

Estudio, diseño y evaluación económica de la técnica de trituración/pulverización (Rubblizing) de pavimentos de hormigón mediante vibración resonante

Study, analysis and economic evaluation of concrete pavement Rubblizing using resonant vibration technology

Guillermo Thenoux*, Álvaro González*, Marcelo González*

* Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, CHILE
agonzale@dictuc.cl

Fecha de recepción: 02/09/2004
Fecha de aceptación: 22/11/2004

Resumen

El trabajo presenta una descripción de la tecnología de rehabilitación y demolición de pavimentos de hormigón aplicando la técnica de Trituración/Pulverización (Rubblizing). Esta técnica consiste en fracturar el hormigón en trozos angulares y entrelazados utilizando una máquina denominada "rompedor resonante". Una vez que el pavimento de hormigón ha sido sometido al proceso de Trituración/Pulverización, se puede construir sobre éste un recapado o simplemente retirar el material en el caso de demolición de pavimentos. Las experiencias internacionales de "Rubblizing" con vibración resonante han demostrado que ésta presenta ventajas técnicas (mejor desempeño del pavimento), económicas (se reduce el costo frente a una reconstrucción) y medioambientales (menores emisiones contaminantes y productos de desecho). La evaluación económica realizada para el mercado de pavimentos de hormigón en Chile demuestra que se pueden obtener ahorros entre un 20% y a un 43% al aplicar el Triturado/ Pulverizado frente a métodos tradicionales de rehabilitación.

Palabras clave: Pulverizado triturado (Rubblizing), pavimento, hormigón, demolición, rehabilitación

Abstract

The paper presents a description of the technology of concrete pavement rehabilitation and demolition applying the rubblizing construction technique. This technique basically consists of fracturing concrete pavement in angular and interlocked pieces using a "resonant vibration" machine. As soon as the rubblizing process is done, it is possible to build an overlay over the surface or to remove the material in the case of pavement demolition. The international experience of applying rubblizing shows that this technology presents advantages from technical (better performance of the pavement), economical (cost is reduced compared with a reconstruction) and environmental (reduces air pollution, noise, and debris) points of view. An economic assesment proved that the rubblizing technique reduces costs from 20% to 43% compared with traditional rehabilitation methods for concrete pavement used in Chile.

Keywords: Rubblizing, pavement, concrete, demolition, rehabilitation

1. Introducción

En las obras de infraestructura existe una cantidad importante de pavimentos de hormigón: carreteras urbanas e interurbanas, aeropuertos, puertos, obras industriales, calles, etc. Todos estos pavimentos están sujetos a un deterioro progresivo, producido por las sollicitaciones de cargas de tránsito y clima (temperatura, lluvia, humedad).

Existe una serie de técnicas que permiten extender la vida útil del pavimento. Estas técnicas se pueden clasificar en dos tipos: conservación y rehabilitación (Thenoux et al., 2003a). La diferencia entre una acción de conservación y una de rehabilitación, radica en que ésta última necesariamente recupera o aporta capacidad estructural al pavimento, mientras que las técnicas de conservación tienen como objetivo

principal la restauración de la capacidad funcional de un pavimento.

En Chile, la técnica de rehabilitación más utilizada en pavimentos rígidos de la Red Vial Nacional consiste en el recapado asfáltico directo o recarpeteo con una capa de material granular intermedia. Pese a que también existe la posibilidad de construir recapados en hormigón, en general los recapados asfálticos son más económicos (NAPA, 1995). De los 2.786 kilómetros construidos en hormigón en el país, 522 han sido recapados con una capa asfáltica utilizando alguna de las dos técnicas mencionadas (Memoria Anual Dirección de Vialidad, 2002).

Los recapados asfálticos mejoran la condición

funcional del pavimento y aumentan su capacidad estructural. Sin embargo, un problema inherente al recapado asfáltico sobre una superficie deteriorada de hormigón, es la reflexión de grietas a temprana edad. Existen diferentes técnicas para minimizar el problema de reflexión de grietas en losas de hormigón recapadas con asfalto:

- Recapados asfálticos más corte y sellado (Saw/Seal).
- Diseño de recapados de gran espesor.
- Uso de capas intermedias que retardan la reflexión de grietas.
- Especificar el uso de materiales especiales de interfase (geogrillas).
- Mezclas asfálticas especiales (asfalto caucho, asfalto modificado).
- Fracturamiento previo de la losa de hormigón, conocidos internacionalmente como agrietamiento/ asentamiento o quiebre/asentamiento (Crack and Seat o Break and Seat).
- Trituración/Pulverizado de la estructura de hormigón.

De todas estas técnicas señaladas, la que ha demostrado tener el mejor desempeño es el Triturado/Pulverizado de pavimentos de hormigón mediante el rompedor resonante (NAPA, 1995).

El objetivo del presente trabajo es entregar un resumen de la tecnología de Trituración/Pulverización, concentrándose en la aplicación con "Rompedor Resonante". Además, se expone el método constructivo, las principales ventajas de la técnica, el método de diseño utilizado y se hace un especial énfasis en evaluar económicamente lo que significaría incorporar masivamente esta tecnología de rehabilitación y/o demolición de pavimentos en Chile.

2. Descripción de la técnica y métodos de aplicación

El Triturado/Pulverizado de la losa de hormigón es una técnica relativamente reciente en la rehabilitación de pavimentos de hormigón, y ha demostrado ser la que posee mejor relación costo/efectividad (NAPA, 1995). La técnica consiste básicamente en triturar y pulverizar el material de hormigón en fragmentos angulares pequeños (10-20 centímetros) entrelazados mecánicamente, destruyendo completamente la losa de hormigón, pudiendo aplicarse en cualquier tipo de pavimento de hormigón (con o sin barras de traspaso de carga, con o sin armadura de refuerzo). Existen básicamente 2 métodos

constructivos para aplicar el "Rubblizing" en un pavimento de hormigón. El primero de ellos se conoce como "Martillo de Caída" (Drop Hammer) y el segundo como "Rompedor Resonante".

2.1 Rubblizing con Martillo de Caída (Drop Hammer)

El Martillo de Caída (Drop Hammer) posee entre 12 a 16 martillos entre 455 a 680 kilos cada uno, montados en pares, en 2 filas. Cada par de martillos se deja caer desde una altura máxima de 1,5 metros sobre el pavimento. El ciclo completo desde que el martillo golpea el pavimento, se levanta y se deja caer nuevamente, es de 35 impactos por minuto como máximo (alta amplitud, baja frecuencia). Uno de los inconvenientes de esta técnica es que los materiales subyacentes a la losa pueden verse afectados debido al fuerte impacto generado por los martillos al caer (Figura 1). Además, requiere de una compactación pesada con rodillo texturado posterior al proceso de trituración.

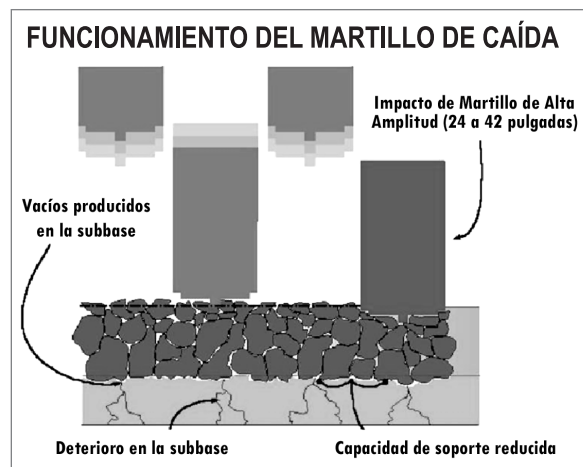


Figura 1. Aplicación del Martillo de Caída (Drop Hammer), como método para producir la trituración/pulverización del pavimento (Resonant Machines, 2004)

2.2 Rubblizing con "Rompedor Resonante"

El Triturado/Pulverizado con "Rompedor Resonante" es una técnica constructiva que se ha desarrollado en los últimos 15 años en EEUU. La experiencia norteamericana ha demostrado que esta tecnología presenta grandes ventajas frente a las otras alternativas de rehabilitación y demolición de pavimentos de hormigón. Esta técnica ha sido utilizada en más de 40 estados en EEUU, principalmente en proyectos de rehabilitación de pavimentos de hormigón en autopistas. El patrón de fractura del Triturado/Pulverizado se muestra en la Figura 2. El producto final del "Rubblizing" es una capa granular de alta capacidad estructural, de excelente

comportamiento frente al agua, y que además no altera las condiciones originales de la subbase y subrasante existente. La energía entregada es absorbida completamente por el hormigón, y no afecta la subbase granular ni la subrasante (Resonant Machines Inc., 2004).

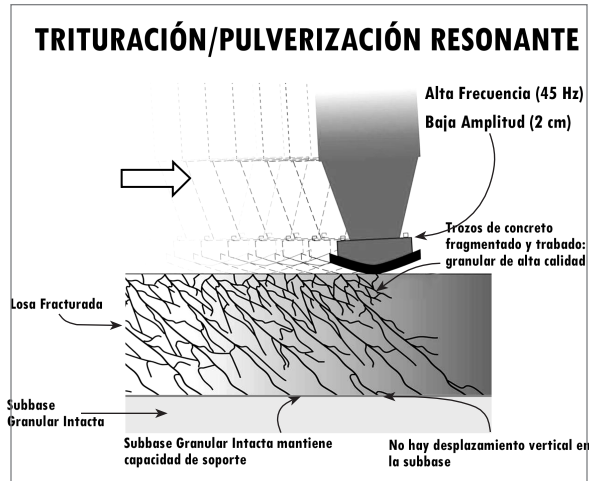


Figura 2. Patrón de fractura inducido en la losa de hormigón por el rompedor resonante (Resonant Machines, 2004)

3. Rubblizing con rompedor resonante

El proceso de "Rubblizing" de pavimentos de hormigón mediante un rompedor resonante, se define como la Trituración/Pulverización in-situ del pavimento existente, mediante un equipo especializado. Sobre esta capa triturada y pulverizada, de alta calidad, se coloca una capa superficial asfáltica, restituyendo las propiedades funcionales y estructurales del pavimento, o simplemente se retira el material y se lleva a botadero en el caso de demolición de pavimentos. Esto genera ventajas técnicas, medioambientales y económicas comparadas con los métodos constructivos tradicionales.

3.1 Maquinaria utilizada

El "Rubblizing" se realiza con un equipo Triturador/Pulverizador (Resonant Machines, 2004), el cual posee un martillo montado en una viga que entra en resonancia. Este martillo golpea el pavimento, disgregando el material, transformándolo en material granular y eliminando el patrón de grietas existentes en el pavimento deteriorado, reutilizando in-situ el 100% del material que componía la losa de hormigón existente. El equipo que realiza el proceso se muestra en la Figura 3.

Las características de vibración óptimas del martillo rompedor resonante para lograr el "Rubblizing" se puede regular mediante la amplitud y vibración. Generalmente, se trabaja en amplitudes que van de 1,25 a 2,5 centímetros, y frecuencias entre 42 y 46 Hertz. Empíricamente se ha demostrado que este es el rango de trabajo óptimo para Triturar/Pulverizar pavimentos de hormigón hasta espesores de 60 cm.

Una vez que el martillo comienza a vibrar con la frecuencia y amplitud óptimas, tritura y pulveriza la losa de hormigón a una velocidad aproximada entre 5 a 10 km/h dependiendo de las características del hormigón. El resultado de este impacto son trozos de concreto fragmentado y fuertemente trabados entre sí, lo que se asemeja a una capa granular de excelente calidad, pero a su vez fácil de remover con un cargador frontal o excavadora.



Figura 3. Equipo rompedor resonante para "Rubblizing" de pavimentos de hormigón en Camino Los Andes-Saladillo o Ruta 60- CH, Los Andes, Chile

3.2 Proceso constructivo

Las etapas básicas de construcción que involucra un proyecto de este tipo son:

- Si existiera una carpeta asfáltica sobre el hormigón, se debe retirar fresándola.
- Triturar/Pulverizar el pavimento con el equipo de la Figura 3.
- En el caso de demolición de pavimentos, retirar el material y transportarlo (Figura 4).
- Quitar y reemplazar áreas que presenten una subrasante muy débil o extremadamente deterioradas.
- Se debe planchar (no densificar) el material triturado (compactación con 3-5 pasadas de rodillo liso, a alta frecuencia). La superficie debe verse pareja y uniforme.

- *Construcción de capa niveladora (mezcla de Graduación Abierta u Open Grade) y una capa superior de mezcla asfáltica en caliente. No es necesaria la aplicación de imprimación sobre la base fracturada.*

3.3 Ventajas técnicas, medioambientales y económicas

a) Ventajas técnicas

Desde el punto de vista técnico, el Triturado/Pulverizado es una forma de rehabilitación comparada con una reconstrucción. Esto se debe a que se destruye el modo de falla del pavimento existente (se corrigen y eliminan todos los tipos de agrietamiento y fallas en las juntas, escalonamiento, daño por bombeo, pérdida unión/desmenuzamiento), generando un material nuevo de excelentes propiedades, eliminando el principal problema de los recapados sobre hormigón: el reflejo de grietas. Según el Manual Series N°17 del Asphalt Institute (Asphalt Institute, 1995), el "Rubblizing" presenta un muy buen comportamiento a largo plazo del recapado de mezcla asfáltica en caliente sobre pavimentos de hormigón.

Evaluaciones con el deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) han mostrado que la capacidad estructural de la capa pulverizada es al menos 1,5 veces mayor que una base granular densa con capacidad de soporte superior a CBR 100%, y que la capacidad de soporte de la capa pulverizada se incrementa a través de los años. Esto se debe a que los finos producidos en la parte superior de la superficie triturada/pulverizada, van penetrando hacia la parte inferior de la capa, producto de las cargas y vibraciones del tráfico. Este material fino se introduce en las grietas producidas en el proceso de fracturación, aumentando el módulo de la capa y disminuyendo las deflexiones del pavimento (Resonant Machines Inc., 2004).



Figura 4. Retiro del material Triturado/Pulverizado en pavimento urbano, Santiago, Chile

b) Ventajas medioambientales

Respecto a las ventajas medioambientales, esta técnica puede ser considerada como un reciclado de pavimentos de hormigón in-situ, porque el pavimento rígido pulverizado es reutilizado en el caso de rehabilitación de pavimentos. En el caso de demolición, los volúmenes de transporte se reducen considerablemente y eventualmente se podría reciclar el material pulverizado. Además, la técnica es menos agresiva en cuanto a la emisión de polvo y ruido.

c) Ventajas económicas

Desde el punto de vista económico, la diferencia de costos entre la alternativa de Triturado/Pulverizado y otras formas de rehabilitación es considerable. Uno de los factores que incide en el costo del Rubblizing es su alto rendimiento, que permite Triturar/Pulverizar entre 5.000 m² a 8.300 m² por día. Esto se traduce que en una pista de 3,5 metros se pueden obtener rendimientos mínimos de 1,5 Km/día/pista. Los costos de la técnica del Triturado/Pulverizado son muy inferiores a una reconstrucción. A modo de ejemplo, el Proyecto 001765 del estado de Arkansas citado en la Tabla 1, consistió en el Triturado/Pulverizado de 8 kilómetros de la Ruta I-40 con un TMDA de 60.000 vehículos (con 40% de camiones pesados). El diseño de pavimento correspondió a 23 centímetros de carpeta asfáltica sobre pavimento de hormigón reforzado (JRCP o Jointed Reinforced Concrete Pavement) que había sido previamente Triturado/Pulverizado. El proyecto, construido en 1997, tuvo una duración de 70 días de trabajo bajo tráfico, sin cierres de pistas en horas punta. En este caso, el método de recapado sobre pavimento Triturado/Pulverizado permitió un ahorro de 4,41 millones de dólares frente a una reconstrucción (Asphalt Institute, 2001).

Tabla 1. Costos de construcción para proyectos en Arkansas, EEUU (Asphalt Institute, 2001)

Nº de Proyecto/Localización	Método de Rehabilitación	Costo (US\$/m ²)
060616(I-30/U.S 70 South)	Remoción y reemplazo de PCC	55,0
060591(I-30/Malvern Co.)	Remoción y reemplazo de PCC	48,5
060592(I-40/Morgan Co.)	Rubblizing con recapado de 15 cm	22,6
20138(U.S Pulaski Co.)	Rubblizing con recapado de 13 cm	16,5
0700181(I-30/Clark-Co)	Rubblizing con recapado de 30 cm	25,9
R10066(I-40/Bayou-Deview)	Rubblizing con recapado de 25 cm	26,3
001765(I-40/Mayflower-Morgan Co.)	Rubblizing con recapado de 23 cm	30,7

4. Diseño estructural

Uno de los métodos de diseño estructural más conocidos y aceptados para recapados sobre el material Triturado/Pulverizado es el AASHTO 1993. Además, existen procedimientos de diseño desarrollados por el Asphalt Institute (Asphalt Institute, 1995) y NAPA (NAPA, 1991).

De acuerdo a los métodos de diseño señalados, el espesor de diseño del recapado es función de la capacidad estructural requerida para satisfacer la demanda de tráfico futura, y la capacidad estructural existente de la estructura completa después de la fracturación de la losa. El espesor requerido se determina de la siguiente ecuación:

$$SN_{oi} = a_{oi} * D_{oi} = SN_f - SN_{eff} \quad (1)$$

Donde:

SN_{oi} = Número estructural requerido para el recapado.

a_{oi} = Coeficiente estructural de la capa de mezcla asfáltica.

D_{oi} = Espesor requerido para el recapado.

SN_f = Número estructural requerido para el tráfico futuro.

SN_{eff} = Número estructural efectivo del pavimento existente después del pulverizado.

Para el cálculo del SN_f se debe determinar el Tráfico (Ejes Equivalentes), Módulo Resiliente (M_R), Serviciabilidad Inicial (p_i) y Final (p_f), Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Combinada (S_c).

El SN_{eff} se determina utilizando la ecuación de Número Estructural siguiente:

$$SN_{eff} = a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2)$$

Donde:

D_2, D_3 = Espesor de la losa fracturada y base.

a_2, a_3 = Coeficientes estructurales correspondientes a cada capa.

m_2, m_3 = Coeficientes de drenaje para la losa fracturada y la subbase granular.

El espesor requerido para el recapado se calcula de la siguiente ecuación:

$$D_{oi} = \frac{SN_{oi}}{a_{oi}} = \frac{(SN_f - SN_{eff})}{a_{oi}} \quad a_{oi} = \text{Coeficiente estructural del recapado} \quad (3)$$

Como se puede apreciar, el cálculo estructural es sencillo, pero requiere conocer los coeficientes

estructurales de las capas. El coeficiente estructural propuesto por la NAPA para el hormigón Triturado/Pulverizado mediante la técnica de Rubblizing se muestra en la Tabla 2, dependiendo del grado de confiabilidad del diseño estructural. Estos coeficientes son similares en los otros métodos de diseño utilizados.

Tabla 2. Coeficiente estructural a_2 recomendado para la capa pulverizada (NAPA, 1991)

Confiabilidad (%)	a_2
75	0,34
85	0,30
90	0,29
95	0,26
99	0,20

5. Evaluación económica para rehabilitación de pavimentos utilizando la técnica de Rubblizing en Chile

Para evaluar la factibilidad económica de la implementación del Rubblizing en Chile se realizó una comparación de los costos sociales directos involucrados entre las técnicas de rehabilitación normalmente utilizadas en el país con el "Rubblizing".

5.1 Técnicas de rehabilitación utilizadas

Como se mencionó anteriormente, existen muchas técnicas para minimizar el problema de reflexión de grietas en losas de hormigón recapadas con asfalto. Las técnicas más utilizadas en Chile son:

a) Técnica 1:

- Reparación del pavimento de hormigón existente: reemplazo total y/o parcial de losas de hormigón.
- Construcción del recapado asfáltico.

b) Técnica 2:

- Reparación del pavimento de hormigón existente: reemplazo total y/o parcial de losas de hormigón.
- Aplicación de geogrilla.
- Construcción del recapado asfáltico.

c) Técnica 3:

- Reparación del pavimento de hormigón existente: reemplazo total y/o parcial de losas de hormigón.
- Construcción de un recapado granular.
- Construcción del recapado asfáltico.

La tecnología que se propone como alternativa a las técnicas anteriormente planteadas es: d) Triturado/Pulverizado (Rubblizing):

- Pulverización/Trituración del pavimento existente con rompedor resonante.
- Construcción del recapado asfáltico.

En las soluciones presentadas en la Figura 5 se han considerado espesores y materiales habitualmente utilizados en el diseño de refuerzos en Chile. Estos diseños son estructuralmente equivalentes. Adicionalmente, se agrega en la Figura 5 una estructura equivalente para la solución con "Rubblizing".

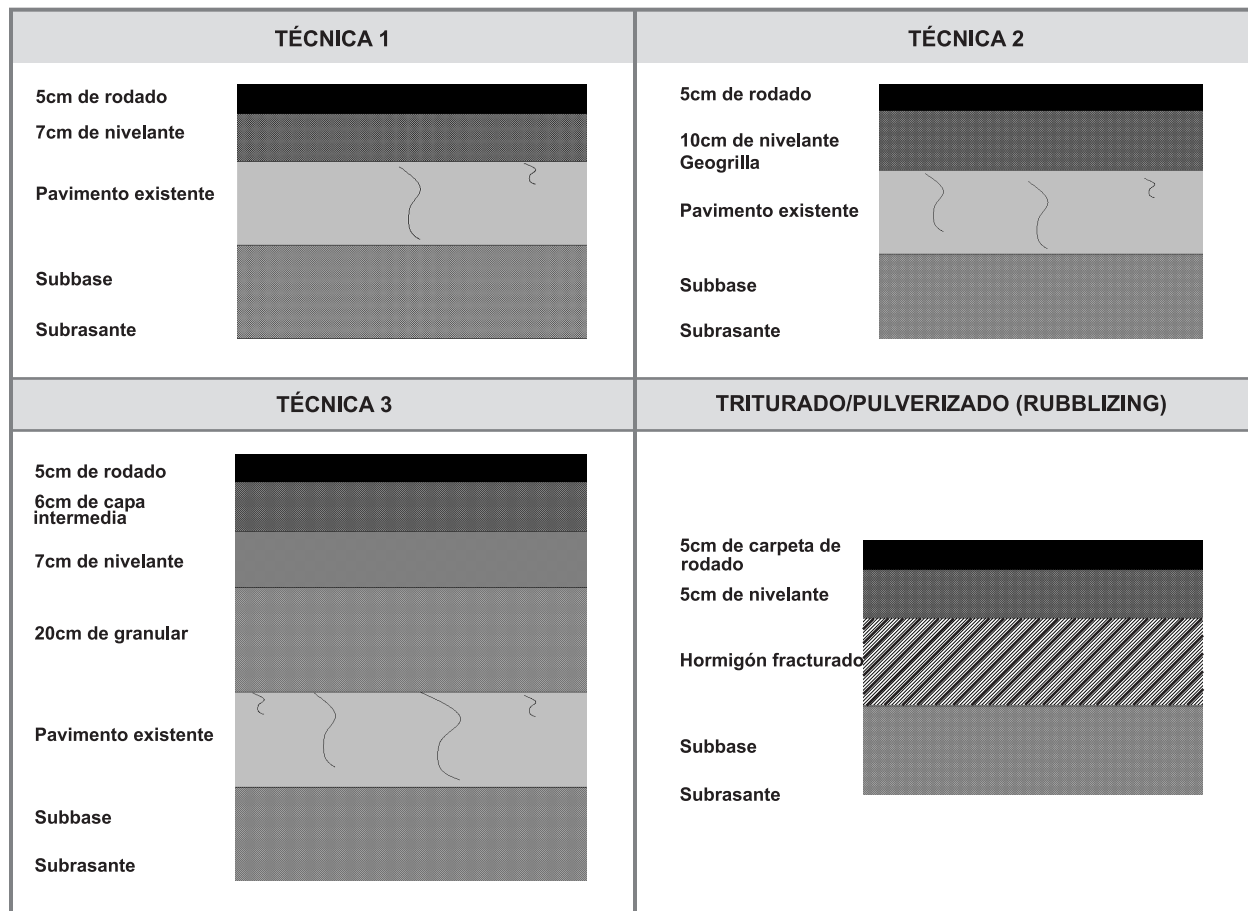


Figura 5. Estructuraciones de las técnicas de rehabilitación consideradas

5.2 Mercado de pavimentos de hormigón

El mercado disponible para la tecnología del "Rubblizing" corresponde a 2.786 kilómetros de pavimentos interurbanos de hormigón, más 798.005 metros cuadrados de pavimentos de aeropuertos, y la enorme cantidad de pavimentos urbanos.

En el caso de rehabilitación de pavimentos interurbanos de hormigón, debe establecerse un criterio para elegir qué técnica de rehabilitación debe aplicarse (técnica 1, 2 ó 3 de acuerdo a lo planteado anteriormente). Según la práctica nacional, y la experiencia de los autores, la técnica de rehabilitación tradicional se asociará al estado del pavimento de acuerdo a la nomenclatura

entregada por la Unidad de Gestión Vial del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Este se clasifica en Bueno, Regular y Malo (Tabla 3), de acuerdo al Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el porcentaje de losas que se debe reparar ante una eventual rehabilitación.

Tabla 3. Matriz de aplicación de las soluciones adoptadas

Técnica Adoptada	Estado del Pavimento	IRI (m/km)	Reparación de losas (%)
1	Bueno	Menor a 3,0	1%
2	Regular	Entre 3,0 a 3,5	3%
3	Malo	Mayor a 4,0	5%

Para estimar la cantidad de kilómetros de pavimentos de hormigón que pertenece a cada técnica de rehabilitación (mercado potencial) se utilizaron datos obtenidos de la Unidad de Gestión Vial del MOP para el año 2004. Pese a no estar disponible la condición de todos los pavimentos de hormigón del país, se estimó que aproximadamente el 28% de los pavimentos se encuentra en estado Malo, el 26% en estado Regular y el 46% en estado Bueno. Los resultados expresados en kilómetros se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Estado de los pavimentos de hormigón de la red vial en Chile

Tipo de rehabilitación	Estado del Pavimento	Porcentaje (%)*	Mercado potencial aproximado para cada Técnica (km)
Técnica 1	Bueno	46	1282
Técnica 2	Regular a malo	28	780
Técnica 3	Malo a muy malo	26	724

*: Estimado de base de datos del MOP

5.3 Costos sociales directos

Para estimar los costos sociales de cada técnica tradicional y del "Rubblizing" expresado en dólares por kilómetro se obtuvo un promedio de los precios entregados por diversas entidades (empresas consultoras, empresas contratistas, MOP, etc). Estos costos se presentan en la Tabla 5, y se calcularon aplicando una tasa de reducción del 25% respecto al precio de mercado.

Tabla 5. Costos sociales directos por km

Tipo de Rehabilitación	Costo social (US\$km)
Técnica 1	49.573
Técnica 2	83.619
Técnica 3	118.296
Rubblizing	66.972

Al observar la Tabla 5 se puede apreciar que el Triturado/Pulverizado es rentable en comparación con las técnicas 2 y 3. Por el contrario, como técnica de rehabilitación alternativa a la técnica 1, se aprecia que no es rentable. Sin embargo, en este caso el comportamiento del pavimento a largo plazo debería ser superior, ya que se elimina el reflejo de grietas en el recapado (NAPA, 1995), disminuyendo los costos de conservación y de operación vehicular, los cuales no fueron cuantificados en el presente estudio. El mercado potencial para la aplicación del "Rubblizing" sería de 1504 kilómetros sólo en la Red Vial Nacional. Sin embargo, cuando el deterioro de los pavimentos que

están en estado "Bueno" se incrementa en el tiempo, y los pavimentos entran en la categoría "Regular y/o Malo", el Triturado/Pulverizado será una alternativa rentable.

Si se implementara a futuro la tecnología del Triturado/Pulverizado mediante rompedor resonante los ahorros obtenidos (por kilómetros y totales) son los señalados en la Tabla 6, lo que implica disminuir los costos de rehabilitación en un 20% y un 43% para las técnicas 2 y 3 respectivamente.

Tabla 6. Estimación de ahorros sociales al aplicar el Triturado/Pulverizado

Tipo de rehabilitación	Costo social US\$/km	Ahorro social US\$/km	Ahorro social Total* en US\$
Técnica 2	83.619	16.647	12.984.660
Técnica 3	118.296	51.324	37.158.576

*: Suponiendo que todo el mercado de la Red Vial Nacional donde el Triturado/Pulverizado es rentable se rehabilita mediante ésta técnica.

El análisis realizado no considera el mercado potencial de pavimentos aeroportuarios y urbanos. Además, no se han incluido los costos sociales del usuario, ya que se espera un menor tiempo de construcción (que implica menor impacto al usuario y a la actividad local) y mejor comportamiento del pavimento a largo plazo (que implica menores costos de conservación y de operación vehicular), lo que permite afirmar que la rentabilidad de la tecnología estudiada es aún mayor.

6. Conclusiones y recomendaciones

- De acuerdo a lo expuesto en el presente trabajo, se puede concluir que la tecnología del Triturado/Pulverizado aplicada mediante una máquina demolidora de pavimentos resonante, es conveniente desde el punto de vista técnico, económico, medioambiental y operacional para el caso donde el deterioro del pavimento de hormigón es desde regular a muy malo.
- La principal característica del Triturado/Pulverizado mediante vibración resonante es que pulveriza el hormigón deteriorado, destruyendo el patrón de falla de las losas sin dañar las capas granulares subyacentes (Subbase y Subrasante). El tipo de fractura inducida hace que se evite el reflejo de grietas en el recapado asfáltico, manteniendo una buena capacidad de soporte, superior a la de un material de base granular de alta calidad. Estas características hacen ventajoso al Triturado/Pulverizado frente a otras técnicas de fracturación de pavimentos.

- *Todas las ventajas presentadas hacen que esta técnica sea recomendada por instituciones prestigiosas a nivel mundial como el Asphalt Institute, la NAPA y la AASHTO. Además, estas instituciones incluyen en sus documentos métodos de diseño estructural que consideran la aplicación del Triturado/Pulverizado.*
- *De acuerdo a la evaluación económica realizada solamente para el caso de los pavimentos interurbanos de la Red Vial Nacional, el ahorro social es significativo, permitiendo disminuir los costos sociales entre un 20% y un 43%.*

7. Referencias

- AASHTO (1993), Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA.*
- Asphalt Institute (1995), Manual Series N° 17 (MS-17), USA.*
- Asphalt Institute (2001), Rubblizing I-30 and I-40 in Arkansas, USA.*
- Asphalt Institute (2004), <http://www.asphaltinstitute.org>, USA.*
- Dirección de Vialidad Chile (2002), Memoria anual. Ministerio de Obras públicas, Chile.*
- NAPA (1995), Guidelines For Use Of HMA Overlays To Rehabilitate PCC Pavements, USA.*
- NAPA (1991), Guidelines and Methodologies for the Rehabilitation of Rigid Highway Pavement Using Asphalt Concrete Overlays, USA.*
- Resonant Machines Inc., (2004), <http://www.resonantmachines.com>, USA.*
- Thenoux G., Carrillo H., y Halles F. (2003a), "Filosofía y Conceptos para la Gestión de Mantenimiento de Pavimentos", Boletín Técnico N° 6, Instituto Chileno del Asfalto, Chile.*
- Thenoux G., González A. y Jamet A. (2003b), "Aspectos Constructivos del Primer Proyecto de Reciclado en Frío In-situ con Asfalto Espumado en Chile", Revista Ingeniería de Construcción Pontificia Universidad Católica de Chile, Volumen 18, N° 3, pp 148-156, Septiembre - Diciembre, Chile.*