadores de *filler* y produce un mal funcionamiento de los filtros de mangas.

Las mangas de los filtros deben examinarse con frecuencia para ver si hay roturas en ellas ya que podrían dar lugar a que se expulsase a la atmósfera parte del polvo recuperado.

Tolvas de almacenamiento y alimentación en caliente

Se deben inspeccionar las cribas para evitar que pasen a los silos áridos más gruesos que falsearían la granulometría.

Otro problema es la sobrecarga de árido para pasar por las cribas, ya que podría pasar árido más fino a los tamaños siguientes y se cambiaría la curva granulométrica.

Mezclador. Tolvas de almacenamiento de la mezcla

El tiempo de mezcla influye en la dispersión del ligante dentro de la masa de áridos.

Si dicha distribución no es buena, se podría dar el caso de tener que mezclar el árido en seco antes de incorporar el ligante.

En las instalaciones fijas se suele disponer de una tolva de almacenamiento de mezcla fabricada para homogeneizar las distintas amasadas y evitar segregaciones.

No conviene mantener durante mucho tiempo la mezcla en la tolva, ya que el betún podría escurrirse.

4.- Sistemas de compactación

Las patologías que aparecen relacionadas con la densidad de la mez-

cla de la capa o con una compactación inadecuada pueden ser clasificadas en:

- Relacionadas con las características superficiales: Defectos de textura y aspecto y defectos de regularidad superficial.

- Defectos en juntas transversales o longitudinales debidos a la compactación.

- Defectos en la integridad de la capa: Microfisuración inicial y defectos estructurales.

***Patologías relacionadas con características superficiales**

Defectos de textura y aspecto

En la extensión se pueden producir arrastres superficiales de árido grueso, tanto porque la regla está fría o mal reglada como por defectos en el sistema de precompactación.

La presencia de áreas más frías en la extensión puede dar lugar a un cambio de textura.

Marcas de compactación y rodillo.

Las marcas de neumáticos no indican un déficit de durabilidad, pero sí de densidad.

Las marcas de paradas pueden dar lugar a resaltos y afectar a la regularidad. Pueden deberse a paradas prolongadas, giros de rodillos o maniobras inadecuadas.

Si se prolonga la compactación por debajo del umbral de temperatura mínima se pueden producir aplastamientos o rotura de áridos.

Erosiones

Las erosiones aisladas con pérdidas de material obedecen a segregaciones granulométricas por falta de mortero o áreas de mezcla fría.

Las erosiones longitudinales, puede ser de tipo granulométrico y térmico.

***Patologías relacionadas con la regularidad superficial**

Defectos de regularidad de origen.

Rizaduras u ondulaciones: se deben a una aplicación inadecuada del rodillo vibrante, una velocidad excesiva, una frecuencia insuficiente o una amplitud excesiva para el espesor de la capa.

Ondulaciones de onda baja: son debidas a una mala práctica, con pa-

radas prolongadas de los rodillos en zonas aún calientes.

Defectos de regularidad evolutivos

Se deben a postcompactaciones por insuficiencia de densidad inicial. Generan un asiento diferencial en la superficie.

Juntas

Juntas longitudinales.

Patología: apertura de la junta, fisuraciones y erosiones progresivas con pérdida de material y acceso de agua.

Debidas a la falta de homogeneidad en la mezcla o a una compactación pobre.

Juntas transversales.

Por reglaje inadecuado del esponjamiento inicial de partida, o por defectos de compactación. Tras la compactación, da lugar a defectos de IRI y pérdida de la continuidad de perfil.

*** Patologías relacionadas con la integridad de la capa.**

Microfisuración transversal en la puesta en obra

Causa: los rodillos actúan sobre mezcla excesivamente fría. Aparecen fisuras transversales cortas (5-10 cm) durante la compactación con rodillos neumáticos.

***Patologías estructurales**

El problema más grave es que la densidad final esté fuera de rango.

Densidad excesiva

Una densidad por encima del 100% puede dar lugar a una insuficiencia de huecos, lo que podría ocasionar una disminución de la resistencia a las deformaciones plásticas, pérdida de macrotextura y exudación.

Densidad insuficiente

Si es una patología generalizada, sus causas pueden ser: mezclas con dificultades de compactación o mezcla puesta en obra inadecuadamente.

Si la frecuencia sigue una pauta, las causas más habituales son: falta de homogeneidad de la mezcla o una compactación inadecuada.

Las pautas de tipo longitudinal se deben a segregaciones en el centro de la regla, y podrían responder a una pauta incorrecta de solapes.

La pautas de tipo cíclico responden a la falta de homogeneidad de la mezcla en operaciones de descarga y extensión.

Sistemas de compactación

Son tres:

- La regla.
- Los rodillos vibratorios.
- Los compactadores de neumáticos.

Deben hacerse tramos de ensayo para establecer un esquema eficaz de compactación.

Recomendación final

Se ha comprobado, gracias al empleo de técnicas de control termográfico, que es habitual la presencia de segregaciones de tipo térmico.

Su prevención o eliminación pasa por:

- Maximización de la precompactación de la regla.

- Empleo de equipos de transferencia de material con capacidad rehomogeneizadora de la mezcla, suministro continuo a la extendidora y mantenimiento de la temperatura hasta el extensión.

5.- Medios de extensión

En esta ponencia se hizo hincapié en que la regularidad superficial y la densidad son las dos propiedades más importantes de la capa de rodadura para lograr la durabilidad y satisfacción de los usuarios.

En Estados Unidos, un IRI menor que el valor exigido es bonificado, mientras que un IRI mayor es penalizado de acuerdo con unos baremos; aunque en este punto conviene recordar que las especificaciones en los EE.UU. son más tolerantes que las españolas.

Por otra parte, las mezclas no segregadas, es decir con una densidad adecuada, tendrán una mejor regularidad y durabilidad.

De acuerdo con estudios americanos, los pavimentos de menor IRI inicial tienen regularidades más bajas en los 10 años siguientes a su construcción, así como menos agrietamiento y costos de mantenimiento más bajos.

Para mejorar la regularidad inicial existen en el mercado equipos y métodos constructivos que permiten la construcción de pavimentos más homogéneos y regulares, con vidas útiles superiores en un 40% al promedio, y reducción de costos de mantenimiento de hasta un 95%.

Aumentar la vida útil y ahorrar millones de euros en mantenimiento depende de los procedimientos, especificaciones y control de calidad durante la puesta en obra de las mezclas bituminosas.

Se hace hincapié en que la densidad del pavimento es afectada por la segregación de la temperatura durante el transporte de las mezclas bituminosas.

Existen estudios que indican que dichas segregaciones tienen una proporción de árido grueso superior entre un 8 y un 15% a las áreas no segregadas, con un porcentaje de huecos superior en un 3-5% y contenido de betún menor, entre un 1 y un 2% por lo que se recomienda usar calibradores nucleares para identificar dichas áreas segregadas.

Con objeto de obtener pavimentos de calidad y uniformidad no debe pararse la extendidora.

En general, cuando una extendidora se detiene, cambia de velocidad o choca con los camiones, se producen irregularidades en la superficie pavimentada. Por eso se busca una pavimentación continua a través del uso de silos móviles de transferencia, que en España se conocen como "transfers" o alimentadoras.

6.- Conclusión general

La fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas es un proceso complejo, que requiere la programación y control de todas sus fases y, de forma especial, de las materias primas fundamentales que intervienen en las mezclas.

Y todo ello, en mayor medida según la mayor exigencia que las condiciones actuales (tráfico, calidad de servicio, etc.) imponen en las obras.

Los elementos más importantes



La importancia de las exposiciones supo atraer la atención de los asistentes.

que condicionan el comportamiento de una mezcla bituminosa son las materias primas (áridos y ligantes) y los procesos de fabricación y puesta en obra (fabricación, extensión y compactación).

Unas malas materias primas o un inadecuado proceso de fabricación y puesta en obra dan lugar a una serie de patologías que pueden clasificarse en función de sus causas o como intrínsecas o extrínsecas, y cuyos tipos son superficiales, estructurales o mixtas.

En esta mesa redonda se han puesto de manifiesto por los ponentes los elementos más importantes que deben ser objeto de atención en el diseño, control y ejecución de una mezcla bituminosa para evitar dichas patologías.

La calidad y profesionalización en todo el proceso de fabricación y empleo de las mezclas bituminosas es fundamental. Se deben conocer sus componentes, su comportamiento, sus patologías y el modo de evitarlas. Los tres elementos fundamentales son: calidad y control de las materias primas; homogeneidad, tanto térmica como granulométrica; y continuidad de la mezcla fabricada y buena regularidad superficial (IRI).

*MR3. RECICLADO DE FIRMES

Bajo la Presidencia de D. José Manuel Blanco Segarra tuvo lugar esta mesa redonda sobre reciclado de firmes, que contó con la presencia de los siguientes intervinientes:

■ D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría, que habló sobre los betunes que se deben emplear.

■ D. Félix Pérez Jiménez, que habló sobre el control de calidad.

■ D. Ángel García Garay, que habló sobre el reciclado en caliente en central continua.

■ D. Adolfo Güell Cancela que habló sobre el reciclado en caliente en central discontinua.

■ D. Alberto Fontana Libano, que habló sobre la maquinaria.

1.- Ligantes bituminosos para reciclado de firmes

En esta ponencia se recordó que los reciclados en caliente presentan la oportunidad de reutilizar el ligante de una mezcla antigua.

Los betunes envejecen durante la puesta en obra y a lo largo de su vida de servicio.

Dicho envejecimiento supone un aumento de viscosidad, menor susceptibilidad, incremento de asfalte-

nos y reducción de aromáticos.

El tipo de ligante que se debe emplear para reciclar un firme dependerá de la tasa de reciclado y del envejecimiento del ligante antiguo.

Puede ser necesario en un reciclado emplear ligantes específicos en cuya composición intervengan rejuvenecedores.

Estos rejuvenecedores deben ser productos seguros y económicos, y tener una viscosidad y composición adaptables.

2.- Control de calidad en el reciclado de firmes

El control de calidad para una obra de reciclado de firmes debe llevarse a cabo sobre:

- Materiales.
- Fabricación.
- Extensión y compactación.
- Producto terminado.

Materiales

En cuanto a los materiales, debe buscarse su calidad y homogeneidad.

Fabricación

Se debe ajustar la fórmula de trabajo a los materiales y lotes empleados.

Asimismo, se debe evitar la segregación y controlar el producto final.

Extendido y compactación

Hay que controlar la temperatura de extensión y compactación, para lo que se controlará, entre otros, el tiempo entre la fabricación y de la extensión.

Se estudiarán los equipos de compactación; y, en particular, se determinará el tipo y el número de pasadas a realizar.

Producto terminado

Sobre el producto final se realizarán controles de densidad y de las propiedades del producto terminado; para ello se extraerán testigos en obra.

En los reciclados con cemento se controlará la resistencia.

En los reciclados con emulsión se controlarán el módulo, la resistencia y la tracción indirecta.

En los reciclados en planta en caliente se controlarán, además de los ensayos para las mezclas convencionales recogidas en el PG3, los siguientes: módulo, resistencia, tracción indirecta y tracción directa.

Como conclusiones al control de calidad en las obras de reciclado de firme, se destacan las siguientes:

■ Sólo las técnicas que tienen sencillos y buenos procedimientos de control permanecen y triunfan.

■ El control de calidad debería emplearse como indicador de irregularidades y no únicamente para la aceptación del producto.

■ Las técnicas de reciclado, por la mayor heterogeneidad de sus materiales, necesitan un mayor seguimiento y control.

3.- Reciclado en caliente en central continua

Se habló en esta ponencia de una obra que utilizó material reciclado en caliente en central, con una tasa de reciclado del 50%.

Esta obra se ubicaba en Murcia, en la A-7 entre los pp.kk. 566+000 y 572+000.

Como características más reseñables de la obra se destacan:

- Toneladas fresadas: 10 000
- Toneladas de mezcla S-20 R50: 20 000
- Betún con rejuvenecedores: B-110.
- Penetración de las mezclas que se reciclaron: 8-15
- Calentador de productos reciclados: Tambor secador mezclador *double barrel*.
- Presupuesto: 1 227 019,00 euros.

Fases de ejecución

Se definieron los tramos homogéneos, determinando secciones tipo y fases de ejecución de la obra.

Se fresaron las capas de rodadura y las capas inferiores. El fresado del material de rodadura, al ser más homogénea, se reserva para las capas superiores de mezcla reciclada.

Se repuso el paquete de firmes mediante una capa de base G-20 R50.

Se extendieron dos capas intermedias de 6 y 7 cm de S-20 R50 y S-20 convencional, respectivamente, y una capa de rodadura de 3 cm de M-10.

Para el fresado, se buscó una fresadora de potencia superior a 400 CV que pudiera fresar a profundidades superiores a 30 cm.

Como planta se eligió una instalación capaz de calentar el material reciclado sin quemar el betún y que puede alcanzar una tasa del 50%.

Se realizó en obra un exhaustivo plan de ensayos, donde se controlaron las mezclas envejecidas, las mezclas recicladas y el producto terminado.

En cuanto al análisis de costes, si se compara una rehabilitación tradicional con la actuación realizada se tiene lo siguiente:

■ Rehabilitación tradicional, que consiste en demolición y reposición con zahorra artificial, 16 cm de G-25, 6 cm de capa intermedia S-20 y 3 cm de capa de rodadura M-10. Coste por m²: 20,06 €.

■ Actuación realizada, que consiste en un fresado y reposición con fresado, 23 cm de capa de base S-20 R50, 7 cm de capa intermedia S-20 y 3 cm de capa de rodadura M-10. Coste por m²: 22,55 €.

El reciclado realizado ha tenido un buen comportamiento, por la selección de producto realizada en obra y haber realizado acopios muy homogéneos.

Se destacan las siguientes conclusiones:

■ La planificación de la obra debe ser exhaustiva.

■ Los acopios deben ser homogéneos.

■ Las fórmulas de trabajo deben simplificarse.

■ El plan de ensayos debe ser ágil, para poder adaptarse a las condiciones de la obra en cada momento.

■ El resultado obtenido es comparable a una rehabilitación convencional.

■ Hay un ahorro del 50% en áridos y betún, evitándose los vertederos, lo que supone un ahorro me-

dioambiental; por lo que, a medio plazo, este tipo de actuaciones debe suponer un ahorro para el promotor o concesionario de la conservación.

4.- Reciclado en caliente en central discontinua

Se repasaron en esta ponencia diversos aspectos sobre las técnicas de reciclado de firmes, recogidas en la Orden Circular 8/2001 de "Reciclado de firmes", que entró en vigor el 18 de enero de 2002.

En cuanto a los equipos para la ejecución de las obras de reciclado en central en caliente, se comentó que las centrales de fabricación de estas mezclas recicladas pueden ser continuas o discontinuas. Dado que en España la fabricación de mezclas en caliente se corresponde, en general, con la cultura de las plantas discontinuas (pues, normalmente, las canteras aportan un producto no regular y poco clasificado), y dado que también la propia naturaleza del material que se recicla (que se suele obtener del fresado de carreteras con material envejecido) suele ser muy heterogénea, las plantas con instalaciones de reciclado en central en caliente discontinuas presentan grandes ventajas para la técnica de reciclado de material en continuo.

En Orense existe una planta discontinua con instalación de reciclado de 200 t/h que se basa en la transferencia de calor entre los áridos vírgenes sobrecalentados y el material de reciclado, y que permite una tasa de reciclado de hasta el 35%.

Se pasó revista a las últimas actuaciones desarrolladas en la provincia de Ourense, que suponen una cantidad superior a las 150 000 toneladas de mezcla bituminosa reciclada; por lo que, con tasas de reciclado que han oscilado entre el 20 al 30%, supone que se han aprovechado alrededor de 40 000 toneladas de material fresado, que, de no ser por esta técnica, se hubiesen tenido que llevar a vertedero.

Se explica a continuación el re-



fuerzo del firme en la CN-541 de Ourense a Pontevedra, entre los pp.kk. 29+000 y 51+100, como ejemplo de la metodología seguida por la Unidad de Carreteras del Estado en Ourense cuando el material que se recicla presenta un betún significativamente envejecido.

En esta obra se partía de dos mezclas diferentes del material bituminoso: Una primera que presenta una penetración de 35, un punto de reblandecimiento A y B de 59,6 y un índice de penetración de 0,14.; una segunda, mucho más abundante, con un ligante más envejecido con una penetración de 18, un punto de reblandecimiento A y B de 72,2 y un índice de penetración de 1,55.

El primer material de fresado se recicló con una tasa del 30%; pero el segundo se sometió a un estudio especial que determinó que la mezcla debía reciclarse al 20%. La mezcla fue sometida a ensayos de tracción directa, y se calculó su ley de fatiga.

Confrontando los valores obtenidos con lo exigido en el art. 22 de la O.C. 8/2001, se vio que los resultados mostraron que la mezcla S-20 R20 reciclada presentaba una elevada cohesión y un buen comportamiento a fatiga; pero que, dada su pérdida de resistencia tras inmersión y su elevado módulo, se debía controlar la mezcla en obra para no emplear una mezcla con baja resistencia a la acción del agua o excesivamente rígida y frágil.

Dicha mezcla se utilizó en capas de base e intermedia en la práctica totalidad del tramo; y sobre ella se extendieron 4 cm de capa de rodadura S-12, ya que el tramo de la carretera tenía un tráfico de vehículos pesados T1.

Todos los ensayos realizados en obra mostraron un buen comportamiento de la mezcla reciclada.

Como observaciones a las actuaciones realizadas por la Unidad de Carreteras del Estado en Ourense se destacan las siguientes:

1. Es fundamental realizar un estudio completo y detallado del material que se recicla, dado que al aprovechar materiales heterogéneos, se podría dar lugar a un nuevo material con tasas de reciclado diferentes.

2. La optimización del proceso de fresado es muy importante para mejorar el rendimiento de la instalación de reciclado.

3. Para conseguir la optimización en el fresado sin sobrecostos, se deberán ajustar las velocidades, el número de pasadas y el número de picas de la fresadora. Dicha optimización permitirá reducir el tiempo de amasado necesario en el proceso de mezcla para fabricar el material reciclado y, consecuentemente, aumentar el rendimiento de nuestra instalación.

4. Hay que sacar el máximo valor del material fresado, que es su utilización como material bituminoso reciclado.

5. El estudio completo del betún residual aportado por el material que se recicla es fundamental para la obtención de la fórmula de trabajo.

6. La técnica de reciclado en central en caliente debe exigirse en la fase de proyecto, para lograr su implantación en las obras.

5.- Maquinaria

D. Alberto Fontana Libano dio un repaso a la distinta maquinaria necesaria para las obras de reciclado y explicó los diversos equipos y las técnicas que utilizan, poniendo ejemplos de los modelos de la casa Wirtgen para reciclado en frío.

1.- Reciclado en frío "in situ" (Equipos)

- a) Sobre orugas: Fresadoras recicladoras de pavimentos.
- b) Sobre ruedas: Recicladoras/estabilizadoras de suelos.
- c) Planta móvil para reciclado en frío.

2.- Reciclado en caliente "in situ"

3.- Reciclado en caliente en central

- a) Plantas asfálticas de ciclo continuo.
- b) Reciclado en plantas continuas.
 - b.1) Reciclado por transferencia de calor:
 - b.1.1) En la entrada del elevador de áridos en caliente.
 - b.1.2) Aportación del material de fresado a la tolva de pesaje de áridos en caliente.
 - c) Reciclado con un tambor paralelo: Sistema de reciclaje en caliente de asfalto en plantas discontinuas.

6.- Conclusiones a lo expuesto en la mesa redonda sobre reciclado de firmes

A continuación de las ponencias expuestas, tuvo lugar un debate entre los diversos miembros de la mesa redonda, al que se sumaron varias intervenciones por parte de los técnicos presentes en la sala.

Como conclusiones generales de todo lo que se trató, se destacan las



Las jornadas contaron con una gran asistencia.

siguientes:

1. Las técnicas de reciclado de firme son técnicas fiables y contrastadas, que se vienen desarrollando en el mundo desde hace alrededor de 30 años.

2. Dichas técnicas deben tenerse en cuenta en el proyecto, construcción y conservación de obras de carreteras.

3. Actualmente se han desarrollado una serie de ligantes bituminosos que optimizan la reutilización del betún de una mezcla envejecida, obteniendo una mezcla reciclada que se ajusta a los condicionantes de diseño demandados por el proyectista.

4. No se dispone de una metodología oficial para el estudio de cuál es el ligante que se debe emplear en un reciclado y para determinar necesidad o conveniencia de usar rejuvenecedores o ligantes de determinada composición química. Tampoco existe normativa ni española ni europea para rejuvenecedores, aunque se considera que deben ser productos de viscosidad adaptable a las necesidades, con alto contenido en aromáticos y bajo contenido en asfaltenos y saturados; y que puede utilizarse como referencia la Norma ASTM 4552.

5. Asimismo, existe en el mercado toda la maquinaria necesaria para realizar las obras de reciclado de mezclas bituminosas.

6. Dos aspectos fundamentales que tener en cuenta para seleccionar el tipo de central y determinar la tasa máxima de reciclado: la mayor o menor irregularidad de la mezcla bituminosa que se recicla y cómo calentar la mezcla bituminosa tratada sin quemar su ligante residual.

7. En España tenemos como marco legal la O.C. 8/2001 de "Reciclado de firmes", que comprende el diseño, construcción y control de calidad de las mezclas bituminosas recicladas.

8. Se está trabajando en el desarrollo de nuevos procedimientos de control de calidad que se adecuen a la técnica de reciclado de mezclas bituminosas en caliente.

9. Se debe potenciar la realización de reciclados, pues existen experiencias de sus distintos tipos, equipos modernos de reciclado tanto en frío in situ como en caliente, en centrales continuas de segunda generación, o en discontinuas por transferencia de calor o mediante tambor paralelo; así como especialistas en diseño de los ligantes y fabricación de los rejuvenecedores que se pudiesen precisar. Un ejemplo de esta potenciación es la constitución en 2005 de la asociación ANTER (Asociación Nacional Técnica de Estabilizados de Suelos y Reciclados de Firmes). ■