

**ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE APORTE AASHTO MEDIANTE FWD
PARA LA TÉCNICA DE RECICLADO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS,
RUBBLIZING. UN CASO DE ESTUDIO EN EL DISTRITO DE SAN FÉLIX,
PANAMÁ.**



AUTOR:

ING. GONZALO EDUARDO GOMEZ COTE

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ENERO DE 2015

BOGOTÁ D.C.

ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE APORTE AASHTO MEDIANTE FWD PARA LA TÉCNICA DE RECICLADO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS, RUBBLIZING. UN CASO DE ESTUDIO EN EL DISTRITO DE SAN FÉLIX, PANAMÁ.

Estimation of the AASHTO structural layer coefficient by FWD for the concrete pavement Rubblizing. A case study in the District of San Felix, Panama.

I.C. Gonzalo Eduardo Gómez Cote
Bogotá D.C., Colombia
ggomezcote@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad, la correcta elección de metodologías de rehabilitación de pavimentos se convierte en un tema que implica dedicación y estudio, debido al aumento en la ocurrencia de patologías en los pavimentos existentes. Se requiere implementar metodologías que permitan procesos de rehabilitación que resuelvan integralmente las debilidades estructurales y funcionales del pavimento y de esta manera, provean nuevamente de vida útil la estructura de pavimento. El presente trabajo pretende socializar la técnica de rehabilitación de pavimentos en concreto hidráulico Rubblizing, la cual consiste en triturar y pulverizar la losa de concreto existente para convertir esta en una capa de base granular de alto modulo. A su vez presenta resultados de la evaluación estructural mediante FWD para un tramo en estudio, en términos de coeficiente de aporte estructural según la metodología AASHTO 1993.

Palabras clave: Triturado del concreto hidráulico, pavimento, rehabilitación, concreto hidráulico.

ABSTRACT

Currently, the correct choice of pavement rehabilitation methodologies becomes an issue that involves dedication and study, due to the increase in the occurrence of diseases in existing pavements. Required to implement methodologies for rehabilitation processes that fully solve the structural and functional pavement weaknesses and thus, provide service life again the pavement structure. This paper aims to socialize pavement rehabilitation technique Rubblizing, which consists of f the existing concrete slab to turn this into a high modulus granular base. In turn presents results for structural evaluation by FWD for a real project, in terms of AASHTO 1993 structural coefficient.

Keywords: Rubblizing, pavement, rehabilitation, concrete.

INTRODUCCIÓN

De manera general en el transcurrir de su vida útil, los pavimentos están sometidos a procesos de deterioro, producidos por las solicitaciones de cargas de tránsito y aspectos de tipo climatológico. En obras de infraestructura vial, existen técnicas y mecanismos que permiten extender en cierta medida la vida útil de las estructuras de pavimento existentes. Estas técnicas se clasifican en dos tipos: de conservación y de rehabilitación (Guillermo Thenoux, 2004). Las técnicas de conservación tienen como función y objetivo principal, implementar acciones que permitan restaurar la capacidad funcional de la estructura de pavimento, mientras que las técnicas de rehabilitación implican acciones correctivas en las que se aporte o recupere la capacidad estructural del pavimento existente.

La técnica de rehabilitación de mayor implementación en estructuras de pavimento rígido es sin duda el recarpeteo mediante el uso de concreto asfáltico, de manera directa sobre la losa existente o mediante el uso de una capa de material granular de transición (NAPA, 1995). Si bien esta técnica mejora las condiciones funcionales, a la vez que aporta capacidad estructural al pavimento existente, presenta un problema de fisuración temprana sobre la capa de concreto asfáltico de mejoramiento debido a la reflexión de grietas provenientes de las losas de concreto hidráulico inferiores.

Para minimizar y/o retardar la aparición de este fenómeno de reflexión de juntas sobre la estructura

de rehabilitación se han implementado varias técnicas entre las que se destacan entre otras, capas de concreto asfáltico de gran espesor, uso de geosintéticos, mezclas asfálticas modificadas, capas de transición y la técnica de trituración de la estructura de pavimento rígido existente (National Cooperative Highway Research Program, 2001). Esta última conocida como Rubblizing, se presenta como una alternativa para mejorar el comportamiento funcional de las estructuras de pavimento sometidas a actividades de rehabilitación (NAPA, 1995). El presente trabajo tiene como finalidad exponer dicha metodología y analizar el aporte estructural en términos de coeficiente, según lo establecido por la guía AASHTO (AASHTO, 1993), en un caso de aplicación particular.

La carretera Panamericana, de la cual hace parte el tramo en estudio, se consiste en un colectivo de carreteras que unen el continente americano de Norte a Sur, en una longitud aproximada de 48000 Km, desde Alaska hasta la bahía Lapataia en Ushuaia, Argentina.

El tramo que se implementara como caso de estudio, está localizado en la Provincia de Chiriquí, entre los Distritos de Vigú y San Félix de la República de Panamá, con una longitud de 41 Km en calzada única, la cual hace parte de proyectos de ampliación a doble calzada. Para el desarrollo del presente estudio se analizara un sector de prueba de 100 metros de longitud perteneciente a dicho tramo, en el cual fue ejecutado el procedimiento Rubblizing.

1. TECNICA Y METODOS

La metodología Rubblizing para la rehabilitación de pavimentos rígidos existentes, consiste en la pulverización de la losa de concreto que ha cumplido su vida útil, mediante el uso de un martillo que golpea el pavimento entrando en resonancia, pulverizando y triturando el material y transformando la losa de concreto en un material granular, de tal manera que se eliminen las grietas y fisuras que puedan presentarse en la estructura de pavimento.

Este mecanismo permite la reutilización de la totalidad del material en el sitio, reduciendo costos en transporte y aprovechando las características mecánicas de soporte que ofrece el material resultante. La metodología Rubblizing permite la implementación de dos métodos constructivos, el primero se conoce como “Martillo de caída” y el segundo se conoce como “Rompedor resonante”, estos dos métodos se pueden aplicar en cualquier estructura de pavimento rígido, con o sin barras de transferencia de carga.

1.1. MARTILLO DE CAIDA

Este proceso constructivo consiste en la aplicación de cerca de 14 martillos con un peso aproximado de 600 kilogramos, distribuidos en dos filas. El procedimiento consiste en dejar caer el juego de martillos desde una altura aproximada de 1.5 metros directamente sobre la superficie del pavimento existente, en ciclos de 35 impactos por minuto. El alto impacto generado por el excesivo peso, puede llegar a producir desgaste en

los materiales presentes bajo la losa de concreto, esto junto a la necesidad de una compactación pesada generan inconvenientes en la aplicación del procedimiento.

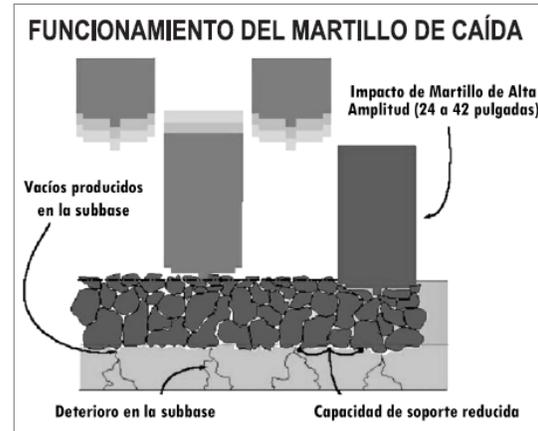


Figura 1. Aplicación del Martillo de Caída.
Fuente: (Resonant Machines, 2004).

1.2. ROMPEDOR RESONANTE

El Rubblizing mediante la vibración resonante permite la reutilización de la estructura de pavimento existente sin alterar las propiedades del material subyacente. Este procedimiento fractura la losa con baja amplitud y alta frecuencia en un ángulo de 45 grados con respecto al plano de corte, golpeando el material unas 44 veces por segundo, fracturando el concreto, despegando el acero de refuerzo sin dañar el material granular ni las instalaciones de servicios públicos subterráneas.

El resultado final de este procedimiento es una capa de material granular de un buen aporte estructural y de correcto desempeño frente al agua.

2. RUBBLIZING MEDIANTE ROMPEDOR RESONANTE

El procedimiento de Rubblizing mediante la técnica de utilización del rompedor resonante, fractura el cemento portland que compone el pavimento existente en trozos angulares, conformando una capa de material resultante con características físicas y mecánicas similares a la de un granular, pero aumentando su aporte estructural. Sobre esta capa resultante se aconseja la colocación de una carpeta en concreto asfáltico, alcanzando nuevamente los niveles de servicio esperados y recuperando las propiedades estructurales y funcionales del pavimento.

Esta técnica se presenta como una solución para la disminución de costos en comparación a otros procesos constructivos y una mejora ambientalmente hablando, al permitir la reutilización de materiales in situ. El proceso de Rubblizing elimina la grietas por reflexión de fisuras, pérdida de transferencia de carga, daños por presencia de humedad y reacciones álcali-sílice.

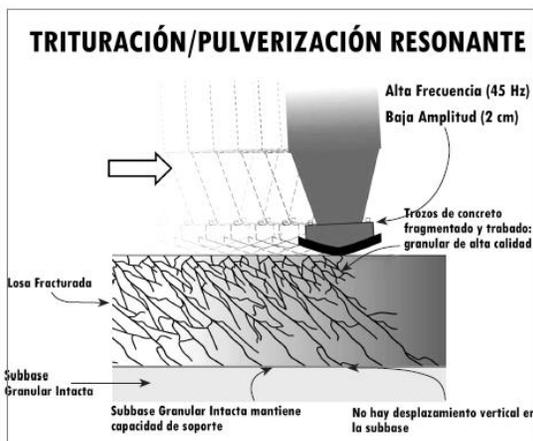


Figura 2. Aplicación del Rompedor Resonante.

Fuente: (Resonant Machines, 2004)

2.1. MAQUINARIA UTILIZADA

El procedimiento de Rubblizing se realiza mediante la implementación de un equipo de trituración y pulverización (Resonant Machines, 2004), el cual utiliza un martillo montado en una viga, estructura que entra en resonancia. Al golpear la estructura de pavimento existente, este se tritura, eliminando cualquier patrón de fisuración presente y transformando la losa en una capa de material granular.

Para lograr un correcto desarrollo del procedimiento se deben regular dos factores, la amplitud y frecuencia. La amplitud se entiende como la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto medio de la misma, esta se debe trabajar entre 1.25 y 2.5 centímetros. La frecuencia nos indica el número de repeticiones por unidad de tiempo y se debe garantizar un rango entre 42 y 46 Hertz (Ontario Provincial Standard Specification, 2011). Una vez se garantizan estos valores y el martillo empieza a trabajar con la amplitud y frecuencia optimas, la resonancia permite triturar y pulverizar la losa de concreto hidráulico a una velocidad de operación de entre 5 y 10 km/h. El resultado final consiste en trozos de concreto fragmentados y de óptima trabazón. (National Concrete Pavement Technology Center, 2008)



Figura 3. Equipo rompedor resonante.
Fuente: Hidrodem.

2.2. PROCESO CONSTRUCTIVO

Las etapas que hacen parte del proceso constructivo para la implementación de la metodología Rubblizing, son (Asphalt Institute, 2001):

- **Preparación de la superficie.** De existir una capa de material en concreto asfáltico, este debe ser removido mediante el procedimiento de fresado.
- **Trituración/Pulverización.** Mediante el uso del equipo rompedor resonante, se procederá a realizar la trituración de la losa existente.
- **Mejoramiento de Subrasante.** En el caso en que el material de soporte presente una resistencia débil o un estado deteriorado, se deberá reemplazar el área y aplicar un procedimiento de mejoramiento.
- **Compactación.** El material producto del Rubblizing deberá ser compactado mediante rodillo liso hasta lograr una superficie uniforme.

- **Sobrecarpeta.** Se deberá construir una capa de nivelación y una capa superior de mezcla asfáltica en caliente.

El espesor de la capa superior de mezcla asfáltica en caliente dependerá, entre otras cosas, del tráfico de diseño, calidad del material usado en la losa de concreto existente, calidad del suelo de soporte, espesor de losa existente y tamaño de los fragmentos producto de la implementación de la técnica (C. Coley, 2006).

2.3. VENTAJAS DE LA METODOLOGIA

2.3.1. Ventajas Técnicas

Técnicamente, el procedimiento de Rubblizing es comparable con una reconstrucción, ya que elimina el principal inconveniente de la construcción de sobrecarpetas: el reflejo de fisuras. Según el manual Series No.17 del Asphalt Institute (Asphalt Institute, 1995), la técnica Rubblizing promueve el buen desempeño de la mezcla asfáltica sobre pavimentos rígidos al eliminar todo tipo de fisuración, fallas de junta, escalonamiento y bombeo, generando un material de óptimas propiedades mecánicas.

2.3.2. Ventajas Económicas

Económicamente, el procedimiento Rubblizing presenta un gran beneficio frente a otras técnicas de reciclado de pavimentos en concreto hidráulico, al permitir la reutilización del materia resultante en el sitio de trabajo, evitando costos de transporte o consecución de material granular

de apoyo para la capa de concreto asfáltico nueva. Adicionalmente, esta técnica presenta rendimientos de entre 5000 m² y 8300 m² por día (Guillermo Thenoux, 2004), en comparación a los extensos procedimientos necesarios en la implementación de técnicas de reconstrucción.

2.3.3. Ventajas Medioambientales

La técnica permite una considerable disminución en la emisión de polvo y ruido. A su vez, al considerarse una técnica de reciclado de pavimentos de concreto hidráulico in situ, el Rubblizing logra una reducción en la explotación de materiales, además de una reducción en transporte y consumo de combustibles fósiles. Optimización de los materiales existentes.

2.4. LIMITACIONES

La técnica Rubblizing es recomendada para pavimentos en mal estado y próximo al final de su vida útil. Se debe tener especial cuidado al encontrarse con suelos de soporte de baja capacidad baja,

3. DEFLECTOMETRIA

Las mediciones de deflexión permiten evaluar de forma no destructiva el comportamiento estructural del pavimento del corredor; por ejemplo, por medio de procesos conocidos como retrocálculo se pueden conocer los módulos de cada una de las capas que conforman el paquete estructural, así mismo, es posible determinar la capacidad estructural

en términos del Número Estructural Efectivo de AASHTO.

La medición de las deflexiones en la estructura de pavimento fue realizada por la empresa ITINERIS Gestión de Infraestructura, cada 20 m y para cada uno de los carriles existentes. El equipo empleado para tal fin fue el deflectómetro de impacto KUAB-150, dispositivo de carga dinámica remolcado por un vehículo, que cumple todos los requisitos estandarizados por la ASTM D 4694-96 y el protocolo de calibración de SHRP para equipos de este tipo.



Figura 4. Equipo KUAB-150.

Fuente: ITINERIS Gestión de Infraestructura.

Para el caso del presente estudio, el equipo KUAB-150 ha sido configurado para aplicar una carga de 50 KN para las mediciones de centro de losa y transferencia de carga; esta carga es generada por la caída de dos masas sobre un plato circular de 0.30 m de diámetro. Este impacto simula el paso de la rueda de un vehículo pesado y es registrado por un sensor ubicado en el centro del plato, durante el instante en que el disco cae sobre el pavimento.

Las deflexiones producidas son medidas por un grupo de siete (7) sismómetros espaciados entre sí cada 0.30m, permitiendo la obtención de la curva completa del cuenco de deflexiones.

Las siguientes son algunas características únicas del FWD KUAB (KUAB Konsult & Utveckling AB, 2004):

- Configuración de dos masas: factor que permite la producción de un pulso de carga que simula los efectos reales de un vehículo en movimiento.
- Plato de carga segmentado: esta condición asegura una distribución uniforme de presión sobre la superficie del pavimento.
- Sensores de medición: Reporta deflexiones en un rango de 0 a 200 mili pulgadas (0 a 5000 micrones).

3.1. PROCEDIMIENTO DE MEDICION

En cada punto de medición se realizan tres (3) golpes o mediciones, con el fin de asegurar la repetitividad de los resultados dentro de un rango de desviación aceptable. La distancia recorrida por el equipo es registrada por un odómetro que indica la ubicación del punto a medir. El FWD posee un termómetro infrarrojo que registra automáticamente la temperatura de la superficie del pavimento en cada punto de medición.

3.1.1. Normalización de deflexiones por carga

Inicialmente los datos de deflexión, obtenidos en el estudio deflectométrico se normalizan por carga teniendo en cuenta el valor de la carga con que fueron generadas y considerando que la reacción al aplicar la carga no siempre es constante (Instituto Nacional de Vías, 2008).

Esta corrección se realiza proporcionalmente, es decir, aplicando la ecuación (1):

$$d_i = d_{io} * \frac{Pr}{Po} \quad (1)$$

Dónde:

d_i = Deflexión del sensor i, corregida a la carga P_r .

d_{io} = Deflexión del sensor i, medida en campo con la carga de aplicación P_o .

P_r = Carga a la cual se normalizarán las mediciones, en este caso igual a 50 KN.

P_o = Carga (en KN) aplicada en las mediciones de campo.

3.1.2. Normalización de deflexiones por temperatura

La función de corrección de las deflexiones, está basada en un análisis numérico para llevar las deflexiones medidas a ciertas condiciones de referencia, tales como la temperatura y espesor de la carpeta existente.

Para la corrección por temperatura se utilizó lo dispuesto en el apéndice C.2 del anexo C de la Guía Metodológica de Rehabilitación de Pavimentos

Flexibles del INVIAS (Instituto Nacional de Vías, 2008). Dicha corrección se efectúa empleando la ecuación (2):

$$FA = 10^{-0.0195(T_r - T_m)} = 1,046^{(T_m - T_r)} \quad (2)$$

Donde:

FA = Factor de ajuste del módulo del concreto asfáltico por temperatura

T_r = Temperatura de trabajo de la mezcla, °C;

T_m = Temperatura de ensayo, °C

4. RETROCALCULO DE MODULOS

Para el diseño de pavimentos se emplean herramientas que permiten calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones de una estructura de pavimento, conociendo la carga aplicada, los espesores de capas y el aporte estructural en términos de módulo de cada material que conforma la estructura. De esta manera y contando con esta información es posible determinar los valores de deflexión que se presentaran en la superficie del pavimento, sobre el punto de aplicación de carga y a distintas distancias, obteniendo de esta manera la curva de deflexión característica de la estructura analizada.

El procedimiento de retrocálculo o cálculo inverso permite caracterizar la resistencia mecánica de cada una de las capas que conforman una estructura de pavimento existente, en base a la medición de deflexiones

superficiales, mediante el FWD (Noriega, 2010).

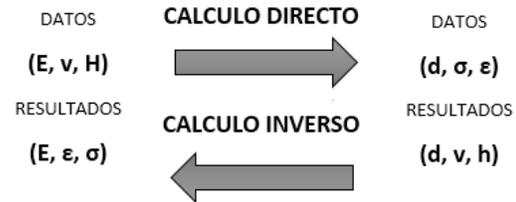


Figura 5. Datos requeridos

Fuente: Nociones básicas de cálculo inverso.

4.1. SOFTWARE PARA RETROCALCULO

Para el desarrollo de la metodología de retrocálculo de módulos se implementaron las herramientas informáticas: MODULUS, RUBICON y BAKFAA.

La estructura de pavimento existente para el tramo en estudio, ha sido modelada como una estructura multicapa, donde la primera capa corresponde a la carpeta asfáltica existente, la segunda al material producto del Rubblizing, la tercera al material granular remanente, y la cuarta por el suelo de fundación; importante mencionar que se hizo el análisis de la capa rígida, cuya profundidad se determinó mediante el procedimiento propuesto por Rohde & Sculliuon (Rohde, 1990) y descrito en la Guía de Rehabilitación del INVIAS (Instituto Nacional de Vías, 2008), la cual describe la profundidad homogénea hasta donde se localiza la roca madre.

MODULUS 6.0

Programa creado por el Departamento de Transporte de Texas en colaboración con el Departamento de Transporte de

Estados Unidos y la Administración Federal de Carreteras en la década del 90 (Wenting Liu, 2001).

Esta versión permite un análisis individual por estación de medición y cálculo interno del espesor de la capa rígida.

RUBICON TOOLBOX

Conjunto de herramientas de origen Neozelandés, enfocadas en el análisis de alternativas de rehabilitación de pavimentos. Implementa metodologías de análisis estadístico avanzadas como el método de Montecarlo y Elementos finitos, permitiendo mejorar el alcance del diseño de pavimentos. (Rubicon Toolbox, s.f.)

BAKFAA

Software desarrollado por la Administración de Aviación Federal FAA de los Estados Unidos, para el retrocálculo de módulos de capas de un pavimento existente.

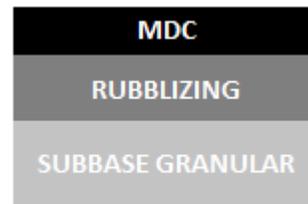
Este software permite analizar la información de todos los cuencos obtenidos mediante FWD, complementado dicho análisis con evaluaciones estructurales mediante algoritmos internos del programa.

BAKFAA permite evaluar la carga transmitida y la capacidad del pavimento existente, obteniendo como resultado los parámetros necesarios para el diseño de alternativas de rehabilitación, mantenimiento extensivo y revestimiento estructural. (U.S. Department of Transportation, 2011)

4.2. MODULO RESILIENTE DEL MATERIAL DE RUBBLIZING

El módulo resiliente es la propiedad que caracteriza los materiales en la metodología AASHTO. Este se considera una medida de las propiedades elásticas del material que presenta ciertas características no lineales. Este módulo se puede obtener mediante retrocálculo utilizando las deflexiones obtenidas mediante FWD, ensayos de módulo resiliente o con ayuda de correlaciones con otros ensayos. (Sandoval, 2010)

De acuerdo a los espesores reportados por la exploración geotécnica realizada en el tramo en estudio, para el retrocálculo de módulos mediante software especializado, se realizó la modelación de una estructura de pavimento compuesta de la siguiente manera:



Cbr = 2.4 %

Figura 6. Estructura de Pavimento Existente
Fuente: Elaboración propia.

Mediante el procedimiento de retrocálculo a partir de los resultados de FWD, se determinó el módulo resiliente promedio para la capa de material producto del procedimiento Rubblizing, mediante cada una de las herramientas informáticas:

	MODULO RESILIENTE	
	Mpa	Psi
BAKFAA	519	75275
RUBICON	470	68168

MODULUS	525	76145
---------	-----	-------

5. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE APORTE ESTRUCTURAL

5.1. METODOLOGIA AASHTO

El coeficiente de aporte estructural expresa la relación empírica entre el número estructural y el espesor relativo de un material que compone la estructura de pavimento. La guía AASHTO en su versión 1993, propone la siguiente ecuación para la estimación del coeficiente de aporte estructural en materiales granulares (AASHTO, 1993):

$$a_2 = 0.249 \cdot \log(E_{rub}) - 0.977$$

Donde:

a_2 = Coeficiente de aporte estructural de la capa Rubblizing
 E_{rub} = Modulo del material producto de Rubblizing, lb/pulg²

5.2. GALAL

La siguiente es una ecuación empírica sugerida por Galal, para proporcionar resultados de coeficiente de aporte estructural de la capa de material producto del Rubblizing (Galal, 1999)

$$a_2 = 0.0045 \cdot \sqrt[3]{E_{rub}}$$

Donde:

a_2 = Coeficiente de aporte estructural de la capa Rubblizing
 E_{rub} = Modulo del material producto de Rubblizing, lb/pulg²

5.3. ANALISIS DE RESULTADOS

En general, el coeficiente de aporte estructural para la capa de material producto de Rubblizing, calculado mediante la ecuación propuesta por la Guía AASHTO 1993 para materiales granulares, oscila entre 0.12 y 0.29, con un valor promedio de 0.21.

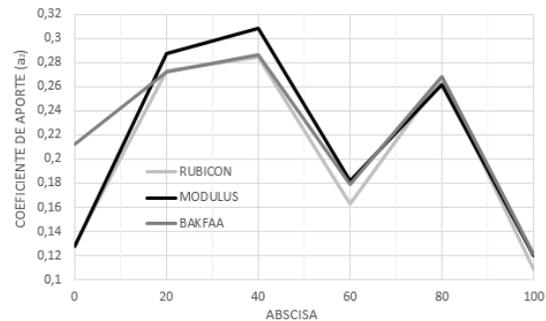


Figura 7. Coeficiente de aporte (a_2) - AASHTO

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, mediante la ecuación propuesta por Galal, el coeficiente de aporte estructural de la capa de material producto del Rubblizing oscila entre 0.13 y 0.22, con un valor promedio de 0.18.

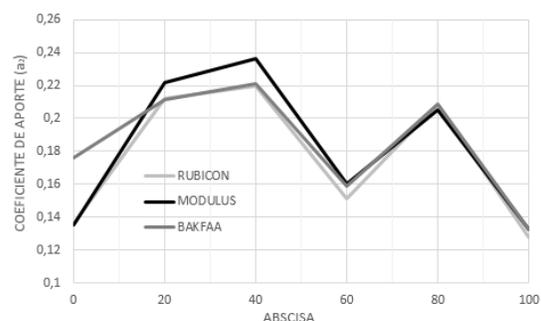


Figura 8. Coeficiente de aporte (a_2) - GALAL

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

- La técnica de triturado de pavimentos de concreto hidráulico existentes,

Rubblizing, se presenta como una alternativa conveniente para la rehabilitación de pavimentos, desde el punto de vista técnico y ambiental.

- El Rubblizing se presenta como una solución efectiva para el principal inconveniente de las técnicas de rehabilitación de pavimentos rígidos mediante sobrecarpeta de concreto asfáltico, la reflexión de grietas y fisuras.
- De acuerdo a lo expuesto en el presente documento, el coeficiente de aporte estructural para la capa de material producto de la técnica Rubblizing, oscila entre 0.13 y 0.27, con un valor promedio de 0.20, lo cual es consecuente con las investigaciones y proyectos que hacen parte del estado del arte de la técnica.
- Se recomienda un coeficiente de aporte estructural de 0.19 para el diseño mediante la metodología AASHTO 1993 y un valor de módulo resiliente de 530 MPa, para el diseño mediante MEPDG y otras metodologías.
- Las ventajas técnicas que proporciona la metodología Rubblizing, la convierten en una técnica recomendada por instituciones como la AASHTO, la NAPA y el Asphalt Institute.

AASHTO. (1993). *Guid for Design of Pavements Structures*. Washington, D.C.

Asphalt Institute. (1995). *Manual Series No. 17 (MS-17)*. USA.

Asphalt Institute. (2001). *Rubblizing I-30 and I40 in Arkansas*. USA.

C. Coley, I. C. (2006). *Improved design of overlay treatments to concrete pavements. Final report on the monitoring of trials and schemes*.

Galal, A. K. (1999). *Structural Adequacy of Rubblized Portland Cement Concrete Pavement*.

Guillermo Thenoux, A. G. (2004). *Estudio, diseño y evaluación económica de la técnica de trituración/pulverización (Rubblizing) de pavimentos de hormigón mediante vibración resonante*.

Instituto Nacional de Vías. (2008). *Guía Metodológica para el Diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá D.C.

KUAB Konsult & Utveckling AB. (2004).
Obtenido de <http://www.kuab.se/>

NAPA. (1995). *Guidelines For Use of HMA Overlays To Rehabilitate PCC Pavements*. USA.

National Concrete Pavement Technology Center. (2008). *Rehabilitation of Concrete Pavements Utilizing*

REFERENCIAS

Rubblization an Crack-and-Seat
Methods.

National Cooperative Highway Research
Program. (2001). Rehabilitation
Strategies for Highway Pavements.
*NCHRP Web Document 35 (Project
C1-38): Contractor's Final Report.*

Noriega, M. H. (2010). Relación entre el
módulo resiliente hallado por
retrocalculo y el encontrado en
ensayos de laboratorio.

Ontario Provincial Standard Specification.
(2011). *Construction Specification for
Rubblizing Concrete Pavement and
Concrete Base.* Ontario.

Resonant Machines. (2004). Obtenido de
<http://www.resonatmachines.com>

Rohde, G. a. (1990). Modulus 4.0: Expansion
& Validation of the Modulus
Backcalculation System, Research
Report 1123-3.

Rubicon Toolbox. (s.f.). Obtenido de
[http://www.rubicontoolbox.com/Pa
ges/Home.aspx](http://www.rubicontoolbox.com/Pages/Home.aspx)

U.S. Department of Transportation, F. A.
(2011). Use of non Destructive
Testing in the Evaluation of Airports
Pavements.

Wenting Liu, V. A. (2001). *Modulus 6.0 for
Windows.* Texas.