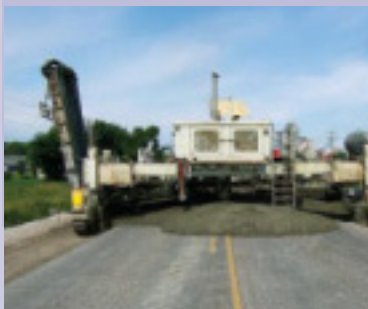


Refuerzos con hormigón de pavimentos bituminosos



Introducción

Una opción a considerar en el refuerzo de un pavimento bituminoso es la extensión sobre el mismo de un pavimento de hormigón, técnica conocida también como whitetopping, con la que se consigue un incremento muy notable de la capacidad de soporte.

Existe una gran experiencia con este tipo de refuerzos, con realizaciones que datan desde comienzos del siglo XX. Aunque los más empleados son los refuerzos con pavimentos de hormigón en masa y los armados continuos sin juntas, se han utilizado todas las tipologías disponibles de pavimentos de hormigón: en masa, armados con juntas, con armadura continua, reforzados con fibras y pretensados.

La principal ventaja de estos refuerzos es que, correctamente ejecutados y construidos, permiten prolongar la vida del firme existente durante más de 30 años, con unas necesidades de mantenimiento muy reducidas.

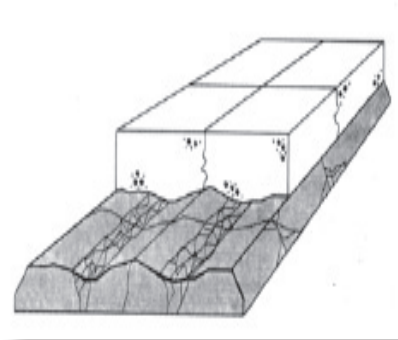
Por otra parte, aportan las ventajas de los pavimentos de hormigón en cuanto a sostenibilidad, seguridad para el usuario, reducción de consumo de combustible, menores costes de iluminación y disminución de la temperatura ambiente entre otros.

Otra de las ventajas de los refuerzos con hormigón es que las reparaciones previas a realizar en el firme existente suelen ser muy reducidas. En general, el refuerzo de hormigón se extiende directamente sobre el firme bituminoso, salvo que este presente deformaciones importantes, en cuyo caso es habitual eliminar algunos centímetros de mezcla bituminosa a fin de uniformizar el espesor del refuerzo. No se realiza ningún tratamiento para obtener una adherencia importante entre el refuerzo y el pavimento existente, que pasa a desempeñar el papel de una base de gran calidad.

Una excepción a lo anterior lo constituyen los denominados refuerzos ultradelgados adheridos, que consisten en extender una capa de hormigón de espesor reducido (inferior a 15 cm) sobre un firme bituminoso que se encuentra en buenas condiciones. Se utilizan en obras sometidas a tráficos no muy elevados, en las que se pretende mejorar algunas características superficiales del firme, como por ejemplo la resistencia a esfuerzos tangenciales. En esta solución, se adoptan una serie de medidas para garantizar una adherencia correcta entre el refuerzo y las capas bituminosas del firme existente, que deben trabajar de forma conjunta.

Las técnicas de construcción no presentan diferencias notables con las que se emplean en pavimentos de calzadas nuevas.

Como las obras de refuerzo no pueden permanecer cerradas al tráfico durante un período prolongado, es frecuente el empleo de hormigones de desarrollo rápido de resistencias (también conocidos como fast-track).

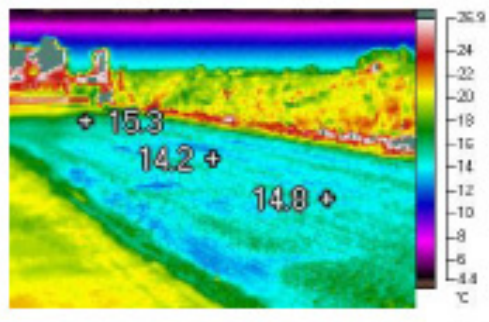
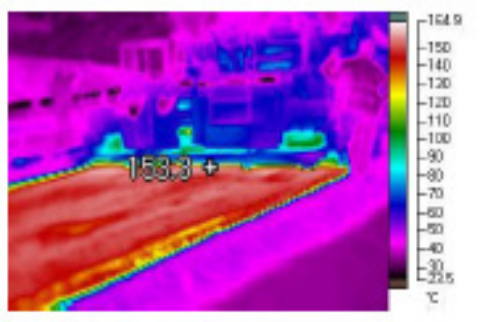


Refuerzo de hormigón sobre pavimento bituminoso (whitetopping)

Ventajas y contribuciones a la sostenibilidad

Ventajas medioambientales

- Los refuerzos con hormigón emplean recursos naturales locales prácticamente inagotables (no consumen derivados del petróleo)
- El consumo de áridos de calidad es menor que el de otras alternativas a lo largo del periodo de servicio de 30 o más años para el que se proyectan
- Permiten el empleo de áridos reciclados (RCDs), procedentes de pavimentos existentes
- Son reciclables en su totalidad al final de su vida útil, posibilitando el ahorro de áridos naturales
- Son muy duraderos, por lo que se evita el consumo de nuevos recursos y se reducen las emisiones de CO₂ debidas a las operaciones de mantenimiento o refuerzo
- Pueden capturar CO₂, lo que contribuye a mejorar el balance de emisiones a lo largo de su vida útil
- Requieren menor iluminación dada su claridad, con la consiguiente disminución del consumo energético
- Reducen el efecto invernadero y contribuyen al enfriamiento global, al disminuir la cantidad de radiación solar absorbida por la superficie de la Tierra
- No emiten lixiviados ni volátiles



Temperaturas (asociadas a las condiciones de puesta en obra para los operarios) de un pavimento bituminoso (izquierda) y otro de hormigón (derecha)

- Es una técnica especialmente adaptada al empleo de cementos con alto contenido de adiciones. Ello se traduce en una disminución de las emisiones durante su fabricación, al reducir la cantidad de clínker empleado e incorporar subproductos industriales como escorias o cenizas volantes, lo que favorece el cumplimiento del protocolo de Kioto y de los compromisos de desarrollo sostenible.

Ventajas técnicas

- Tienen una excelente capacidad estructural. En los refuerzos no adheridos el firme existente se comporta como una base de gran calidad, cuya capacidad de soporte es superior a la de las bases utilizadas habitualmente en firmes de nueva ejecución.
- La durabilidad es más elevada que la del resto de soluciones, sin apenas mantenimiento. Son numerosos los ejemplos de pavimentos sometidos a tráficos importantes que superan los 40 años en muy buenas condiciones de servicio.
- Poseen una alta resistencia a los ataques de carburantes y agentes químicos.
- Son muy resistentes a los esfuerzos tangenciales, lo que hace muy adecuado su empleo en glorietas y cruces de calles.



Textura de árido visto

- Pueden dárseles fácilmente una gran variedad de texturas. Las de árido visto permiten obtener niveles de sonoridad inferiores a los del resto de pavimentos, sobre todo a largo plazo, sin sacrificar la resistencia al deslizamiento.
- Reducen la distancia de frenado, lo que se traduce en mayor seguridad para el usuario.
- Son incombustibles y resistentes al fuego. Tanto por su menor carga de fuego como por no emitir gases tóxicos están particularmente indicados para garantizar la seguridad en el interior de túneles.
- Evitan la aparición de roderas.
- En función de la textura elegida, permiten obtener niveles de resbaladidad y de resistencia al deslizamiento adaptados a cualquier tráfico y condición meteorológica.
- Es posible combinar colores y texturas mediante el empleo de pigmentos y el tratamiento de la superficie del hormigón, permitiendo una gran variedad de acabados estéticos.
- En su puesta en obra se evita la exposición de los operarios a altas temperaturas, gases nocivos y partículas en suspensión.

Ventajas económicas

- El consumo de combustible es menor que sobre otros tipos de firmes, por las menores deformaciones que se producen en el hormigón al paso del tráfico, especialmente en el caso de vehículos pesados. En algunos estudios (Suecia, Canadá, Japón) se han medido disminuciones del 1,1% en el consumo en vehículos ligeros y del 6,7% en pesados.
- El coste de construcción es similar al de otras soluciones, mientras que la vida útil es mayor y las necesidades de mantenimiento son menores. Por ello, los costes totales (inversión inicial + conservación) son inferiores a los de cualquier otra solución.

- Debido a que las operaciones de mantenimiento son muy escasas, la afección que producen sobre los usuarios es mínima. Por ello son muy bajos los costes derivados de dichas operaciones, como los debidos a retenciones, accidentes u otros.
- La práctica totalidad de las ventajas medioambientales y técnicas anteriormente citadas también se traducen en ventajas económicas.

Tipo de hormigón

En los refuerzos con hormigón se pueden emplear tanto mezclas convencionales como mezclas de rápida apertura al tráfico (fast-track).

En la mayoría de los casos, las mezclas convencionales suelen ser suficientes, pero en zonas congestionadas o que requieran ponerse en servicio con la mayor rapidez posible, las mezclas fast-track pueden ser muy útiles al permitir la apertura del pavimento al tráfico a partir de las 6 horas de su puesta en obra.

Las proporciones de la mezcla de hormigón dependerán del comportamiento requerido. En la tabla 1 se dan ejemplos de mezclas convencionales y de apertura rápida al tráfico que se han empleado con éxito en algunas obras de refuerzo con hormigón.

Tabla 1. Ejemplos de dosificaciones utilizadas en refuerzos con hormigón

MATERIAL	HORMIGÓN CONVENCIONAL (m ³)	HORMIGÓN DE RÁPIDA APERTURA (FAST TRACK) (m ³)
Cemento	350 kg	
Cemento de alta resistencia inicial		420 kg
Árido grueso	900 kg	840 kg
Árido fino	900 kg	840 kg
Agua/cemento	0,45 máx.	0,42
Plastificante	Sí	Sí
Aireante	Sí	Sí

Refuerzos de hormigón no adheridos a pavimentos bituminosos

Introducción

Los refuerzos de hormigón no adheridos constituyen una excelente opción de rehabilitación de los firmes bituminosos que tengan un nivel importante de deterioro, siempre que estos últimos no procedan de la explanada, salvo en zonas puntuales.

A este respecto, la Norma 6.3 - IC "Rehabilitación de firmes" del Ministerio de Fomento define unos umbrales de las deflexiones del firme existente (tablas 2 y 3) que indican la necesidad de un estudio especial para evaluar si la opción de reforzar el firme es la más conveniente o bien si hay que proceder a actuaciones de reposición de la explanada y de reconstrucción del firme.

Dimensionamiento

En el caso de los refuerzos no adheridos sobre firmes bituminosos, los espesores prescritos por la Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" del Ministerio de Fomento (tabla 4) son ligeramente inferiores a los necesarios en el caso de firmes nuevos.

Debido a problemas de geometría, gálibo y ocupación de terrenos, no siempre es posible elevar la cota de la carretera en una obra de refuerzo. En estos casos un inlay con hormigón, es decir la extensión del mismo en una caja abierta en el firme existente, es una solución que puede proporcionar un resultado satisfactorio.

Reparaciones previas a la puesta en obra

Antes de la extensión del refuerzo, solo es preciso corregir las deformaciones importantes del firme existente, tales como roderas de más de 2 cm de profundidad o baches de gran tamaño. Por otra parte, las zonas que no proporcionen un soporte estable al pavimento de hormigón necesitan ser saneadas y sustituidas.

Una opción a la que se recurre con frecuencia es el fresado de algunos centímetros de la mezcla bituminosa existente, a fin de que el refuerzo tenga un espesor lo más uniforme posible. Esta alternativa presenta un interés particular si se utiliza para el refuerzo un pavimento continuo de hormigón armado, puesto que el volumen de armadura a disponer depende del espesor. El disponer una capa de nivelación de mezcla bituminosa tiene el inconveniente de elevar más las cotas y, en general, un mayor coste.

Tabla 2. Umbrales del valor puntual de la deflexión patrón (10^{-2} mm) en firmes flexibles y semiflexibles para los que se considera que el agotamiento estructural afecta a la explanada

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	DEFLEXIÓN PATRÓN (centésimas de milímetro)
T00	100
T0	125
T1	150
T2	200
T3	250 (*)
T4	300 (*)

(*) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autiopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 200

Tabla 3. Umbrales del valor puntual de la deflexión patrón (10^{-2} mm) en firmes semirrígidos para los que se considera que el agotamiento estructural afecta a la explanada

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	DEFLEXIÓN PATRÓN (centésimas de milímetro)
T00 y T0	75
T1 y T2	100
T3 y T4	125 (**)

(**) Excepto en antiguas carreteras que actualmente son vías de servicio de autiopistas y autovías interurbanas, cuyo umbral será 100

Tabla 4. Espesores mínimos (cm) de refuerzo no adherido de firme con pavimento bituminoso mediante pavimento de hormigón (Norma 6.3-IC)

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE HORMIGÓN (*)	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO					
		T00	T0	T1	T2 y T31	T32	T4
CONTINUO DE HORMIGÓN ARMADO (**)	HF-4,5	24	21	19			
	HF-4,0	-	23	21			
HORMIGÓN EN MASA	HF-4,5			23	-	-	-
	HF-4,0			25	21	20	18
	HF-3,5			-	23	22	20

(*) La nomenclatura adoptada corresponde a Hormigón de Firme (HF) seguida del valor de la resistencia a flexotracción en megapascuales (MPa). Estos hormigones deben cumplir las características especificadas en el artículo 550 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3) del Ministerio de Fomento.

(**) La cuantía geométrica de las armaduras longitudinales en pavimentos continuos de hormigón armado es del 0,7 % para hormigones HF-4,5, y del 0,6 % para hormigones HF-4,0.

Los baches importantes han de rellenarse con árido de machaqueo o bien con mezcla bituminosa (en frío o en caliente).

Por el contrario, muchos deterioros frecuentes en los firmes de mezcla bituminosa, como los cuarteos en malla gruesa o los agrietamientos en piel de cocodrilo no demasiado severos, no requieren ninguna reparación previa antes de la extensión del refuerzo de hormigón.

En la tabla 5 se resumen los criterios a seguir en lo que se refiere a las operaciones previas a la extensión del refuerzo.

En ocasiones hay que realizar correcciones importantes de peralte. Este puede ser el caso, por ejemplo, de calzadas bidireccionales que, en una actuación de duplicación, se transforman en unidireccionales. Dichas correcciones pueden realizarse extendiendo el hormigón directamente sobre la calzada existente (con lo cual quedaría con un sobreespesor en alguno de los carriles, aumentando con ello la seguridad estructural del pavimento) o bien con unas cuñas de mezcla bituminosa, para poder dar un espesor uniforme al refuerzo).



Extensión de hormigón sobre firme bituminoso fresado previamente para regularizar el espesor del refuerzo

Tabla 5. Refuerzos con hormigón de firmes bituminosos. Operaciones previas

DETERIORO	REPARACIÓN A REALIZAR	OTROS FACTORES A TENER EN CUENTA
Roderos (< 2 cm)	Ninguna	Adaptar la profundidad de serrado de las juntas
Roderos (>2 cm)	Fresado o capa de nivelación	Comparación de costes
Ondulaciones	Posible fresado	Drenaje
Desintegración	Ninguna	Barrido de la superficie
Agrietamiento transversal	Ninguna	Tratamiento antiadherente
Cuarteo en malla gruesa	Ninguna	
Piel de cocodrilo	Ninguna	
Grietas longitudinales	Ninguna	
Exudación	Ninguna	

Puesta en obra

Cuando la temperatura es superior a 40 – 50 °C, el color oscuro de las mezclas bituminosas puede provocar incrementos importantes de su temperatura, y con ello, agrietamientos por retracción en el hormigón. Para evitarlos, se recomienda en estos casos regar con agua antes de extender el refuerzo, procurando que no se formen charcos en la superficie, o bien extender una capa de color blanco (por ejemplo una lechada de cal).

La construcción de un refuerzo de hormigón presenta pocas particularidades con respecto a la ejecución de un pavimento en una calzada nueva. Hay que asegurar que el pavimento tenga siempre un espesor igual o superior al de proyecto, especialmente en los puntos en los que haya que realizar correcciones de perfil longitudinal o de peraltes.

Las limitaciones de espacio que son frecuentes en este tipo de obras, obligan a una planificación cuidadosa de las mismas, especialmente en lo que se refiere al suministro de hormigón.

Realización de juntas

El serrado de las juntas transversales y longitudinales se debe realizar lo antes posible, para asegurar que no se produzcan grietas imprevistas.

Los cortes de sierra realizados en el hormigón endurecido han de alcanzar como mínimo un tercio del espesor nominal del

refuerzo. Cuando por la presencia de roderas u otras causas el espesor no sea constante, se debe realizar un corte más profundo en cualquier punto donde el espesor del refuerzo varíe en más de 2 cm con respecto al nominal.



Riego previo con producto de color blanco para disminución de la temperatura de la mezcla bituminosa



Ejecución con refuerzo no adherido

- la carretera de acceso a la Punta del Sebo (1978), en el Puerto Autónomo de Huelva, con una longitud de 4,5 km y dos calzadas de 7 m de ancho cada una de ellas.
- un tramo de la autovía A-23 entre Zaragoza y Villanueva de Gállego (1991), en el que se desdobló la carretera existente. Sobre la calzada antigua se extendió un refuerzo de hormigón con un espesor medio de 27 cm, en una longitud de 6,7 km.

La carretera a reforzar tenía un bombeo a dos aguas del 2% en recta. En la nueva calzada se pasó a un bombeo uniforme hacia el exterior, también del 2%, lo que obligó a la ejecución de una cuña de regularización ejecutada con mezcla bituminosa. A excepción de dicha cuña, no se realizó ningún tratamiento previo del firme antiguo, ni se interpuso ninguna lámina de separación. Hasta el momento no se ha detectado ningún síntoma de fallo estructural a pesar del elevado tráfico pesado (categoría T0 en el proyecto).

Además puede mencionarse el empleo de refuerzos de hormigón compactado en distintas vías de baja intensidad de tráfico, fundamentalmente en Vizcaya. El hormigón se fabrica en plantas convencionales y la puesta en obra se lleva a cabo por contratistas locales. Con una primera realización que data de 1992, el comportamiento de estas obras ha sido muy bueno.

Utilización de la técnica de refuerzos con hormigón de firmes de mezcla bituminosa existentes

Los refuerzos con hormigón de pavimentos bituminosos son muy utilizados en países como Estados Unidos. En Europa constituye un ejemplo muy notable la rehabilitación de distintos tramos de autopistas belgas con tráficos muy importantes (como la salida de Bruselas hacia el mar del Norte), en los que se ha dispuesto un refuerzo de hormigón armado continuo sobre el firme bituminoso existente para evitar los frecuentes problemas causados por las reparaciones de este último.

No son muy abundantes en España los ejemplos de aplicación de esta técnica, aunque en los casos en los que se ha recurrido a la misma los resultados han sido muy satisfactorios.

Como realizaciones más importantes pueden mencionarse las siguientes:



Refuerzo con pavimento continuo de hormigón armado

Con ello se aprovecha la adherencia desarrollada espontáneamente entre el hormigón y las mezclas bituminosas, que se trata de conservar a lo largo de la vida de servicio del refuerzo mediante una serie de medidas a considerar, tanto en el proyecto como en la ejecución:

- por una parte, se realiza un tratamiento de la superficie del pavimento existente (normalmente suele consistir en un fresado o al menos una limpieza muy cuidadosa) antes de la extensión del refuerzo
- por otra, se intentan disminuir al máximo los movimientos verticales hacia arriba que pueden producirse en el refuerzo como consecuencia de la acción de las cargas y de los efectos de origen térmico. El sistema más eficaz consiste en reducir la separación entre juntas hasta 1'50 m o menos. Con ello, el pavimento queda dividido en paneles cuyos movimientos como consecuencia tanto del paso de las cargas como de los gradientes térmicos son pequeños, favoreciendo que permanezcan unidos al firme bituminoso existente.

Esta separación muy reducida entre juntas es una característica típica de esta técnica.



Juntas próximas en refuerzo ultradelgado adherido

Mediante este tipo de refuerzos se dota al firme existente de una nueva capa de rodadura de gran calidad, que frente a las alternativas con mezcla bituminosa presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

- el hormigón no se deteriora con el tiempo, sino que por el contrario va ganando resistencia. Ello hace innecesario el tener que extender otra capa de rodadura al cabo de unos pocos años
- una gran resistencia a esfuerzos tangenciales, lo que es de gran interés en cruces de calles, glorietas, paradas de autobús, etc.
- las características superficiales del hormigón, material que permite obtener fácilmente una adecuada resistencia

Refuerzos ultradelgados adheridos

Introducción

Una innovación en el campo de los pavimentos de hormigón que ha despertado un gran interés son los denominados refuerzos ultradelgados de hormigón adheridos a firmes bituminosos existentes (ultra-thin concrete whitetopping). Esta técnica consiste en extender una capa de hormigón de espesor reducido (entre 5 y 15 cm) sobre un firme bituminoso existente en buen estado, previa realización de un tratamiento para garantizar la unión entre ambos.



Refuerzo ultradelgado adherido a firme bituminoso

al deslizamiento con un nivel de ruido de circulación reducido; una luminosidad elevada, permitiendo disminuir costes de iluminación, al mismo tiempo que se aumenta la seguridad del tráfico nocturno; resistencia a los ataques de carburantes y agentes químicos, entre otros, etc.

Para que la sección compuesta "hormigón + mezcla bituminosa" tenga un comportamiento estructural correcto, sin que se produzcan tensiones demasiado elevadas en el hormigón, es necesario que el firme bituminoso existente, o la parte del mismo que se conserve, tenga un espesor mínimo (del orden de 8 cm) y que se encuentre en buenas condiciones, sin estar excesivamente debilitado.

Así, por ejemplo, un pavimento con agrietamiento en piel de cocodrilo no es aconsejable para un refuerzo ultradelgado; mientras que, por el contrario, un pavimento que presente únicamente roderas o una pérdida de textura superficial sí resulta adecuado para este tipo de actuaciones.

Previamente a la extensión de un refuerzo ultradelgado de hormigón es preciso extraer algunos testigos para comprobar el espesor, la naturaleza y el estado de las capas bituminosas existentes.

Proyecto de refuerzos ultradelgados adheridos

La característica básica de este tipo de pavimentos es el estar adheridos a la capa en la que se apoyan, frente a los pavimentos de nueva construcción y los refuerzos no adheridos o parcialmente adheridos que se diseñan considerándolos despegados de la base.. El firme resultante está así compuesto por una capa superior de hormigón y otra inferior de mezcla bituminosa trabajando conjuntamente.

Para su proyecto se han desarrollado algunos procedimientos específicos, basados en sistemas multicapa o en el método de los elementos finitos, o bien se han adaptado algunos de los métodos existentes.

A partir de la experiencia acumulada se recomienda que, para condiciones similares a las españolas, el espesor de un refuerzo adherido sea como mínimo el siguiente:

- 8 cm en zonas con cargas sobre todo estáticas, como aparcamientos o áreas de descanso en autopistas
- 10 cm en glorietas, intersecciones, carriles bus, o similares
- de 12 a 14 cm en superficies de aeropuertos sometidas también a cargas estáticas.

Se considera que con 10 cm es posible soportar un tráfico acumulado de 4 millones de ejes equivalentes de 13 t a lo largo de la vida de servicio del refuerzo, aunque por el momento

no parece aconsejable utilizar esta técnica para tráficos más elevados. En general, la separación entre juntas debe ser inferior a 15 veces el espesor de la losa.

Materiales y puesta en obra

Una de las ventajas que presentan los refuerzos ultradelgados es que no precisan ni materiales ni equipos de puesta en obra especiales.

No obstante, dado que se disponen sobre pavimentos en servicio que en muchos casos no pueden permanecer cerrados a la circulación durante un periodo de tiempo prolongado, es habitual emplear hormigones que permitan una rápida apertura al tráfico (técnicas denominadas "fast track"). Las dosificaciones utilizadas en estos casos (ver tabla 1) se caracterizan por tener un elevado contenido de cemento (superior a 400 kg/m³), normalmente de alta resistencia inicial, y una baja relación agua/cemento (0'42 o incluso inferior). Para facilitar la puesta en obra, se suele emplear al menos un plastificante. En ocasiones se han utilizado también fibras sintéticas, por el temor de que estas capas tan delgadas tuvieran una mayor propensión a fisurarse que un pavimento de espesor normal. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que esta precaución es innecesaria si se realiza un curado correcto.

Se han empleado varios métodos para garantizar una adherencia adecuada entre el hormigón y la mezcla bituminosa. El más eficaz parece ser el fresado de unos pocos centímetros de este último, hasta obtener una superficie rugosa y sana.

En cualquier caso, esta superficie debe encontrarse limpia y seca. Si se recurre a un lavado con agua para eliminar los residuos o la suciedad de la misma, hay que dejar que ésta se seque para conseguir que los poros de la mezcla bituminosa se rellenen con la pasta de cemento. En algunas obras se han producido fallos de adherencia (y el consiguiente fracaso prematuro del refuerzo) simplemente por la presencia de humedad en la interfaz hormigón-mezcla bituminosa.

En la fabricación, transporte y extensión del hormigón de estos refuerzos se emplean los equipos habituales en pavimentos convencionales. Para el extendido, se han utilizado desde reglas vibrantes apoyadas sobre encofrados y desplazadas manualmente hasta pavimentadoras de encofrados deslizantes. Se trata, por tanto, de una técnica muy versátil que puede adaptarse a todo tipo de situaciones, dependiendo de la disponibilidad de equipos y del rendimiento que se desee obtener.

Las operaciones de terminación superficial y de creación de la textura son también las habituales. En lo que se refiere al curado, es usual aumentar hasta el doble la dotación normal



Fresado de mezcla bituminosa para mejorar la adherencia



Corte de juntas

de producto filmógeno (en ocasiones extendiéndolo en dos capas), a fin de compensar los mayores riesgos de desecación de estas capas delgadas.

Dado el gran número de juntas a realizar, el serrado es una operación fundamental en estos refuerzos. Para ello es aconsejable el empleo de sierras que realicen los cortes en cuanto el pavimento pueda soportar el peso de un operario, es decir, a las pocas horas, aunque también pueden utilizarse cortadoras específicas de pavimentos de hormigón.

La apertura al tráfico depende del tipo de hormigón utilizado. Con una mezcla "fast track" pueden obtenerse resistencias a compresión a 1 día superiores a 30-35 MPa, por lo que la puesta en servicio al cabo de 6-8 horas es en general admisible. Por otra parte, y como se detalla más adelante, los refuerzos ultradelgados se han realizado en su gran mayoría sobre pavimentos que soportan tráficos ligeros y en los que es de esperar, por tanto, que el número de vehículos pesados circulando a edades tempranas sea reducido.

Experiencia internacional en refuerzos ultradelgados adheridos de hormigón

Estados Unidos y Francia son dos de los países en donde esta técnica ha alcanzado un mayor desarrollo. En Estados Unidos la primera realización tuvo lugar en 1991, y aunque es difícil precisar el número exacto de obras, probablemente sea próximo a 2.000. La gran mayoría están situados en entornos urbanos, sobre todo en cruces de calles.

En Europa, Francia es el país más activo en el empleo de este tipo de refuerzos. Se han utilizado en una gran variedad de obras: aparcamientos urbanos, áreas de descanso en autopistas, paradas y estacionamientos de autobuses, carriles bus, estacionamientos de aeropuertos, intersecciones, glorietas, calles de polígonos industriales, áreas de peaje en autopistas o incluso en carriles lentos.

El comportamiento de estas obras ha sido satisfactorio cuando se han respetado las reglas de buena práctica indicadas anteriormente.

Situaciones especiales

Los refuerzos con hormigón requieren en ocasiones la resolución de algunas situaciones especiales, como las de respetar el gálibo bajo los puentes existentes o el paso sobre los mismos. En muchos otros casos, el espesor del refuerzo con hormigón puede igualmente requerir la construcción de nuevos arcenes.

Los puentes sobre la carretera a reforzar requieren una atención especial. Aunque en los proyectos se suele prever un gálibo suficiente para permitir la extensión de posteriores refuerzos, en algunas obras puede ser necesaria la elevación de los puentes o la reconstrucción total del firme bajo los mismos. Las longitudes habituales de transición entre los tramos de firme nuevo y los reforzados varían entre 100 y 150m.

Las transiciones de espesor también se pueden emplear para resolver las diferencias de cota entre el refuerzo y una obra de fábrica existente sobre la que pase la carretera. La longitud de la transición dependerá de la diferencia de nivel entre ambos. Con ello se pueden mantener en general tanto las juntas de dilatación a la entrada y salida de los puentes como las losas de aproximación a los mismos.



Refuerzo ultradelgado adherido en estacionamiento de autobuses

Refuerzos extendidos dentro de cajeados (inlays)

Cuando haya dificultades para elevar la cota del firme existente, bien por escasez de gálibo bajo los puentes, bien por problemas de accesos a propiedades colindantes, o para evitar tener que actuar también en los arcnos y en las barreras de seguridad, una opción a considerar es la apertura de una caja en cuyo interior se vierte el hormigón del refuerzo.



Extensión de un refuerzo de hormigón (inlay) en una caja abierta en el firme existente

En una calzada unidireccional esta opción presenta además algunas ventajas adicionales:

- Es posible rehabilitar carriles individuales.
- Si el cajeadado afecta a varios carriles, se pueden extender espesores distintos de refuerzo en cada uno de ellos, en función de su tráfico de proyecto.

El espesor del pavimento de hormigón dentro del cajeadado debe determinarse de forma que el firme constituido por dicho pavimento y la parte de firme existente que se conserva tras la apertura de la caja tenga una capacidad estructural suficiente para soportar el tráfico de proyecto.

Al igual que en los whitetopping convencionales, en general el pavimento de hormigón dentro del cajeadado se considera no adherido a la parte del firme existente que se conserva. No

obstante, hay también ejemplos de refuerzos ultradelgados adheridos de hormigón extendidos como inlays.

Una vez eliminadas las capas de firme existente que sea preciso, el resto de operaciones de puesta en obra no difieren de las de un refuerzo convencional. Únicamente en el caso de obras ejecutadas en épocas lluviosas puede ser conveniente realizar a intervalos regulares salidas laterales para permitir la evacuación del agua que pueda haberse acumulado dentro de la caja.

Relacionada con lo anterior, hay que mencionar la posibilidad de efectuar un ensanche de un firme bituminoso mediante un carril adicional (y en caso necesario también un arcén) con pavimento de hormigón. La experiencia en varios países es positiva, sin que haya habido que adoptar medidas especiales en la interfaz hormigón – mezcla bituminosa.



Ensanche de un firme bituminoso mediante un carril y un arcén con pavimento de hormigón

Análisis económico

Para analizar la repercusión económica de la elección de un determinado tipo de refuerzo es necesario realizar un análisis económico de costes de construcción, conservación y mantenimiento a lo largo del periodo de proyecto adoptado.

En este sentido, los refuerzos con hormigón presentan la ventaja de que sus costes de conservación son muy inferiores

al de otras alternativas. En el caso de firmes de nueva construcción, son muy numerosos los ejemplos de pavimentos de hormigón que se encuentran en perfecto estado después de 40 o incluso 50 años, con un mantenimiento prácticamente nulo, como es el caso de la autopista Oviedo – Gijón – Avilés (Y de Asturias). Esta durabilidad se ve aumentada en los refuerzos debido a la gran calidad del apoyo proporcionado por el firme existente.

Además hay que considerar otra ventaja relativa al coste como es la baja fluctuación de los precios de los materiales de un pavimento de hormigón, todos locales, prácticamente inalterables con las oscilaciones de los del petróleo y el betún.

Es posible acceder a una herramienta informática de evaluación económica de construcción, conservación y mantenimiento en la página www.ieca.es. Dicha herramienta permite, entre otras posibilidades, actualizar los distintos precios o comparar mediante gráficas la rentabilidad de cada solución en función del precio introducido de cada material. Por ello resulta muy útil para evaluar económicamente la repercusión de un tipo u otro de refuerzo en cualquier proyecto.

Conclusiones

Los refuerzos con hormigón constituyen una técnica de rehabilitación muy versátil, que puede utilizarse sobre cualquier tipo de firme.

En general se utilizan para incrementar notablemente la capacidad de soporte de un firme presentando problemas de agotamiento, con espesores algo inferiores a los de un pavimento nuevo; aunque también es factible el empleo en capas delgadas adheridas a firmes existentes en buen estado.

Una de las ventajas de esta técnica es que las reparaciones a realizar en el firme existente son en general muy reducidas.

En uno y otro caso, este tipo de refuerzos aportan las cualidades de los pavimentos de hormigón: son duraderos, apenas envejecen por las acciones climáticas, son resistentes a carburantes y aceites, son sostenibles y, al final de su vida, reciclables.

Los beneficios económicos son amplios, ya que además se disminuye sensiblemente el consumo de combustible de los vehículos circulando sobre el pavimento, se aprovechan materiales locales, se reduce la necesidad de iluminación en vías urbanas o túneles y los gastos de conservación y mantenimiento son prácticamente nulos.

Todo ello hace que, a la hora de rehabilitar un firme bituminoso, la opción con pavimento de hormigón debe ser siempre considerada.

Referencias

- Norma 6.3 - IC sobre Rehabilitación de firmes. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2003
- Norma 6.1-IC sobre Secciones de firme. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2003
- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3. Artículo 550: Pavimentos de hormigón. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2004
- "Thin and Ultra-Thin Whitetopping". NCHRP Synthesis 238, Transportation Research Board, Washington, 2004
- Memorias del Seminario Internacional sobre Rehabilitación de Pavimentos con Cemento. Ciudad de Guatemala, 23 y 24 de abril de 2007. Federación Interamericana del Cemento, Ciudad de Panamá, 2007
- "Guide to Concrete Overlays". National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University, Ames, 2008
- Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III. National Research Council of Canada, Ottawa, 2006
- Ponencias del 11º Simposio Internacional de Pavimentos de Hormigón. Sevilla, 13 al 15 de octubre de 2010