

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas.

Contexto y técnicas disponibles

José Ramón Marcobal Barranco,
jose.marcobal@upm.es

Sacyr - Universidad Politécnica de Madrid

Dentro de un contexto de inversión limitada, la rehabilitación de firmes cobra una especial importancia. En el caso de los refuerzos de pavimento de hormigón con mezclas bituminosas, la rotura controlada de losas es un conjunto de técnicas que permiten controlar el fenómeno de la reflexión de grietas. La fracturación de losas reduce la losa a trozos más pequeños mediante impacto y la desintegración convierte la losa en una base granular de altas prestaciones y se puede aplicar mediante impacto o resonancia por vibración. Esta publicación hace un repaso a las diferentes técnicas describiendo el equipamiento necesario. Asimismo, se introducen brevemente varios métodos de cálculo del espesor de refuerzo necesario una vez realizada la rotura controlada de losas.

Palabras clave: rehabilitación, rotura de losas, reflexión de grietas, rubblization

In a context of reduced investments, pavement rehabilitation becomes relevant. Regarding asphalt overlays on concrete pavements, slab fracturing includes treatments that enable the control of reflection cracking. Crack and seat reduces slabs to smaller pieces by impacting them while rubblization involves breaking up the concrete slab into small pieces that perform as a high -performance granular base applying impacts or a resonant vibration. This text reviews these techniques describing the required equipment. Likewise, several available design methods for obtaining asphalt overlay thickness are introduced.

Keywords: rehabilitation, fractured slabs, reflective cracking, rubblization

1. Introducción

La ingeniería de firmes en España se encuentra en un nuevo contexto de escasez de inversiones en nuevas infraestructuras donde cobra especial importancia el diseño de soluciones de conservación y rehabilitación. En los trabajos desarrollados por empresas españolas en el extranjero, también son numerosos los proyectos viales en los que el objetivo es rehabilitar o mejorar los estándares de calidad de redes de carreteras. Esta nueva situación contrasta con los retos afrontados en las

últimas décadas en España donde el foco se ha puesto en el proyecto de firmes de nueva construcción. Es un reto saber adaptarse a este nuevo contexto generando soluciones que resuelvan las necesidades de cada cliente que, en muchos casos, disponen de menores recursos económicos y de estándares diferentes.

El proyecto de rehabilitación de carreteras supone el reto más importante para la ingeniería de firmes (y de carreteras en general), mucho más complejo en ocasiones que el proyecto de una carretera de nueva construcción pues re-

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles

quiere considerar múltiples factores y condicionantes para poder tomar la decisión óptima desde el punto de vista técnico y económico. Esto exige un trabajo multidisciplinar en conjunto de diferentes áreas como el tráfico, el trazado, el drenaje o la ingeniería de materiales. Especialmente complejo es el proyecto de rehabilitación de firmes rígidos pues un mal diseño de la solución de rehabilitación puede tener efectos muy negativos de forma inmediata, con reparaciones más costosas y de mayor complejidad que en el caso de la rehabilitación de firmes de pavimento de mezclas bituminosas. Es un hecho que en España la rehabilitación de firmes de hormigón se percibe como una actuación con un alto riesgo por diversas razones como la falta de experiencia en su ejecución o la falta de conocimiento por parte de las ingenierías sobre los criterios para estudiar estas soluciones. Esto a su vez ha generado un clima de desconfianza en los administradores públicos y privados de carreteras que dificulta la aplicación de soluciones optimizadas.

La intención de esta publicación texto es compartir algunas experiencias que Sacyr ha tenido en otros países con la técnica de rotura controlada de losas de pavimento de hormigón, que está recogida en la Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes" del Ministerio de Fomento. Esta primera parte del texto pretende ubicar este tipo de actuación dentro de su contexto más amplio que es la rehabilitación de firmes de hormigón con refuerzo de mezcla bituminosa, pretendiendo que sirva para aclarar algunas dudas que puede plantear esta técnica desde un punto de vista teórico. En una segunda publicación, se presentarán aplicaciones prácticas resultado de la experiencia de Sacyr en la aplicación de esta técnica.

2. Rehabilitación de pavimentos de hormigón

Los pavimentos de hormigón más habituales pueden ser con juntas sin armar, armado con juntas y continuos armados. El paso de las cargas de tráfico y el efecto del clima provocan que estos pavimentos se deterioren apareciendo la necesidad de realizar reparaciones en función de la tipología e intensidad de los deterioros. La reconstrucción del pavimento es una actividad que habitualmente se intenta evitar por tener un elevado coste y una importante afección al usuario. Habitualmente se recurre a la rehabilitación del pavimento mediante actuaciones que pueden ser:

- Refuerzo de hormigón: adherido o no adherido
- Refuerzo de mezcla bituminosa

Refuerzo de hormigón adherido

Esta actuación consiste en una capa fina de hormigón (50 – 150 mm) sobre el pavimento de hormigón existente de forma que constituyan una estructura monolítica. El concepto fundamental de esta actuación es añadir capacidad estructural al pavimento existente. Es habitual utilizar los refuerzos adheridos como actuaciones de conservación de menor duración (p. ej. 10 años) que las vidas habituales consideradas en los pavimentos de hormigón nuevos. En esta técnica, la adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente es esencial pues es la que asegura un comportamiento monolítico y que el pavimento antiguo continúe soportando parte de la carga. La principal ventaja de este tipo de actuación es que el espesor requerido es inferior al del refuerzo no adherido ya que la aportación estructural del pavimento existente se considera en el cálculo. No se recomienda esta actuación para pavimentos muy deteriorados ya que este deterioro puede afectar a que la adherencia sea adecuada.

Refuerzo de hormigón no adherido

Esta actuación consiste en una capa de mayor espesor de hormigón (125 mm o mayor) sobre un pavimento de hormigón. El concepto de "no adherido" simplemente indica que no es necesario que la losa superior funcione de forma solidaria con la inferior, es decir, que el método de diseño no considera la losa existente como componente estructural de la nueva losa sino que se comportará como una buena base. En comparación con los refuerzos adheridos, esta actuación es rentable para los casos en los que el pavimento existente está muy deteriorado y no se quiere optar por la demolición y reconstrucción. En esta técnica de refuerzo se coloca una capa de separación entre el refuerzo y el pavimento existente por lo que no hace falta realizar muchas reparaciones previas. El espesor de la capa de separación está entre 15 y 35 mm y su colocación permite que las estructuras del pavimento existente y el refuerzo actúen de forma independiente.

Refuerzo de mezcla bituminosa

Este tipo de refuerzos es el más habitual pues mejora la calidad de rodadura y permite abrir al tráfico en un menor tiempo que los refuerzos de hormigón. A pesar de estas ven-

tajas, su funcionamiento se ve muy afectado por la aparición de grietas por reflexión. Las grietas por reflexión son grietas que aparecen en el refuerzo de mezcla que reproducen el deterioro o las juntas que existían en el pavimento de hormigón inferior antes de colocar el refuerzo. Este tipo de deterioro es el problema principal que ha afectado a este tipo de refuerzos y sobre el que se han estudiado multitud de soluciones a lo largo de los años para intentar evitarlo o minimizarlo.

3. El problema de la reflexión de grietas en los refuerzos de mezcla bituminosa

Los refuerzos de mezcla bituminosa sobre pavimentos de hormigón tienen el inconveniente de la aparición de grietas por reflexión (también denominado reflejo de grietas). El paso repetido del tráfico, los movimientos horizontales por las variaciones térmicas y el combado de las losas producen movimientos en los bordes de las grietas y de las juntas del pavimento de hormigón que inducen tensiones en la parte inferior de la capa de refuerzo. La mezcla llega un momento que no puede soportar estas sollicitaciones y se genera la grieta de reflexión. Pese a los grandes prejuicios existentes, la aparición de algunas grietas por reflexión no es en sí un problema si se realiza una conservación adecuada con un producto de sellado de buena calidad y una ejecución correcta. En caso contrario el agua infiltrada a través de estas grietas puede disminuir la rigidez y la durabilidad de las capas granulares inferiores, disminuir la adherencia entre capas y afectar la integridad de la mezcla bituminosa. Las grietas por reflexión sí se convierten en un problema cuando el pavimento de hormigón existente tiene un mal apoyo y los trozos de losa se mueven pues esto puede generar que los bordes de las grietas reflejadas en la mezcla se vayan degradando, desconchándose y perdiendo la eficacia del sellado y la capacidad de transferencia de carga. Por tanto, independientemente de si aparecen grietas o no, es importante eliminar este tipo de movimientos mediante inyección de lechada o algún tratamiento como la desintegración de losas que permita asentar las losas y mejorar su apoyo en la base. Si se extiende un refuerzo sobre un pavimento de hormigón que se mueve, el fracaso está asegurado.

Existen varias formas de abordar el problema de la reflexión de grietas que pueden ser incluso compatibles entre sí en algunos casos. Sin tener en cuenta la solución más sencilla

de aumentar el espesor del refuerzo o demoler el pavimento de hormigón, se podrían agrupar en cinco tipos:

- Reparaciones previas
- Rotura controlada del pavimento de hormigón existente
- Diseño especial de la mezcla bituminosa
- Capas especiales de relajación de tensiones
- Refuerzo de la mezcla
- Inducir la reflexión de forma controlada

3.1 Reparaciones previas

Aunque no es un remedio definitivo, una buena preparación del soporte sobre el que se va a realizar el refuerzo puede tener un beneficio directo en el comportamiento del refuerzo. Con estas reparaciones se busca eliminar deterioros graves localizados que harían inútil cualquier actuación, mejorar el apoyo del pavimento de hormigón si existen movimientos en las losas y cualquier otra mejora que permita homogeneizar las condiciones de funcionamiento del refuerzo de mezcla.

Por tanto, antes de cualquier refuerzo se debe estudiar la necesidad de estas actuaciones que pueden consistir en:

- Reparaciones de losas
- Restitución de pasadores
- Relleno de huecos en la base mediante inyección con lechada de cemento
- Microfresado de escalonamiento
- Mejoras de drenaje

3.2 Rotura controlada del pavimento existente

El funcionamiento de un refuerzo de mezcla está directamente relacionado con el tamaño de los fragmentos de hormigón del pavimento antiguo. Los menores tamaños provocan menores movimientos y, por tanto, el tiempo que tardan las grietas de reflexión en aparecer es mayor. Todos los tratamientos de rotura intentan reducir la separación entre las discontinuidades provocadas por las grietas y juntas y, como objetivo secundario pero no menos importante, asentar el pavimento para mejorar su apoyo sobre la base inferior. En el siguiente apartado se describirán en detalle las diferentes técnicas disponibles.

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles

3.3 Diseño especial de la mezcla bituminosa

En este caso se trata de fabricar mezclas que tengan características especiales que retrasen la aparición de grietas por reflexión. Algunos de estos diseños son:

- Mejorar las propiedades del betún, por ejemplo, usando betunes modificados con polímeros
- Aumentar el contenido de betún, por ejemplo, con betunes de alta viscosidad con alto contenido de caucho
- Aumentar la resistencia a la tracción de la mezcla incorporando algún tipo de fibra sintética

Como se ha comentado anteriormente, hay que ser conscientes de que no existe ninguna mezcla capaz de resistir grandes movimientos de los trozos de pavimento de hormigón. Su éxito está muy relacionado a la estabilidad del soporte.

3.4 Capas especiales de relajación de tensiones

Estas capas suelen tener un espesor relativamente importante (superior a 7-8 cm) y aportan capacidad estructural. Pueden consistir en una mezcla bituminosa abierta con una gran cantidad de huecos (> 20%) o una base granular. En ambos casos las ventajas son las mismas. Se aísla el pavimento existente del refuerzo eliminando o reduciendo la transferencia de movimientos entre ellos. Ambos materiales además son capaces de absorber mayor movimiento antes de transmitirlo a la capa de refuerzo debido a su bajo módulo de rigidez. A pesar de todo, aunque exista más margen que con un simple refuerzo, es importante analizar la posibilidad de mejorar el apoyo del pavimento de hormigón.

3.5 Mallas

Si bien este tipo de productos están más pensados para refuerzos sobre firmes flexibles, también se pueden colocar sobre pavimentos de hormigón. Las mallas pueden ser de muchos tipos, geotextiles, mallas de fibra de vidrio, mallas metálicas, etc. Se colocan antes de extender el refuerzo de mezcla. Si existen movimientos verticales importantes por un mal asiento del pavimento del hormigón, no evitan la aparición de las grietas aunque retrasan su aparición y controlan su evolución.

3.6 Inducir la reflexión de forma controlada

Esta técnica consiste en, una vez extendido el refuerzo, serrar y sellar juntas sobre las juntas o grietas existentes en el pavimento inferior. La idea no es evitar o retrasar la aparición de la fisuración de reflexión sino controlar su evolución. Esta técnica es adecuada cuando el pavimento de hormigón no tiene grietas o estas son transversales regularmente espaciadas. La técnica tiene la misma base teórica que la prefisuración del suelocemento. La idea es controlar la localización de las grietas por reflexión de las juntas inferiores y conservar estas juntas como se hace en los pavimentos de hormigón.

4. Técnicas de rotura controlada de losas

Las técnicas de rotura de losas incluyen fracturación (*crack and seat*) y desintegración (*rubblizing*). En algunos países estas técnicas se llevan utilizando desde hace varias décadas con resultados exitosos cuando se han aplicado de forma correcta. El objetivo principal de estas técnicas es reducir el fenómeno de reflexión de grietas y juntas en el refuerzo de mezcla mediante la reducción de las losas de hormigón a trozos más pequeños y la mejora del apoyo con la base del pavimento. Existe un principio fundamental en el que se basan todas estas tareas que es, "a medida que la distancia entre grietas disminuye, la probabilidad de reflexión de grietas disminuye". La rotura del pavimento de hormigón que está debajo del refuerzo disminuye los movimientos de las losas agrietadas o rotas lo que hace que disminuyan las tensiones críticas sobre la capa de refuerzo que son las que originan la reflexión. Si estas técnicas se aplican de forma correcta, son muy efectivas y no se requiere otro tratamiento de control de fisuras. La efectividad de estas técnicas aumenta sustancialmente sobre pavimentos muy deteriorados.

4.1 Fracturación (*Crack and seat*)

Esta técnica se utiliza para reducir la losa a tamaños más pequeños (menores de 1 m) mediante impactos y de esta forma eliminar la aparición de grietas por reflexión en un refuerzo de mezcla bituminosa colocado sobre el pavimento de hormigón. La denominación comercial habitual de esta técnica es *crack and seat* o *break and seat*. El aspecto del hormigón después de esta actuación son losas agrietadas con trozos de mayor o menor tamaño (Foto 1).



Foto 1. Pavimento de hormigón fracturado (Fuente: Antigo).

El principal objetivo de esta técnica es reducir la acumulación de movimientos horizontales hasta un nivel admisible por la capa de mezcla que se extenderá como refuerzo. Para conseguir esto, se utilizan equipos que actúan por impacto golpeando las losas y reduciéndolas a trozos de 0.3-1.0 m de longitud (*crack*). Los equipos utilizados en la actualidad para la fase de fracturación (*crack*) pueden ser de tipo guillotina o de tipo martillo múltiple (Foto 2). Estos equipos son vehículos autopropulsados que elevan una masa muy pesada hasta 2,5 m de altura y la dejan caer para impactar contra la superficie del pavimento. La idea de mantener un tamaño de trozo de losa no demasiado pequeño es buscar el equilibrio entre conservar cierta capacidad estructural y minimizar los movimientos en cada junta/grieta. Lo ideal es conseguir que la fracturación genere grietas finas que permitan mantener la transferencia de carga entre sus bordes y así mantener una la mayor capacidad portante posible.



Foto 2. Equipo tipo guillotina para fracturación de pavimentos de hormigón (Fuente: Antigo)

El equipo permite un anchura de trabajo de carril completo con un rendimiento de 2.500 m² por hora. Si lo que se necesita es reducir el tamaño de los trozos al máximo (60 cm), el rendimiento baja por debajo de los 1.000 m². La capacidad de elevar la guillotina le permite abordar la fracturación de pavimentos de hormigón hasta de 90 cm de espesor.

Después de la fracturación, se asientan (de ahí la denominación, *seat*) los trozos de losa con rodillos neumáticos pesados de entre 30 y 50 toneladas (Foto 3). El asentamiento del pavimento permite asegurar que se restablezca el apoyo entre la losa y la base inferior reduciendo los posibles huecos existentes, crear un apoyo uniforme para la operación posterior de refuerzo y localizar zonas blandas en las capas inferiores que puedan necesitar una actuación puntual de saneo. El tipo de rotura en pavimentos armados es más agresivo pues es necesario separar armadura y hormigón. Si en estos casos el equipo de impacto ha dejado trozos desconchados o lajosos en superficie, puede ser necesario partirlos con rodillos metálicos especiales diseñados con protuberancias que parten esas partículas y las dejan con formas más adecuadas. Por último, se suele pasar un rodillo metálico para dejar la superficie con una regularidad adecuada.

Esta técnica se utiliza con pavimentos de hormigón donde la capacidad estructural no está seriamente afectada pero que pueden tener defectos funcionales que afecten su regularidad como desconchados, reparaciones, etc. Si la actuación se realiza sobre pavimentos con juntas armados, las cargas a aplicar son muy superiores pues es necesario romper la adherencia armadura-hormigón lo que permite disminuir los movimientos relativos en juntas y grietas. Las cargas tan altas necesarias para esta tarea tiene un efecto negativo



Foto 3. Equipo pesado de compactación para pavimentos fracturados (Fuente: Antigo)

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles

que es la reducción de capacidad estructural que será necesario tener en cuenta a la hora de diseñar el espesor de refuerzo. Esto puede llevar a que, en algunos casos, sea preferible la opción de la técnica de la desintegración o "rubblizing". Cuando la técnica de crack and seat se realiza sobre pavimentos armados, las empresas suelen utilizar una denominación diferente (p. ej. *break and seat*) pero el procedimiento y equipos utilizados son iguales.

4.2 Desintegración (Rubblizing)

El objetivo de esta técnica es también eliminar el fenómeno de reflexión de juntas y grietas en el refuerzo de mezcla bituminosa eliminando totalmente la integridad de la losa mediante su reducción a un material granular de altas prestaciones (hasta 3.000 MPa) y, por tanto, cambiando radicalmente su forma de trabajar dentro del pavimento. La desintegración se puede aplicar a un pavimento de hormigón con juntas armado o sin armar y en cualquier estado de deterioro, pero tiene más sentido en los casos en los que se ha perdido mucha capacidad estructural. La denominación comercial de esta técnica es "rubblizing" o "rubblization". El aspecto del hormigón después de esta actuación es totalmente diferente a la fracturación (*crack and seat*) pues lo que se observan son partículas sueltas como las de una base granular (Foto 4).

Una vez la losa ha perdido su integridad, el problema de la reflexión de grietas se habrá eliminado. Con esta técnica la losa se reduce a una base granular con partículas con un tamaño entre 50 y 150 mm. Esta base tiene mayor calidad que una base granular convencional con módulos de rigidez desde 700 MPa y que pueden alcanzar valores hasta de 3.000 MPa. Lo ideal es que la forma de desintegrar el hormigón sea tal



Foto 1. Pavimento de hormigón fracturado (Fuente: Antigo).

que el material mantenga el mayor módulo de rigidez posible, el mayor coeficiente estructural y la mayor capacidad de distribución de cargas hacia las capas inferiores. Esto es uno de los aspectos que diferencia en gran medida los equipos que se pueden utilizar para aplicar esta técnica.

En el proceso de ejecución, debe asegurarse que la desintegración afecte al espesor completo de la losa de hormigón y que se elimina cualquier adherencia entre la armadura y el hormigón, asegurando que la base inferior sea dañada lo menos posible.

Esta técnica se puede aplicar mediante dos tipos de equipos basados en dos principios diferentes: por resonancia (*Resonant Frequency Breaker, RFB*) o por impactos (*Multi-Head Breaker, MHB*). Ambos equipos permiten eliminar la reflexión de fisuras pero son diferentes en varios aspectos que se comentarán a continuación.

4.2.1 Resonant Frequency Breaker (RFB)

Este equipo lo tienen disponible dos empresas estadounidenses que ofrecen sus servicios en todo el mundo: Resonant Machines Inc. (RMI) y Quasco.

Este equipo es autopropulsado y utiliza impactos de baja amplitud y alta frecuencia que mediante un tacón aplican cargas de 0,9 toneladas para desintegrar el hormigón. La amplitud se puede regular entre 32 y 38 mm y la frecuencia es siempre superior a 44 ciclos por segundo. El tacón o martillo va unido a una viga y un contrapeso que permiten alcanzar una alta frecuencia de aplicación de la carga. En el proceso de desintegración se ajustan varios de estos parámetros (tamaño del tacón, anchura de la viga, frecuencia, carga...) junto con la velocidad de avance de la máquina para obtener el resultado requerido.

Este equipo se basa en el principio de que una fuerza vibratoria se puede regular hasta alcanzar la frecuencia de resonancia del elemento al que se está aplicando la vibración. El principio de rotura es que se aplica a la losa una energía resonante con baja amplitud y alta frecuencia que provoca una tensión muy alta en su parte superior. Esto causa que la losa se fracture en planos de rotura inclinados entre 35 y 40 grados respecto a la superficie del pavimento (Figura 1). Esta forma de rotura en diagonal proporciona mayores módulos de rigidez que en el caso de líneas de rotura verticales lo que permite distribuir la carga sobre una mayor área de la capa inferior mejorando el comportamiento de la capa frente al equipo Multi-Head Breaker.

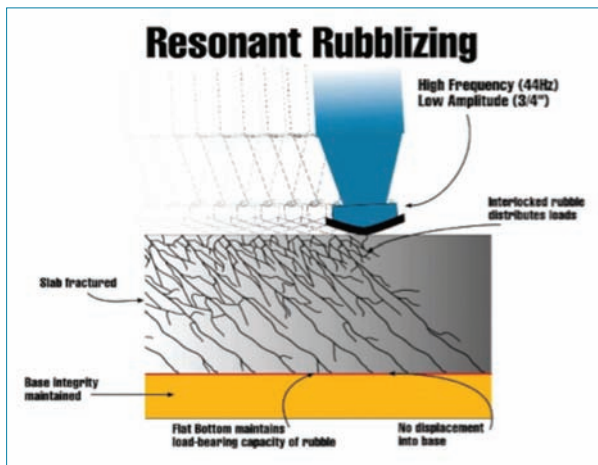


Figura 1. Patrón de rotura generado por los equipos de desintegración por resonancia (Fuente: RMI).

El coeficiente estructural de una base granular se considera habitualmente 0.14 y el del material de la losa desintegrada puede alcanzar fácilmente 0.22 y llegar en ocasiones hasta 0.28. En el proceso de desintegración además se busca que la rotura se produzca de tal forma que no existan trozos de la losa que penetran excesivamente en la base inferior para lo que se intenta limitar el movimiento entre los distintos trozos. El patrón de rotura producido por el equipo de vibración es en forma de puzzle de forma que todos los trozos están encajados unos con otros. Esto es lo que produce una mayor distribución de las cargas hacia la capa inferior ya que las piezas trabajan de forma conjunta. Esto solo se puede conseguir aplicando una carga de baja amplitud y alta frecuencia mediante vibración por resonancia. Uno de los inconvenientes de realizar esta rotura controlada del hormigón limitando el daño que se ejerce sobre él es que el espesor de losa que se puede desintegrar es limitado. En los casos habi-



Foto 5. Equipo de desintegración por resonancia. (Fuente: Sacyr).

tuales, espesores de hasta 30 cm no presentan ningún problema. Pero en el caso de refuerzos de hormigón sobre pavimentos de hormigón o en el caso de que la base sea de hormigón magro, los rendimientos pueden bajar de forma sustancial o en casos extremos, puede ser que no sea posible utilizar el equipo. Por este motivo es importante realizar un estudio previo de qué tipo de base existe y consultar con el proveedor si es posible realizar el trabajo.

La operación de desintegración se realiza habitualmente desde el centro de la calzada hacia la parte exterior. Cada pasada del equipo afecta una franja de 20 cm por lo que se requieren entre 18 y 20 pasadas para desintegrar el pavimento de un carril de 3.65 m de anchura. La producción depende del tipo de apoyo de la losa pero es habitual que alcance 1.5 km de carril por día, más de 5.000 m². Uno de los inconvenientes de este equipo es que el tacón del martillo se encuentra debajo del equipo. Esto genera, por ejemplo, que para llegar al borde de carril interior sea necesario que el equipo ocupe entre 0.9 y 1.5 m del carril contiguo por lo que debe de ser posible desviar el tráfico por el arcén del sentido contrario. Igualmente, para llegar al borde de carril exterior es necesario que exista un espacio lateral y que tenga capacidad suficiente como para que el equipo pueda apoyarse, teniendo en cuenta su elevado peso (9 toneladas por rueda). La forma en la que trabaja el equipo, dando sucesivas pasadas, también genera que tenga que circular por las franjas anteriores ya desintegradas lo que, en algunos casos, podría provocar su hundimiento si el material o la explanada inferior no es capaz de soportar el elevado peso de cada rueda. En estos casos, alguna de las empresas dispone de la posibilidad de equipar a los vehículos con neumáticos especiales que reparten en una huella más ancha la carga del equipo para minimizar este problema. Este inconveniente de la disposición de la viga también presenta sus ventajas pues hace que las ruedas circulen sobre el material desintegrado de las franjas anteriores cumpliendo las funciones del rodillo de neumáticos pesado, asentando el material y detectando posible puntos blandos. Solo es necesario, por tanto, unas pasadas de rodillo metálico liso convencional de 10 t para dejar la superficie preparada para extender el refuerzo.

4.2.2 Multi-Head Breaker (MHB)

El MHB es un equipo autopropulsado con varias masas montadas en la parte posterior del vehículo (Foto 6). Estas masas-

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles



Foto 6. Equipo de desintegración por impacto. (Fuente: Antigo).

martillo están colocadas en dos filas y golpean el pavimento aproximadamente cada 10 cm. La altura de caída de las masas es regulable así como la cadencia con la que van cayendo. Este equipo lo ofrece la empresa Antigo Construction.

Las masas al caer rompen el hormigón por impacto por tensión de la fibra inferior de la losa. La técnica en la que se basa este equipo crea líneas de rotura verticales lo que genera un módulo de rigidez inferior que en la desintegración por vibración (Figura 2). Esto también puede provocar que trozos de las losas se incrusten en la base inferior sobre todo en los casos en los que esta o la explanada tienen una baja capacidad de soporte. Con este tipo de rotura no se genera una trabazón entre los trozos de material por lo que la distribución de cargas también es menor que en el caso del equipo de vibración. Asimismo, los tamaños del material desintegrado por impactos no son homogéneos por lo que incluso la rigidez tiene mucha variabilidad de un punto a otro. Todo lo

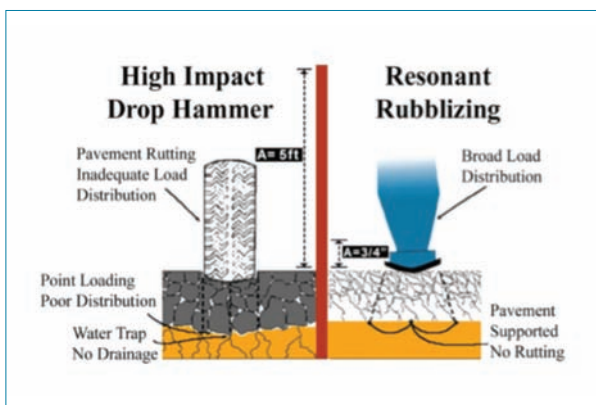


Figura 2. Comparación entre métodos de desintegración. Efecto sobre la base. (Fuente: RMI).

anterior influye de forma negativa en los espesores de refuerzo que son necesarios posteriormente.

Este equipo tiene la ventaja de poder realizar la desintegración de un carril en una sola pasada pudiendo tratar hasta 3.8 m de ancho. Su rendimiento depende del tipo de base inferior pero se pueden alcanzar 1.5 km de carril por día. Si la desintegración se realiza con este equipo hay que utilizar un rodillo especial con protuberancias que rompa las partículas lajas o alargadas que se hayan formado en superficie. Al contrario que el equipo que desintegra por vibración, este equipo no circula sobre el material desintegrado por lo que es necesario utilizar un rodillo de neumáticos pesado para asentar el material y detectar posibles puntos blandos que necesiten ser tratados. Para finalizar se emplea un rodillo metálico liso convencional para preparar la superficie para el extendido del refuerzo (Foto 7).

5. Métodos de cálculo del espesor de refuerzo con mezcla bituminosa después de la rotura controlada de losas

Cuando se diseña un refuerzo de mezcla sobre un pavimento de hormigón, se analizan varios criterios de fallo entre los que se encuentra la aparición de grietas por reflexión. Como se ha venido comentando, si se realiza una actuación previa de rotura de losas se supone que no es necesario tener en cuenta la reflexión de grietas y juntas para el diseño. De hecho, los métodos y normas existentes no abordan este modo de fallo, enfocando el problema solamente desde el punto de vista estructural. A continuación se describen los métodos que se utilizan más habitualmente para el diseño de este tipo de refuerzos.



Foto 7. Tren de trabajo con equipo de desintegración por impactos. El rodillo especial de rotura, en primer plano. (Fuente: Antigo).

Tabla 1. Espesores de recrecimiento de firmes con pavimentos de hormigón mediante mezcla bituminosa (cm).

| Intensidad media diaria de vehículos pesados en el carril de proyecto | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|------------|-----------|----------|--------|
| > 4000 | 2000 - 4000 | 800 - 2000 | 100 - 800 | 50 - 100 | 0 - 50 |
| 25 | 20 | 16 | 12 | 9 | 6 |

Tabla 2. Coeficiente estructural propuesto para pavimentos de hormigón con tratamiento de rotura de losas.

| Material | Estado de las losas | Coeficiente estructural, a |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Fracturación de hormigón armado (Break&seat) | Trozos mayores de 1 pie con rotura de adherencia armadura-hormigón | 0.20 – 0.35 |
| Fracturación de hormigón sin armar (Crack&seat) | Trozos de 1 a 3 pies | 0.20 – 0.35 |
| Desintegración (Rubblizing) | Trozos de menos de 1 pie | 0.14 – 0.30 |

5.1 Norma 6.3 IC: Rehabilitación de firmes. Ministerio de Fomento. España

El apartado 10.4.2. de la norma aborda el refuerzo con mezclas bituminosas de firmes que tengan pavimento de hormigón. Las indicaciones dadas parece que hicieran referencia a la desintegración con equipo de impactos Multi-Head Breaker (MHB). Los espesores de recrecimiento mínimos necesarios para rehabilitar estructuralmente el pavimento de hormigón desintegrado con un refuerzo de mezcla bituminosa se indican en la Tabla 1.

5.2 AASHTO Guide for design of pavement structures 1993

El documento incluye un apartado en su capítulo 5, que se denomina "AC overlay of fractured PCC slab pavement". La guía propone los coeficientes estructurales para la capa de hormigón después del tratamiento de rotura controlada que se incluyen en la Tabla 2.

5.3 AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice (antes MEPDG)

La guía incluye la posibilidad de diseñar refuerzos de mezcla bituminosa sobre pavimentos de hormigón a los que se les haya aplicado algún tratamiento de rotura controlada de

Tabla 3. Rango de módulos del hormigón después del tratamiento.

| Tipo de rotura | Rango de módulos, ksi (MPa) |
|----------------|-----------------------------|
| Fracturación | 150 – 1000 (1.000 – 7.000) |
| Desintegración | 50 – 150 (350 – 1.000) |

losas (fracturación o desintegración). También existe la posibilidad de diseñar el firme si entre el refuerzo y el pavimento de hormigón existente se interpone una capa granular. Tal y como indica en el apartado 3.4 "Estrategias de diseño para pavimentos flexibles nuevos y recapados de HMA para ser utilizados con el MEPDG", este tipo de refuerzos no se ha incluido en el estudio de calibración global y requiere una calibración local.

El método indica que para los diseños de nivel 1 se caracterice el pavimento de hormigón una vez aplicado el tratamiento de rotura de losas mediante retrocálculo a partir de datos de deflexiones. Para un diseño nivel 2 ó 3, se recomienda un rango de módulos típicos que se incluyen en la Tabla 3.

5.4 NAPA Design and construction guidelines on rubblizing and overlaying PCC pavements with hot-mix asphalt (National Asphalt Pavement Association)

Este método de diseño también se basa en un procedimiento mecanicista-empírico. El método se basa en el software libre PerRoad desarrollado por Asphalt Pavement Alliance para el diseño de pavimentos perpetuos. Dentro del software existe

Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles

la posibilidad de seleccionar como material "hormigón desintegrado" para el que sugiere un rango de módulos entre 40.000 y 700.000 psi (275 y 4825 MPa). El método incluye también una serie de tablas y ábacos para realizar diseños cuando se dispone de información menos precisa.

5.5 Federal Aviation Administration. Advisory Circular 150/5320-6E

En el apartado 406 "Thickness design for rubblized concrete pavements" se indica que en el programa FAARFIELD es posible seleccionar una capa de pavimento de hormigón desintegrado y recomienda valores de módulo entre 100.000 psi y 400.000 psi (690 – 2760 MPa). Concretamente sugiere que para la selección del valor se tenga en cuenta el espesor del pavimento de hormigón de acuerdo al siguiente criterio:

- **Espesor 6 – 8 pulgadas (15 – 20 cm):** 100-135 ksi (690-930 MPa)
- **Espesor 8 – 14 pulgadas (20 – 35 cm):** 135-235 ksi (930-1.620 MPa)
- **Espesor > 14 pulgadas (> 35 cm):** 235-400 ksi (1.620-2.760 MPa)

6. Experiencia en la aplicación práctica de la técnica

Esta publicación ha presentado aspectos generales y teóricos de la técnica de desintegración de pavimentos de hormigón (rubblization o rubblizing) que permite transformar un pavimento de hormigón en una base de altas prestaciones y eliminar el problema de la reflexión de grietas en el refuerzo con mezcla bituminosa. En una entrega posterior se expondrán algunos resultados de la experiencia práctica que Sacyr tiene en la aplicación de la técnica. En dicha publicación se comentarán aspectos que se deben tener en cuenta para garantizar el éxito de la actuación y se expondrán algunos ejemplos de proyectos en los que se ha aplicado.

7. Referencias bibliográficas

- Anderson, J., Thompson, M., Schilling D., Kohn, D. and Shinnars, G., "Runway Rubblization at Selfridge ANG", paper at DoD's Transportation Systems Workshop, Fort Lauderdale FL, 2004.
- Baladi, G. and Svasdisant, T., "Identify Causes for Under Performing Rubblized Concrete Pavement Projects – Phase II, Volumes I and II (Appendices)", Michigan State University, MDOT Research Report RC-1416, August 2002.
- Buncher, M. et al. "Airfield Asphalt Pavement Technology Program Project 04-01: Development of Guidelines for Rubblization . Final Report ." Asphalt Institute. 2008.
- Decker, D. "Design and construction guidelines on rubblizing and overlaying PCC pavements with hot-mix asphalt". NAPA, 2006.
- Galal, K., Coree, B., Haddock, J. and White, T., "Structural Adequacy of Rubblized PCC Pavements," Transportation Research Record 1684, 1999.
- Heckel, L. Rubblizing with bituminous concrete overlay – 10 years experience in Illinois. Illinois DOT, 2002.
- Kohn, S., "Nondestructive Testing Rubblized Test Sections, Taxiway W1 DTW, SME Project PP52499" Letter Report from Soil and Materials Engineers Inc to Northwest Airlines, July 2006
- Thompson, M., "Hot Mix Asphalt Design Concepts for Rubblized Portland Cement Concrete Pavements", Transportation Research Record 1684, 1999.
- Velez-Vega, E., "Rehabilitation of Airfield Concrete Pavement using the Rubblization Procedure", paper presented at the Tri-Service Infrastructure System Conference, Aug, 2005.
- Witczak, M. and Rada, G. "Nationwide Evaluation Study of Asphalt Concrete Overlays Placed on Fractured Portland Cement Concrete Pavements", Transportation Research Record 1374, pp 19 to 26, 1992.
- Wolters, A., Smith, K., and Peterson, C., "Evaluation of Rubblized Pavement Sections in Michigan", pre-print paper for Transportation Research Board, January 2007.