

Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón

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

José Peláez Vilches, jpelaez@sacyr.com
Sacyr Panamá

Miguel Tejada Matías, mtejada@sacyr.cl

Marcos Rubio Blanco, mrblanco@sacyr.cl

Oriol Negrell Vila, onegrell@sacyr.cl

Sacyr Chile

El artículo describe el punto de vista de los autores sobre la aplicación de la técnica de la desintegración de pavimentos de hormigón (rubblization o rubblizing). Esta técnica permite eliminar la reflexión de grietas en actuaciones de rehabilitación de pavimentos de hormigón con refuerzo de mezcla bituminosa y consiste en convertir la losa en una base granular de altas prestaciones mediante la aplicación de resonancia por vibración. Diversas consideraciones prácticas se deben tener en cuenta para garantizar el éxito de la actuación.

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

This paper describes the experience the authors has gained in applying concrete pavement rubblization. This treatment eliminates reflective cracking in asphalt overlays on PCC pavements and involves totally destroying the slabs and effectively reducing them to a high-performance granular base, applying vibrating hammers to demolish the existing pavement. Several practical issues have to be considered for the success of the treatment.

Keywords: concrete, rehabilitation, fractured slabs, reflective cracking, rubblization, rubblizing

1. Introducción

La técnica de la desintegración de pavimento de hormigón (rubblizing o rubblization) consiste en convertir las losas de un pavimento de hormigón en una base granular de altas prestaciones. Si el lector requiere una información teórica más detallada de esta técnica, puede remitirse a la publicación anterior, "Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles", en la que se presentaron con detalle aspectos generales y teóricos de esta y de la rotura controlada de losas en general.

En este texto se exponen algunos resultados de más de diez años de experiencia práctica que los autores han acu-

mulado en la aplicación de la técnica de la desintegración de pavimentos de hormigón (rubblization o rubblizing). La primera experiencia se llevó a cabo en la Autopista del Sol, en Costa Rica. En aquella primera obra, la aplicación de la desintegración del pavimento de hormigón sirvió para rehabilitar un pavimento de hormigón que presentaba claras muestras de "pumping" en la salida de San José hacia el Pacífico. Desde entonces, de la mano de la empresa RMI, se han llevado a cabo varias actuaciones similares en varios países (Foto 1), lo que ha permitido obtener una amplia experiencia de cómo llevar a cabo esta actuación, integrándola dentro de proyectos constructivos complejos.

Esta técnica supone una mejora frente a la reparación de losas previa al extendido de un refuerzo con mezcla bi-

Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón

tuminosa, debido a que es más rápida, eliminando los trabajos de sellado de fisuras y microfresado. Esta ventaja es aún más significativa en los casos en los que las losas del pavimento de hormigón presentan huecos en su parte inferior por descompactación o erosión de la base, pues se elimina la necesidad de su inyección con lechada. La desintegración resulta más rápida y más efectiva, pues permite asentar el material contra la base si existen huecos. Su efectividad es mucho mayor que otro tipo de reparaciones, ya que elimina por completo el problema de reflexión de grietas. Además de exponer algunas de las consideraciones prácticas, se incluyen dos ejemplos de aplicación de la técnica en dos infraestructuras diferentes y con dos objetivos distintos.



Foto 1. Desintegración de pavimento de hormigón en Ruta 43. Tramo urbano Pan de Azúcar (Chile)

2. Consideraciones prácticas

Fruto de esa experiencia, se han podido extraer conclusiones prácticas, que permiten obtener mayores rendimientos de esta actuación, anticipar los problemas que pueden ocurrir para evitar paradas o mejorar la coordinación con otras actividades de la obra. Algunas de estas se exponen a continuación.

2.1 Consideraciones antes de aplicar la técnica

- Antes de tomar la decisión de aplicar esta técnica, es muy importante determinar, mediante un estudio específico,

qué tipo de material constituye el apoyo de las losas de hormigón, puesto que el equipo de desintegración no resulta efectivo si las losas apoyan sobre una capa de gran rigidez (hormigón sobre hormigón o material tratado con cemento de elevada rigidez). Esto puede obligar a disminuir la rigidez de las losas previamente a su desintegración mediante un martillo hidráulico, lo que aumenta el coste y baja el rendimiento de forma crítica, como se verá más adelante.

- Igualmente, es necesario garantizar que existirá el despeje lateral necesario para que el equipo resonador pueda trabajar. Debido a que el martillo desintegrador está debajo del equipo, para poder realizar la actuación es necesario un espacio adicional de 80 cm aproximadamente sobre arcenes (bermas) sobre el que pueda apoyar la rueda del equipo y poder lograr el alineamiento de martillo de impacto en el extremo de losa. Esto, en ocasiones, puede llegar a hacer inviable la aplicación de la técnica, como en un proyecto en Perú donde la existencia de un muro en un lateral en un tramo (Foto 2) o de un talud cercano en otro (Foto 3) no permitían garantizar que el equipo pudiera desintegrar la zona exterior de la calzada. También se debe tener en cuenta que, en algunas configuraciones de trabajo, el equipo puede afectar al tráfico del carril contiguo y debe existir la posibilidad de desviarlo hacia la berma.
- De cara a las mediciones, es importante tener en cuenta que el hecho de poder asentar el material desintegrado genera deformaciones en la parte superior, que deben ser rellenadas con mezcla bituminosa, generando sobreconsumos.



Foto 2. Tramo con muro demasiado cercano a la carretera.



Foto 3. Tramo con talud demasiado cercano a la carretera.

- Al igual que en cualquier otra actividad, es importante preparar tramos suficientemente largos para aumentar el rendimiento. Por ejemplo, hay que tener en cuenta que, al tener que dar varias pasadas laterales, el equipo debe realizar una maniobra de cambio de sentido al final de cada pasada y es conveniente reducir estas maniobras por el tiempo que conllevan, que afecta el rendimiento, y por la necesidad de disponer de una zona de mayor anchura en los extremos de los tramos, que no siempre existe. En todo caso, esta preparación de tramos largos no siempre es posible, pero deberá ser tenido en cuenta en la planificación de los trabajos.

2.2 Consideraciones durante la aplicación de la técnica

- En ocasiones, existen zonas puntuales en las que, por cualquier motivo, quedan trozos de tamaño superior al esperado después del paso del equipo (Foto 4). Es importante recordar que con esta técnica se deberían alcanzar tamaños entre 50 y 150 mm. Estas secciones, donde los trozos excedan dicho tamaño, se deben dejar así (no como en la Foto 5), salvo que se compruebe que son debidas a un fallo de la base. Es importante insistir en la idea de que el hormigón desintegrado mantiene unos valores de módulo de elasticidad elevados, gracias a que sus piezas quedan entrelazadas como un puzzle. Por este motivo, si se sustituye este material por base granular se perdería la trabazón, disminuiría el módulo de rigidez de la capa y se tendría un peor comportamiento del firme.
- Los problemas de trozos de gran tamaño aparecen especialmente donde las condiciones de rigidez de la base o del



Foto 4. Zona con fragmentos de gran tamaño.



Foto 5. Lo que no se debe hacer: retirar los trozos de mayor tamaño.

lateral del pavimento varían. Es habitual que esto ocurra en los laterales del pavimento de hormigón por distintos motivos: bermas de material granular en mal estado, drenaje deficiente, base que presenta descompactación o erosión por deterioros de esquina, etc. En estos casos, la vibración no se produce en las mejores condiciones y pueden quedar trozos de gran tamaño, como los que se aprecian en la Foto 6.

Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón



Foto 6. Zona deformada por problemas de base. Detalle de una zona puntual con desintegración incorrecta.

Si es evidente que existe un problema en el soporte (grandes deformaciones, manchas de humedad...), tendría sentido sanear puntualmente ese material y parte de la base sustituyéndolo por material granular nuevo, de la misma forma que en las rehabilitaciones de firmes refuerzo de mezcla bituminosa. Debido a la rigidez de las losas de hormigón, resulta difícil detectar estas zonas de forma previa a la actuación, siendo el paso del propio equipo resonador la forma más eficaz de detectarlas. Para realizar estas reparaciones, es recomendable extender, al menos, una capa de mezcla bituminosa antes de realizar la reparación, tal y como se muestra en la Foto 7 de la obra Ruta 5. Tramo: La Serena - Vallenar (Chile). Posteriormente, se puede retirar con cuidado la capa de mezcla hasta descubrir la zona que se quiere sustituir.

- Como se comentó anteriormente, si el apoyo del hormigón es una capa muy rígida, la rigidez del conjunto dificulta el trabajo del equipo. En ocasiones, a pesar de realizar una campaña de testigos o calicatas, no se detectan algunos tramos donde esto ocurre. En las Fotos 8, 9 y 10



Foto 7. Zona deformada por problemas de base. Detalle de la retirada de la capa de mezcla bituminosa antes de la sustitución del material.

se puede ver un caso de una obra en Chile en la que la campaña de calicatas resultó insuficiente para detectar una sección en la que el pavimento de hormigón apoyaba sobre losas de hormigón magro. En estos casos, se debe disminuir la rigidez del conjunto, para lo que es útil emplear un equipo de demolición con martillo hidráulico y perforar en cuatro puntos las losas. Una vez realizada esta actividad, se puede llevar a cabo la desintegración. Este hecho incide en la idea de la importancia del estudio de ingeniería previo, pues de suceder lo anterior, el coste de la actuación aumentará sustancialmente por la baja del rendimiento y por la necesidad de disponer de un equipo adicional.



Foto 8. Desintegración de doble losa de hormigón. Paso 1: Disminución de la rigidez de la losa mediante taladro.



Foto 9. Desintegración de doble losa de hormigón. Detalle de los taladros en el pavimento.



Foto 10. Desintegración de doble losa de hormigón. Paso 2: Desintegración del pavimento.

3. Caso de aplicación en obra de carretera. Chile. Ruta 5. La Serena - Vallenar

Esta actuación de desintegración del hormigón se realizó dentro de la concesión Ruta del Algarrobo. El proyecto contemplaba la construcción de una nueva calzada y la rehabilitación de la calzada existente.

3.1. Antecedentes del proyecto

La calzada existente tenía un tramo con pavimento de hormigón situado entre los PK 478+650 y 483+800, ubicado a la salida de La Serena y con una superficie total de 35.000 m². Como solución de rehabilitación para este tramo, se planteó la realización de la desintegración del pavimento y posterior extendido de dos capas de mezcla asfáltica. Esta calzada quedó como sentido norte. De acuerdo a los planos y testigos extraídos, la losa del pavimento existente tenía un espesor de

18 cm y debajo existía una base granular de 15 cm de espesor y una subbase de 15 cm. El pavimento tenía una anchura de 7 m con dos carriles y arcenes de mezcla bituminosa sobre base granular.

Antes de su desintegración, el pavimento presentaba más de un 40% de losas deterioradas, presentando principalmente grietas de esquina y grietas transversales. Era abundante el desconchado de las juntas transversales (Foto 11). El promedio de IRI medido antes de la actuación era 4,0 m/km en sentido norte y 4,3 m/km en el sentido sur, presentando valores puntuales superiores a 6 en algunos sectores.

El pavimento tenía una deflexión media de 267 μ m, medida con deflectómetro de impacto y una carga de 50 kN.

El proyecto original planteaba dos alternativas para el tratamiento de las losas previamente al refuerzo de mezcla asfáltica: sustitución de losas o desintegración del pavimento. Los desconchados de juntas mostraban un movimiento importante de las losas que preocupaba porque la reflexión de grietas podía ser muy rápida. Esto, junto con el elevado nivel de deterioro que obligaba a sustituir un número importante de losas, hizo que se planteara que la actuación óptima era la desintegración de losas para estabilizar el apoyo del posterior refuerzo de mezcla bituminosa. La solución fue única para todo el tramo y se diseñó para un tráfico de 17,2 millones de ejes equivalentes de 8 t. Consistía en la desintegración del hormigón y en el extendido de una capa intermedia de 5 cm y una capa de rodadura de 5 cm. Esta solución se diseñó siguiendo el método AASHTO 93. Para el hormigón desintegrado se consideró un coeficiente estructural de 0,20. Este valor se seleccionó en base a la experiencia en obras anteriores, donde se realizaron estudios posteriores con deflectome-



Foto 11. Aspecto del pavimento de hormigón antes de la desintegración.

Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón

tría para comprobar este valor. En las primeras obras realizadas hace 10 años se consideraron coeficientes de 0,28, que luego resultaron optimistas, pues, salvo en algunos tramos, no se pudieron cumplir. Si bien en este tramo aún no se ha realizado una auscultación de deflexiones, en obras recientes, como la Ruta Concepción - Cabrero (Chile), donde también se ha aplicado esta técnica, los valores de coeficiente estructural obtenidos en el hormigón desintegrado han sido ampliamente superiores a 0,20.

3.2 Descripción de la actuación

El proyecto de desintegración se llevó a cabo en 2015. El equipo utilizado fue el PB-4 de Resonant Machines, Inc. La ejecución de este tramo se desarrolló de la siguiente forma:

- Desintegración del primer carril con tráfico alternativo por el contiguo.
- Desintegración del segundo carril con tráfico por la segunda calzada.
- Refuerzo de mezcla con tráfico por la segunda calzada.

Los rendimientos medios alcanzados en la desintegración del pavimento de hormigón fueron de 500 m²/h. La actuación se realizó carril a carril, manteniendo el tráfico por el carril contiguo, comenzando por el eje de la calzada y hacia el arcén (Foto 12). Para la compactación del pavimento desintegrado, se utilizó un rodillo liso de doble tambor. Posteriormente se extendieron las dos capas de mezcla asfáltica.



Foto 12. Tramo después de la desintegración de un carril.

El principal problema en el tramo fue que la calzada existente de hormigón daba acceso en varios puntos a varias estaciones de servicio. Estos puntos se dejaron sin tocar hasta el final. De esta forma, no se interrumpió en ningún momento el paso a dichas instalaciones. Una vez ejecutado todo el tramo, se actuó sobre estos puntos y se procedió a cubrir inmediatamente con mezcla bituminosa todo el tramo. Esta forma de trabajar genera el problema de que los extremos cercanos a los accesos, el material desintegrado puede no ser homogéneo al reducir el equipo la velocidad para detenerse. En algunos casos, esto obligó a sustituir el hormigón por material de base granular.

4. Caso de aplicación en otras obras. Panamá. Caminos de acceso de las compuertas del Canal de Panamá

Esta obra se realizó dentro de la construcción del Canal de Panamá. La actuación consistió en la desintegración del pavimento de hormigón armado para separar las armaduras y retirar el hormigón.

4.1 Antecedentes del proyecto

Las carreteras de acceso de las compuertas tenían la finalidad de servir de camino al traslado de compuertas desde los muelles hasta su ubicación final en las esclusas. La carretera del lado Pacífico tenía 400 m de longitud y la del lado Atlántico, casi 3 km (Fotos 13 y 14).

Estas carreteras fueron diseñadas teniendo en cuenta que las dimensiones en planta de una compuerta más el equipo



Foto 13. Situación de la carretera de acceso del lado Atlántico.



Foto 14. Situación de la carretera del lado Pacífico.

de traslado eran $40 \times 15 \text{ m}^2$ (600 m^2 aprox.) y su peso, de 4.500 t. Cada rueda soportaba un peso de 10 t (Foto 15). El diseño final del pavimento tuvo las siguientes características:

- Anchura de la carretera: 20 m
- Tipo de pavimento: hormigón armado
- Resistencia del hormigón: HP45 (resistencia a flexotracción a 28 días 4,5 MPa)
- Espesor de losa: entre 25 y 40 cm
- Armadura: doble parrilla #8 cada 20 mm en zona de parking y parrilla simple en el resto
- Disposición de juntas: juntas longitudinales cada 6 m con pasadores y transversales cada 10 m

En este caso, el motivo de la actuación no fue la rehabilitación del pavimento, sino su demolición y retirada, puesto que, posteriormente, esas zonas iban a quedar cubiertas por



Foto 15. Rodaje de una compuerta sobre la carretera de acceso a la esclusa.

agua y dragadas para facilitar el acceso de los barcos a la zona de esclusas.

4.2 Construcción

El proyecto se llevó a cabo en 2015. La empresa que realizó la actuación fue RMI, utilizando el equipo RB-700, el más grande del que disponen. La desintegración se realizó en un total de 100.000 m^2 , considerando la superficie de las carreteras y las zonas de parking de las compuertas (Foto 16). El rendimiento que se alcanzó fue de $800 \text{ m}^2/\text{h}$.



Foto 16. Panorámica de la obra del canal y el equipo de desintegración trabajando.



Foto 17. Detalle de la armadura del pavimento despegada del material desintegrado.

Experiencias prácticas en la desintegración de pavimentos de hormigón

El resultado obtenido fue conseguir romper la adherencia entre la armadura y el hormigón en la mayor parte del pavimento, lo que facilitó la retirada del pavimento (Foto 17).

5. Conclusiones

La técnica de la desintegración de losas de hormigón permite resolver el problema de la reflexión de fisuras, facilitando la rehabilitación de pavimentos de hormigón. Se trata de una técnica que se ha puesto en práctica en proyectos de diversa índole, algunos de los cuales se han descrito en este artículo, habiendo resultado muy efectiva y de alto rendimiento. No obstante, las diferentes consideraciones que se han descrito en este artículo deben ser tenidas muy en cuenta, porque, de lo contrario, los rendimientos pueden bajar de forma importante y hacer que el coste aumente por encima de lo presupuestado. Es especialmente importante un estudio técnico previo que valore si la técnica es de aplicación y los posibles condicionantes que puedan existir en cada proyecto para fijar rendimientos y costes que se ajusten a la realidad.

6. Agradecimientos

Desde estas líneas se agradece la colaboración de Miguel Ángel Moreno, Víctor Armijos, Jorge Barange y Moisés Cruz en la ayuda para recopilar la información que ha permitido elaborar este artículo.

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
- Marcobal, J. R. "Eliminación de la reflexión de grietas en refuerzos asfálticos sobre pavimentos de hormigón mediante rotura controlada de las losas. Contexto y técnicas disponibles." *Asfalto y pavimentación* n.23, 2016.
- 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.
- Witzczak, 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.