



Experiencias en el empleo de refuerzos metálicos en carreteras con firmes de aglomerado asfáltico

Juan Antonio Torres Vila y Jesús LLa-no Pérez (3S Geotecnia y Tecnología S.L.); Ángel Vega Zamanillo, Miguel Ángel Calzada y Alberto Hernández Sanz (Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.)

Resumen

La rehabilitación de firmes de carretera es un proceso cíclico que requiere cuantiosas inversiones que aseguren el adecuado estado de las carreteras. Por otro lado, muchas infraestructuras de transporte han quedado obsoletas debido al aumento del tráfico rodado, principalmente el aumento de vehículos pesados y el consiguiente número de ejes, ocasionando daños so-

bre el pavimento (degradación del firme, grietas, baches, etc.), que obligan a frecuentes actuaciones convencionales de rehabilitación de los firmes de carretera.

En los últimos años han aparecido diversos sistemas y productos orientados a retardar la reflexión de las grietas del firme flexible antiguo a las capas nuevas con el objetivo de que las actuaciones de rehabilitación tengan una mayor durabilidad, se mejore el estado del firme y se ejecuten con una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Uno de estos productos es la manta de acero tipo alveolar tridimensional; consistente en una retícula metálica tridimensional que absorbe los esfuerzos de tracción y detiene el ascenso de las fisuras a las capas superiores del firme, aumentando con-

siderablemente su vida útil. Debido a su novedoso diseño, la manta de acero presenta un conjunto de ventajas frente a otros materiales empleados con similares objetivos, desde un punto de vista técnico, económico y, sobre todo, por su marcado efecto en la durabilidad del firme reforzado.

El artículo comenta la puesta en obra de este refuerzo metálico en tres tramos de carreteras de Cantabria con alta densidad de tráfico pesado, con el fin de evaluar y asimilar la tecnología de puesta en obra y el comportamiento de los firmes reforzados con el paso del tiempo, y obtener experiencias para su correcta utilización en el futuro.

Palabras clave: pavimentos asfálticos, refuerzo de firmes, mallas metálicas, interfase, antirremonte de fisuras.

Especificaciones	
Láminas de acero	Resistencia a tracción: 930 N/mm ²
	Espesor: 1,0 mm
Alambres de acero	Resistencia a tracción: 1770 N/mm ²
	Diámetro: 3,0 mm
Superficie de cada celda	10'700 mm ²
Número de celdas por m ²	93,4 unidades
Suministro en rollos	Ancho: 3,50 m
	Longitud: 25,00 m
	Otras dimensiones bajo pedido
Superficie por rollo	87,5 m ²
Peso por rollo	184 kg
Dimensiones del rollo	Diámetro: 1'000 mm
	Longitud: 3'500 mm
Peso por m ²	2,10 kg/m ²

Tabla n° 1: Especificaciones del refuerzo metálico.

1. Introducción

Los procesos de conservación y mantenimiento tratan de proporcionar a las carreteras las características necesarias para asegurar la comodidad y seguridad de los usuarios; por ello, la rehabilitación de firmes se considera una actuación de gran importancia dentro de las obras públicas, y es política actual la búsqueda de sistemas y soluciones de conservación más eficientes, duraderas, económicas y más respetuosas con el medio ambiente.

La manta metálica de refuerzo Hy-core® es un nuevo producto consistente en una red o malla alveolar tridimensional, producida en acero de alta resistencia.

La manta metálica se integra completamente dentro de la capa bituminosa, absorbiendo los esfuerzos de tracción y eliminando la aparición de fisuras reflejadas en la superficie y las producidas por la fatiga de los firmes flexibles.

Estudios previos realizados sobre la manta metálica fueron orientados a la búsqueda de las dimensiones y forma adecuadas de forma tal que el producto compuesto –malla de acero+aglomerado asfáltico– se comportase en conjunto como un único material de características y comportamiento diferente y mejorado con respecto a las mezclas asfálticas sin armar.

Partiendo de un diseño inicial, la malla ha sufrido una serie de modificaciones en el tiempo hasta llegar a una geometría definitiva y perfectamente adecuada a las necesidades



Foto 1. Detalle de la manta metálica de refuerzo del firme al extender el aglomerado.

técnicas de la misma. El diseño definitivo de la manta metálica presenta las características indicadas en la tabla n° 1.

2. Descripción

La manta de acero está constituida por una serie de láminas de acero soldadas de manera especial formando una red alveolar tridimensional de espacios cerrados y elevada rigidez.

Este diseño permite que el hormigón asfáltico se introduzca en el interior de las celdas romboédricas consiguiéndose un efecto caja, quedando perfectamente integrada en la parte inferior de la capa a reforzar. De esta forma se elimina el efecto “sándwich” o de discontinuidad entre capas provocado por el uso de las interfases tradicionales, garantizando la continuidad vertical entre capas del firme (foto 1).

El refuerzo queda perfectamente integrado dentro del aglomerado y transmite las tensiones a la capa superior, producto del esfuerzo cortante generado entre el agregado pétreo

y la manta, no requiriéndose la adición de aglomerantes o productos especiales para la adherencia del refuerzo o entre las capas sucesivas del firme.

La unión de las celdas se realiza por medio de alambres de acero de alto límite elástico, en forma de pasadores uniendo las filas de rombos sucesivos, lo cual permite el giro de la malla facilitando su transporte y manipulación en rollos. Esta posibilidad

de almacenaje en forma de rollos de distintas longitudes y anchos aporta gran versatilidad al producto siendo patente su facilidad de puesta en obra.

3. Estudios realizados, características y propiedades del aglomerado reforzado

La manta metálica ha sido sometida a un amplio estudio de caracterización, diseño y evaluación del comportamiento conjunto con mezclas bituminosas. Entre otros estudios realizados se pueden destacar: ensayos estáticos a flexotracción para el diseño del producto; ensayos de adherencia entre capas, ensayos de remonte de fisuras y ensayos dinámicos de fatiga a flexotracción de mezclas reforzadas y sin refuerzo.

Ensayos de remonte de grietas. La reflexión de las grietas se detiene cuando se introduce la manta metálica y la cara exterior trabaja casi elásticamente. Se consigue, por tanto, transferir la energía proveniente de las grietas del firme antiguo al entra-

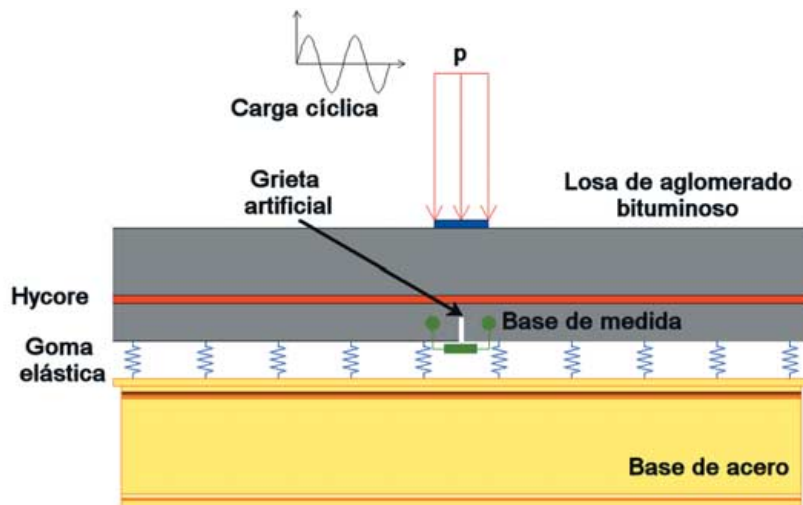


Figura 1. Esquema del ensayo de remonte de grietas.



Figura 2. Resultados de los ensayos de remonte de grietas.

mado metálico de refuerzo y detener la migración de las grietas a través de las nuevas capas de aglomerado asfáltico (figuras 1 y 2).

La presencia del refuerzo evita la progresión de la apertura de la fisura, deteniendo la migración de la grieta. La elevada rigidez y elasticidad de la malla mantiene la rigidez a flexión de la losa de aglomerado reforzado para un elevado número de repeticiones de carga en comparación con la misma sección sin refuerzo, que falla alrededor de las 10 000 aplicaciones de carga.

De los resultados de las pruebas de laboratorio se han obtenido las conclusiones siguientes:

■ Comparativamente, las probetas reforzadas con malla metálica controlan el proceso de reflexión de grietas del orden de 25 veces más ciclos

de carga que las probetas sin malla, sin apreciarse ninguna fisura en el aglomerado.

■ El entramado metálico se presenta como una solución capaz de detener la formación y migración de grietas de reflexión, incluso para espesores relativamente delgados de aglomerado asfáltico.

Ensayos de resistencia a la fatiga bajo efecto de flexión dinámica repetida a esfuerzo constante.

Las tensiones de tracción en la cara inferior del paquete de aglomerado del firme y la deformación elástica asociada condicionan la vida útil del pavimento. El agrietamiento por fatiga se puede controlar con la introducción de la malla de refuerzo metálico en la zona en tracción, modificando las condiciones de trabajo y ejerciendo un importante efecto en la durabilidad del firme.

La evaluación del efecto del refuerzo en la durabilidad de los firmes se simuló mediante ensayos de fatiga sobre losas armadas a escala natural y sobre muestras de control (figuras 3 y 4).

Los resultados de las pruebas de

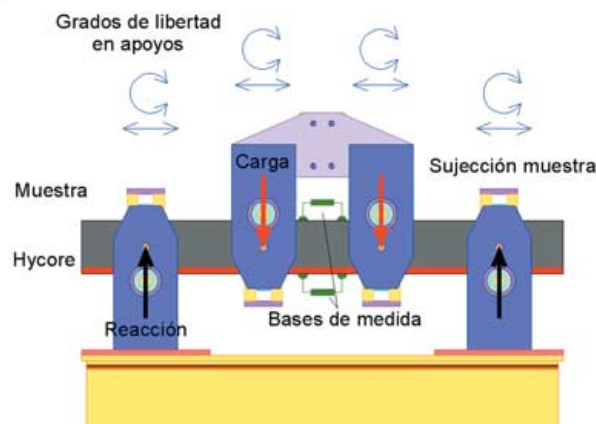


Figura 3. Esquema del ensayo de fatiga a flexión en 4 puntos.

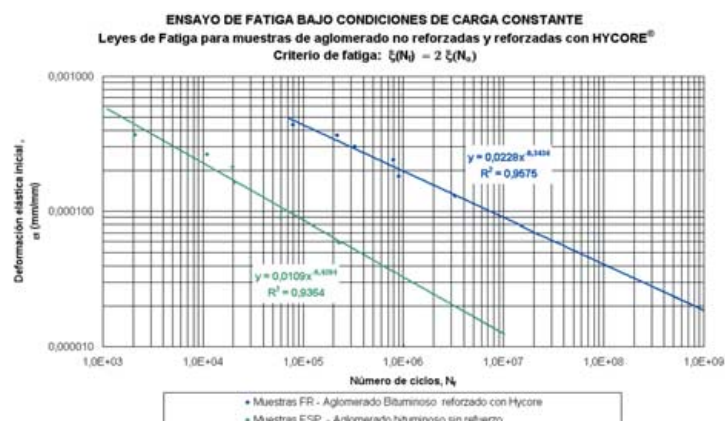


Figura 4. Resultados de los ensayos de fatiga a flexión dinámica en cuatro puntos en condiciones de esfuerzo constante.

laboratorio han sido muy positivos, destacándose como las principales conclusiones las siguientes:

- Los ensayos de fatiga confirmaron las expectativas, y han demostrado un incremento en las aplicaciones de carga soportadas antes de la fatiga (incremento de vida útil) por encima de 50 y hasta más de 100 veces mayor en las muestras reforzadas con la manta metálica, respecto a las de referencia.

- Esta mejora relativa de vida útil puede ser empleada de una forma más eficiente permitiendo mayores deflexiones elásticas con la consecuente reducción del espesor de las capas estructurales y manteniendo a la vez incrementos de durabilidad razonables dentro del orden de vida de las estructuras diseñadas, del orden de 5 a 10 veces mayores con respecto a la solución convencional con hormigón asfáltico.

- La inclusión de este tipo de refuerzo en el hormigón asfáltico crea un nuevo material de durabilidad excepcional, eficiente económicamente, tanto en la rehabilitación como en la construcción de firmes nuevos.

- Desde el punto de vista medioambiental, el incremento de la vida de servicio conjuntamente con la reducción de los espesores de capas asfálticas sumado a la reducción de la frecuencia de las actuaciones de mantenimiento redundan en menores consumos de materiales, materias primas y energía.

4. Pruebas de instalación de mezclas bituminosas reforzadas con manta metálica.

Se han realizado tres tramos de prueba en Cantabria situados en zonas de elevado tráfico pesado para evaluar el comportamiento de las mezclas reforzadas con manta metálica.

De esta forma, bajo una atenta vigilancia del proceso de ejecución y un seguimiento posterior de los tramos, se han establecido los parámetros más importantes de la puesta en



Foto 2. Localización del tramo nº 1.

obra del producto: descripción del proceso de colocación in situ con la maquinaria de obra civil, mostrando especial atención a su circulación sobre la malla metálica, y aportación de recomendaciones de la puesta en obra del nuevo material.

4.1. Tramo de prueba nº1: Ayuntamiento de Camargo en Cantabria

Ubicación. El tramo se encuentra situado en la localidad de Camargo (Cantabria), en la carretera CA-307, dependiente administrativamente de la Dirección General de Carreteras, Vías y Obras de la Consejería de Obras Públicas del Gobierno de Cantabria.

Este tramo de vía se caracteriza por un elevado volumen de vehículos pesados en continuo movimiento, como consecuencia de la cercanía de la cantera de áridos "Candesa Camargo" y la planta de aglomerado asfáltico de la empresa "Arruti" (foto 2).



Foto 3. Estado del tramo de prueba de Camargo previo a la colocación del refuerzo y después de fresado.

Objetivo. Con este tramo se perseguía la realización de una prueba de instalación del producto y evaluar la factibilidad de operar las máquinas de pavimentación sobre la malla metálica; así como la verificación del espesor mínimo, desde el punto de vista constructivo, que se debe colocar sobre la malla de refuerzo.

Descripción. La longitud total del tramo fue de 100 m, reforzando el carril más solicitado por el tráfico en una anchura de 3,50 m. La malla metálica de refuerzo se extendió en 50 m, y la otra mitad no se reforzó, para así poder evaluar comparativamente el efecto de la malla.

Proceso constructivo. El estado previo del tramo presentaba un agotamiento generalizado del firme, presentando numerosas grietas de piel de cocodrilo, descarnaduras, humedades de infiltración y hundimientos de la superficie.

Fresado del firme antiguo. Se procedió al fresado del firme existente en

un espesor suficiente para regularizar la superficie y extraer la parte necesaria para crear una caja de al menos 50 mm de profundidad (foto 3).

El espesor medio de fresado fue de 50 mm, establecido previamente como hipótesis de mínimo espesor de capa para el refuerzo. Este espesor no se determinó por criterios estructurales. Para la rehabilitación se empleará un aglomerado tipo D-12. La maquinaria utilizada consistió en una fresadora con cabeza de diamante y cinta de carga que vertía directamente sobre un camión volquete para transportar el material a vertedero.

Puesta en obra de la malla de refuerzo. Sobre la superficie fresada y limpia se extendió la manta metálica, proceso que se realizó con extrema facilidad al estar la malla suministrada en rollos de 3,50 m de anchura y 25 m de longitud. El transporte del refuerzo dentro la zona se realizó por medio de una minicargadora. Su extensión pudo realizarse rápidamente con un número reducido de operarios.

La junta transversal entre paños se realizó por solape de al menos un rombo del final de cada rollo, asegurando la continuidad del refuerzo en el tramo. El paso por los sumideros en los bordes del carril se realizó mediante el recorte de la malla con una sierra radial, ajustando perfectamente la malla a la geometría del tramo.

Riego de adherencia. Entre la superficie antigua y la nueva capa se extiende la forma tradicional, con el mismo producto bituminoso y dosificación que en el caso de extensión de una nueva capa sin refuerzo metálico (foto 4).

Se aplicó un riego con emulsión bituminosa de rotura rápida mediante un camión cisterna y una lanza dosificadora circulando por encima de la malla colocada.

Extensión y compactación del aglomerado. El aglomerado fue extendido empleando un tren de máquinas tradicional, compuesto por una extendedora y dos camiones volquete de tipo bañera para el transporte de la mezcla bituminosa desde la



Foto 4. Detalle de la extensión de la malla y riego de adherencia.



Foto 5. Extensión y compactación del aglomerado de la nueva capa encima de la manta metálica de refuerzo.

planta de aglomerado (foto 5).

La compactación se llevó a cabo con un rodillo liso (una primera pasada vibrando y las posteriores sin vibración), y posteriormente con uno de neumáticos (foto 6).

Resultados obtenidos. Como consecuencia de la prueba de aplicación, se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La puesta en obra de la manta metálica de refuerzo de forma alveolar y tridimensional es muy sencilla y

no interfiere el proceso de extendido del aglomerado.

- El paso de los camiones de acopio del aglomerado y la extendedora sobre la manta metálica es soportado perfectamente por la misma.

- El tráfico de camiones desde un acceso lateral se mantuvo sobre la manta durante la ejecución del tratamiento.

- La manta no daña los neumáticos de los vehículos ni las orugas de la extendedora.



Foto 6. Tráfico transversal abierto durante la puesta en obra.

■ La manta de acero permite ser extendida siguiendo una ligera curvatura de la calzada, no obstante se recomienda la fijación de la manta al aglomerado al menos en los extremos, para evitar la formación de pliegues.

■ EL refuerzo se adapta perfectamente a las obras de drenaje, sumideros, registros, etc. existentes en la calzada. Una vez extendida la forma del obstáculo es cortada con una radial. El diseño de la malla permite la realización de estos cortes sin afectar las características resistentes de la manta metálica.

■ Las juntas por solapo funcionaron perfectamente y no interfirieron la puesta en obra del aglomerado.

■ El espesor de 50 mm resulta muy justo, por lo que se recomienda para usos generales el empleo de espesores mínimos de 70 mm.

4.2. Tramo de prueba n° 2: Vía de acceso al puerto de Santander y Ciudad del Transportista.

Ubicación. Este tramo se encuentra en una de las vías de acceso al puerto de Santander y salida de la Ciudad del Transportista, en el carril de entrada al puerto desde la autovía A-67 y desde la Ciudad del Transportista. Dicha vía es propiedad de la Autoridad Portuaria de Santander y presenta un elevado volumen de vehículos pesados (foto 7).

Antecedentes. El firme antiguo se encontraba totalmente degradado debido al elevado tráfico de camiones. El proyecto de rehabilitación consistió en la restitución del firme antiguo por 50 cm de base granular de todo uno compactado y una superficie de aglomerado asfáltico de 16 cm de espesor.

Una vez ejecutada la base de todo uno, las pruebas de carga arrojaron valores muy bajos, entre 176 y 333 MPa. En estas circunstancias la solución era la de aumentar el espesor de capas de aglomerado. Sin embargo, la presencia de estructuras en las inmediaciones limitaba esta solución, por lo que se recurrió al refuerzo del firme con malla metálica man-

Foto 7. Localización del tramo n° 2.



teniendo el espesor proyectado.

Objetivo. Con esta aplicación, consistente en una reconstrucción del firme antiguo, se pretende la realización del refuerzo de las capas de aglomerado bituminoso para evitar el incremento de espesor de las capas bituminosas, debido a la calidad insuficiente de la explanada.

En esta aplicación el objetivo es similar al empleo en pavimentos de nueva construcción, es decir, la disminución del espesor de capas de aglomerado del firme y la prolongación de la vida útil mediante el refuerzo con la manta de acero.

Descripción. El tratamiento consiste en la aplicación de la manta metálica de refuerzo en las capas inferiores del paquete de aglomerado asfáltico.

El tramo se dividió en dos zonas, desde el ramal de enlace hasta la estructura del paso superior sobre la Autovía A-67, donde se refuerza el carril de la derecha, que, a su vez, es el sentido más cargado, dejando la otra sección de la calzada como sección de control sin refuerzo.

La sección definitiva de la capa ejecutada consistió en dos capas de aglomerado de 60 mm y 50 mm de espesor, colocadas sobre una capa de regularización de 50 mm ejecutada sobre la superficie de la base granular.

Proceso constructivo. Inicialmente se aplicó un riego de imprimación con emulsión de rotura lenta sobre la capa granular que asegurar la correcta adherencia entre la capa de mezcla bituminosa de regulación y la

base granular. Se empleó un camión cisterna con lanza dosificadora para el riego de emulsión.

Capa de regularización. Previamente a la colocación del refuerzo metálico, se extendió una capa de aglomerado asfáltico de regularización sobre la base granular, con el objeto de obtener una superficie homogénea. El espesor medio de la capa de regularización fue de 50 mm (foto 8).

Puesta en obra de la malla de refuerzo. Una vez obtenida una superficie adecuada, se procedió al transporte del refuerzo metálico al carril seleccionado y su colocación sobre la capa recién extendida. El proceso de transporte fue fácil, dado que la manta metálica se proporcionó en rollos de 25 m de longitud. La manta metálica no se fijó a la capa inferior, ya que esta se encontraba recién extendida y era una mezcla bituminosa en caliente. Se asumió que el peso de la maquinaria de obra favorece la fijación del refuerzo a la capa inferior evitando su movimiento.

Tras la colocación de la malla, se procedió a la extensión de un riego de adherencia con emulsión de rotura rápida.

Extensión y compactación de la capa de aglomerado bituminoso sobre la malla metálica. Una vez ejecutado el riego, se extendió otra capa de aglomerado de 60 mm, que haría de capa intermedia reforzada, y posteriormente una capa de rodadura de 50 mm (foto 9).

Resultados obtenidos. Como consecuencia de la aplicación de la man-

ta metálica de refuerzo en este tramo de firme, se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

■ Durante la operación de los vehículos (camiones de abastecimiento de aglomerado) sobre la manta metálica deben evitarse giros y movimientos bruscos, fundamentalmente si la manta no está fijada al firme antiguo, como es en este caso, porque se producen pliegues en la manta. Este defecto se elimina estirando nuevamente la manta una vez retirado el vehículo.

■ La extendidora no desplaza la manta; cualquier arruga existente se corrige con el paso de las orugas, ya que las cadenas de esta pegaban el refuerzo a la capa inferior y desplazaban hacia delante el pliegue hasta el fin del rollo, debido a que el refuerzo está articulado.

■ La instalación se realizó sin dificultad y sin interferencias al proceso de ejecución del aglomerado.

4.3. Tramo de prueba N° 3 – Autovía S-20 (Santander)

Ubicación. Este tramo se encuentra en la autovía S-20 perteneciente a la Red de Carreteras del Estado gestionada por el Servicio de Conservación de la Demarcación de Carreteras en Cantabria del Ministerio de Fomento. El emplazamiento se localizó cercano al enlace con la autovía la autovía A-67 (Santander-Torrelavega, foto 12). El tramo de prueba de 350 m se localizó en el carril izquierdo en la dirección Sardinero – A-67. La ejecución se llevó a efecto desde la media noche del 2 de julio del 2007 a la mañana de día siguiente.

Antecedentes. La zona seleccionada presentaba una superficie ondulada y extremadamente irregular, provocada por el empleo en su construcción de escorias no inertes en la explanada. El uso de estos materiales expansivos en la construcción del terraplén que compone la explanada del tramo ha supuesto continuos cambios de volumen de las capas inferiores del firme. Estas contraccio-



Foto 8: Estado inicial del tramo y extensión de la capa de regularización previa a la colocación de la manta metálica de refuerzo.



Foto 9. Manta metálica de refuerzo colocada sobre capa de nivelación y compactación de la capa de aglomerado asfáltico colocada sobre la manta metálica previo riego de adherencia.

nes e hinchamientos de la explanada han deformado el firme, generando las referidas ondulaciones y el agrietamiento del paquete de capas de aglomerado, fundamentalmente en sentido longitudinal.

Estas deficiencias en la calidad del firme de la autovía en este sector provocaban un elevado nivel de incomodidad para los conductores y un peligro constante en la conducción (foto 10, véase la página siguiente).

La solución proyectada consistió en la eliminación de 12 cm de la parte superior del firme por medio del fresado y su restitución por una capa de 8 cm de aglomerado en caliente reforzado con la manta metálica de refuerzo y terminado con 4 cm de mezcla porosa en rodadura.

Objetivo. Con esta aplicación, se pretenden obtener los siguientes resultados:

■ Mejorar la regularidad superficial del firme mediante el fresado y reposición las capas superiores.

■ Aumentar la durabilidad de la solución aplicada mediante el refuerzo del nuevo firme con la manta de acero alveolar tridimensional. Este aumento de durabilidad se logra mediante las siguientes propiedades del refuerzo:

- Evitar el remonte de las grietas de la zona antigua del firme hacia la superficie.

- Armar el firme para controlar la apertura de nuevas grietas y evitar la entrada de agua a la explanada, estabilizando los contenidos de hume-

dad de la misma y reduciendo los movimientos diferenciales producidos por sobre humedecimientos locales alrededor de las grietas o por la variación de la humedad en los bordes laterales que provocan los levantamientos y agrietamientos del firme.

Tratamientos similares en otras localizaciones cercanas sin el refuerzo de manta metálica tienen una duración de unos dos a tres años.

En esta aplicación el objetivo es similar al que se persigue con el refuerzo de firmes flexibles con acero en los países nórdicos para controlar el agrietamiento longitudinal del

Foto 10. Localización del tramo nº 3.



Foto 11. Firme ondulado en la zona del tratamiento.

pavimento debido a los cambios de volumen de la explanada por las heladas (foto 11).

Descripción. La longitud total del carril a tratar se dividió en dos partes iguales de 175 m, reforzado un sector y dejando el siguiente sin reforzar como sección de control.

El tratamiento del refuerzo consistió en la colocación en el fondo de la zona fresada de la manta metálica (7 rollos de 25 m de longitud y 3,50 m de ancho), sobre la que se extendieron de la forma tradicional las capas de aglomerado.

Proceso de constructivo. El proceso constructivo es similar al empleado en los dos tramos anteriores, con la introducción de los detalles y ajustes obtenidos de la experiencia anterior.

En este tramo se realizaron dos modificaciones sencillas y fundamentales para la obtención de una

adecuada calidad de la extensión de la manta y garantizar que, en todo momento, se encuentre estirada y sin pliegues. Estas modificaciones fueron las siguientes:

- Fijación de la manta a la superficie antigua mediante pistola y clavos especiales.

- Modificación del proceso de operación de los camiones y de alimentación de la tolva de la extendidora.

Fresado y limpieza del pavimento antiguo. El fresado de la superficie del firme se realizó por medio de una fresadora de cabeza de diamante y cinta cargadora que vertía el material sobrante en un camión volquete para su transporte a acopio en planta para el reciclado (foto 12).

La profundidad del fresado fue de 120 mm, acorde con lo especificado en el proyecto.

Puesta en obra de la malla de refuerzo. Los rollos de la manta metá-

lica se trajeron a la obra con un camión con pluma, que descargó los rollos junto a la mediana y lo distribuyó a lo largo del tramo cada 25 m. El desenrollado y la extensión de los rollos se realizó manualmente y con facilidad, dada la ligereza del material.

La unión entre los paños contiguos se realizó con dos maneras diferentes:

a) **Sin juntas.** Para ello se extrajeron los alambres transversales de los extremos de dos rollos consecutivos, eliminando uno y empleando el otro para unir los dos rollos y así obtener un único paño de los rollos contiguos.

b) **Por solapo.** Superposición de el rollo del lado de la extendidora sobre el siguiente, solapando al menos un rombo completo.

La experiencia adquirida en los anteriores trabajos de puesta en obra del refuerzo demostraron que el proceso de colocación y extensión de la



Foto 12. Fresado y aspecto del carril una vez terminada la operación. Se observan las grietas longitudinales y la humedad en el firme procedente de la infiltración de las capas subyacentes.

mallla metálica es sencillo y rápido, y no interfiere ni retarda el proceso de extensión y compactación del aglomerado (foto 13).

Para mantener la manta metálica con una cierta tensión durante la extensión y evitar la formación de pliegues o desplazamientos por operaciones indebidas de los camiones de abastecimiento sobre ella, se decidió fijar la malla a la superficie fresada

por medio de una pistola de cartuchos de pólvora y clavos de acero especiales.

Se colocaron tres o cuatro clavos sobre un alambre transversal al inicio del rollo, luego se estiró manualmente la manta y se realizó la misma operación en el centro y al final del rollo (foto 14).

Riego de adherencia. Sobre la superficie antigua y la malla de refuerzo

se aplicó una emulsión bituminosa de rotura rápida mediante un camión cisterna y una lanza dosificadora. Se aplicó el mismo producto bituminoso y dosificación que en caso de extensión de una nueva capa sin refuerzo metálico.

Extensión de una nueva caja y compactación del aglomerado. Sobre la manta metálica se extendió la mezcla bituminosa convencional con



Foto 13 (arriba). Extensión del refuerzo metálico sobre la superficie recién fresada. Foto 14 (abajo). Grapado del refuerzo metálico con pistola de cartuchos de pólvora en un alambre transversal central e inicial. Con flechas se indica el sentido de avance de la entendedor de aglomerado.



el espesor compactado de 80 mm.

Para la extensión de la mezcla bituminosa, se implementaron medidas especiales para evitar que los camiones de transporte del aglomerado arrastraran la malla durante el abastecimiento de la tolva, ya que frenan los neumáticos para mantener el contacto y bloquean las ruedas arrastrando la manta.

Se sustituyó el proceso tradicional de empujar al camión con la extendidora por el relleno de la tolva en dos etapas alejando el camión entre una y otra operación. El resto de las operaciones de pavimentación se realizó de la forma usual (foto 16).

Una vez extendida y compactada la capa de 80 mm de aglomerado, se colocó la capa de mezcla asfáltica porosa de 40 mm de espesor. Todas las operaciones, desde el fresado hasta la apertura del tráfico, se realizaron desde las 11:00 PM hasta 7:00 AM en que se abrió nuevamente al tráfico (foto 17).

Resultados obtenidos. Como consecuencia de la aplicación de la manta metálica de refuerzo en este tramo de autovía, se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

■ La puesta en obra de la manta metálica de refuerzo es muy sencilla y no interfiere el proceso de extensión del aglomerado, ya que el rendimiento en la colocación de la manta es muy superior a la velocidad de las máquinas de pavimentación.

■ Tanto las juntas por solapo como la unión de dos paños (ausencia

de juntas) pueden ser empleados sin inconvenientes.

■ El paso de los camiones de abastecimiento del aglomerado y de la extendidora es soportado perfectamente por la manta metálica. Hay que seguir rigurosamente el proceso indicado de alimentación de la tolva, evitando que la extendidora empuje al camión con las ruedas bloqueadas.

■ La fijación de la manta en la capa inferior se realizará empleando clavos especiales. Debe ser fijada al menos en los extremos y en el centro de cada rollo, ejecutando una cierta tensión antes de fijarla a la capa inferior.

5. Conclusiones y recomendaciones generales

Se ha demostrado en laboratorio cómo el refuerzo de firmes con malla metálica es una solución efectiva y segura, capaz de aumentar sensible-

mente la vida útil del firme, y evitar la aparición de fisuras en la superficie de los firmes renovados debidas a la reflexión de las grietas del firme antiguo.

Además, el pronunciado efecto en la vida útil de la capa de aglomerado reforzado permite simultáneamente una reducción del espesor de aglomerado necesario por encima del nivel de colocación del refuerzo de alrededor de un 40%.

De la experiencia obtenida en la ejecución de los tres tramos anteriores se pueden plantear las siguientes conclusiones generales:

■ La tecnología de puesta en obra es muy sencilla y no presenta dificultades en la calidad de la obra terminada, si se siguen las recomendaciones relacionadas con la fijación de la manta a la capa inferior y las de operación de los camiones y la máquina extendidora de aglomerado.

■ El rendimiento de la colocación de la manta metálica del tipo em-



Foto 15. Extensión de la emulsión sobre la superficie antigua y manta metálica.



Foto 16. Extensión y compactación del aglomerado sobre la superficie antigua y la manta metálica.



Foto 17. Tramo terminado a la mañana siguiente (izquierda) y en marzo 2008.

pleando es superior al de extensión y compactación, por lo que el rendimiento de los trabajos no es afectado por la introducción de este producto.

■ El espesor mínimo de 70 mm es el recomendable para una extensión segura de la manta, por lo que se recomienda para usos generales. Espesores menores sólo se pueden aceptar para aglomerado más fino y bajo supervisión de un especialista.

■ La ubicación de manta metálica es más efectiva en la cara inferior del paquete de aglomerado, tanto para el refuerzo de firmes nuevos o rehabilitados como para la prevención de la reflexión de grietas.

■ Las juntas entre paños pueden realizarse por solapo tanto en recta como en curva sin afectar el trabajo de refuerzo. En curvas de radios pequeños puede ser necesario dividir el rollo en dos. Para los radios normales de autovías, la junta cada final de rollo es suficiente para adecuar la manta a tramos en curva. En tramos rectos, pueden unirse los paños consecutivos mediante la última articulación del refuerzo eliminando las juntas.

■ La afección al tráfico. El tráfico de camiones y otros vehículos sobre la manta de forma temporal durante la ejecución de los trabajos no afecta a la misma, ni daña los neumáticos de los vehículos ni las orugas de la extendidora, lo que simplifica la extensión y minimiza las interferencias al tráfico.

■ La fijación de la manta a la superficie subyacente es muy importante para garantizar su correcto funcionamiento, de modo que el refuerzo quede ligeramente estirado y sin pliegues.

■ En vías urbanas, el refuerzo se adapta perfectamente a las obras de drenaje, sumideros, registros, bordillos, etc, existentes; ya que el diseño de la malla permite, una vez extendida, la realización de estos cortes con una radial sin afectar las características resistentes de la manta metálica.

■ El hormigón asfáltico armado con la manta de refuerzo constituye un nuevo producto de durabilidad excepcional y presenta una solución alternativa más eficiente a las utilizadas tradicionalmente con elementos metálicos en el refuerzo de firmes y otros tipos de interfases con objetivos similares, siendo de sencilla tecnología de puesta en obra.

■ Permite la reducción de las capas de aglomerado del orden del 40%, obteniendo simultáneamente un considerable aumento de su vida de servicio.

■ También permite una reducción sustancial de los costes de mantenimiento, debido a la disminución de la frecuencia y la magnitud de las actuaciones de conservación y mantenimiento de la carretera. El control de las grietas de fatiga y la gran durabilidad del firme permitirá concentrar las operaciones de mantenimiento y reparación fundamentalmente en lo que

a calidad de la superficie se refiere.

■ Medioambientalmente es más eficiente, ya que el refuerzo con manta metálica contribuye al ahorro de materiales, materias primas y un uso mejor de los recursos naturales no renovables, recursos energéticos y financieros.

■ Hay un importante efecto en la reducción de las emisiones de CO₂ y gases de efecto invernadero por el empleo de la manta metálica de refuerzo, gracias a la prolongación de la vida útil de los firmes, al menor consumo de aglomerados, al menor volumen de material que fresar y reciclar, así como por un menor uso de recursos materiales y unas actividades de mantenimiento menos frecuentes.

6. Referencias bibliográficas

TORRES VILA, J. A y LLANO FLÓREZ, J. M. (2005) Reporte Final del Proyecto: "Hycore Asphalt Mat. Reinforcement and Rehabilitation of Road Pavement Structures with Steel Mats to Save Costs and to Prolong Service Life". Internal Report. 3S Geotecnia y Tecnología, S.L. (Spain) y Fortatech, A. G. (Switzerland) pp. 1 - 156.

CALZADA PÉREZ, M.A. y VEGA ZAMANILLO, A., (2005): "Estudio Preliminar y Ensayos de Mezclas Bituminosas Reforzadas, con Fibras o Banda metálica". Área de Caminos y Aeropuertos. Departamento de Trans-

Rutas Técnica

portes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.

CALZADA PÉREZ, M.A., VEGA ZAMANILLO, A. y RUIZ FERNÁNDEZ, S. (2007): "Estudios y Ensayos Dinámicos de Mezclas Bituminosas Reforzadas con Manta Metálica Tipo HYCORE®: Leyes de Fatiga y Módulos Dinámicos". Área de Caminos y Aeropuertos. Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.

CALZADA PÉREZ, M.A., VEGA ZAMANILLO, A. y RUIZ FERNÁNDEZ, S. (2007): "Evaluación de las Pruebas de Instalación de Mezclas Bituminosas Reforzadas con Manta Metálica Tipo HYCORE®". Área de Caminos y Aeropuertos. Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos. Universidad de Cantabria.

FORTATECH. "Asphalt mat for new and old pavement sand rehabilitation. Reinforcement and prevention of lon-

gitudinal and transverse cracking and tracking. HYCORE® installation manual".

REFLEX (2002) "Reinforcement of Flexible Road Structures with Steel Fabrics to Prolong Service Life – Guidelines" Final Report T9/02. BRI-TE/EURAM.

TORRES VILA J. A., VEGA ZAMANILLO, CALZADA PÉREZ, M.A., LLANO FLÓREZ J. M., "Hycore® steel mat for asphalt pavement construction and maintenance" 4th INTERNATIONAL SIV CONGRESS (Società Italiana Infrastrutture Viarie), Palermo, Italia, Sept. 2007.

TORRES VILA. J. A., LLANO FLÓREZ J. M., CALZADA PÉREZ, M. A., VEGA ZAMANILLO, A y KURT FRECH: "Empleo de la manta de acero Hycore en la construcción y mantenimiento de pavimentos asfálticos" XIV Congreso Ibero Latinoamericano de Asfalto CILA, La Habana Cuba, Nov. 2007.

Agradecimientos

Nuestro reconocimiento expreso a D. Bernhard Eicher (Grupo Brugg, Suiza), por el esfuerzo realizado para hacer posible este proyecto, a D. Juan Carlos Mas Bahillo (Jefe del Servicio de Conservación de la Demarcación de Carreteras en Cantabria del Ministerio de Fomento) y a D. Manuel del Jesús Clemente (Director General de Carreteras, Vías y Obras de la Consejería de Obras Públicas y Vivienda del Gobierno de Cantabria), por la confianza depositada en el grupo de trabajo, así como a las empresas ARRUTI, S. A. y SENOR, S.A., por la colaboración ofrecida en diferentes fases de este proyecto, y a la Dirección de Tecnología del Ministerio de Fomento de España, por permitirnos la aplicación del producto en la red principal de Carreteras del Estado. ■