

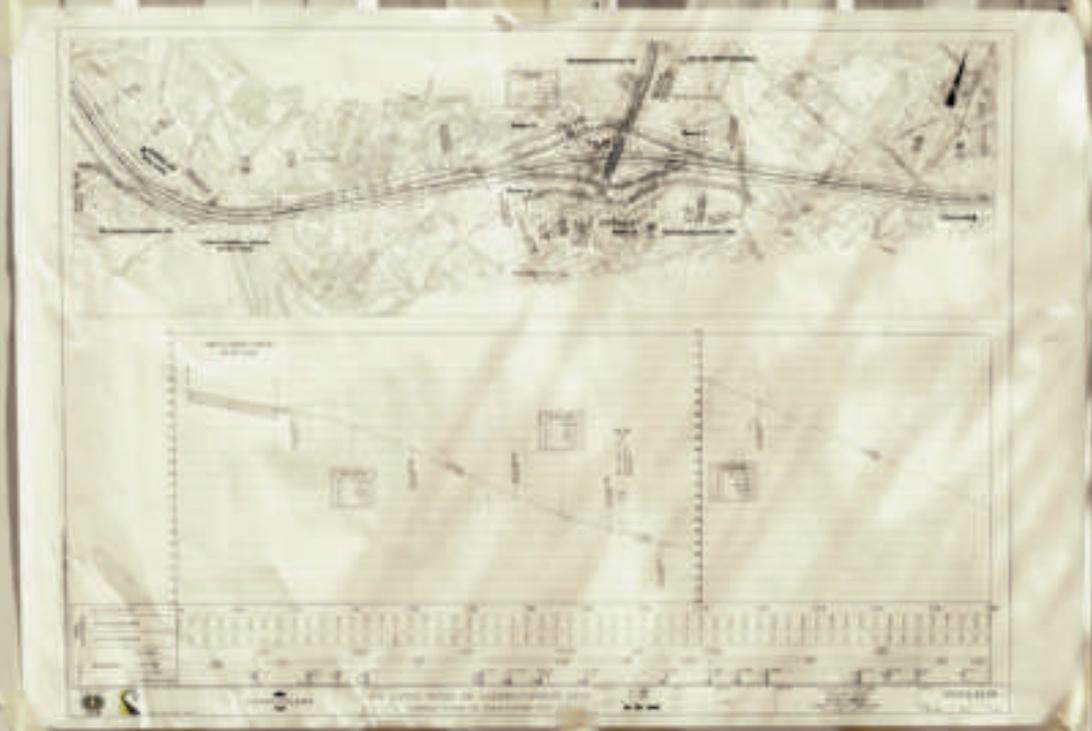
ASFALTO

y pavimentación

Número 29 · Volumen VIII · Segundo trimestre · 2018

número **29**





1/4 de obra es obra nuestra

Quien está acostumbrado a acometer grandes proyectos sabe que confiar en Galp Energía significa tranquilidad al respecto de una parte de su obra. Desde los combustibles y el fuelóleo pasando por los betunes, Galp Energía garantiza un servicio y un acompañamiento técnico orientado al cliente y sin errores en los momentos críticos. Una seguridad que sólo alguien que está cerca del cliente puede ofrecer. Use nuestra energía y manos a la obra.

Tel.: 91 714 67 00 - Fax: 91 714 68 71 - E-mail: buzon.espana@galpenergia.com





Número 29 · Volumen VIII
Segundo trimestre · 2018

ASFALTO Y PAVIMENTACIÓN

Director

Juan José Potti

Comité de Redacción

María del Mar Colás,
Andrés Costa, Jesús Felipo,
Jacinto Luis García Santiago,
Lucía Miranda, José Luis Peña,
Nuria Querol, María del Carmen Rubio,
Ángel Sampedro, José Antonio Soto

Secretario

Andrés Pérez de Lema

Coordinador

Francisco Muriel

Secretaría

Lies Ober

Editorial Prensa Técnica, S. L.

Castiello de Jaca, 29 3º Puerta 2
28050 Madrid
Tel. 91 287 71 95
Fax 91 287 71 94
Directo 629 877 460
www.asfaltopavimentacion.com
asfalto@asfaltopavimentacion.com

Suscripción anual (4 números)

España: 10 €
Extranjero: 12 €

ISSN: 2174-2189
Depósito Legal: M21967-2011

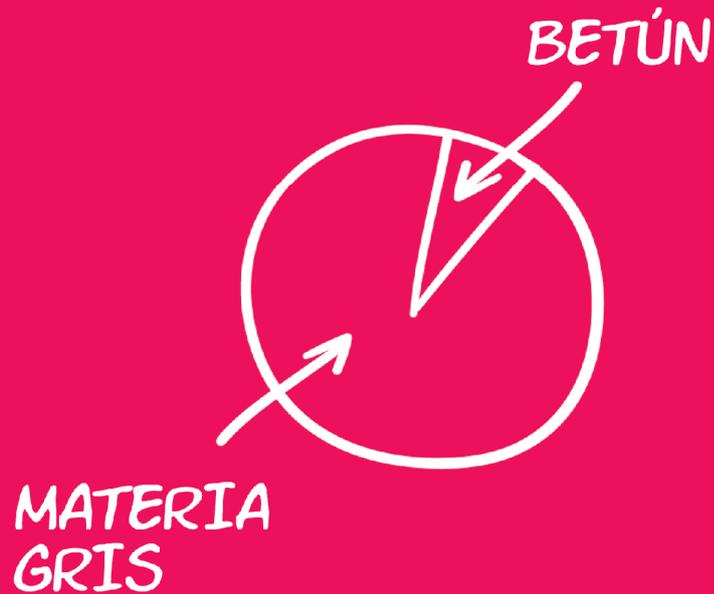
Prohibida la reproducción, total o parcial,
de los contenidos aparecidos en esta
publicación sin previa autorización
por escrito.

Las opiniones vertidas en esta revista
son de responsabilidad exclusiva
de sus autores, sin que Editorial Prensa
Técnica, S. L. los comparta
necesariamente.

Sumario

Número 29 · Volumen VIII · Segundo trimestre · 2018

Editorial El concepto Asfalto 4.0	05
Tribuna José Luis Peña	07
Tribuna Andrés Pérez de Lema	09
Tribuna Jacinto Luis García	11
Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de magens (PDI) Wilton Pereira Macedo - Jaime Rafael Obando Ante	13
Modelos de comportamiento de adherencia neumático calzada Marta Beatriz Pagola - Oscar Hugo Giovanon	25
Patologías de los Pavimentos Andrés Costa	33
Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens Suzana Barbosa Chaves da Silva - Jaime Rafael Obando Ante	41
Secciones fijas Descripción de ensayos para mezclas bituminosas, Noticias, Calendario, Mirando al pasado, Lecturas recomendadas, Lecturas comentadas, I+D, Observatorio de mercado, Afirmaciones asfálticas	51



En realidad, construir una carretera necesita muy poco betún.

¿Tienen idea de cuanta inteligencia contiene una carretera? Probisa construye carreteras que desactivan los gases contaminantes, drenan la lluvia, absorben el ruido. Carreteras más seguras que mejoran la frenada, que resisten al calor, al hielo, a la intemperie. Carreteras ahorradoras de recursos naturales. Carreteras inteligentes gracias a la suma del talento de nuestros colaboradores.

Probisa
Abrimos paso a nuevas ideas

El concepto Asfalto 4.0

La XIII Jornada Nacional de Asefma va a tratar de desarrollar un nuevo concepto denominado: **Asfalto 4.0**. En general, se aplica 4.0 a todo lo relativo a la llamada cuarta revolución industrial, industria inteligente o industria SMART. Hay una serie de bases tecnológicas que sustentan este concepto pero, sin duda, es la idea de una creciente y adecuada digitalización y coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la economía, la base más sólida de este nuevo concepto.

El concepto **Construcción 4.0**, no es nuevo, ya se emplea desde hace unos años. A pesar de ello, la construcción es uno de los sectores menos evolucionados en la transformación digital, comparado con otros sectores como el turismo, el transporte, la agricultura, la producción industrial, la banca, la educación, el sistema sanitario, los medios de comunicación, etc...

Hay una serie de nuevas disciplinas o tendencias en lo relativo a la gestión digital: se habla de la gestión del talento digital o Digital Talent, de las ventas digitales o Digital Sales, de la innovación digital o Digital Innovation y de la tecnología digital o Digital Technology. Lo digital no va sólo de nuevas tecnologías sino de relaciones humanas, existe una gran oportunidad de acercarnos a los clientes, proveedores y empleados de una forma distinta.

La era de la hiperconectividad ha cambiado la forma en la que nos relacionamos, la rapidez y el acceso que tenemos a la información en cualquier lugar y en cualquier momento se ha instalado en nuestra vida laboral y personal de una forma natural. En los próximos años la transformación digital desplazará del mercado a cerca del 40% de las compañías. Así se desprende del informe Digital Vortex: "How Digital is Redefining Industries", presentado por el Centro Global para la Transformación Digital de los Negocios (DBT Center, Global Center for Digital Business Transformation)

Gran número de empresas aumentan las inversiones en nuevas tecnologías digitales, redes sociales, big data, cloud computing, relaciones M2M, etc. Pero hay que entender la digitalización como algo transversal y global de toda la organización, con soporte de software adecuado y con transparencia de los procesos de la empresa en tiempo real.

La XIII Jornada Nacional de Asefma va a tratar de mostrar y analizar algunas de las iniciativas de transformación digital que se están desarrollando ya en el mundo de la pavimentación. Desde la fase de proyecto y licitación, a la fase de fabricación, extendido y compactación, control de calidad y a la fase de explotación posterior. A todo ello, se le puede denominar **Asfalto 4.0**

El potencial de la transformación digital dependerá en cómo los líderes y las organizaciones desarrollarán su actividad utilizando los avances digitales (analítica, movilidad, redes sociales, dispositivos inteligentes, etc...) para mejorar la experiencia y el conocimiento del cliente, la interconexión y comunicación de los empleados y la creación de nuevos modelos de negocio sobre una base de IT eficiente. En el futuro del trabajo, todo lo que se pueda digitalizar acabará digitalizándose y todo lo que pueda interconectar acabará interconectado.

Además, este nuevo concepto Asfalto 4.0, debe enfrentarse a grandes desafíos que provienen de los nuevos vehículos de transporte de pasajeros y mercancías, a las nuevas orientaciones sobre la movilidad de nuestra sociedad y a las exigencias derivadas de los aspectos relativos al medio ambiente y a la sostenibilidad. Sin lugar a duda, Asefma en esta XIII Jornada Nacional nos presenta bajo el slogan: "El concepto Asfalto 4.0 una respuesta a los nuevos desafíos sobre movilidad y sostenibilidad" uno de los desafíos más importantes a los que se enfrenta el sector y la sociedad; la transformación digital.

Your road
to solution



A large billboard is mounted on two blue pillars over a road. The billboard is white with a blue logo on the left consisting of three overlapping rounded rectangles in shades of blue. To the right of the logo, the word "ravasol" is written in a large, dark blue, lowercase sans-serif font. Below "ravasol", the word "ASPHALT" is written in white uppercase letters inside a dark blue rounded rectangle. Below the main billboard, the word "INOSBUR" is written in a smaller, grey, uppercase sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®). The billboard is set against a clear blue sky. In the background, there is a body of water, a bridge, and some trees.

ravasol
ASPHALT

INOSBUR[®]

Nosbur cambia a Ravasol

Para cualquier información adicional, contactar con:
asphalt@ravagochemicals.com o visitar nuestra página web www.ravagochemicals.com



Asfalto 4.0 un reto al alcance de la mano



José Luis Peña
Vocal de la revista
Asfalto y Pavimentación

 @joluperd

En cualquier publicación de prensa económica o en las secciones de tecnología de la prensa generalista es común encontrar referencias al concepto Industria 4.0 bajo el que subyace el uso predominante de tecnología digital. En muchas ocasiones se cita como la cuarta revolución industrial, término que muy probablemente haga justicia al cambio disruptivo que está originando, enfatizando y acentuando la idea de una creciente y adecuada digitalización y coordinación cooperativa en todas las unidades productivas de la economía.

La amplitud de sectores a lo que afecta la cuarta revolución industrial, no centrándose solo en la industria convencional, es también un factor diferencial respecto a otras revoluciones industriales precedentes. Esta amplitud de sectores en los que está teniendo lugar implica una gran diversidad en la implantación de las ideas genéricas de digitalización y coordinación cooperativa.

Centrándonos en el mundo de la pavimentación, los cambios en marcha provienen de diferentes frentes y, sin embargo, vamos a estar obligados a confluir debido a la tipología de mercado en el que se desarrolla la actividad de la pavimentación de carreteras: administraciones públicas que tienen, en último término, el control de la fase de proyecto, construcción y explotación. Es bajo este entorno donde se está produciendo el desarrollo del concepto Asfalto 4.0.

En términos prácticos, los desarrollos más destacables se están produciendo en áreas relacionadas con procesos productivos: siguiendo el camino que recorren las mezclas bituminosas, es común en Europa que la logística de suministro de mezclas bituminosas se controle mediante GPS, permitiendo planificar el proceso de extendido y consiguiendo que

el enfriamiento de las mezclas se reduzca al mínimo. Esta información en tiempo real es retroalimentada a la planta de producción lo que permite una adecuada programación de fabricación de mezclas en el caso de que se sirva a varios clientes de forma simultánea.

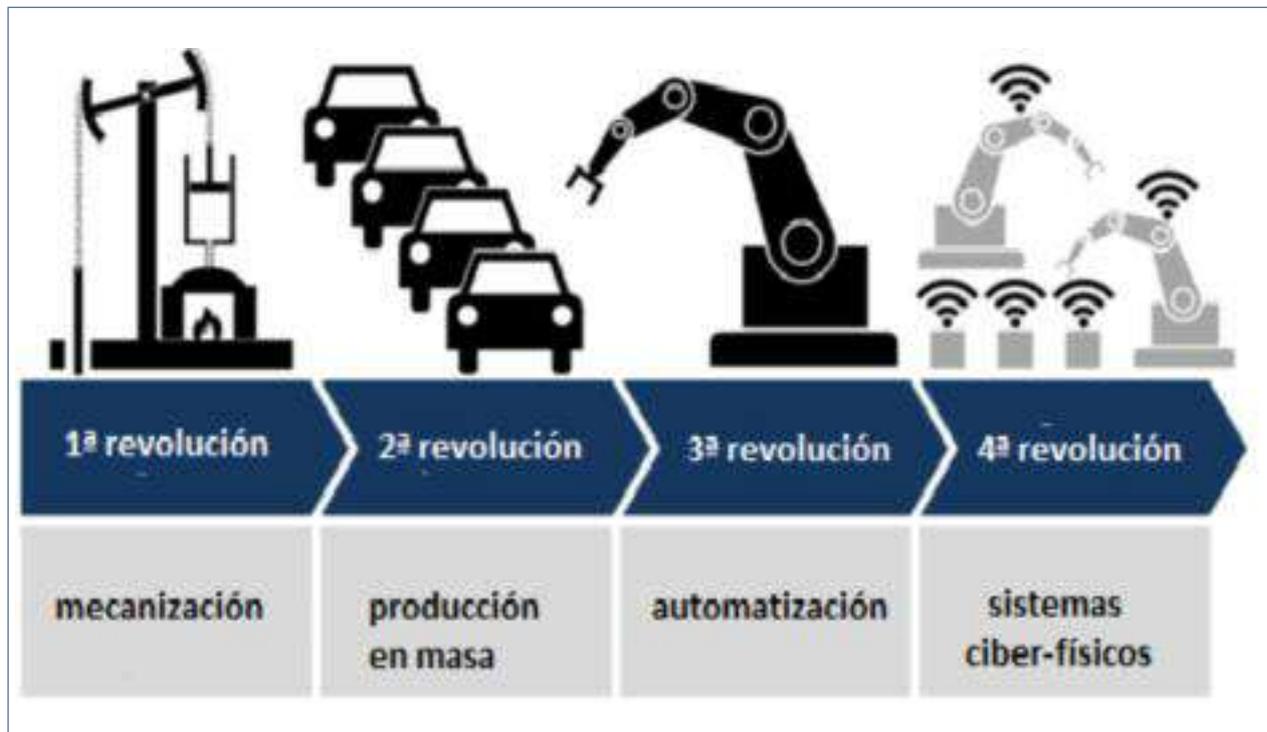
Otro campo en el que se están produciendo importantes desarrollos es en la comunicación entre la maquinaria de extendido y los sistemas de posicionamiento global que permiten el control de las geometrías de extendido con altas precisiones y sin necesidad de elementos físicos auxiliares siguiendo la estela de tecnologías similares utilizadas en las obras de tierras.

La fase de compactación se está viendo igualmente involucrada, mediante el uso de compactadores inteligentes y georreferenciados, que permiten un control exhaustivo del proceso de densificación de las mezclas. Los fabricantes de maquinaria de pavimentación están trabajando en el desarrollo de protocolos de comunicación estandarizados que permitan el trasvase de información entre máquinas de diversos proveedores.

También la fase de control de calidad está inmersa en cambios sustanciales. Los dos elementos fundamentales en los que se basan los cambios son la georreferenciación y el uso de tecnologías de toma de datos de forma masiva, como pueden ser temperatura y densidad. Si estos controles se realizan al mismo tiempo del proceso de ejecución de la obra, o con una breve demora, es posible interactuar con las unidades productivas para tomar medidas correctoras antes de que los daños generados sean relevantes.

Un elemento destacado en el control de la geometría en las obras, tanto en la fase de proyecto como en la de ejecución es el uso de aeronaves no tripuladas (drones) que permiten obtener un control de las dimensiones de todos los elementos que se sitúan en una obra determinada con unos niveles de precisión no imaginables hace unos años, con gran sencillez y a unos costes muy competitivos.

De forma general, estamos hablando de generación de gran cantidad de datos que no pueden ser manejados de



Fuente: Wikipedia

forma eficiente por métodos manuales sino que es necesario una estructuración de dicha información para conseguir un manejo adecuado de los datos y, lo más importante, poder extraer información filtrada que ayude a la toma de decisiones.

Todas estas nuevas tecnologías van a suponer un importante avance en la mejora de la calidad de las obras, pero el gran salto se producirá cuando todos los actores que intervienen en las obras puedan trabajar sobre plataformas digitales proporcionadas por las administraciones públicas y en las que las empresas que participan en tareas de construcción, explotación y auscultación aporten y extraigan datos en tiempo real, pudiendo ser supervisadas todas las tareas

desarrolladas con gran detalle y permitiendo una interacción casi instantánea.

Todas las experiencias de digitalización anteriormente citadas ya han sido aplicadas en España, bien es cierto que de forma dispersa y sin una estrategia predefinida. El uso de todas estas tecnologías deben tener dos fines bien claros: permitir a las administraciones públicas disponer de sistemas de control eficaces y eficientes en la gestión de las infraestructuras de las carreteras y, desde el punto de vista de la industria, mejorar la calidad de los productos suministrados y aumentar la productividad, lo que redundará en un mejor servicio y prestaciones a los usuarios de las carreteras.

El mayor salto en la historia de la humanidad desde la máquina de vapor



Andrés Pérez de Lema
Editor Revista
Asfalto y Pavimentación
@andresperezlema

Hace exactamente 5 años, este modesto Editor que suscribe, registro la cabecera de una nueva revista así llamada "COCHE ELÉCTRICO".

Cuando hube largamente meditado su salida al mercado, me invitaron a la presentación por parte de uno de nuestros colosos del IBEX a la instalación de un punto de carga.

Asistí con atención a todas y cada una de las ventajas: carga nocturna en horario valle, cero emisiones, facilidades de aparcamiento, accesibilidad al Centro, menos averías, etc...

Mi ilusión aumentaba por momentos, casi podía tocar el futuro con mis manos. Por desgracia se me ocurrió preguntar cuanto costaba su instalación y a quien me podía dirigir y en la sala se hizo un interminable silencio.

La tensión se podía cortar con un cuchillo, hasta que uno de los ponentes se atrevió a darme un baño de realidad: "no lo sabemos, es un prototipo"

¡Sapristi! ¡Paren máquinas! ¿Un prototipo?

Como si un punto de recarga, ¡fuera uno de los cohetes Saturno de la misión Apolo!

Resulta que a los testimoniales puntos de carga en el Prado para que se hagan fotos los turistas y la inexistente red de electrolineras, se sumaba la nula respuesta de la Industria.

El reloj del progreso seguía su imparable curso y a la llegada del Coche Eléctrico se sumaba la REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DIGITAL de la Carretera.

La conectividad total, el 5G, el coche Autónomo, Uber, Cabify, flotas de coches eléctricos de alquiler, carreteras que cargan sobre la marcha. En definitiva, EL MAYOR SALTO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD DESDE LA MÁQUINA DE VAPOR.

Una REVOLUCIÓN que cambiará nuestras vidas y la primitiva forma con la que entendemos ahora las Ciudades y las Carreteras.

Sólo hay un problema, para adaptar nuestras Infraestructuras y nuestro mundo al cambio, hace falta tener un PLAN, una VISIÓN, un PROYECTO. Simplemente, sin la complicidad y la fé de nuestras Instituciones no es posible.

No nos engañemos, esta es la España del BACHEO, del REMIENDO, del zurcido en la Buhardilla. La que señala carreteras en mal estado y no las repara, la que no invierte, la que no mantiene.

Mucho me temo, que tendré que tener a mi nueva revista "COCHE ELÉCTRICO", unos pocos años más en el congelador... ¡como a Walt Disney!

#68

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas asfálticas facilitan una rápida y eficiente conservación del pavimento y recuperación de la regularidad superficial, evitando que el deterioro de ésta provoque un aumento de los consumos y emisiones de CO₂ de los vehículos.”
(IRMD 2018)

#SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE

VIATOP[®]

Liderando las SMA
desde 1988

inside

VIATOP[®]

RETTENMAIER IBÉRICA
S.L. Y CIA. S. COM.



Fibras diseñadas
por la naturaleza
Una compañía del grupo JRS

C/ Travesera de Graça 56, 2º 2ª
08006 Barcelona
Tf. 933 262 880 · Fx. 933 262 897

www.jrsiberica.com · Info@jrsiberica.com

Extendido autónomo de mezclas asfálticas. ¿Utopía o realidad próxima?



Jacinto Luis Garcia

Vocal de la revista

Asfalto y Pavimentación



@Jacintoluisgs

El continuo avance en el perfeccionamiento del vehículo autónomo hace que su implantación se visualice como un camino sin retorno. Y una poderosa razón para ello, es su capacidad para subsanar fallos humanos en la conducción, por falta de atención o destreza, evitando así accidentes.

De modo análogo, si nos situamos en el campo de la pavimentación asfáltica, ¿Sería utópico pensar que en un futuro, quizás nada lejano, la puesta en obra de nuevas capas bituminosas se pudiese llevar a cabo de modo autónomo sin intervención humana, o con ésta muy limitada, con un control absoluto del proceso y asegurando los requisitos de calidad y el registro de la misma?

La respuesta, hoy mismo, debería ser que no parece nada descabellado, dado que ya existen suficientes avances tecnológicos que, integrados, podrían hacerlo realidad a no muy largo plazo. En tres fases del proceso de puesta en obra, como son la de transporte, la de extendido y la de compactación, las tecnologías disponibles y las que están en desarrollo permiten vislumbrar ese salto hacia una puesta en obra autónoma.

En el transporte de la mezcla ya se emplean (son un estándar en, por ejemplo, Alemania) vehículos dotados de aislamiento térmico y monitorización de la temperatura real de la mezcla en cada instante. Dotándolos de comunicación y localización vía GPS se llegaría a un modelo de gestión en el que se tendría bajo control la previsión del flujo de llegada de la mezcla al tajo y su estado y en el que podría ajustarse tanto el avance del extendido como, en sentido inverso, adecuar en tiempo real la capacidad de transporte.

Aunque el transporte autónomo de la mezcla podría ser una realidad próxima, la operación de su descarga presenta

variables que, quizás, hagan que todavía siga siendo necesario el control humano en esa fase de transición entre el flujo discontinuo de la mezcla en el transporte y el deseable flujo continuo en el extendido. En dicha fase parece imprescindible recibir la mezcla del camión con dispositivos de transferencia de mezcla (DTM) y disponer de cierta capacidad de almacenamiento, entre el DTM y tolva de extendedora, para regular el flujo de alimentación a la regla y la continuidad de su avance. Esta fase puede llegar a automatizarse en un grado muy alto con sensores de posicionamiento y visión inteligente del camión y del control de su flujo de descarga al DTM, optimizando las maniobras, pero la presencia de un operador para el guiado del DTM parece necesaria.

El DTM, como equipo de transición entre la fase de transporte y las posteriores de ejecución de la capa, podría ser el centro neurálgico de control de todo el proceso, a donde llegarían todos los datos del flujo de transporte y de la operación de la extendedora y de los compactadores y donde se procesarían los mismos (si bien, la velocidad de transmisión de datos de la tecnología 5G, hace posible que se procesen en un centro de trabajo lejano y aparezcan ya procesados en los dispositivos de control en el tajo) y se regularían esos procesos, supervisados por el responsable del extendido en su dispositivo. Un aspecto clave de la persona o personas responsables de la puesta en obra a pie de tajo, parece que deberá ser el de la inicialización del proceso, configurando las diversas variables que precise el ajuste del mismo pero, una vez iniciado, su labor normal ya sería únicamente de supervisión, tomando el control en caso de imprevistos o emergencia.

En cuanto a las extendedoras, la tecnología actualmente disponible para el control de su operación es ya muy completa. Se dispone de sistemas para el control del avance del DTM que la alimenta mediante sensores que mantienen la distancia entre ambos equipos durante la descarga. Pueden estar dotadas de un sistema de nivelación 3D, en el que un

modelo digital de la superficie de apoyo y de la que se quiere obtener proporciona todos los datos de espesor y geometría de la capa y, además, ya permite un guiado autónomo de la extendedora. El flujo de alimentación de mezcla a la regla puede automatizarse en función del espesor de capa y velocidad de avance. Se pueden registrar las temperaturas de la mezcla tanto en el paso por la extendedora, con sensores en el sistema de alimentación y a lo largo del túnel de distribución de mezcla delante de la regla, como, principalmente, la uniformidad y nivel de temperatura a la salida de regla, mediante escáneres de infrarrojos, que registran la temperatura superficial de la capa según va saliendo de la regla y el instante en que se produce.

Por ello, el paso hacia una operación autónoma de la misma, o semiautónoma, en la que el operador configuraría los parámetros del extendido en cada arranque y luego únicamente supervisaría el proceso para actuar en casos de imprevistos o emergencias, parece que sólo dependerían por un lado, de la fiabilidad o precisión del modelo digital de la superficie de apoyo y de la que se quiere conseguir y, por otro, de conseguir integrar todos los datos monitorizados en el proceso en un modelo de operación. Por ejemplo, los datos de control de la temperatura y la velocidad de avance interactuarían, junto con parámetros de la configuración de inicio como el tipo de mezcla, para ir regulando la precompactación de la capa.

En cuanto a la fase final del proceso, los sistemas de Compactación Inteligente (CI) más avanzados ya hacen posible actualmente que el operador se pueda limitar, simplemente, al guiado de la máquina por las zonas que ésta le va indicando. Los compactadores, conectados en red, ya pueden actuar regulando automáticamente todos sus parámetros en base a la temperatura superficial de la capa y la respuesta de densidad de la misma.

Un siguiente paso en la CI sería recibir los datos monitorizados por la extendedora, como parámetros ambientales, temperatura de salida de regla en cada punto de la superficie y momento de la misma (esta transferencia de datos ya está en marcha algún fabricante), espesor de capa, etc. e integrarlos con la densidad real que se está obteniendo en cada punto en cada instante para definir las siguientes pasadas de cada compactador y su ajuste; se operaría con la temperatura de la capa deducida de modelos de enfriamien-

to, más fiable que la medida de temperatura superficial. El resultado obtenido ya no dependería de la experiencia y habilidad del operador, sino de la fiabilidad de los algoritmos basados en ese conocimiento y capaces de procesar mucha más información que aquél.

Con el modelo 3D de la superficie de trabajo (el utilizado para guiado y nivelación de la extendedora) y dotando a los compactadores de una tecnología similar a la empleada en los vehículos autónomos, es predecible una compactación sin operadores a bordo ó, al menos, semiautónoma, en la que el operador únicamente supervisaría la actividad del compactador.

Por otra parte los supervisores de la obra y el Control de Calidad tendrían, en tiempo real, la información de toda la superficie extendida a través de los datos adquiridos por el DTM, la extendedora (escáner térmico, geometría 3D) y los compactadores (respuesta y estado final de densidades de la capa), datos georeferenciados a cada punto individual de la superficie extendida.

A corto plazo y empezando con extendidos de mezclas sobre superficies definibles sin dificultad, como pistas de aeropuertos u obra nueva o ciertas rehabilitaciones en carreteras, es muy posible ver lo comentado hecho realidad.

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

Wilton Pereira Macedo, swilton.macedo@hotmail.com

Jaime Rafael Obando Ante, jaimeobando@unicauca.edu.co

Centro Universitário de Brasília (Brasil)

Universidad del Cauca (Colombia)

Diferentes métodos de compactación en laboratorio han sido desarrollados buscando presentar los resultados que más se aproximan a las realidades encontradas en campo. El presente trabajo utiliza el procesamiento digital de imágenes (PDI) como método para evaluar los principales cambios en las propiedades de los agregados y en la estructura interna de mezclas asfálticas, sometidas a diferentes tipos de compactación. Para eso, se utilizó la metodología de dosificación de materiales Marshall, y compactada con diferentes tipos de compactación, siendo ellas: Marshall, Superpave y Placa vibratória. Para analizar los cambios en la estructuración del esqueleto mineral, debido a los efectos de la compactación se utilizó el equipo AIMS (Aggregate Image Measurement System). El trabajo presenta y discute los métodos de análisis, con la meta de definir entre las metodologías de compactación elegidas, la que más se acerca a las realizadas en campo.

Palabras clave: Mezclas asfálticas, Compactación, Procesamiento digital de imágenes (PDI), Análisis de agregados, AIMS (Aggregate Image Measurement System)

Different laboratory compression methods have been developed seeking to present the results that are closer to the realities found in field. The study, uses the digital image processing, as a method to evaluate the main changes of aggregate properties and internal structure of hot mix asphalt, submitted to different compaction kinds. For this purpose, Marshall method was used for dosing materials and samples was compacted in different compactors: Marshall, Superpave and Vibratory plate. To analyze the aggregates it was used the AIMS (Aggregate Image Measurement System). To analyze the internal structure it was used the IPAS 2 (Image processing and Analyses System). The study presents and discusses the methods of analyses in order to define between the compaction methodologies chosen which one approach the actual conditions encountered in the field.

Keywords: Asphalt Mixtures, Compaction, Digital image processing (PDI), Aggregate Analysis, AIMS (Aggregate Image Measurement System).

Diferentes métodos de compactação em laboratório têm sido desenvolvidos buscando apresentar os resultados que mais se aproximam de realidades encontradas em campo. O presente trabalho utiliza o processamento digital de imagens (PDI) como método para avaliar as principais mudanças nas propriedades dos agregados e na estrutura interna de misturas asfálticas, submetidas a diferentes tipos de compactação. Para isso, foi utilizada a metodologia de dosagem de materiais Marshall, e compactado com diferentes tipos de compactação, sendo elas: Marshall, Superpave e Placa vibratória. Para analisar as mudanças na estruturação do esqueleto mineral, devido aos efeitos da compactação utilizou-se o equipamento AIMS (Aggregate Image Measurement System). Para analisar a estrutura interna das misturas utilizou-se o programa I-PAS 2 (Image processing and Analyses System). O trabalho apresenta e discute os métodos de análise, com o objetivo de definir entre as metodologias de compactação escolhidas, a que mais se aproxima das realizadas em campo.

Palavras-chave: Misturas asfálticas, Compactação, Processamento digital de imagens (PDI), Análise de agregados, AIMS (Aggregate Image Measurement System).

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

1. Introdução

A utilização de concreto asfáltico (CA) constituído por cimento asfáltico de petróleo (CAP), agregados, filler e vazios é o material mais empregado nas rodovias brasileiras. Somente após o século 20, quando houve um aumento no número de veículos, os engenheiros passaram a se preocupar com o desenvolvimento de especificações, a fim de produzir rodovias de menor custo (Vasconcelos, 2004).

Durante a evolução dos processos de dosagem, diversas formas de compactação têm sido desenvolvidas. Dependendo do sistema as amostras podem ser quanto à forma, cilíndricas, trapezoidais, ou retangulares, e a compactação pode ser realizada através de impacto, amassamento, vibração ou rolagem (Harman et al., 2002).

O objetivo da compactação de laboratório é de adotar um procedimento que envolvesse um esforço mínimo de compactação e de tempo, e que pudesse selecionar um teor ótimo de ligante asfáltico para uma dada composição granulométrica (Moura, 2010).

De acordo com (Mcrae, 1957) apud (Iwama, 2009) “É sempre desejável para corpos de prova compactados em laboratório ter as mesmas propriedades dos moldados em campo”. Para chegar nesse objetivo os equipamentos vem sendo desenvolvidos para chegar o mais perto das condições reais de obra. Entretanto é fato que diferentes métodos de compactação produzem corpos com propriedades mecânicas distintas.

Para quantificar esses parâmetros, o presente trabalho utiliza o processamento digital de imagens (PDI), desenvolvido para melhorar as caracterizações dos materiais e da estrutura interna de misturas asfálticas.

Tendo em vista diversos tipos de compactações de corpos de prova (CP) em laboratório, o presente trabalho busca avaliar qual a influência da compactação, nos agregados minerais e na estrutura interna de misturas asfálticas, através do processamento digital de imagens considerando os seguintes fatores: forma, angularidade, textura superficial, áreas de contato, orientação e segregação das partículas.

2. Materiais e métodos

A pesquisa seguiu quatro etapas básicas: caracterização dos materiais, confecção dos corpos de prova em três diferentes compactadores, análise dos agregados utilizando o Aggregate

Image Measurement System (AIMS), análise da estrutura interna de misturas asfálticas utilizando o Image Processing & Analysis System – IPAS-2.

2.1 Mistura asfáltica

Para determinar o teor ótimo de cimento asfáltico foi empregada à metodologia Marshall. Os ensaios foram realizados seguindo os estipulados pela norma DNIT 031/2006 (Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – especificações de serviço). As propriedades da mistura asfáltica, para o teor de asfalto ótimo foram: Quantidade de agregados (95%), quantidade de cimento asfáltico (5%), densidade aparente ($2,408 \pm 0,039 \text{ g/cm}^3$), volume de vazios ($4,93 \pm 1\%$).

2.2 Compactação Marshall

Para a confecção dos corpos de prova no compactador Marshall foram seguidas as especificações da norma (DNER-ME 043/1995).

2.3 Compactação Superpave

As confecções dos corpos de prova no compactador giratório seguiram a norma AASHTO T 312, os aspectos mais importantes foram: pressão de compactação, ângulo de giro e quantidade de giros por minuto. Nesse trabalho foi utilizando o compactador SERVOPAC da Universidade Federal do Ceará – UFC com os seguintes parâmetros, pressão de 600 kPa, ângulo de $1,25^\circ$, 30 rotações por minuto configurado para parar com 110 giros. A quantidade de giros foi escolhida para chegar ao mesmo volume de vazios obtidos nos outros processos de compactação.

2.4 Índice de quebra Marsal e Resendiz (1975)

Prevendo a mudança na distribuição das partículas após as três diferentes metodologias de compactação, foi calculada a quebra de partículas a partir das curvas granulométricas, através do método proposto por (Marsal et al., 1975) apud (Gómez, 2011). A metodologia proposta foi escolhida pelo fato de fornecer dados confiáveis uma vez que considera as mudanças de todas as frações utilizadas e pela simplicidade dos cálculos.

Para a realização das curvas granulométricas foi necessário retirada do ligante betuminoso, que seguiu a norma DNER-ME

053/94, que consiste em colocar o material com solvente dentro de um aparelho denominado Rotarex, que possui uma cuba metálica cilíndrica acoplada a um motor que o faz girar, o procedimento empregado pode ser visto na Figura 1.



Figura 1: Remoção do betume da mistura asfáltica: (a) Mistura do solvente; (b) Rotação do equipamento; (c) Agregados após ensaio.

2.5 Processamento digital de imagens PDI

Com intuito de quantificar a mudança que ocorreu no material quando submetido a diferentes tipos de compactação, utilizou-se dois procedimentos de análise através do processamento digital de imagens. O primeiro, para quantificar a mudança que ocorreu na estrutura interna das misturas asfálticas através do programa IPAS 2. O segundo procedimento, o sistema de medida de imagens de agregados AIMS, para quantificar a mudança na forma das partículas e complementar com a metodologia de quebra de partículas proposto por (Marsal et al., 1975) apud (Gómez, 2011), possibilitando análise mais detalhada das propriedades de forma por fração granulométrica, os procedimentos adotados serão apresentados neste capítulo dividido em duas partes, uma para cada metodologia.

2.6 Análise da forma dos agregados utilizando o AIMS

O AIMS é capaz de fornecer cinco diferentes propriedades, três delas são para os agregados graúdos, sendo elas: forma, angularidade e lamelaridade, outra propriedade apenas para os agregados miúdos é a forma 2D, restando apenas a textura superficial que são para ambos os tamanhos de agregados.

Para a utilização do equipamento, primeiramente, o material deve ser passado por uma série de peneiras, no qual os materiais retidos foram higienizados e posteriormente analisados no equipamento. Na segunda etapa, aproximadamente 50 g do material, para cada tamanho, foram distribuídos na bandeja de

forma que evitase o contato entre as partículas. Após a separação da amostra foi configurado o software com o tipo de análise e o tamanho dos agregados a serem ensaiados. Após a obtenção das imagens, o equipamento gera todos os resultados

em planilhas do MS Excel (Bessa, 2012).

2.7 Análise da estrutura interna utilizando o IPAS 2

De acordo com (Sefidmazgi, 2011), o número mínimo de três sessões é necessário para analisar a estrutura interna de uma mistura para que o coeficiente de variação não passe de 5%. Nesta pesquisa os corpos de prova foram cortados tanto nas sessões transversais quanto nas longitudinais (Figura 3).

Os cortes na transversal foram de 30 ± 2 mm de espessura, sem considerar perda com a espessura da serra, assim como os cortes na longitudinal foram de 20 ± 2 mm espessura, considerando arrasamento da superfície.

Com intuito de facilitar o reconhecimento dos agregados e remover as ranhuras causadas pela serra durante o corte da amostra, todas as peças foram polidas Figura 2.

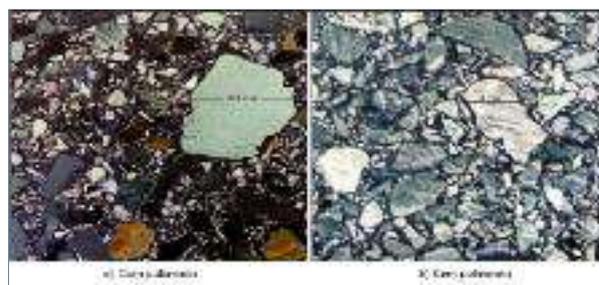


Figura 2: Imagem das amostras: Com polimento e sem polimento.

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

Após os cortes e polimentos, foram capturadas imagens com uma câmera profissional de alta resolução de três seções principais da amostra como mostra na Figura 3, totalizando 36 imagens.

ção dos agregados da mistura, em que o usuário cria um arquivo (*.txt) com duas colunas, a primeira contendo o tamanho dos agregados (mm), a segunda os valores de material passante nas peneiras (%).

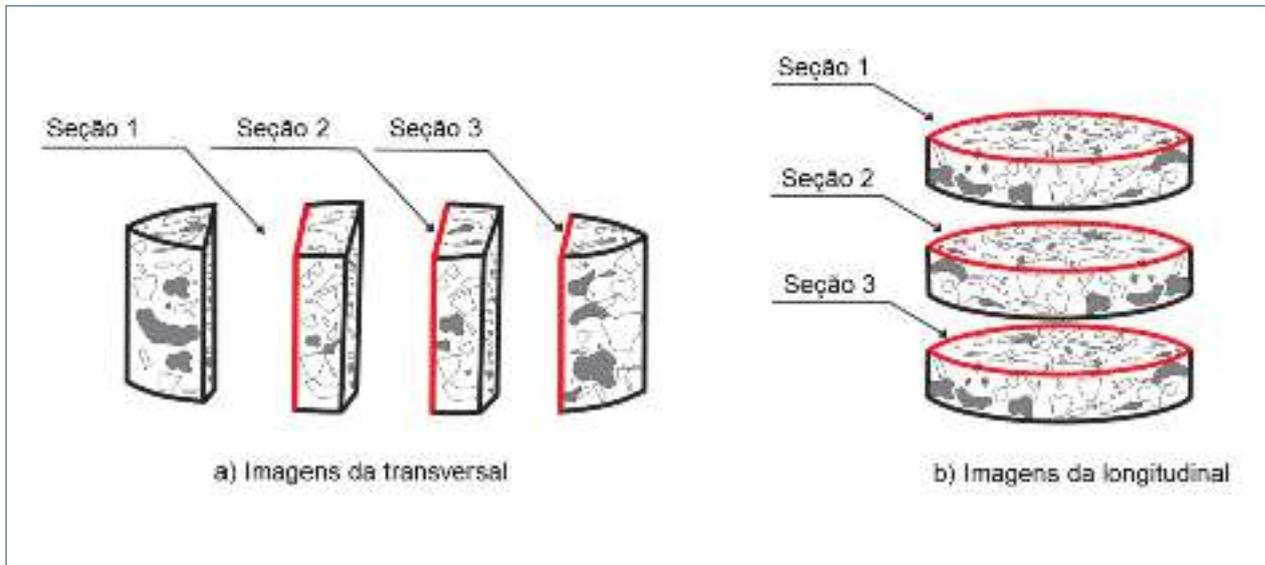


Figura 3 Seções principais.

Para a utilização do Image Processing & Analysis System – IPAS-2, foi necessário seguir algumas etapas que constavam no procedimento normatizado. A primeira etapa consistiu em inserir a imagem no programa, onde a imagem foi transformada automaticamente em escalas de cinza. Em seguida, foi determinada a resolução da imagem por meio de uma linha azul que o operador define uma distância real conhecida em milímetros. A partir disso, o software realiza a divisão da distância conhecida pela quantidade de pixels da imagem, computando a resolução em mm/pixels.

Com a resolução definida, é escolhida uma área retangular de interesse e o programa solicita informações volumétricas da mistura. Foram utilizados parâmetros volumétricos médios das misturas para efeito de comparação dos resultados,

Com a resolução definida, é escolhida uma área retangular de interesse e o programa solicita informações volumétricas da mistura. Foram utilizados parâmetros volumétricos médios das misturas para efeito de comparação dos resultados, como: Volume de vazios (4,8%), quantidade de ligante (5%), densidade dos agregados (2,7), densidade do ligante (1,004), tamanho mínimo dos agregados (1,18 mm), distância mínima entre agregados (0,1 mm) (Figura 4).

Outro parâmetro solicitado pelo programa é a gradua-

No passo seguinte, começam as aplicações de filtros para diferenciar os materiais na imagem, na aplicação dos três filtros (tamanho médio, H_{máx}, Threshold) são escolhidos valores manualmente até que se chegue próximo à curva granulométrica do material.

Após a aplicação dos filtros, é escolhido o tamanho mínimo do agregado pelo usuário sendo que os valores menores que o escolhido será ignorado pelo programa. Os valores escolhidos foram baseados em estudos anteriores (Safidmazgi, 2011).

Por fim, é escolhido o tipo de amostra para o cálculo da área considerando corpos sendo circulares ou retangulares.

Após todos os passos de tratamento de imagem e configuração das propriedades descritas, o programa é capaz de fornecer os seguintes parâmetros automaticamente: Perímetro de todos os agregados, áreas de contato, orientação dos contatos, orientação dos agregados (a partir da horizontal), segregação (vertical e horizontal).

O programa gera todas as tabelas automaticamente na mesma pasta onde contem a imagem, podendo ser aberta no Wordpad ou MS excel. A Figura 4 apresenta as principais etapas utilizadas na análise através do uso do IPAS-2.

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o precessamento digital de imagens (PDI)

Tabela 1. Resultado caracterização da mistura asfáltica (Modificado Obando, 2012)

Características	Resultado	Unidade
Porcentagem de agregados (Ps)	95	%
Porcentagem de cimento asfáltico	5	%
Densidade Bulk (Gmb)	2,404	(g/cm ³)
Estabilidade Marshall	9751	N
Fluxo Marsahall	4,5	mm
Relação Estabilidade / Fluxo	2166	N/mm
Densidade Máxima medida Rice (Gmm)	2,529	(g/cm ³)
Volume de vazios (%Vv)	4,93	%
Relação Betume/Vazios /%Vv)	82	%
Massa esocifica efetiva (Gse)	2,749	(g/cm ³)
Porcentagem asfalto absorvido (Pba)	1,02	%
Teor de asfalto efetivo (Pbe)	4,03	%
Vazios do agregado mineral (%VAM)	14,59	%
Relação filer/ligante efetivo (RP)	2,23	---

borar todos os ensaios para determinação do teor ótimo de ligante asfáltico, apresentados na Tabela 1.

Como descrito na metodologia, os ensaios apresentados, foram realizados tendo como graduação inicial a Faixa granulométrica C. Com base nela foram calculadas as mudanças da curva granulométrica antes e após os processos de compactação através da metodologia estabelecida por Marshall e Resendiz (1975). g / cm³.

e a situação menos agressiva foi à de compactação Superpave.

A Figura 5 apresenta de forma resumida a variação na porcentagem de material retido nas peneiras. A partir do gráfico conclui-se que para todas as compactações, os agregados sofreram quebra nas peneiras de maiores dimensões como a de 12,7 mm e 4,75.

Tabela 2. Fator quebra de (Marsal et al., 1975)

Características	Resultadnidade
Placa Vidratória	24%
Supervave	18%
Marshall	28%

A partir da Tabela 2, é possível observar que a compactação Marshall apresenta-se como sendo a mais agressiva em relação à quebra de partículas, seguida pela placa vibratória,

Os valores de quebra apresentados nesse capítulo, para a compactação Marshall, seguiram as observações apresentados por Gómez (2016).

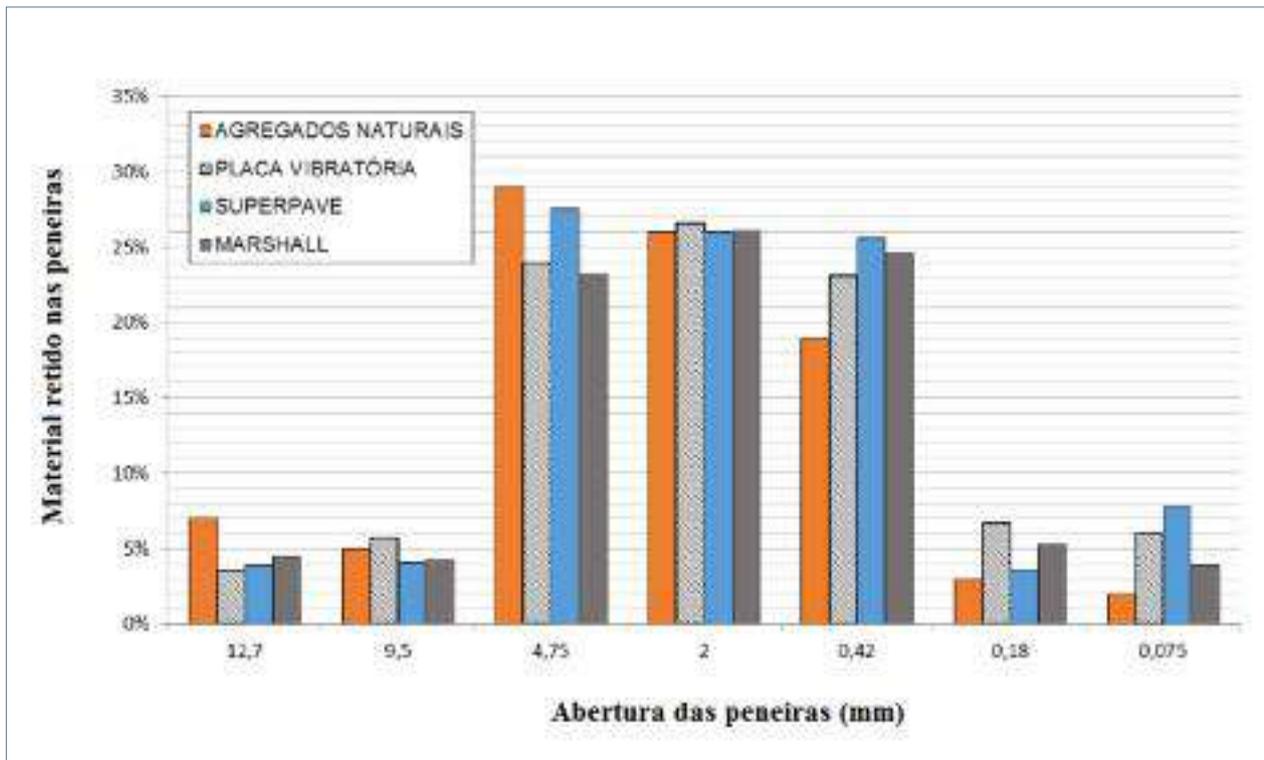


Figura 5: Gráfica de las curvas granulométricas de las mezclas de obra.

3.2 Caracterizações de forma, angularidade e textura superficial.

A utilização do equipamento AIMS possibilitou analisar com mais precisão as mudanças que ocorreram nos agregados antes e após as compactações por fração granulométrica, as análises e resultados se basearam nas observações feitas

por Bessa (2012) e nas classificações feitas por Al Rousan (2004) da Tabela 3.

3.3 Forma (agregados miúdos)

A forma 2D, ensaio realizado apenas nos agregados miúdos, está relacionado com a proximidade das partículas em

Tabela 3. Limites de classificação (Modificado Al Rousan, 2004)

Propiedade	Valores-Limite / Classificação				
Forma 2D	< 6,5 Circular	6,5 - 8,0 Semicircular	8,0 - 10,5 Semialongado	> 10,5 Alongado	- -
Esfericidade	< 60,6 Achatado/Alongado	0,6 - 0,7 Baixa esfericidade	0,7 - 0,8 Esfericidade moderada	> 0,8 Alta esfericidade	- -
Angularidade	< 2100 Arredondado	2100 - 4000 Subarredondado	4000 - 5400 Subangular	> 5400 Angular	- -
Textura Superficial	< 165 Polido	165 - 275 Macio	275 - 350 Baixa rugosidade	350 - 460 Rugosidade moderada	> 460 Alta rugosidade

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

forma de um círculo. Quanto mais o valor de forma se aproxima de 0, mais circular a partícula será. A classificação dos agregados em estado natural foi, no geral, como sendo alongado, considerando que apenas os agregados retidos nas peneiras #50 e #100 apresentaram valores menores do que 8, que são semicirculares.

Após as compactações Marshall e Superpave, as formas dos agregados passaram a ser classificadas como sendo semicircular para todas as frações com exceção dos agregados mais finos retidos na peneira #200.

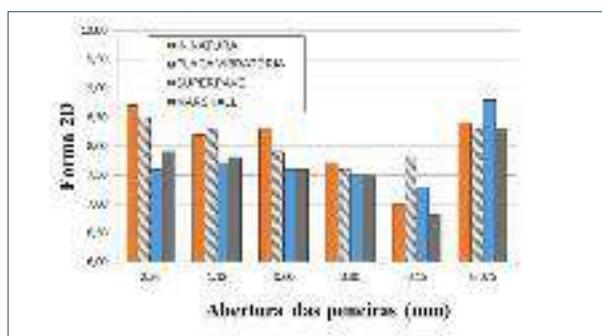


Figura 6: Resumo dos valores de forma para toda as compactações

A partir da Figura 6, é possível observar que os agregados até a peneira #50 (0,3mm), de modo geral, passaram a ser mais circulares após as compactações.

A partir dos valores apresentados de forma 2D, conclui-se que, de uma forma geral, os agregados inicialmente caracterizados como semialongados passam a ser caracterizado como semicirculares após qualquer tipo de compactação, provavelmente devido à quebra das partículas alongadas durante a aplicação dos diferentes tipos de compactação.

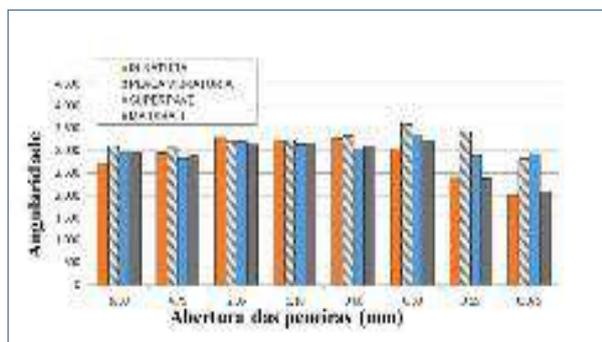


Figura 7 Resumo dos valores de angularidade para toda as compactações.

3.4 Angularidade (agregados graúdos e miúdos)

A angularidade, que é o grau de agudez dos cantos de uma partícula, podendo variar de 0 a 10.000, sendo que valores próximos de 0, a partícula apresenta forma de um círculo perfeito. A caracterização dos agregados em estado natural foi, de forma geral, subarredondados. Após as compactações os agregados não apresentaram novas classificações de angularidade, a pesar de apresentar valores de angularidade mais elevados nos agregados de menores tamanhos, retido nas peneiras #50, #100 e #200.

A partir da Figura 7, é possível observar que a grande variação de angularidade apenas nos agregados de menores dimensões. Os valores médios e parâmetros estatísticos para todas as frações analisadas no AIMS. Os valores de média aritmética são calculados a partir de todos os valores de cada agregado da amostra. A partir dos valores apresentados de angularidade, conclui-se de uma maneira geral que, as compactações Superpave e placa vibratória apresentam agregados com valores mais angulares, o que representa estruturas de pavimento com o esqueleto mineral mais resistente, uma vez que, o intertravamento das partículas será elevado.

3.5 Textura superficial

Foram obtidos gráficos apenas de duas frações de agregados, uma vez que são as únicas frações que a mistura obtinha de agregados graúdos. A caracterização dos agregados em estado natural foi, em geral, como sendo de rugosidade moderada. Após as compactações os agregados passaram a ser classificados com baixa rugosidade.

A partir dos resultados apresentados na Figura 8, é possível observar que a compactação Superpave foi a que menos

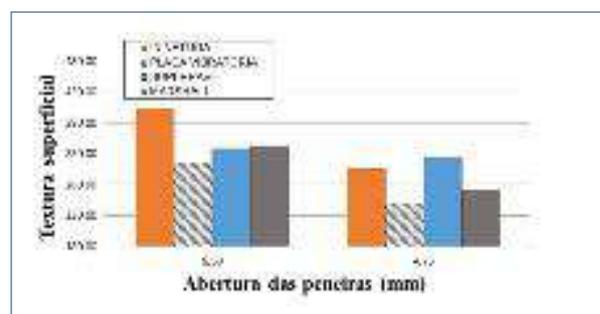


Figura 8: Resumo da textura de todas as compactações

influenciou na mudança da textura superficial dos agregados, concluindo-se que é a compactação que mais se aproxima dos valores dos agregados naturais. Os valores de média aritmética são calculados a partir de todos os valores de cada agregado da amostra.

A partir dos valores apresentados no AIMS de textura superficial, conclui-se que provavelmente devido aos efeitos gerados pelo compactador Marshall e pela placa vibratória, tendem a deixar os agregados mais lisos, influenciando no atrito entre partículas e na ligação entre agregado e ligante asfáltico, o que pode diminuir o desempenho do pavimento, causando deformações permanentes.

A diminuição nos valores de textura superficial, também podem ser atribuídos com a camada de ligante que permanece no agregado, devida ao preenchimento dos vazios, após retirada do ligante no equipamento Rotarex.

3.6 Análise da estrutura interna utilizando o IPAS 2

A análise da estrutura interna foi realizada conforme as observações e análises feitas por (Safidmazgi, 2011). A apre-

grupos como mostra a Figura 9.

Os grupos de segregação foram divididos radialmente e verticalmente, representado por quantidade de agregados com dimensões iguais em cada grupo da imagem (G1, G2 e G3). Para efeito de comparação, os gráficos de segregação serão apresentados com suas respectivas cores e comparados com as amostras realizadas em campo, representado pela cor cinza como valor de referência.

A exemplo da compactação Marshall apresentada na Tabela 4, a caracterização a partir das zonas de contatos dos quais são: número de zonas de contato, somatório do comprimento das zonas de contato, ângulo médio da orientação das zonas de contato (AAA), vetor magnitude que pode variar de 0 a 100, $\Delta=0$ significa que a orientação das partículas é completamente diferente, enquanto que $\Delta=100$ todos os agregados se organizaram na mesma direção, por fim, os valores apresentados foram calculados em função da média aritmética de cada mistura, que no caso, foram seis imagens para cada tipo de seção.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, é possível observar que os valores obtidos na compactação Mars-

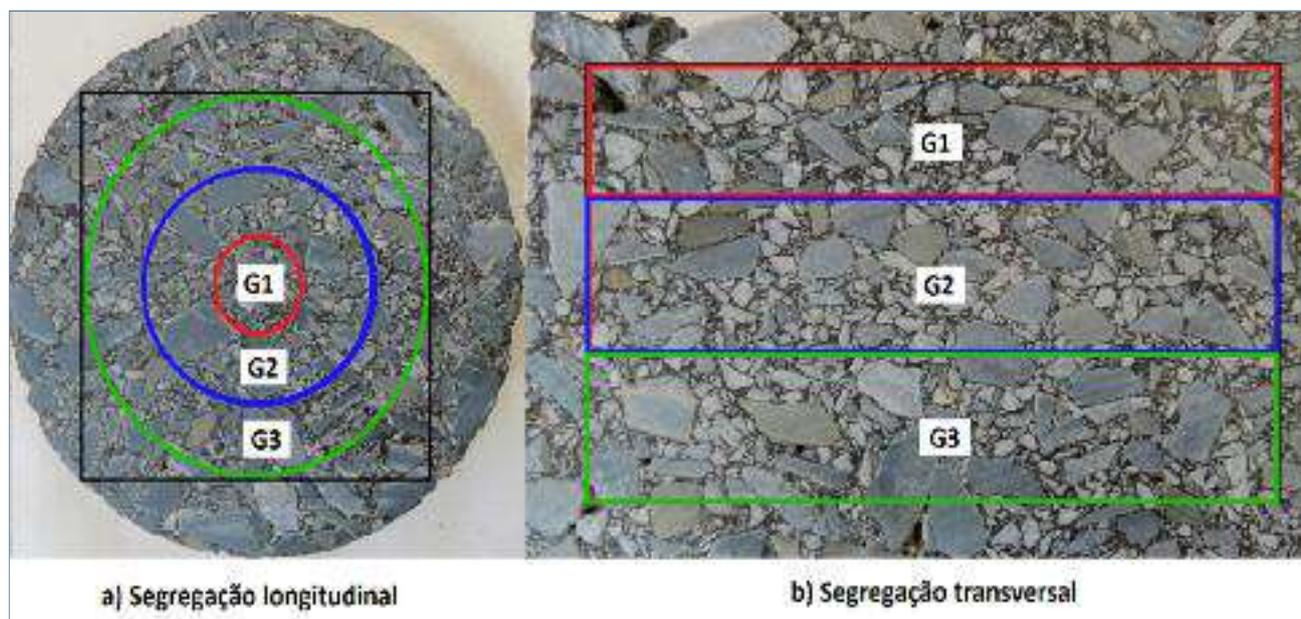


Figura 9: Grupos de segregação (Modificada, tutorial IPAS 2).

sentação dos resultados foi organizada por tipo de compactação, onde serão apresentadas tabelas com valores calculados a partir dos resultados do IPAS 2, e os gráficos de segregação tanto na longitudinal como na transversal, separados por

hall apresentaram 889 zonas de contato na transversal a mais do que a feita em campo. Concluindo-se que a compactação Marshall tem uma formação do esqueleto mais distribuída, o que indica uma maior eficiência na capacidade de transferên-

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o precessamento digital de imagens (PDI)

cia de cargas. A eficiência da transferência de carga também é representada como a média do ângulo absoluto da orientação das zonas de contato (AAA), valores próximos de 90° graus, que no caso não apresentou grande variação. Os resultados de vetor magnitude apresentaram valores baixos, indicando uma maior anisotropia da mistura, ou seja, as partículas estão de forma aleatória com respeito às faces analisadas. Os valores apresentados seguiram as observações feitas por (Safidmazgi, 2011).

Os valores apresentados a seguir são divididos por grupos de segregação, os valores das colunas de cor cinza, são os valores obtidos pelas amostras moldadas em campo, os valores coloridos são para o tipo de compactação analisada, que para as Figuras 10 e 11 são para a compactação Marshall.

A partir da Figura 10 é possível observar uma diminuição na quantidade de agregados de menor dimensão nos grupos, provavelmente devido a perca de finos na extração do-

Tabela 4. Estrutura interna da compactação Marshall x Placa vibratória

Dist. Mínima entre as superfícies dos agregados examinados = 0.1 mm						
Tamanho mínimo dos agregados examinados = 1.18 mm						
		Nº de Z.C.	Comp. Total das Z.C (mm)	AAA (°)	AC	CV (AC)
Compactação placa vibratória	Sessões longitudinais	1.044	1.088	73,7	9,94%	22,52%
	Sessões transversais	816	1.068	77,0	13,09%	36,54%
Compactação placa vibratória	Sessões longitudinais	1.036	1.132	73,6	5,42%	27,26%
	Sessões transversais	1.705	2.101	77,7	15,17%	34,59%

Z.C. = Zonas de contato; AAA (°) Média do ângulo; Δc Vector magnitude

Os resultados de vetor magnitude apresentaram valores baixos, indicando uma maior anisotropia da mistura, ou seja, as partículas estão de forma aleatória com respeito às faces analisadas.

ligante, como já mencionado em itens anteriores. Porém, o comportamento das colunas, indica um comportamento parecido, ou seja, a quantidade de agregados de mesma dimensão se encontra em porcentagens parecidas.

A partir dos valores de segregação apresentados por gru-

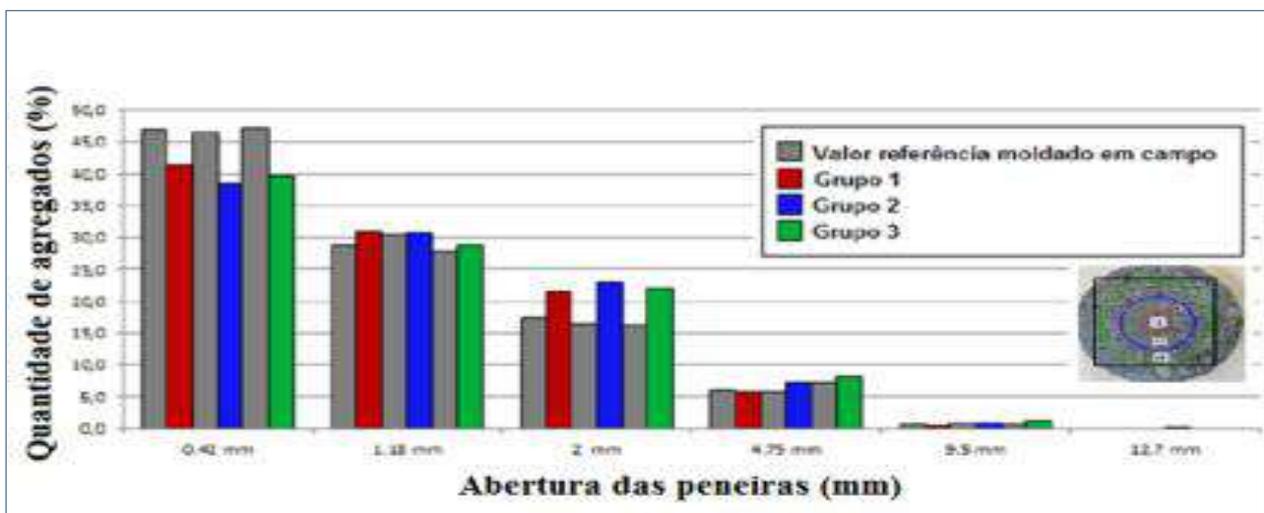


Figura 10: Segregação radial (Marshall x Placa vibratória)

pos, tanto nos cortes longitudinais como nos cortes transversais (Figura 10 e 11), é possível concluir que as amostras não tiveram segregação e apresentaram comportamentos parecidos em relação à distribuição da compactação feita em campo, apesar de quantidade de agregados por grupo ser diferenciada, devido à quantidade de agregados por fração granulométrica, também ser diferenciada.

se de escolha de materiais para o pavimento, uma vez que, agregados com valores elevados de forma, caracterizados como alongados, irão sofrer variação de forma durante a compactação passando a ser mais circulares, que por sua vez, modifica a curva granulométrica inicialmente especificada.

Os valores de angularidade das misturas asfálticas tendem a aumentar após as compactações, concluindo-se que

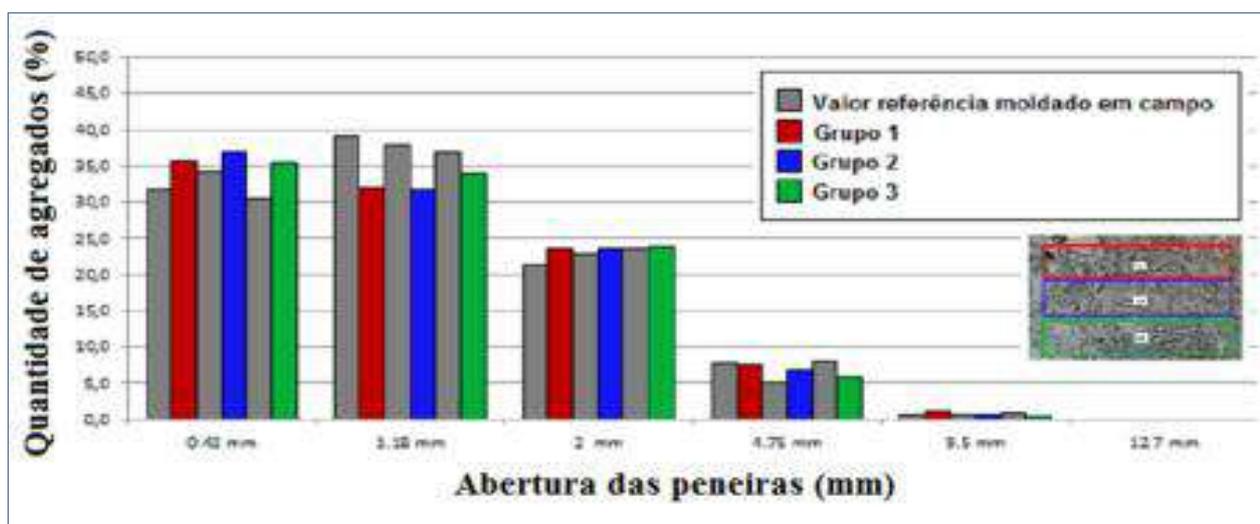


Figura 11: Segregação vertical (Marshall x Placa vibratória)

4. Conclusões

Quebra das partículas após compactação: A partir dos resultados obtidos de quebra dos agregados, é possível concluir que a compactação Marshall é a mais nociva em relação às compactações analisadas, a nova metodologia proposta pelo programa SHRP que resultou na modelagem dos corpos de prova por amassamento (Superpave), apresentaram valores mais próximos dos agregados em estado natural, tendo a maior representatividade dos materiais especificados em fase de projeto. Caso o uso da metodologia Marshall continue sendo usada, sugere-se uma modificação da curva granulométrica, prevendo a quebra de partículas, a fim de manter as características da mistura, e por consequência, manter comportamentos previstos na fase de dimensionamento do pavimento.

Forma, angularidade e textura superficial: Parâmetros como Forma 2D, devem ser levados em consideração na fa-

agregados com características de angularidade baixa, podem vir a apresentar valores de angularidade satisfatória após os processos de compactação, melhorando o intertravamento dos agregados, influenciando na resistência à deformação permanente das misturas asfálticas.

Estrutura interna das misturas asfálticas: Os valores de quantidade de zonas de contato apresentaram valores iguais para as compactações Superpave e Marshall, em relação à realizada em campo (placa vibratória), concluindo-se que para as duas metodologias, a estruturação interna da mistura apresenta valores satisfatórios.

As compactações apresentaram valores satisfatórios com respeito à segregação da mistura, apresentando a mesma quantidade de partículas de mesma dimensão por grupo de imagem na mistura. Apesar de a compactação Marshall apresentar valores diferenciados de quantidade de agregados por grupo de segregação, devido à provavelmente quebra das partículas, o comportamento do gráfico continua parecido,

Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

não podendo concluir qual compactação melhor representa as empregadas em campo.

Como conclusão principal do trabalho, as compactações têm influencia maior na forma, angularidade e textura superficial das partículas, tendo grande ocorrência de quebra devido aos tipos de compactação aplicados nos agregados. Quanto à organização do esqueleto mineral, as misturas não apresentaram grandes variações, comparado com amostra feita em campo. De uma forma geral a compactação Superpave representa com mais precisão as amostras moldadas em campo, pelo fato de não apresentar grandes variações em relação à forma dos agregados em estado natural.

5. Referências bibliográficas

- [1] AASHTO T 312 (2016) Preparing Hot-Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor.
- [2] Al Rousan, T. M. (2004) Characterization of Aggregate Shape Properties Using a Computer Automated System. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Texas A&M University, College Station, Texas, USA, 211 p.
- [3] Bessa, I.S. (2012). Avaliação do processamento digital de imagens como ferramenta para caracterização de agregados e misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnología, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 154p.
- [4] DNER – ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall.
- [5] DNER-ME 053/94. Misturas betuminosas - Percentagem de betume.
- [6] DNIT 031/2006: Pavimentos flexíveis concreto asfáltico – Especificação de Serviço.
- [6] Gómez, A.M. J. (2011). Estudo Experimental de um Resíduo de Construção e Demolição (RCD) Para Utilização Em Pavimentação. Dissertação de Mestrado, Publicação G. DM-196/11, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.
- [7] Gómez, A.M. J. (2016). Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado a Partir de Resíduos de Construção e Demolição Submetido a Carregamentos.
- [8] Harman, T., Bukowski, J.R., Moutier, F., Huber, G. Mcgennis, R. (2002). The history and future challenges of gyratory compaction 1939 to 2001. Annual meeting of the transportation research board, Washington, USA, 81 p.
- [9] Iwama, M. (2009). Influence of Specimen Size and Orientation on the Mechanical Properties of Laboratory Compacted Asphalt Specimens. Dissertação de Mestrado, Department of Civil Engineering Nottingham Transportation Centre, The University of Nottingham, Nottingham, UK, 249 p.
- [10] Moura, E. Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório. ed.rev. – São Paulo, 2010.
- [11] Safidmazgi, N. R. (2011) Defining effective aggregate skeleton in asphalt mixture using digital imaging. Dissertação de Mestrado. Departamento de engenharia e meio ambiente, University of Wisconsin, Madison, 87 pg.
- [12] Vasconcelos, K.L. (2004). Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 149 fl.

Modelos de comportamiento de adherencia neumático calzada

Marta Beatriz Pagola, pagola@fceia.unr.edu.ar

Oscar Hugo Giovanon, jgiovanon@gmail.com

IMAE Universidad Nacional de Rosario, Berutti y
Riobamba, Rosario

Argentina

En el presente trabajo se muestran los modelos de comportamiento obtenidos para los parámetros macrotextura y coeficiente de fricción, ambos condicionantes de la adherencia neumático calzada que brinda la superficie de rodamiento y permite realizar las maniobras de conducción en forma segura.

Las formas de medición consideradas son con equipos estáticos, para la macrotextura medición con Círculo de Arena, y para el coeficiente de fricción con Péndulo de Fricción.

Los modelos han sido desarrollados para:

- Carpeta de rodamiento construida con mezcla asfáltica en caliente de granulometría discontinua tipo MAC F10 con cemento asfáltico modificado con polímero del tipo SBS.
- Agregados pétreos graníticos de la provincia de Buenos Aires.
- Tramos ubicados en autopista con control de acceso y banquetas pavimentadas.
- Superficie limpia, solo contaminada por el polvo ambiental.

En los modelos se muestran:

- Las constantes halladas para los tramos de análisis.
- La sensibilidad frente a variaciones en el tránsito.
- En el modelo de coeficiente de fricción, la relación con los resultados de coeficiente de pulido acelerado de los agregados pétreos.
- En el modelo de macrotextura, el tiempo necesario para alcanzar una macrotextura de 0.4 mm en función del valor inicial y del tránsito.

Palabras clave: adherencia neumático calzada, macrotextura, fricción, modelos.

In the present paper, behavior models for macrotexture and friction are shown, both parameters determines the road adherence that pavement surface gives to users and let them drive safely.

Measurements were made with static equipment, sand patch for macrotexture, and TRRL Friction Pendulum for friction coefficient.

Models have been developed for the following conditions:

- Road surface built with hot asphalt mix, with discontinuous gradation type MAC F10, and modified asphalt cement with SBS type polymer.
- Granitic stone aggregates from Buenos Aires Province.
- Sections located on highway with access control, and paved shoulders.
- Clean surface, only contaminated by environmental dust.

In the models are shown:

- Constants obtained.
- Sensitivity with traffic variations.
- In friction model, the relationship with results of accelerated polishing coefficient of aggregates.
- In macrotexture model, the time needed to reach a 0.4 mm macrotexture based on initial macrotexture value and traffic.

Keywords: road adherence, macrotexture, friction, models.

1. Introducción

Existen en la bibliografía algunos modelos para predecir esta evolución. Ellos fueron desarrollados para ciertos equipos y para condiciones particulares de regiones, climas y tránsito, valorando ambos parámetros: coeficiente de fricción y macrotextura, en forma independiente. No existe ningún modelo que analice el IFI (índice de fricción internacional), sino que fueron analizados por separado los dos parámetros que lo forman, fricción y textura, particularizados para el equipo de medición.

En Argentina, las carpetas de rodamiento asfálticas eran tradicionalmente diseñadas con mezclas asfálticas pensadas para satisfacer criterios estructurales, sin tener en cuenta al usuario y por consiguiente a la seguridad. Recién a partir de la década del 90, cuando se implementó un Sistema de Concesión de rutas donde el Concesionario debía brindar una determinada calidad de servicio a los usuarios, controlada por indicadores de deterioro, comenzaron a incorporarse carpetas de rodamiento consideradas especiales, las cuales pasaron a ser diseñadas para satisfacer las necesidades de los usuarios, fundamentalmente en autopistas y carreteras rápidas con elevado tránsito. A partir de entonces los parámetros relacionados con la adherencia neumático calzada comenzaron a ser tenidos en cuenta.

El presente estudio tiene como objetivo principal cuantificar la variación que presenta la adherencia neumático calzada con el tiempo en servicio bajo tránsito, mostrar los modelos de predicción desarrollados, valorar la sensibilidad de los mismos, y valorar la relación que existe con el tipo de agregado pétreo utilizado.

2. Mediciones realizadas

Se realizaron mediciones periódicas en tramos ubicados en una de las autopistas con mayor tránsito de Argentina, durante 11 años en servicio bajo tránsito.

El coeficiente de fricción se evaluó empleando un péndulo tipo TRRL propiedad de la empresa concesionaria de la ruta, mientras que la macrotextura se midió con Círculo de Arena, utilizando esferas de vidrio. Durante todo el período de mediciones, se dispuso de los mismos equipos de medición y se utilizó idéntica metodología. Los registros se efectuaron sobre la huella izquierda del carril de circulación. [1, 2]

Se definieron 4 sectores de 1000 m para cada carril objeto de seguimiento. Las mediciones se realizaron en siete posi-

ciones dentro de cada sector, separadas en 50 metros y ubicadas en los últimos 300 metros de cada Km. En cada posición se efectuaron 5 mediciones espaciadas entre sí de un metro. En cada oportunidad de ejecución de ensayos se obtuvieron 140 valores en cada carril. A los efectos de definir tendencias a lo largo del tiempo, se trabajó con el valor medio de cada parámetro y para cada carril.

La macrotextura se midió con mayor frecuencia en el primer año de servicio, en cuanto al coeficiente de fricción, las mediciones comenzaron a practicarse luego de un período de servicio de aproximadamente siete meses luego que se gastó la película de material asfáltico que recubría la superficie de los agregados. [3]

3. Características de la carpeta de rodamiento, el clima y el tránsito de los tramos

Para la mezcla asfáltica de la carpeta de rodamiento se utilizó agregado pétreo granítico triturado proveniente de la zona de Olavarría, en el centro de la Provincia de Buenos Aires. En relación a su resistencia al Pulimento acelerado (parámetro muy relacionado con la adherencia neumático calzada), este material tiene un valor inicial sin pulir de 63 y un valor final de 40, esa pérdida o pulido se da progresivamente en el tiempo debido a la acción del tránsito y a la suciedad existente en la superficie, que actúa como abrasivo; o sea, que recién construida la capa, los agregados colaboran a la adherencia neumático calzada con un valor alto, que se va puliendo en el tiempo.

Para la mezcla de agregados se empleó el huso granulométrico F10 de la normativa española.

El cemento asfáltico base empleado fue de penetración 70–100 (1/10 mm), que se modificó en obra con la adición de un 4% de polímero del tipo SBS.

El clima de la zona es templado, caracterizándose por veranos calurosos e inviernos bastante frescos. La temperatura media anual es de 17 °C. El mes más frío es julio, con una temperatura media de 10 °C. Heladas y nevadas se dan en contadas ocasiones. El mes más caluroso es enero, con una temperatura media de 25 °C. Por otro lado, las precipitaciones son de 1100 mm/año.

El tránsito medio diario anual (TMDA) para ambos sentidos de circulación inicial fue del orden de 130000 vehículos. Haciendo un análisis por cada carril, el TMDA y la cantidad de vehículos pesados (VP) varían. Por ejemplo, para el carril rápi-

do interno el TMDA inicial fue 18000 y los VP 100, mientras que para el carril lento externo el TMDA inicial fue 6000 y los VP 3500.

4. Desarrollo de modelos de predicción de la adherencia neumático calzada

En base a los resultados de mediciones obtenidos en estos tramos, se desarrollaron modelos que permiten predecir cuál sería la evolución de los mismos a partir de valores conocidos desde su construcción.

De acuerdo a las bibliografías analizadas, el tránsito tiene distinta influencia según sea el parámetro que se está analizando. La cantidad total de vehículos tiene más influencia en el desgaste superficial debido al pulido de los agregados, por ese motivo el TMDA fue el parámetro incorporado en los modelos de coeficiente de fricción; mientras que la cantidad de vehículos pesados tienen más influencia en el amasado de la mezcla de la carpeta de rodamiento y como consecuencia en la reducción de la macrotextura y así fue considerado en el modelo de macrotextura.

Se aclara que los mismos tienen validez para las condiciones vigentes en los tramos donde se realizó la experiencia, las cuales son: superficie limpia de suciedad (los tramos se encuentran ubicados en autopista sin presencia de accesos laterales y con banquetas pavimentadas), y clima moderado (temperatura moderada, lluvia abundante y sin nieve).

4.1 Modelo de macrotextura

El modelo de evolución de la macrotextura obtenido es:

$$H = Hini - 3.1 \cdot 10^{-3} \cdot edad + \log_{10}(VPini) - 0.00265 \cdot edad \cdot VPini \cdot e^{0.04 \cdot edad}$$

donde H es la macrotextura a una determinada edad en servicio en mm, Hini es el valor inicial de macrotextura en mm, VPini es la cantidad de vehículos pesados por día inicial, edad es la edad en servicio en días y r es la tasa de crecimiento del tránsito.

En la Figura 1 se observan las predicciones del modelo para una misma mezcla, con igual macrotextura inicial y dos volúmenes de tránsito pesado distintos.

Los coeficientes utilizados en la ecuación, son los que minimi-

zaron el error de estimación de la macrotextura aplicando mínimos cuadrados. El error de estimación de la macrotextura de este modelo, calculado en base a los resultados obtenidos en dos tramos, es de 0.07 mm.

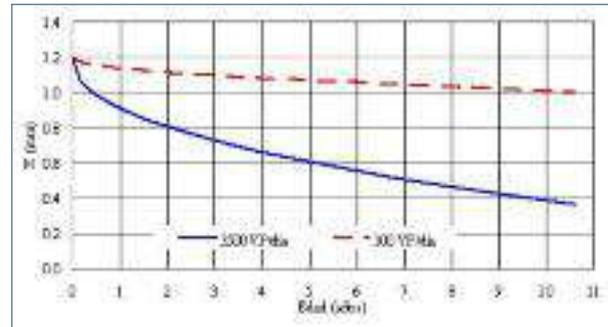


Figura 1: Predicción del modelo de macrotextura, para un H inicial de 1.2 mm, dos volúmenes de tránsito pesado y una tasa de crecimiento de 4%

En base a este modelo desarrollado fue analizada la duración en años que tendría una carpeta antes de alcanzar un valor mínimo de macrotextura de 0.4 mm, partiendo de distintos valores de macrotextura inicial y con distintas intensidades de tránsito pesado. En la Figura 2 se observan los resultados obtenidos para superficies con distinta macrotextura inicial, para una tasa de crecimiento del tránsito de 4%, y tres intensidades de tránsito pesado de 30, 400 y 3000 vehículos pesados por día.

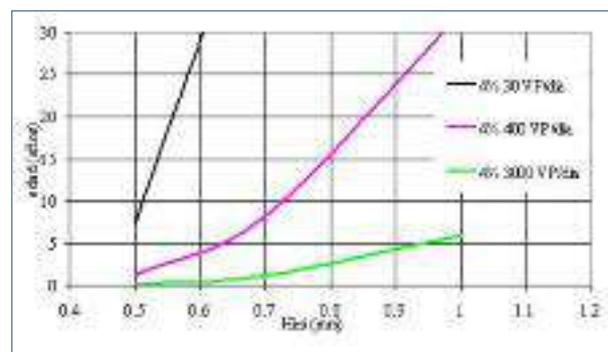


Figura 2: Duración en años antes de alcanzar una macrotextura de 0.4 mm

En este modelo se parte de conocer el valor de macrotextura inicial, aspecto que es difícil de saber antes de construir la carpeta. Como complemento, habría que definir un modelo de predicción de ese valor inicial a partir de las características de los agregados. Pero como en este estudio se trabajó con un único tipo de mezcla asfáltica esa tarea no pudo ser realizada. Para sal-

Modelos de comportamiento de adherencia neumático calzada

var este aspecto, puede utilizarse el modelo desarrollado en el Virginia Tech Transportation Institute [4] que se indica a continuación:

$$Hini = - 2.896 + 0.2993 * TMN + 0.0698 * VAM \quad (2)$$

donde Hini es la estimación de la macrotextura inicial, TMN es el tamaño máximo nominal en mm y VAM son los vacíos del agregados mineral en %.

Aplicando este modelo para la mezcla asfáltica de los tramos, con TMN 10 mm y VAM 16%, el Hini estimado es 1.21 mm, lo cual concuerda con el valor inicial obtenido en obra, esto indica que puede ser recomendable su aplicación.

4.2 Modelo de coeficiente de fricción

El modelo de evolución del coeficiente de fricción obtenido es:

$$CRD = CPA + 1.53 - (0.00470) * \left(TMDAini * (1 + r)^{\frac{edad}{365}} \right)^{0.86} + edad^{0.80} \quad (3)$$

donde CRD es el valor de Péndulo de Fricción a una determinada edad en servicio, CPA es el coeficiente de pulimento acelerado del agregado grueso, TMDAini es el tránsito medio diario anual inicial, edad es la edad en servicio en días y r es la tasa de crecimiento del tránsito.

En forma similar al modelo de macrotextura, los coeficientes utilizados en la ecuación, son los que minimizaron el error de estimación del coeficiente de fricción aplicando mínimos cuadrados. El error de estimación del coeficiente de fricción de este modelo, calculado en base a los resultados obtenidos en dos de los tramos, es de 1.4 CRD.

Los valores de CRD de mediciones de campaña, utilizados para el desarrollo del modelo, se encuentran corregidos a una temperatura de 20°C, de manera de independizarse de la influencia que la misma tiene en los resultados del coeficiente de fricción.

En esta ecuación se observa que el valor inicial del CRD tiene dependencia directa con el CPA del agregado, ya que el otro término depende del TMDA y de la edad, que son iguales a cero en el inicio de la vida de la carretera.

En la Figura 3 se observa la predicción del modelo para dos tramos con CPA igual a 40 y dos intensidades de TMDA, 1500 y 20000.

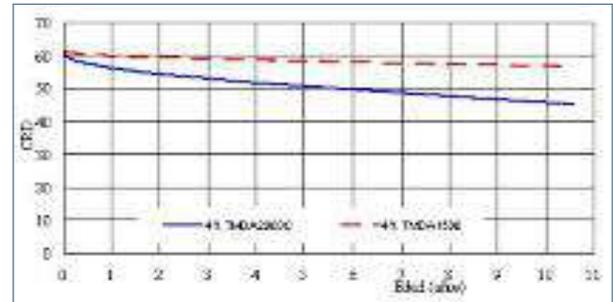


Figura 3: Predicción del modelo de coeficiente de fricción, para un CPA del agregado de 40, dos TMDA y una tasa de crecimiento de 4%

4.3 Modelo de IFI

El IFI se describe como una escala de referencia de la adherencia neumático calzada de la superficie del pavimento, de aplicación internacional. Esta escala fue definida en el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento organizado por la Asociación Internacional Permanente de Congresos de la Ruta (AIPCR). Las conclusiones del mismo han definido que el IFI se expresa por dos números calculados a partir de las mediciones de coeficiente de fricción y de macrotextura. En la Norma ASTM E 1960 se encuentran indicadas la metodología para el cálculo del IFI y las constantes de algunos equipos de medición. [5]

Este índice se expresa por dos números indicados entre paréntesis y separados por una coma IFI (F60,SP); donde F60 depende del coeficiente de fricción y de la macrotextura, mientras que el valor SP depende únicamente de la macrotextura superficial. Para el caso de medición de parámetros planteada en esta experiencia con Péndulo de Fricción y Círculo de Arena, las ecuaciones aplicadas son:

$$SP = -11.5981 + 113.63 * H \quad (4)$$

$$FR60 = CRD * e^{(110 - 60) / SP} \quad (5)$$

$$F60 = 0.07784 + 0.00709 * FR60 \quad (6)$$

donde H es la macrotextura expresada como altura del círculo de arena, en (mm), CRD es el valor del péndulo de fricción, y e es la base de logaritmos neperianos.

Respecto al parámetro F60 no se desarrolló ningún modelo

en particular, lo que se hizo fue calcular la macrotextura y el coeficiente de fricción con los modelos indicados previamente y luego, en base a esos resultados se calculó el F60 que se informaría. Las tendencias obtenidas se muestran en forma gráfica en la Figura 4.

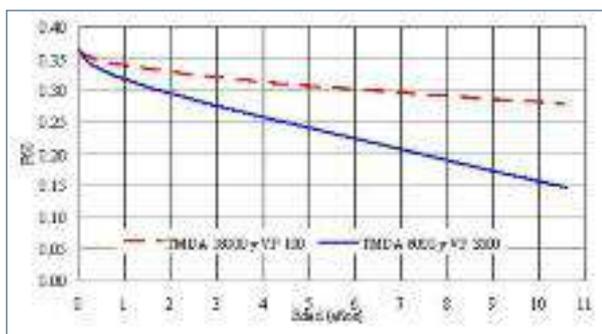


Figura 4: Evolución del F60 calculado a partir de los modelos de macrotextura y coeficiente de fricción

5. Análisis de la influencia del coeficiente de pulimento de los agregados

Como fue indicado previamente, la resistencia al pulimento de los agregados tiene gran influencia en el comportamiento de la superficie de rodamiento respecto a la adherencia neumático calzada.

Cuando se recién se construye la mezcla, los agregados pétreos colaboran a la adherencia neumático calzada con un valor superior al indicado en el ensayo CPA, ya que el material no está pulido. Esa pérdida o pulido se da progresivamente en el tiempo debido a la acción del tránsito y a la suciedad existente en la superficie, que actúa como abrasivo; o sea, que recién construida la capa, los agregados colaboran a la adherencia neumático calzada con un valor alto, que se va puliendo en el tiempo. [6]

5.1 Análisis del CPA de los agregados en Argentina

En Argentina, en estudios previos de los autores, se realizó el análisis de resistencia al pulimento de la mayoría de los agregados procedentes de canteras comerciales que se utilizan en la elaboración de mezcla asfáltica en las rutas del país. [7]

Se han tomado muestras de casi todas las canteras que se encuentran en explotación comercial en la zona Central y Litoral de la Argentina, que es la zona del país más crítica en cuanto a la disposición de agregados, o sea existen pocas fuentes de pro-

ducción de materiales pétreos y es donde existe la mayor concentración de rutas, o sea donde la demanda es mayor. En otras zonas del país existe agregado pétreo a disposición con lo cual la explotación se hace a demanda y en el lugar más cercano a la obra.

Para los agregados más usuales, granitos y basaltos, se analizaron los resultados según origen y su ubicación geográfica, o sea por provincia, con el objetivo de ver si se obtienen respuestas diferenciadas según su ubicación, dado la gran extensión de Argentina, Figura 5.

Desde el punto de vista de su origen mineralógico puede decirse que los agregados graníticos poseen peores CPA (menores valores) que los agregados basálticos.

Del análisis de los resultados obtenidos para los agregados graníticos en las provincias de Córdoba y Buenos Aires se considera que no se observan grandes diferencias ni tendencias muy definidas. En la Provincia de Buenos Aires los granitos ensayados presentan valores de CPA cercanos a 40, mientras en la Provincia de Córdoba, el entorno de resultados se encuentra desplazado hacia valores mayores, siendo todos superiores a 44.

Como se observa en los resultados de la Figura 5, los valores de CPA para los agregados de Argentina son bajos. El agregado utilizado en la carpeta de rodamiento de los tramos analizados es granito proveniente de la Provincia de Buenos Aires y tiene un valor de coeficiente de pulimento acelerado CPA igual a 40.

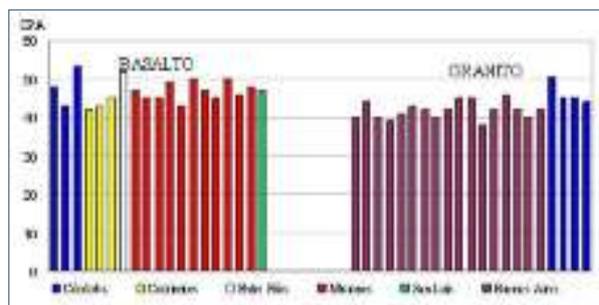


Figura 5: Resultados CPA para canteras comerciales de la zona Central y Litoral de la Argentina

Según las especificaciones técnicas de muchos países, el mismo no podría ser utilizado en carpetas de rodamiento. Pero el análisis de materiales muestra que no hay materiales disponibles que satisfagan valores más altos, excepto si se trabaja con basaltos. Siendo esto un problema, ya que muchos de los basaltos estudiados poseen alto riesgo de meteorización, con lo cual su uso no es posible para carpetas de rodamiento.

A pesar de estos resultados, los agregados se utilizan, y el aná-

Modelos de comportamiento de adherencia neumático calzada

lisis del comportamiento de las superficies con estos materiales fue uno de los objetivos del presente estudio.

Para valorar el aporte de los agregados estudiados en su estado virgen, sin uso, se les realizó la valoración con Péndulo de Fricción sobre las pastillas de pulimento acelerado, antes de someterlas a pulido. Para el agregado utilizado en los tramos, el valor inicial fue de 63. Esto indica que la relación entre virgen y pulido es de 1.58.

5.2 Análisis del desgaste en la producción de la mezcla

En otros estudios previos, se analizó si el proceso de elaboración de la mezcla generaba algún desgaste y/o pulido superficial en los agregados. Para eso, se utilizó como procedimiento de desgaste el ensayo Micro Deval (MDE). Este ensayo provee la resistencia a la abrasión superficial de los agregados pétreos, sometidos a la acción de la abrasión que se produce entre las partículas de agregados y pequeñas esferas de acero en presencia de agua. Se tomó este ensayo, asumiendo que el roce entre partículas que se produce en el ensayo es similar al que se produce en el tambor secador mezclador de la planta asfáltica.

Una vez producido el desgaste MDE se valoró el coeficiente de fricción de igual manera que se realiza en el ensayo de pulimento acelerado, o sea utilizando el péndulo de fricción. Como se muestra en la Figura 6, el CRD posee variación respecto al material virgen y es distinto del coeficiente después del ensayo CPA. Se están manifestando entonces tres valores de CRD correspondientes a tres momentos en la vida de los agregados: un valor virgen que se corresponde al material cuando se recibe el material de cantera, un valor MDE que representa al agregado recién colocado luego del proceso de fabricación de la mezcla asfáltica y un valor CPA que es el valor que tendrá el agregado después de un cierto tiempo en servicio bajo la acción del tránsito y el clima.

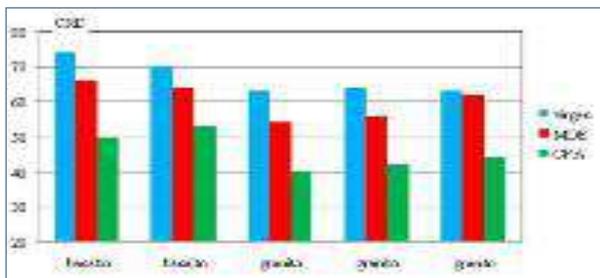


Figura 6: Resistencia a la fricción del agregado en distintos momentos de su vida

En función de ese análisis puede decirse que el CRD del agregado al momento del inicio de vida de la carretera estará comprendido entre el valor virgen y el valor después de MDE. Para el agregado utilizado en los tramos del estudio, los valores correspondientes a los tres estadios son: 63, 54 y 40.

5.3 Análisis

En el modelo de evolución del CRD desarrollado (ecuación 3), el coeficiente que acompaña al CPA es 1.53, lo cual diría que para un agregado con desgaste CPA igual a 40 el valor inicial de CRD de la carretera sería de 61.2.

Según los resultados de los agregados mostrados en los puntos previos, el valor inicial de coeficiente de fricción de la carretera se encontraría entre el correspondiente al valor del agregado virgen, 63, y del agregado desgastado en la producción de la mezcla, 54.

Esto estaría indicando:

- No se comporta con el valor virgen, sino con un valor menor.
- El valor indicado por el modelo está comprendido entre el valor virgen y el valor después del MDE.
- Parece ser que el ensayo MDE produce un mayor desgaste que la producción de la mezcla o que sea una particularidad de la técnica de producción utilizada.
- Habría que controlar con otros procesos de producción.

6. Conclusiones

Se han desarrollado modelos de predicción de la macrotextura medida con Círculo de Arena y del coeficiente de fricción medido con el Péndulo de Fricción TRRL. El modelo de macrotextura puede ser complementado con el modelo de predicción de la macrotextura inicial a partir de las características de los agregados del Virginia Tech Transportation Institute.

Se aclara que los modelos desarrollados tienen validez para las condiciones vigentes en los tramos donde se realizó la experiencia: superficie sin suciedad (estos tramos se encuentran ubicados en autopista sin presencia de accesos laterales y con banquetas pavimentadas), clima moderado, temperatura moderada, lluvia abundante y sin nieve.

Se puso de manifiesto que los agregados colaboran al coeficiente de fricción inicial de la carpeta con un valor superior

al indicado en el ensayo de pulimento acelerado, pero que es menor que el coeficiente obtenido para un agregado virgen debido al desgaste producido en la elaboración de la mezcla asfáltica.

Para el agregado utilizado en los tramos del estudio, el desgaste superficial producido en el ensayo MDE es superior al producido durante la elaboración de la mezcla asfáltica.

5. Referências bibliográficas

[1] IRAM 1555. Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL.

[2] IRAM 1850. Método de determinación de la profundidad de la macrotextura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena.

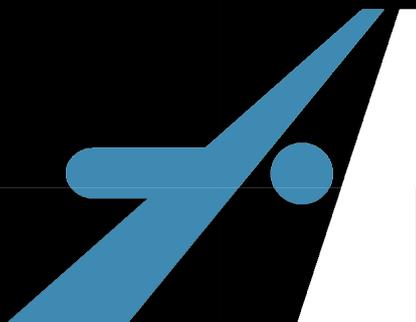
[3] Esteban, D., Páramo, J., Pagola, M., Vilicich, G. y Represas, A. "Evolución del comportamiento de carpeta de rodamiento tipo F10 en 11 años de servicio bajo tránsito en autopista". XVI Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

[4] Flintsch, G., De León, E., McGhee, K. y Al-Qadi, I. "Pavement surface macrotexture, measurement and application". TRB Annual Meeting. 2003.

[5] ASTM E 1960. Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface.

[6] Hosking R. (1992). Road aggregates and skidding. Transport Research Laboratory.

[7] Pagola, M., Giovanon, O., Ruiz, M., Natchygal, G. y Santamaría, E. "Caracterización de agregados pétreos para ser utilizados en mezclas asfálticas". 1er Congreso Argentino de Áridos, Mar del Plata, Argentina, 2008.



Madrid, 30 y 31 de Mayo de 2018

XIII Jornada Nacional asefma 2018

PROVISIONAL

PROGRAMA

**XIII Jornada Nacional
asefma 2018**

30 y 31 de Mayo de 2018

#XIIIJornadaAsefma

**El concepto Asfalto 4.0
una respuesta
a los nuevos desafíos
sobre movilidad
y sostenibilidad**

Hotel Holiday Inn
Plaza Carlos Trías Bertrán, 4 - 28020 Madrid

Coordinador:
Dr. Ing. Angel Sampedro y Dra. Ing. M^o Elena Hidalgo

Patrocinan:



Organiza:



Teléf.: 91 129 36 60 • e-mail: asefma@asefma.com.es
www.asefma.es

El concepto Asfalto 4.0 una respuesta a los nuevos desafíos sobre movilidad y sostenibilidad

INSCRIPCIONES

La inscripción debe formalizarse en:
asefma@asefma.com.es

tras haber realizado el ingreso en la Cuenta Corriente:
Bankinter 0128 0013 29 0100041983

Inscripción on-line a través de:
www.itafec.com

Síguenos en Twitter  #XIIIJornadaAsefma



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASEFMA)

Avda. General Perón, 26
28020 Madrid
www.asefma.es

T.: +34 911 293 660
F.: +34 911 293 566
E.: asefma@asefma.com.es

PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS.

ENTREGA 01.

Andrés Costa

Excoordinador Grupo 1 de ASEFMA

0.- PRESENTACION

Dentro del Grupo de Trabajo 1 del Comité Técnico de la Asociación Española de Fabricantes de mezclas Asfálticas (ASEFMA), se ha preparado un documento que, en formato de Monografía y con el número 14, se ha dedicado al estudio de las Patologías de los Pavimentos.

En esta Monografía se han estudiado las patologías que se producen en los firmes en los que todas o algunas de sus capas y especialmente la de rodadura, están construidas con mezclas bituminosas.

El Comité de Redacción de la Revista Asfalto y Pavimentación ha considerado de interés la publicación de este documento mediante separatas coleccionables, que van a aparecer, a partir de este número de la Revista hasta completar lo que se ha recogido en la citada Monografía 14 de ASEFMA.

1.- INTRODUCCION

El firme de cualquier superficie pavimentada está formado por una serie de capas, de espesor variable entre unos pocos centímetros y 40 centímetros como máximo, colocadas horizontalmente unas sobre otras y a partir de una primera, formada en el terreno natural existente, denominada generalmente explanada.

Las propiedades de los firmes se pueden clasificar en los dos grandes grupos siguientes:

- **ESTRUCTURALES**
- **FUNCIONALES**

Entre las propiedades estructurales se incluyen: **ESTABI-**

DAD, DURABILIDAD y RESISTENCIA A LA FATIGA. Cuando el firme pierde alguna de estas propiedades, el usuario lo detecta en grado ya avanzado porque afecta a la regularidad superficial de la superficie de rodadura.



Figura 1. Carretera con mala regularidad superficial.

Respecto a las propiedades funcionales, que influyen directamente en la comodidad y seguridad del usuario, éste detecta su pérdida inmediatamente a producirse. Entre las propiedades funcionales se pueden enumerar las siguientes:

- **Resistencia al deslizamiento.**
- **Textura y grado de drenabilidad superficial.**
- **Regularidad superficial.**
- **Sonoridad, en función del ruido de rodadura generado y de la capacidad de absorción acústica.**
- **Resistencia a la rodadura.**
- **Color y otras propiedades ópticas.**

La normativa española relativa al diseño de los firmes de carreteras de nueva construcción y al acondicionamiento de los ya existentes, recogida en la Norma 6.1 IC SECCIONES DE FIRMES del Ministerio de Fomento para la Red de Carreteras del Estado, así como la normativa que en este sentido han emitido algunas Comunidades Autónomas para sus Re-

des de Carreteras, tienen en cuenta dos características fundamentales para el comportamiento futuro del firme, el tipo de tráfico que va a soportar y las características de la explanada sobre la que se apoya el firme. Respecto a las pistas de aeropuertos, las recomendaciones de diseño están recogidas en el Anexo 14 y el Manual de Diseño de Aeródromos, parte 3 de OACI, así como en la serie 150 Advisory Circulars for Airport Projects de la FAA (Federal Aviation Administration) americana. En general todas las normativas permiten considerar distintas secciones estructurales, eligiéndose aquella que sea la más adecuada en función de los materiales disponibles, de las técnicas constructivas y de las propiedades funcionales (seguridad y comodidad) que se requieran al firme.

En el diseño del firme y en la elección de los materiales más adecuados para cada una de las capas deben tenerse en cuenta los factores que van a influir en su deterioro para conseguir que sea el menor posible y lo más dilatado en el tiempo.

Estos factores, que determinan el deterioro del firme a través de la pérdida de sus propiedades estructurales y funcionales, se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **FACTORES PASIVOS**
- **FACTORES ACTIVOS**

Entre los factores pasivos, denominados así porque son intrínsecos al firme, se pueden incluir los espesores de las capas construidas, los materiales elegidos para formar cada capa y el proceso propiamente constructivo de diseño, fabricación de los materiales utilizados (mezclas bituminosas, materiales tratados con cemento, etc.) y puesta en obra de los mismos.

Entre los factores activos, denominados así porque en función de su intensidad y actividad se produce el deterioro del firme, se puede incluir el tráfico, no solo como número de vehículos que pasan, también como el número de ejes del vehículo, la carga por eje, la velocidad de los vehículos, el estado de la regularidad superficial, etc. La acción del tráfico trasmite al firme unas cargas horizontales y verticales que producen tensiones y deformaciones en las distintas capas del firme que se manifiestan en el tiempo en un cierto deterioro que suele producir, en el firme, alguna de las patologías siguientes: **Fisuración por fatiga, Baches, Deformaciones permanentes, Peladuras, Pulimento superficial, etc.**

Entre los factores activos se puede incluir también la climatología, que produce el deterioro del firme aunque no exista tráfico alguno. En este sentido la radiación solar, las variaciones de temperatura en el día y entre las distintas estaciones, el efecto del aire y del agua sobre el ligante de las mezclas bituminosas de la capa de rodadura, el hielo, la nieve (los materiales fundentes que se utilizan para prevenirlos y eliminarlos), etc., afectan a las características mecánicas de los materiales de las capas del firme, especialmente en el pavimento o capa de rodadura, produciendo la pérdida de cohesión de las mezclas bituminosas, la aparición de fenómenos superficiales de degradación y desprendimiento del árido, la aparición de fenómenos de fisuración superficial por retracciones y dilataciones superficiales. Además, si el agua accede a las capas inferiores y a la explanada del firme, ejerce un pernicioso efecto sobre la capacidad de soporte y estabilidad del conjunto de capas que forman el firme.

El diseño de un firme exige tener en cuenta los factores activos y los factores pasivos que va a soportar durante su vida de servicio. El comportamiento estructural y las características funcionales y su resistencia al deterioro vienen determinados por los materiales que lo componen y de cómo se comportan bajo la acción del tráfico y de las condiciones climatológicas.

Por todo ello, un proyecto de firme que incluya la aplicación de una mezcla bituminosa requiere un estudio de los factores que intervienen tanto en su composición como en su comportamiento para conseguir combinar las mejores prestaciones con la solución económica más adecuada.

Dentro de estos factores que intervienen hay que tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- **Definir las condiciones en las que va a trabajar la mezcla como son tipo de tráfico, meteorología, tipo de capa del firme, etc.**
- **Las propiedades requeridas que deben cumplir las mezclas para poder comportarse adecuadamente produciendo el menor daño posible, entre ellas se encuentran las características de resistencia mecánica, comportamiento frente a deformaciones plásticas.**
- **Determinación de las propiedades estructurales y funcionales que debe tener la mezcla, dadas las sollicitaciones a las que se encuentra expuesta. De-**

be establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.

- Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.
- Materiales disponibles, elección de los áridos, que deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un coste razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.
- Elección del tipo de ligante: betún convencional, betún modificado, emulsión bituminosa, etc...
- Dosificación y determinación de la Fórmula de Trabajo más adecuada para la mezcla bituminosa seleccionada, teniendo en cuenta las prestaciones a cumplir y los materiales disponibles.
- Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: exigencias de seguridad vial, estructura del firme, técnicas de fabricación y puesta en obra, ubicación de la obra (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), condiciones de drenaje y consideraciones económicas.

Un firme bien diseñado y bien construido presenta inicialmente las propiedades estructurales y funcionales óptimas que se tuvieron en cuenta para realizar el diseño. Inmediatamente se inicia el deterioro del firme por la acción del tráfico y por las condiciones climatológicas. Como consecuencia de ello se producen algunas de las patologías que se describen en esta monografía. Este proceso de "envejecimiento" del firme no es lineal, aumenta de forma progresiva, de manera que una misma causa produce un daño mayor cuanto más se ha deteriorado éste y el envejecimiento es mucho más rápido. Cuando el firme alcanza un nivel de deterioro tal que apenas tiene capacidad soporte y, como consecuencia del deterioro sufrido, presenta una serie de patologías tales que no permite la circulación de los vehículos de manera cómoda y segura incluso a baja velocidad, se considera que el firme ha agotado su vida útil y es necesario reconstruirlo con una inversión prácticamente igual a la que se realizó inicialmente

para su construcción como nuevo.

Una alternativa a este tipo de actuación consiste en realizar una conservación preventiva del firme de manera que apenas se produzcan las degradaciones de sus propiedades estructurales y funcionales, se actúa manteniendo, de forma más o menos continua en el tiempo, sus propiedades iniciales y permitiendo la circulación cómoda y segura de los usuarios a lo largo de muchos años.

SIEMPRE ES MAS ECONOMICO Y SOBRE TODO MAS SEGURO PARA LOS USUARIOS, SEGUIR UNA POLITICA DE CONSERVACION PREVENTIVA, CON ACTUACIONES PERIODICAS SOBRE EL FIRME, PARA MANTENER LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES INICIALES DEL FIRME CONSTRUIDO.

2. - TIPOS DE FIRMES

En principio, según el funcionamiento estructural y los materiales utilizados en la construcción de las capas, hay dos grandes grupos de tipos de firmes: **FLEXIBLES y RÍGIDOS**. Posteriormente y como solución intermedia entre estos dos tipos de firme, se han desarrollado los denominados firmes **SEMIFLEXIBLES y SEMIRRÍGIDOS**.

Así mismo se han desarrollado otros tipos de firmes, utilizados normalmente en vías urbanas, que responden a las denominaciones de firmes **MIXTOS, DISCONTINUOS POR ELEMENTOS y TERRIZOS**. Todos ellos se describen a continuación.

2.1. - Firmes Flexibles

Son firmes formados por capas de materiales granulares, con mayor calidad en la capa de base que en la de subbase, y un pavimento de tipo bituminoso que, en los casos con tráfico más ligero, puede ser un sencillo tratamiento superficial mediante riego con gravillas y en los demás casos, que suele ser la solución más habitual, mediante una capa de mezcla bituminosa de mayor o menor espesor según el tipo de tráfico pesado que soporte el firme.



Figura 2: Sección tipo de un firme FLEXIBLE

La acción de las cargas del tráfico sobre el pavimento produce su deformación elástica, por flexión de la mezcla bituminosa, absorbiendo una parte de la tensión producida y transmitiendo a la capa inmediatamente inferior el resto de la tensión. Mientras el pavimento mantiene su comportamiento elástico, una vez ha pasado la carga, el pavimento recupera la deformación que se ha producido. La repetición de cargas produce la fatiga de la mezcla bituminosa y, al cabo de un número determinado de cargas, la deformación se hace permanente, se produce la fisuración de la capa y el firme ha agotado su capacidad de soporte siendo necesario reforzarlo.

La tensión transmitida en cada aplicación de carga a la capa granular, se reparte y va reduciendo su valor con la profundidad, gracias al contacto entre las partículas que forman el material granular. Al final, la capa de subbase transmite la tensión residual a la explanada que deberá soportarla sin deformarse de manera permanente pues, en caso contrario, el firme reflejaría estas deformaciones y no permitiría circular de manera cómoda y segura sobre él.

Es un pavimento económico y rápido de construcción, sensible a la presencia de agua, que requiere explanadas de cierta calidad para soportar las tensiones que llegan a ellas. Con cargas elevadas, es decir para tráficos muy pesados, puede haber problemas de roderas y deformaciones importantes.

2.2.- Firmes Semiflexibles

El aumento considerable de las cargas del tráfico en una carretera con un firme de tipo flexible, lleva a un mal com-

portamiento del firme, agotando su capacidad soporte en poco tiempo, salvo que se construyan con capas granulares de mucho espesor, solución que no es rentable económicamente y que no es aconsejable constructivamente.

Hay dos posibles soluciones en este caso. Aumentar el espesor de las capas de mezcla bituminosa o bien sustituir la capa de base granular por un material de mayor resistencia mecánica. Esto da lugar otros dos tipos de firmes, que son los semiflexibles y los semirrígidos.

Se denominan FIRMES SEMIFLEXIBLES aquellos que teniendo la misma estructura que los firmes flexibles, en cuanto a número de capas y materiales constituyentes de las mismas, el espesor total de las capas de mezcla bituminosa es superior a un cierto espesor. En general se considera este valor a partir de los 15 centímetros.

2.3.- Firmes Semirrígidos

Para mejorar el comportamiento resistente de los firmes flexibles con tráfico pesado alto, se pueden sustituir los materiales granulares de la capa de base e incluso de la capa de subbase, por materiales tratados o estabilizados con cemento. Estos materiales, que tienen unos módulos de elasticidad sensiblemente mayores que los materiales granulares, son capaces de absorber gran parte de las tensiones del tráfico, transmitiendo tensiones y deformaciones muy pequeñas a la explanada y alargando sensiblemente la vida útil del firme. Este nuevo tipo de firme se ha denominado: FIRMES SEMIRRIGIDOS.

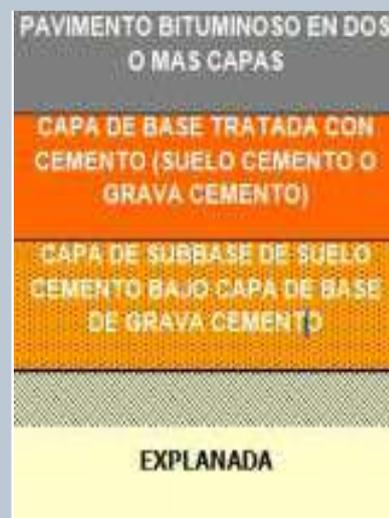


Figura 3: Sección tipo de un firme SEMIRRIGIDO

Son firmes formados por una capa de subbase de suelo cemento (solo cuando la capa de base es de grava cemento), una capa de base de suelo cemento o de grava cemento y una capa de rodadura con mezcla bituminosa en caliente en una o varias capas, según el espesor prescrito. Estos firmes tienen un inconveniente importante en la posible reflexión, a la superficie del pavimento, de las grietas de retracción propias de la base tratada con cemento. Esta reflexión es tanto más rápida cuanto menor es el espesor de la capa de mezcla bituminosa y cuanto mayor es el tráfico de vehículos pesados.

En la línea de evitar este problema de reflexión de grietas, se puede sustituir el material tratado con cemento de la capa de base, por algún tipo de mezcla bituminosa que sea capaz de absorber, en gran medida, las tensiones del tráfico transmitidas por el pavimento. Tradicionalmente se han utilizado: la grava emulsión o las mezclas bituminosas gruesas del tipo AC22 ó AC32base G (Artículo 542 del PG-3, actualizado por la Orden Ministerial FOM/2523/2014, de 12 de diciembre, publicado en el BOE de 3 de enero de 2015). En esta línea se han desarrollado unas mezclas bituminosas en caliente denominadas de Alto Modulo (AC 22 base S MAM), también recogidas en el citado Artículo 542 del PG-3, cuyo comportamiento, a nivel resistente, es análogo al de una base tratada con cemento, con módulos elásticos similares, pero sin los problemas de las grietas de retracción reflejadas en la capa de rodadura.

Estas secciones se han utilizado de manera generalizada en los firmes de carreteras con tráficos pesados de las categorías más elevadas.

2.4.- Firmes Rígidos

Se caracterizan porque la absorción de las tensiones producidas por las cargas del tráfico la realiza una losa de hormigón, que actúa además como capa única de pavimento. La losa de hormigón puede construirse: en masa, en masa con pasadores en las juntas de las losas, de hormigón armado y de hormigón pretensado. Las dos últimas soluciones prácticamente no se han utilizado en las carreteras españolas por ser muy caras y complejas de construir.

Cuando los firmes rígidos se utilizan en las vías urbanas, uso algo más habitual que en carreteras, la solución es de hormigón en masa, con juntas longitudinales de alabeo se-

paradas entre sí el ancho de los carriles que forman la vía y con juntas transversales, separadas de 4 a 6 metros entre cada dos contiguas para absorber las tensiones producidas por las retracciones térmica y de fraguado del hormigón.



Figura 4: Sección tipo de un firme RÍGIDO

Las cargas del tráfico se transmiten por flexotracción, de manera que al distribuirse en una gran superficie y con el elevado módulo de elasticidad del hormigón, las tensiones y deformaciones transmitidas a la explanada son muy pequeñas.

En este tipo de firme la capa de base apenas tiene función resistente, es la propia losa de hormigón del pavimento la que tiene esta función, pero deben construirse y hacerlo de manera que sea una buena plataforma de apoyo y de trabajo para el pavimento. Ha de ser estable y no erosionable por el agua que puede entrar en el firme a través de las juntas de construcción y de las fisuras en el hormigón.

Exclusivamente para la construcción de vías urbanas se han desarrollado algunos tipos de firmes alternativos a los descritos hasta ahora, de manera que se adaptan y responden mucho mejor a las necesidades y características de los pavimentos urbanos. En esta línea están los firmes siguientes: **FIRMES MIXTOS**, **FIRMES DISCONTINUOS POR ELEMENTOS** y **FIRMES TERRIZOS** o **DE TIERRA**. A continuación se describen estos tres tipos de firmes habituales en las vías urbanas.

2.5.- Firmes Mixtos

Los denominados **FIRMES MIXTOS**, de uso exclusivo en los viales urbanos, consisten en la construcción de una capa de base de hormigón en masa y una capa de pavimento con

mezcla bituminosa. Como subbase se suele utilizar un material granular o un suelo estabilizado con cemento, pudiendo prescindirse de esta capa para cargas de tráfico bajas y si hay una buena explanada.



Figura 5: Sección tipo de un firme MIXTO

Puesto que la capa de base de un firme mixto no requiere una capacidad estructural elevada, es habitual emplear hormigones con una resistencia característica a compresión simple a 28 días de 15 MPa. Bajo la denominación de la Instrucción EHE 08, se trataría de un hormigón no estructural HNE-15, puesto que la resistencia mínima requerida a un hormigón en masa (20 MPa, HM-20) resulta excesiva para un firme de carretera.

Para el tipo de tráfico que normalmente soportan las vías urbanas, la utilización de hormigones de mayor resistencia característica no aportaría apenas ventajas e incidiría negativamente, al menos en los dos aspectos siguientes: en un número y un tamaño mayor de las grietas de retracción térmica y de fraguado en la construcción, y en una mayor dificultad para demoler esta capa de base al construir zanjas para acceder a las redes subterráneas de servicios.

En cuanto a la mezcla bituminosa del pavimento, normalmente se construye en una o dos capas en función del tipo de tráfico que soporta, con un espesor total relativamente pequeño. La primera o capa intermedia suele ser de los tipos AC16 S ó AC22 S (Artículo 542 del PG-3) y la superior o de rodadura propiamente dicha, con mezcla tipo AC16 D ó AC22 D (Artículo 542 del PG-3) o con mezclas discontinuas en capa delgada de los tipos BBTM 8B, BBTM 11B, BBTM 8A ó BBTM 11A (Artículo 543 del PG-3). Las mezclas porosas ti-

po PA 11 ó PA 16 no se suelen utilizar cuando se trata de firmes mixtos en vías urbanas.

Este tipo de firme presenta algunas ventajas para su utilización en vías urbanas. Entre esas ventajas están: su buen comportamiento, en la fase de construcción, sobre las redes subterráneas de servicios existentes, la facilidad de reposición de los materiales de las distintas capas al cerrar las zanjas sin dañar los servicios y de reposición del firme sin discontinuidades, la superficie de rodadura es cómoda, segura y de las más silenciosas para los usuarios y habitantes de la zona, la excelente resistencia mecánica de la base de hormigón permite una larga vida al firme, siendo muy sencillo y rápido eliminar y reponer la capa de rodadura cuando ha perdido sus características superficiales o incluso la capa de pavimento de mezcla bituminosa completa si está muy envejecida y agrietada, sin afectar a los servicios y sin modificar la rasante del firme.

Como inconveniente, posiblemente el mayor y cada vez peor soportado por los usuarios, está el reflejo de las grietas de retracción de la base de hormigón a la superficie de la capa de rodadura. Estas grietas se ha considerado que no resultaban incómodas para rodar sobre ellas mientras la velocidad de los vehículos fuese baja y tampoco había problemas de deformación y rotura de los bordes de las grietas mientras el tráfico de vehículos pesados circulando sobre ellas sea escaso.

En la actualidad las condiciones del tráfico en las ciudades han cambiado y las grietas de retracción de la capa de base de hormigón, reflejadas en el pavimento, resultan una incomodidad para los usuarios de los vehículos y un problema grave porque la degradación de sus bordes es importante, con formación de pequeños baches al perder parte de la capa de mezcla bituminosa. En vías urbanas con un nivel de tráfico alto es recomendable retrasar el reflejo de las grietas a la capa de rodadura lo más posible. Para ello hay varias soluciones: aumentar el espesor de las capas de mezcla bituminosa, o bien colocar alguna capa de un material con propiedades antirreflexión de grietas (geotextiles, arena betún, etc.), o bien utilizar un betún modificado con elastómeros en la fabricación de las mezclas bituminosas, buscando un tipo de mezcla y una fórmula de trabajo que permita poner una mayor cantidad de ligante en la mezcla, para dotarla de una mayor flexibilidad, aumentar su capacidad resistente y alargar sensiblemente su vida útil en buen estado.

Una buena solución alternativa puede estar en construir un firme semirrígido sustituyendo en la capa de base el hormigón magro en masa por una mezcla bituminosa de Alto Modulo. El comportamiento mecánico de esta solución es similar al firme mixto pero sin grietas de retracción que se reflejen en la capa del pavimento. En el caso de vías urbanas de nueva construcción, donde se puede colocar la red de servicios subterráneos por debajo de las aceras o en zonas de galería visitable, este tipo de firme es recomendable considerarlo como la solución más adecuada. En vías urbanas existentes y siempre que las redes de servicios discurran por debajo de la acera, es también recomendable utilizar este tipo de firme.

2.6.- Firmes Discontinuos por Elementos

Son firmes utilizados en las vías urbanas en los que la capa de pavimento está formada por piezas con mayor o menor grado de articulación, que se colocan sobre una capa de base que puede ser flexible, semirrígida o rígida.



Figura 6: Sección tipo de un firme DISCONTINUO POR ELEMENTOS

En vías urbanas y siempre que haya servicios subterráneos por debajo de este tipo de firme, se recomienda que la base sea de tipo rígido. En cuanto a las piezas que forman el pavimento, los más utilizados son los siguientes: los adoquines de piedra natural, los adoquines de hormigón prefabricados, los enlosados de piedra natural y los enlosados de hormigón prefabricado.

El comportamiento de estos firmes depende del tipo de material colocado en la capa de base. Si la base es flexible,

las piezas se colocan articuladas y selladas entre sí, exclusivamente con arena. El rozamiento entre las piezas y la imposibilidad de giro, confieren al conjunto una excelente flexibilidad y una mayor resistencia que la que tiene cada pieza por separado. Si están sometidos a cargas pesadas, puede haber deformaciones indeseables que no aconsejan su uso en ese caso y con este tipo de capa de base. Cuando la base es de hormigón, los elementos se unen entre sí mediante un mortero de cemento, comportándose el firme, bajo la acción de las cargas del tráfico, como un pavimento rígido.

Cuando se utilizan sobre base flexible con una arena de sellado entre las piezas articuladas, las reparaciones y reposiciones de los servicios subterráneos son extremadamente sencillas, rápidas y económicas pues permiten volver a utilizar las mismas piezas iniciales en el pavimento.

2.7.- Firmes Terrizos o de Tierra

Son firmes de vías urbanas muy sencillos, formados por un pavimento de tierra sobre una o más capas granulares. Es un caso de firme flexible simplificado donde se ha eliminado el pavimento bituminoso. Su utilización se recomienda restringirla para firmes con cargas muy bajas, como son las áreas de juego infantiles y deportivas, algunos paseos de uso exclusivamente peatonal y en algún vial con tráfico muy escaso y ligero, por razones estéticas y del entorno.

Su comportamiento estructural para los usos y condiciones de tráfico recomendados es bueno, siempre que estén bien construidos, necesitando un cierto mantenimiento periódico.

Para conseguir ese buen comportamiento se recomienda colocar bordes de confinamiento del mismo y conseguir que funcione bien el drenaje en este tipo de firme. Por ello, se debe colocar siempre en alguna capa inferior, un material granular drenante e incluso, si el terreno natural es impermeable, un sistema de drenaje adecuado. Las capas granulares superiores serán siempre de mayor calidad que las inferiores, es decir, se construirán con un material de mayor dureza y regularidad, con un tamaño máximo menor, con una granulometría más cuidada y con un menor contenido en finos y en plasticidad.

Si la explanada es de mala calidad, como sería en el caso de suelo no tolerable, se recomienda estabilizar el terreno con algún conglomerante hidráulico (cal o cemento).

• I N T E R N A T I O N A L •

Road Maintenance Day

UN TURISMO CONVENCIONAL PUEDE LLEGAR A INCREMENTAR UN 10-13% LAS EMISIONES DE CO₂ CUANDO CIRCULA POR PAVIMENTOS CON MALA O MUY MALA REGULARIDAD SUPERFICIAL



#IRMD2018

• I N T E R N A T I O N A L •

Road Maintenance Day

MEJORAR 1/3 DE LA RED VIARIA EUROPEA DE MÁXIMA CAPACIDAD TENDRÍA EL MISMO EFECTO DESCONTAMINANTE QUE REEMPLAZAR 3 MILLONES DE COCHES CONVENCIONALES POR VEHÍCULOS DE CERO EMISIONES



#IRMD2018

Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens

Suzana Barbosa Chaves da Silva, suzana.bcsilva@gmail.com

Jaime Rafael Obando Ante, jaimeobando@unicauca.edu.co

Centro Universitário de Brasília (Brasil)

Universidad del Cauca (Colombia)

O transporte rodoviário brasileiro possui uma imensa importância no âmbito socioeconômico, porém não encontra respaldo na precária condição de sua malha rodoviária. Nesse contexto, a reabilitação do pavimento é essencial para que o mesmo desempenhe adequadamente as funções para as quais foi projetado. O presente trabalho analisa a propagação de trincas em revestimentos asfálticos, sem e com a utilização de geossintéticos, e foi dividido em duas etapas: processamento das imagens, obtidas a partir de ensaios realizados sob modelos físicos, e obtenção da equação da velocidade de trincamento característica. Os corpos de prova utilizados foram separados em dois grupos (trinca induzida em condições de flexão ou cisalhamento). Com a análise dessas imagens, foram obtidos três parâmetros (área, altura e perímetro), permitindo a análise de gráficos e a obtenção da velocidade de trincamento. Como resultado da análise, a utilização de geossintéticos sugere que os pavimentos reforçados apresentam uma melhora no comportamento mecânico.

Palabras clave: Reflexão de trincas, misturas asfáltica, geossintéticos, velocidade de trincamento.

In Brazil, road transportation has a tremendous importance in the socioeconomic context, which, however, does not find support in the precarious physical condition of the country's road network. In this context, the rehabilitation of the pavement is essential for it to perform adequately the functions for which it is designed. This study analyzes the propagation of cracks in asphaltic coatings, with and without the use of geosynthetics, and was divided into two stages: image processing obtained from tests performed under physical models and generation of the equation of the characteristic crack growth. The specimens are separated into two groups according (cracks under bending or shear conditions). With the analysis of those images, three parameters were obtained (area, height and perimeter), which allowed the reading of graphs and the generation of the crack growth equation. Therefore, the results suggest that geosynthetic reinforced pavements present an improvement in the mechanical behavior.

Keywords: Reflective cracking, asphalt mixes, crack growth, geosynthetics.

El transporte por carretera brasileño posee inmensa importancia socioeconómica, pero no encuentra respaldo en la precariedad de su malla. En este sentido, la rehabilitación del pavimento es esencial para que desempeñe adecuadamente las funciones para las que está proyectado. Este trabajo analiza la propagación de grietas en revestimientos asfálticos, sin y con la utilización de geosintéticos, y está dividido en dos etapas: procesamiento de las imágenes, obtenidas a partir de ensayos realizados bajo modelos físicos, y obtención de la ecuación de la velocidad de agrietamiento característica. Las probetas utilizadas fueron separadas en dos grupos (grieta inducida en condiciones de flexión o cizallamiento). Con el análisis de esas imágenes, se obtuvieron tres parámetros (área, altura y perímetro), que permitieron la producción de gráficos para la evaluación de la velocidad de agrietamiento de cada grupo. Como resultado, la utilización de geosintéticos sugiere que los pavimentos reforzados presentan mejora en el comportamiento mecánico.

Palabras clave: Reflexión de grietas, mezclas asfálticas, geosintéticos, velocidad de agrietamiento.

Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens

1. Introdução

O Brasil privilegia o transporte rodoviário no escoamento da produção, em detrimento aos demais modais, o qual representa cerca de 60% da carga transportada, apesar de sua malha rodoviária não estar consolidada, com apenas 12,4% de extensão pavimentada (CNT, 2015), e apresentar estado precário, com evidentes sinais de degradação, em decorrência da escassez de investimentos públicos para sua conservação (Correa e Ramos, 2010). E, embora de difícil percepção, a manutenção das rodovias é essencial para garantir a sua vida útil, expondo Akishino (Akishino, 2008) que os benefícios resultantes não são visíveis, tangíveis, visto serem concernentes à preservação, “[...]. No entanto, a manutenção não deixa de se constituir também em um investimento direto, cuja rentabilidade é perfeitamente mensurável sob a forma de: economia de combustíveis e lubrificantes; melhoria das condições de circulação dos veículos com a consequente redução de fretes; aumento do nível de segurança dos usuários.”

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) aponta que a malha rodoviária brasileira, de um modo geral, não se apresenta em boas condições, pela idade dos pavimentos e intensa solicitação de tráfego, dentre outros fatores, tendo a maioria ultrapassado a sua vida útil. (DNIT, 2006). Consideram-se, ainda, fatores das más condições das rodovias as fraturas causadas pelas rodas dos veículos e as fissuras no pavimento, aliados ao uso de materiais de baixa qualidade e desempenho, sendo perceptível a falta de manutenção ou sua realização de maneira imprópria, tornando-se necessária a reabilitação do pavimento, um dos maiores problemas encontrados por engenheiros rodoviários. (Nithin et al., 2015)

E, para essa recuperação de pavimentos deteriorados, a sobreposição com concreto asfáltico mostra-se um meio rápido e de custo-eficiente, apesar do sério problema da reflexão de fissuras na camada superior da mistura quente de asfalto (Fallah e Khodaii, 2015), também conhecida como CBUQ, defeito que se reflete acima de juntas ou trincas das camadas de revestimento antigo (de baixo para cima no recapeamento), devido à tensão de tração gerada pelo movimento originado nessas trincas. (Bernucci et al., 2008)

As soluções tradicionais de manutenção utilizam grandes quantidades de recursos minerais naturais (Fonseca, 2015), sendo salutar a existência de outras possibilidades para melhorar o desempenho desses revestimentos asfálticos, onde surge

a alternativa do uso de geossintéticos, mais eficiente para evitar a propagação de trincas em novas camadas asfálticas, com aumento da vida útil e menor consumo de recursos naturais. Antunes já apontava que, no Brasil, a utilização de geossintéticos cresceu consideravelmente nos últimos 15 anos. Bem assim Nithin et al., que mostram a existência de estudos sobre o sistema de camadas para aprimorar a performance e a vida útil dos pavimentos, destacando que o uso de geossintéticos exibe-se como uma melhor opção, pela fácil instalação e adaptação a diferentes condições climáticas. (Antunes, 2008 & Nithin et al., 2015)

Nesse contexto, este trabalho pretende apresentar uma análise da propagação de trincas em misturas asfálticas, com o emprego do sistema de camadas, por meio do uso de geossintéticos como reforço, a fim de evitar a reflexão de trincas para a nova camada do sistema.

A proposta desta pesquisa é quantificar o parâmetro de velocidade de trincamento, analisando se existe benefício e qual sua influência para atingir as características almejadas ao se utilizar o reforço em pavimentos carentes de restauração ou reabilitação. As avaliações foram realizadas com base na aplicação da equação do modelo clássico, Lei de Paris, existente na Mecânica das Fraturas. E, ao final, os resultados dos ensaios realizados com trincas induzidas em condições de flexão e de cisalhamento irão demonstrar a influência dos geossintéticos aplicados em novas camadas de pavimentação asfáltica, ao aumentar sua resistência e reduzir o fenômeno de reflexão de trincas, demonstrando que o uso de reforços com geossintéticos aumentou em mais de cinco vezes a resistência do conjunto quando comparado com o corpo de prova (CP) de referência.

2. Materiais e métodos

2.1 Geossintéticos utilizados

Para a realização dos ensaios, foram utilizados quatro tipos diferentes de reforços, três geocompostos, formados por geogrelha combinada com geotêxtil não tecido, e uma geogrelha de poliéster sem recobrimento. Todos os tipos de reforços apresentam características diferenciadas, por exemplo, dimensão da abertura, rigidez ou valor de resistência à tração, como apresentado na Tabela 1. (Obando, 2016)

Além dessas características, é importante ressaltar que so-

Tabela 1. Especificações técnicas dos geossintéticos utilizados

Denominação	Tipo de material	Resistência máxima à tração (kN/m)	Dimensão da abertura (mm)	Principal utilização
G1	Poliéster (PET)	38	36x36	Restauração de pavimentos flexíveis
G2	Polivinílico (PVA)	61	40x40	Restauração de pavimentos rígidos
G3	Poliéster (PET)	55	20x20	Reforço da base de pavimentos
G4	Polivinílico (PVA)	64	36x36	Restauração de pavimentos rígidos e flexíveis

mente o G3 não possui nenhum tipo de recobrimento, existindo somente o protetor polimérico. Para os demais, o recobrimento é feito com ligante betuminoso.

2.2 Corpos de provas elaborados

Foram elaborados 10 CPs com mistura asfáltica para os ensaios de carregamentos cíclicos, sendo eles com ou sem reforço (SR). Como o intuito era representar um pavimento asfáltico capeado, foram realizadas duas camadas da mistura, que representam o pavimento antigo (inferior) e o revestimento novo (superior). Nos CPs onde era necessária a aplicação do geossintético, foi preciso esperar que a camada um, após a compactação, esfriasse até atingir a temperatura ambiente, para que então fosse colocado o geossintético desejado, aplicado com emulsão asfáltica, para depois começar a compactação da segunda camada.

O estado de deterioração do pavimento foi representado por

uma trinca, feita com uma serra de corte, normalmente utilizada para polir as amostras de concreto, na parte inferior do CP, para que a mesma pudesse se propagar ao longo de toda a altura, após a aplicação do carregamento. Essa trinca induzida possuía as seguintes dimensões: 4 mm de espessura, 45 mm de altura e 16 mm de profundidade. Para cada uma das condições, foi estabelecida uma posição para a indução da trinca, como apresentada abaixo na Figura 1, e explicado a seguir:

Para representar a indução por flexão, foi gerada uma trinca no centro do CP, com altura equivalente a 1/3 da camada inferior. E, para a condição de indução por cisalhamento, a trinca foi produzida na fronteira da placa de aplicação do carregamento.

2.3 Método utilizado para medição das trincas

Ao longo de todo o experimento, foram registrados todos os ensaios com o auxílio de uma câmera profissional digital, aco-

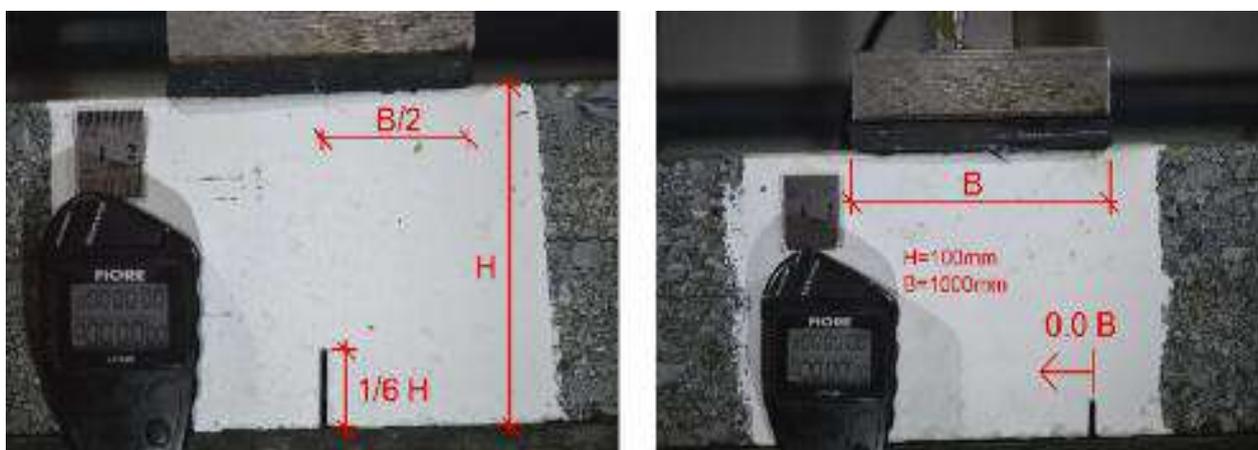


Figura 1: Trincas induzidas nos CPs, onde o primeiro quadro representa a posição de flexão e o segundo a posição de cisalhamento

Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens

plada na frente do CP a ser ensaiado, com o intuito de permitir uma posterior análise visual da formação e propagação das trincas. Esse registro se realizou por meio de imagens capturadas com um intervalo de 02:30 min entre si, ou seja, 150 ciclos (1 segundo = 1 ciclo).

A face frontal dos CPs foi pintada de branco, com uma tinta à base de água, para possibilitar um melhor acompanhamento da evolução das trincas durante o ensaio. Os critérios usados para determinar o final do ensaio foram: (I) trinca percorrer verticalmente toda face do CP; (II) parcela da face se desprender do restante do CP; e (III) afundamento de 25 mm da superfície do CP. Após, as imagens foram analisadas no software Autodesk AutoCAD e os seguintes parâmetros foram obtidos: altura da trinca principal, área e perímetro. Sendo o último também responsável pela análise da obtenção da velocidade de trincamento característica. E os fatores utilizados para a realização do processamento das imagens são: (I) trincas com área maior ou igual a 0,005 m²; (II) dados utilizados para a montagem do gráfico com diferença de 05 min entre cada imagem. Somente nos ensaios sem geossintéticos que foram contabilizadas todas as imagens.

2.4 Ensaios realizados sobre corpos de prova

Para avaliar o comportamento da reflexão das trincas em mis-

da na base do CP conseguisse refletir para a superfície do CP. (Obando, 2016)

Os ensaios em modelos físicos reduzidos foram realizados em CPs prismáticos (48 cm de comprimento, 20 cm de largura e 10 cm de altura, divididos em duas camadas de 5 cm cada) com trincas induzidas nas condições de flexão e cisalhamento (modo I e II, respectivamente, da mecânica da fratura). Na Tabela 2, são apresentadas algumas especificações dos CPs ensaiados.

2.5 Método utilizado para obtenção da equação geral

Os dados obtidos através do processamento digital das imagens foram catalogados em planilhas no programa Excel, separadas por tipo de ensaio. Os gráficos apresentados na próxima seção foram retirados dessas planilhas, que serviu de base para toda a comparação realizada neste trabalho. Para a obtenção de uma única equação, que seja útil para todos os CPs, os dados das tabelas acima foram introduzidos no software CurveExpert Professional. Nele, os dados são modelados em um único gráfico, a partir de um modelo de regressão linear. E os gráficos e a equação gerados para cada parâmetro serão analisados e expostos também na próxima seção.

Tabela 2. Especificações dos corpos de prova dos ensaios

Condição	Tipo de Amostra	Nomenclatura	Número de ciclos	Fator de Eficiência	Critério de Parada
Flexão	SR	CP 4	10246	1,00	3
	G1	CP 9	16637	1,62	2
	G2	CP 22	15030	1,47	2
	G3	CP 27	13788	1,35	2
	G4	CP 16	17685	1,73	3
Flexão	SR	CP 7	3984	1,00	1
	G1	CP 14	7236	1,82	3
	G2	CP 25	6568	1,65	3
	G3	CP 31	8382	2,07	2
	G4	CP 19	5337	1,34	3

turas asfálticas utilizadas no recapeamento de pavimentos flexíveis, reforçadas ou não com geossintéticos, realizaram-se ensaios em dois momentos: a partir da representação da estrutura do pavimento (modelo físico), e de um ensaio de flexão em viga biapoiada. O autor Jaime retrata que o objetivo do ensaio foi obter o número de ciclos necessários para que uma trinca induzi-

3. Resultados e análise

Para estabelecer a contribuição da presença do material de reforço nos CPs, primeiramente foi analisado o número de ciclos necessários para que o ensaio fosse finalizado sem a presença do geossintético, para que então pudesse ser feita a compara-

ção entre os diferentes tipos de geogrelhas utilizadas por meio de gráficos. Em todos os casos, as trincas se manifestaram da base da camada inferior em direção à nova camada, representando o recapeamento do pavimento, sendo refletida verticalmente até atingir o reforço, no caso dele existir.

O modo como as trincas se comportaram após encontrar o geossintético e a influência dele em relação às características originais é que foram diferentes entre os cinco ensaios realizados. Os resultados obtidos e suas respectivas análises são apresentadas a seguir.

3.1 Condição de flexão

Para avaliar a contribuição estrutural das geogrelhas nos ensaios com reforço, foi calculado um fator de eficiência (F.E.), que é a razão entre o número de ciclos necessário para atingir o afundamento de 25 mm em uma viga reforçada e o número de ciclos para a viga sem reforço. Abaixo, apresenta-se a Figura 2, onde é exibido um gráfico comparativo entre os F.E., mostrados anteriormente na Tabela 2. Em seguida, a Figura 3 mostra a última imagem de cada ensaio e com isso permite uma melhor visualização do critério de parada e da maneira com que cada trinca evoluiu durante o acréscimo de ciclos.

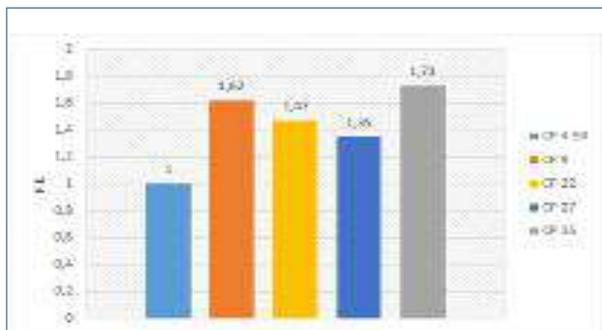


Figura 2: Gráfico comparativo do F.E. entre os CPs no ensaio de flexão



Figura 3: Esquema com a última imagem de cada ensaio de flexão

O primeiro gráfico obtido apresenta a curva, para cada ensaio realizado, correspondente ao número de ciclos versus área trincada, conforme apresentado na Figura 4. É possível observar que tanto para o ensaio sem reforço como para os ensaios reforçados com geossintéticos, a tendência das curvas foi a mesma (tendência linear), exceto no CP 22, em que sua curva apresentou uma ascensão rápida e uma finalização precoce, devido a uma parte do CP que se despreendeu de sua face.

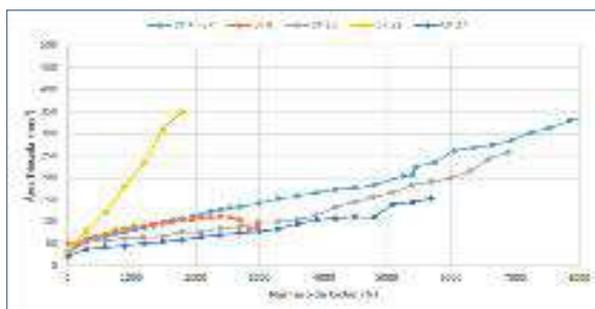


Figura 4: Comparativo entre os ensaios de flexão

É importante notar que os ensaios dos CPs reforçados se encerram antes, porém a explicação dada para esse acontecimento é que, com esse tipo de condição, o geossintético impede que se forme uma única trinca que possa percorrer toda a altura do CP. Ao invés disso, ele força o aparecimento de microfissuras. Associando a Figura 3 e a Figura 4, entende-se porque o CP SR possui maior área, sendo ele o único a possuir uma única trinca bem definida, enquanto os demais contêm várias trincas de tamanhos inferiores.

Para as curvas relativas ao número de ciclos versus altura da trinca principal, apresentado na Figura 5, apesar de possuírem um formato diferente, todos possuem a mesma tendência representando um comportamento linear, seguido por uma ascensão, repetindo o mesmo comportamento até a finalização do ensaio. Com a utilização do reforço, é perceptível a diminuição da altura com o passar dos ciclos.

Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens

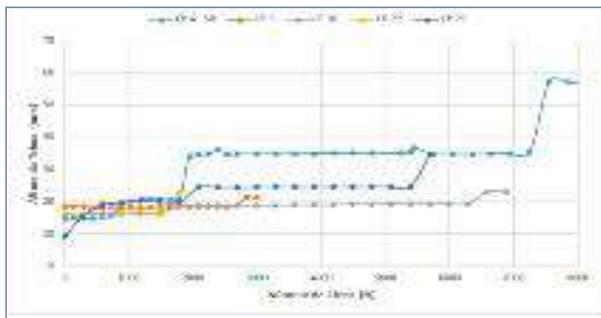


Figura 5: Comparativo entre os ensaios de flexão

Essa ascensão, evidenciada com maior força em alguns casos, é explicada pela junção de duas trincas adjacentes que, ao se tornarem somente uma, denotam uma altura maior para a trinca principal, conforme mostra a Figura 6. Com a observação dessa figura, visualiza-se a marcação da altura (linha vertical vermelha) crescendo abruptamente em apenas um intervalo das imagens.



(a)



(b)

Figura 6: Exemplo da ascensão da altura, antes da junção e após a junção

No último gráfico apresentado para essa condição de ensaio, as curvas são relativas ao número de ciclos versus perímetro total da trinca, de acordo com a Figura 7. E, como nos gráficos anteriores, todas as curvas apresentam tendências similares, exceto o CP 22 que possui comportamento irregular.

Mesmo com esse comportamento diferenciado, a curva proveniente desse ensaio possui uma tendência linear e um R^2 de 98%, mostrando sua confiabilidade, apesar de sair da tendência esperada. Também é importante notar que os ensaios dos CPs reforçados se encerram antes e isso ocorre porque o geossin-

tético impede que se forme uma única trinca que possa percorrer toda a altura do CP. Ao invés disso, ele força o aparecimento de microfissuras.

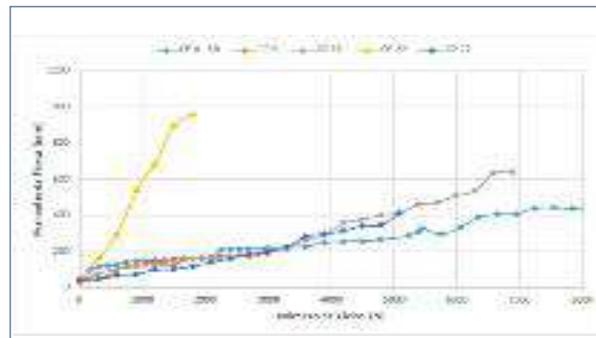


Figura 7: Comparativo entre os ensaios de flexão

3.2 Condição de cisalhamento

Nessa subseção, todos os CPs possuem trincas na condi-

ção de cisalhamento. Assim, como na condição anterior, mostra-se um gráfico comparativo, Figura 8, entre os fatores de eficiência, visando a melhor visualização desse fator. A Figura 9 mostra a última imagem de cada ensaio para a condição de cisalhamento e com isso permite um melhor entendimento das diferenças de propagação e da maneira com que cada trinca evolui durante o acréscimo de ciclos.

O primeiro gráfico obtido sobre a condição de cisalhamento apresenta as curvas referentes ao número de ciclos versus área trincada, segundo a Figura 10. Não é possível ob-

servar em nenhum dos ensaios, tendo ou não a utilização de geossintéticos como reforço, uma mesma tendência para todas as curvas.

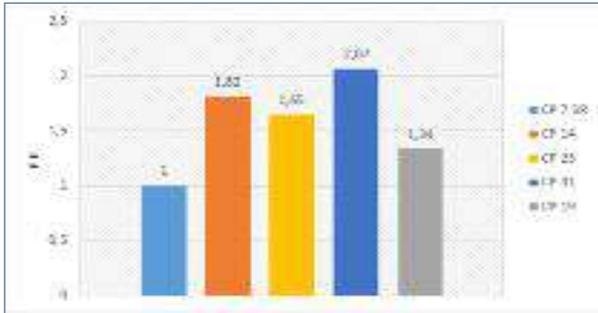


Figura 8: Fator de Eficiência entre os Corpos do Prova no Ensaio de Cisalhamento

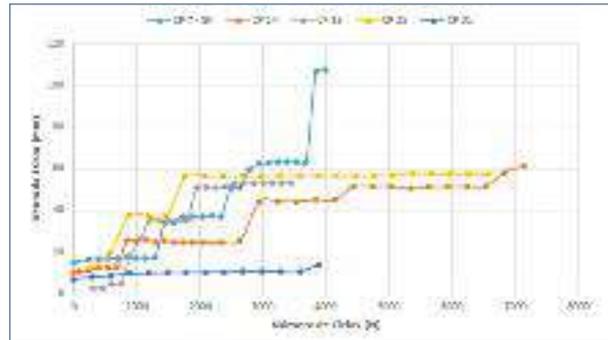


Figura 11: Comparativo entre os ensaios de cisalhamento

No último gráfico apresentado através da Figura 12, as curvas são relativas ao número de ciclos versus perímetro to-

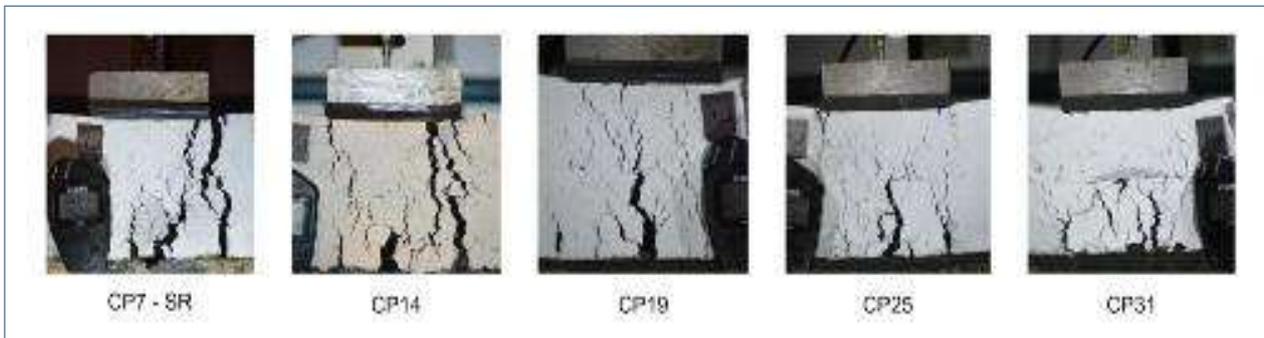


Figura 9: Esquema com a última imagem de cada ensaio de cisalhamento

O gráfico obtido a seguir apresenta as curvas relativas ao número de ciclos versus altura da trinca, conforme a Figura 11. Assim, como o gráfico para as trincas induzidas na condição de flexão, as curvas aqui presentes também possuem um patamar linear seguido por uma ascensão que, como explicado anteriormente, representa a junção de suas trincas adjacentes.

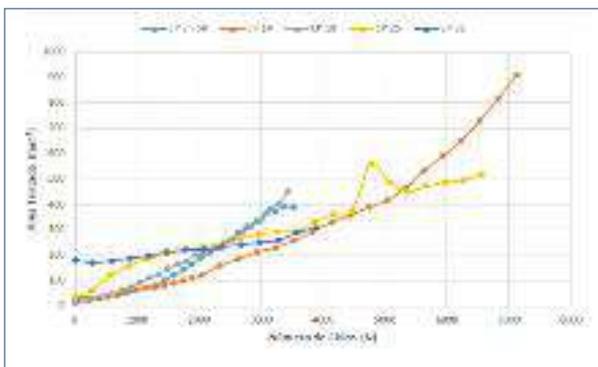


Figura 10: Comparativo entre os ensaios de cisalhamento

tal da trinca. Todas as curvas apresentam tendências similares, diferenciando-se no grau de inclinação das retas, porém com comportamentos lineares semelhantes.

Diferentemente do gráfico apresentado para a outra condição das trincas, este ensaio possui dois CPs com perímetros superiores ao do CP de referência, mostrando que suportaram mais ciclos antes da finalização do ensaio.

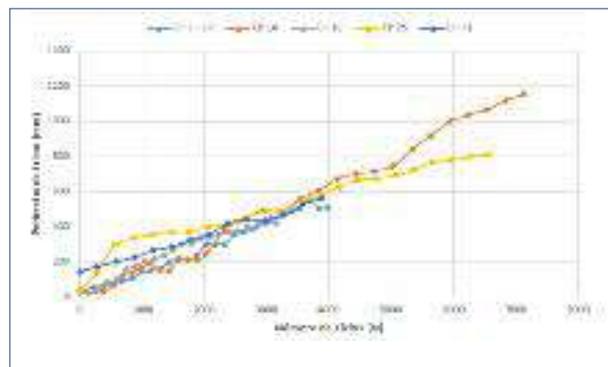


Figura 12: Comparativo entre os ensaios de cisalhamento

Análise da propagação de trincas em misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos mediante o processamento digital de imagens

3.3 Velocidade de trincamento

Para calcular a velocidade de trincamento, foi utilizado o programa CurveExpert Professional, para obtenção de uma equação com regressão linear a partir dos dados obtidos em cada ensaio.

Por ser uma regressão linear, todas as equações são de primeira ordem, na forma $y = a + b \cdot x$. O parâmetro que indica a velocidade de trincamento é aquele denotado pelo coeficiente b .

De maneira geral, observou-se que a trinca induzida por cisalhamento fornece uma condição mais agressiva quanto à sua propagação em todos os corpos de prova. Isto é comprovado por possuir uma velocidade maior que a apresentada no ensaio em condição de flexão. Na Tabela 3, as velocidades de trincamento encontradas foram normalizadas com o intuito de medir a influência da utilização dos geossintéticos na camada de interface do recapeamento de revestimentos asfálticos.

ensaio para que possa ser feita a comparação da velocidade com os demais ensaios. Em virtude desse fato, na sequência é exibido um comparativo entre as velocidades normalizadas dos ensaios restantes, de acordo com a Figura 13.

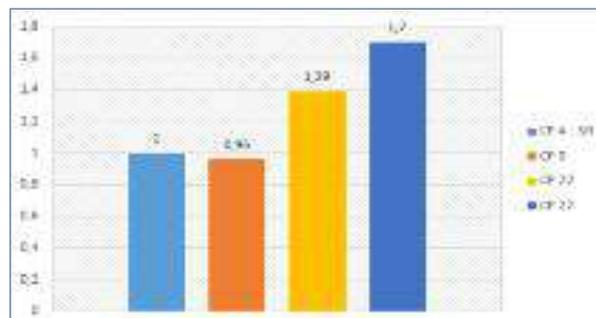


Figura 13: Comparativo entre as velocidades normalizadas na condição de flexão

Após, na Figura 14, é apresentado o gráfico comparativo entre as velocidades normalizadas no ensaio com as trincas induzidas em condição de cisalhamento. Os ensaios seguem

Tabela 3. Dados da velocidade de trincamento na condição de flexão

Condição	Tipo de Amostra	Nomenclatura	Velocidade de trincamento, b (mm/ciclo 10^{-2})	R^2 (%)	Velocidade normalizada
Flexão	SR	CP 4	$4,93 \times 10^{-2}$	97,1	1,00
	G1	CP 9	$4,75 \times 10^{-2}$	89,2	0,96
	G2	CP 22	$5,50 \times 10^{-1}$	98,8	11,16
	G3	CP 27	$6,84 \times 10^{-2}$	97,5	1,39
	G4	CP 16	$8,37 \times 10^{-2}$	96,0	1,70
Flexão	SR	CP 1	$1,35 \times 10^{-1}$	98,6	1,00
	G1	CP 14	$1,65 \times 10^{-1}$	99,1	1,22
	G2	CP 25	$9,13 \times 10^{-2}$	98,7	0,68
	G3	CP 31	$1,08 \times 10^{-1}$	99,2	0,80
	G4	CP 19	$1,31 \times 10^{-1}$	96,7	0,97

Para as trincas induzidas na condição de flexão, percebe-se que os valores de velocidade normalizada foram superiores aos valores do corpo de prova de referência, exceto no CP 9, e isso ocorre pelo fato de que, nos outros ensaios, o surgimento das microfissuras aconteceu de maneira mais acelerada.

Já no ensaio do CP 22, devido à grande parcela da face que se despreendeu do CP e às trincas causadas pelo punção da placa de aplicação de força, a velocidade foi muito superior que a esperada, sendo necessário descartar esse

o padrão esperado, onde as velocidades normalizadas exibem uma velocidade menor que a do corpo de prova de referência, com exceção do CP 14, e, portanto, comprovam a eficácia dos geossintéticos, mesmo sendo a condição mais desfavorável.

4. Conclusão

Os resultados do presente trabalho demonstram que o uso de geossintéticos, na recuperação de misturas asfálticas,

realmente aumenta a eficiência na contenção da propagação de trincas, quando em comparação com os atuais métodos aplicados na manutenção das rodovias no Brasil.

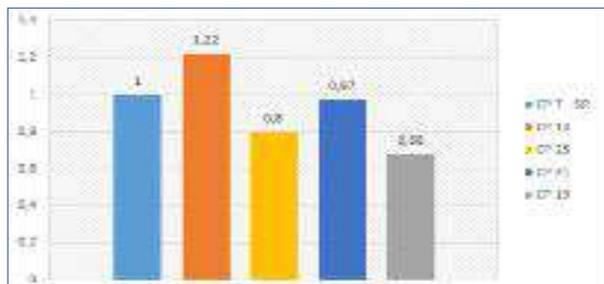


Figura 14: Comparativo entre as velocidades normalizadas na condição de cisalhamento

Apesar do pouco tempo de utilização de reforço na interface intermediária, a aplicação vem crescendo consideravelmente com o passar dos anos, o que, em conjunto com o resultado de pesquisas e ensaios, consoante os aqui demonstrados, permite-se inferir:

- Sua utilização não impede a reflexão de trincas, porém ocasiona o aparecimento de microfissuras ao invés de contribuir efetivamente no aumento da trinca já existente, na maioria dos casos;

- Para as trincas induzidas na condição de flexão, os ensaios com CPs reforçados apresentam desempenhos positivos (melhor desempenho em relação ao F.E. – G4). Levando-se em conta os três parâmetros estudados, os elementos reforçados também se mostraram eficientes. E, quando se trata da velocidade de trincamento, o geossintético com melhor eficiência é o G1 (redução de 4%), enquanto os outros reforços aparecem com valores semelhantes ao CP de referência;

- Para as trincas induzidas na condição de cisalhamento, os reforços tiveram desempenhos extremamente positivos quando comparados ao CP sem reforço, com eficiências variando de 34% a 107% (melhor desempenho – G3). No parâmetro de perímetro é perceptível o aparecimento de microfissuras, fazendo com que seu valor fosse superior ao do espécime de comparação. Na velocidade de trincamento, assim como ocorrido na condição de flexão, a utilização do reforço ocasiona uma velocidade de trincamento inferior àquela do corpo de prova sem nenhuma forma de reforço (G4 – redução de 32%);

- Por fim, cabe ressaltar que a fadiga se apresenta como um dos fatores mais importantes deste estudo, uma vez que

um determinado geossintético, que tenha mostrado melhores resultados nos três parâmetros estudados (área, altura e perímetro), nem sempre conseguirá manter esse bom desempenho quando observado o F.E., fator que também depende do número de ciclos.

5. Referências bibliográficas

- [1] Akishino, J. 2008. Conservação rodoviária. Programa de Integração e Capacitação aos Engenheiros e Técnicos, DER/PR: 34 p.
- [2] Antunes, L. 2008. Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília: 158 p.
- [3] Bernucci, L., de Motta, L., Ceratti, J., & Soares, J. 2008. Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros. PETROBRAS e ADEBA: 504 p.
- [4] CNT – Conselho Nacional de Transporte. 2015. Pesquisa de rodovias 2015: relatório gerencial. CNT, SEST, SENAT. 421 p.:
- [5] Correa, V. & Ramos, P. 2010. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. Revista de Economia e Sociologia Rural, vol. 48, n° 2: 447-472.
- [6] DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte. 2006. Manual de Restauração de pavimentos asfálticos. 2ª ed.: 310 p.
- [7] Fallah, S., & Khodaii, A. 2015. Evaluation of parameters affecting reflection cracking in geogrid-reinforced overlay. Journal of Central South University, vol. 22, n° 3: 1016-1025.
- [8] Fonseca, L. 2015. Avaliação em laboratório do comportamento de camadas asfálticas reforçadas com geossintéticos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais: 162 p.
- [9] Nithin, S., Rajagopal, K., & Veeraragavan, A. 2015. State-of-the Art Summary of Geosynthetic Interlayer Systems for Retarding the Reflective Cracking. Indian Geotech Journal, vol. 45, n° 4: 472-487.
- [10] Obando J. 2016. Desempenho de misturas asfálticas reforçadas com geossintéticos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília: 175 p.



CARRETERA A ESTRENAR CADA DÍA

En Cepsa queremos cuidar y conservar las carreteras siempre en perfecto estado. Por ello, disponemos de una amplia gama de betunes convencionales, desde la Gama ELASTER de última generación en betunes modificados con polímeros, hasta masillas sellantes.

Mantener las carreteras es fácil con los Asfaltos de Cepsa.

Más información en el **91 265 47 13** o en cepsa.com/asfaltos



CEPSA

Tu mundo, más eficiente.

UNE-EN 12697-14:2001: Contenido del agua.

En esta sección se describen métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente.

Javier Loma, javierloma@padecasa.com

Padecasa

1. Objeto y principio del ensayo

Determinación del contenido de agua en muestras de mezclas bituminosas. El método es válido para comprobar la conformidad con la especificación de un producto.

2. Método operativo

Las muestra se toma según la Norma UNE EN 12697-27 y se preparan de acuerdo con la Norma UNE EN 12697-28.

Se divide la muestra mediante cuarteo en 2 porciones iguales. Una de ellas se introduce en un recipiente cerrado y la otra se pesa y se introduce en estufa a una temperatura de $110 \pm 10^\circ\text{C}$ durante 1 hora.

Si la pérdida de masa es menor de 0,1% no es preciso seguir el ensayo, se anota como $<0,1\%$.

Si la pérdida de masa es $>0,1\%$ se pesa la muestra reservada en el recipiente cerrado y se traslada al extractor, vertiendo en el mismo el disolvente necesario y asegurando el flujo constante de agua de refrigeración. Se comienza el calentamiento hasta que el volumen de agua del tubo permanezca constante durante al menos 5 minutos. Se mide el volumen de agua y se anota su masa (considerando 1 ml de agua 1g).

Se calcula el porcentaje de agua en masa sobre la muestra original o la muestra secada con precisión de 0,1%.

3. Equipamiento

La realización de este ensayo, requiere reactivos y aparatos, que son los siguientes:

Reactivos:

Disolventes capaces de disolver el betún que no se descompongan con el agua e hiervan a una temperatura inferior a 85°C (verificar con la norma las características, manipulación y extremar las medidas de seguridad).

Aparatos:

- **Conjunto de extracción:** Extractor de calor cilíndrico de acero inoxidable o latón con tapa de seguridad y junta de ensamblaje. Tubo de entrada graduado de 12,5 ml. Equipo refrigerador de reflujo de agua.
- **Otros:** balanza con precisión del 0,05 % de su masa, calentador, recipiente cerrado y estufa ventilada.

4. Puntos críticos

La realización de este ensayo requiere el empleo de algunos disolventes que sean capaces de disolver el betún, que están catalogados como peligrosos para la salud. La utilización de estos disolventes debe realizarse extremando las medidas de seguridad y empleando los equipos adecuados, así como asegurando el cumplimiento de las legislaciones y regulaciones vigentes en cada país.

No existe precisión del ensayo.

5. Comentarios

Es recomendable determinar el contenido de agua de una mezcla bituminosa en caliente, en mayor grado cuando se hayan utilizado áridos con elevada porosidad o material procedente de fresado de mezclas bituminosas.

Generalmente la humedad se determina siguiendo el procedimiento de determinación del contenido de agua por diferencia de peso tras el secado en estufa hasta peso constante.

6. Bibliografía

- UNE-EN 12697-27. Toma de muestras.
- UNE-EN 12697-28. Preparación de las muestra.

Es un ensayo sencillo que permitirá conocer el contenido de agua en una mezcla bituminosa en caliente y evitar posibles confusiones en los ensayos de determinación de ligante.



LA
CARRETERA
DEL
FUTURO

UNE-EN 12697-29:2003: Determinación de las dimensiones de las probetas bituminosas

En esta sección se describen métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente.

Javier Loma, javierloma@padecasa.com

Padecasa

1. Objeto y principio del ensayo

Determinación, mediante medición, de las dimensiones de las probetas de ensayo cilíndricas, rectangulares o no rectangulares.

Es aplicable a probetas fabricadas en laboratorio y/o a los testigos obtenidos de la carretera, en todos los casos cortados a medidas exactas.

2. Método operativo

Medición de la altura: Se efectúan cuatro mediciones a 10 mm. del borde de la probeta, espaciadas alrededor de su perímetro sobre puntos previamente marcados, y con una tolerancia de 0,1 mm. La altura es el valor medio de los cuatro puntos medidos, expresado con una aproximación de 0,1 mm.

Medición del diámetro (cilíndricas). Se efectúan dos mediciones perpendiculares entre sí en la parte superior, central e inferior de la probeta. El diámetro es el valor medio de los seis



puntos medidos, expresado con aproximación de 0,1 mm.

Probetas no rectangulares. Se efectúan cuatro mediciones espaciadas entre sí a lo largo de su perímetro, para el alto, el ancho y la profundidad. Si es preciso se realizan nuevas mediciones hasta asegurar el cálculo correcto de su volumen. Todas las mediciones se deben realizar cerca del borde de la probeta con una aproximación de 0,1 mm. La dimensión de la probeta en una dirección dada es el valor medio de los cuatro puntos medidos, expresado con una aproximación de 0,1 mm.



3. Equipamiento

Se precisa un compás calibrado y una plantilla (pie de rey y regla).

Los equipos de medida deben encontrarse en perfecto estado de funcionamiento, sin golpes o defectos que impidan un correcto funcionamiento y calibrados o verificados.

4. Puntos críticos

No existe precisión del ensayo.

La metodología descrita para las probetas no rectangulares (con dimensiones irregulares) no es suficientemente clara en

UNE-EN 12697-29:2003: Determinación de las dimensiones de las probetas bituminosas

su exposición. En muchos casos, por la irregularidad de su geometría, es preciso utilizar otros procedimientos alternativos para el cálculo del volumen.

No deben emplearse equipos de medida que no puedan identificarse con total claridad la numeración en la escala o la pantalla digital.

5. Comentarios

Es el procedimiento utilizado para determinar el volumen de las probetas en mezclas porosas y/o el espesor de capa en los testigos.

Para la medición del espesor de los testigos puede emplearse también la norma UNE EN 12697-36.

En ocasiones es necesario aumentar el número de mediciones para asegurar la fiabilidad del resultado.

6. Bibliografía

- UNE-EN 12697-36. Método para la determinación del espesor de pavimentos bituminosos.

Es un procedimiento muy sencillo empleado para determinar las dimensiones y/o el volumen de las probetas y/o los espesores en los testigos procedentes de la obra.

#69

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“La degradación de la carretera influye en seguridad vial y genera costos indirectos al usuario en consumo de combustible, emisiones ambientales, congestiones, degradación de los vehículos, nivel de exigencia del conductor, etc.” Las mezclas asfálticas lo evitan facilitando un mantenimiento rápido y eficaz” (JC ROFFÉ. Tribuna 27)

#HECHOS_ECONÓMICOS

Noticias del sector

En esta sección recogemos informaciones sobre citas relevantes, convocatorias e iniciativas relacionadas con el sector de la pavimentación.

ASEFMA presenta los resultados de la encuesta VUELCA

Durante el último semestre de 2016 ASEFMA encuestó a responsables de conservación de viales de ayuntamientos acerca de los sistemas de evaluación de pavimentos que utilizan, con cuestiones referidas a los protocolos de prevención, identificación y reparación de baches; a la seguridad vial y a las demandas sociales vinculadas a la conservación de viales.

La encuesta anual VUELCA que lanza ASEFMA por primera vez en España es una adaptación del informe ALARM que su homóloga Asphalt Industry Alliance (AIA) realiza desde 1995 en el Reino Unido. Generada mediante información directa de los responsables del mantenimiento de la red viaria local, VUELCA ofrece indicadores precisos sobre el estado de conservación de viales de ayuntamientos de tal modo que será posible realizar en España un seguimiento real de cualquier mejora o deterioro de la red viaria.

En marzo de 2018 ASEFMA ha presentado los resultados de esta encuesta.

Los consistorios españoles consideran que para poder conservar adecuadamente el pavimento de su red viaria necesitarían triplicar el presupuesto con respecto a los datos promedio de 2012-16, aunque algunos ayuntamientos han llegado a señalar que sería necesario quintuplicarlo.

La inmensa mayoría de los ayuntamientos encuestados (70,8%) considera que existe un déficit acumulado en el mantenimiento del pavimento y estiman que atendiendo a la inversión actual se necesitaría una media de 11 años para eliminarlo. Esta situación también es percibida por los ciudadanos: respecto a las quejas recibidas de la ciudadanía, un 65% de los ayuntamientos declararon que llevan un registro numérico y, según los datos obtenidos en la encuesta, reciben una media de 571 quejas anuales.

Los datos obtenidos reflejan que solo la mitad de las

administraciones locales poseen algún tipo de metodología para clasificar el estado de conservación de su red viaria, atendiendo a indicadores como baches (80%), fisuración (36%) y regularidad superficial (16%), entre otros.

Son menos aún (27%), los consistorios que poseen un protocolo específico para la prevención, identificación y reparación de baches; o los que disponen (8,3%) de metodología para cuantificar el valor patrimonial de la infraestructura de sus vías.

Los resultados recogidos en la encuesta y presentados públicamente el pasado 14 de marzo serán transmitidos oficialmente a Ayuntamientos y administraciones públicas vinculadas a carreteras. El informe final, que presentará datos globales y en ningún caso facilitará información desglosada, también estará disponible para su descarga online gratuita en la web www.asefma.es.

La jornada de presentación, que se desarrolló en el Ayuntamiento de Fuenlabrada, ha sido también el escenario del lanzamiento de la segunda encuesta global sobre el estado de conservación de las vías urbanas 2018. Recogerá datos relevantes sobre la gestión y conservación de las vías de los municipios españoles con más de 50.000 habitantes clasificados en cinco niveles, lo que permitirá el análisis por ayuntamientos similares y parámetros comparables.

Día Internacional de Conservación de las Carreteras (IRMD 2018)

Desde ASEFMA se ha presentado y realizado EL Día Internacional de la Conservación de Carreteras (IRMD 2018) que pretende realizarse anualmente a nivel mundial, el primer jueves del mes de abril de cada año. Este año ha sido el día 5 de abril cuando se ha realizado la Jornada, a la que se han sumado una decena de países de Europa y América.

Noticias del sector

Más de quinientas entidades y personas secundaron este IRMD 2018 en España.

A las 9:15h comenzaba en Madrid la jornada de debate promovida por ASEFMA con motivo del Día Internacional de la Conservación de Carreteras que el instituto técnico ITAFEC retransmitía desde su plataforma online y que en Twitter desarrollaba un debate paralelo agrupado con el hashtag #IRMD2018. Media hora después, el hashtag #IRMD2018 se encontraba entre los diez temas del momento (trending topic) en España, posición que mantendría durante prácticamente todo el evento llegando incluso a alcanzar la sexta posición. Según Trendinalia, #IRMD2018 se situó entre las veinte tendencias de España el día 5 de abril en Twitter durante 6:05 horas y respecto a su posición global, ocupó el puesto 45 de los temas más mencionados en España durante todo ese día.

Según las estimaciones de TweetBinder, 541 usuarios de Twitter emitieron un total de 3.374 tweets que se traducen en una audiencia de 1.374.438 usuarios y 18.110.863 impresiones. Estos datos de alcance sitúan a la iniciativa de sensibilización sobre la conservación de carreteras entre las campañas de comunicación digital con mayor alcance dentro del sector.

Calendario de eventos

AÑO 2018

30-31 de mayo ASEFMA	XIII Jornada Nacional de ASEFMA	Madrid (España) www.asefma.com.es
14-15 de junio EUROBITUMEN-EAPA	E&E Event Eurasphalt & Eurobitumen	Berlín (Alemania) www.eurobitume.eu
4-5 de octubre AMAAC	Seminario Internacional del Asfalto: Retos en la preservación de pavimentos asfálticos	Tijuana (México) www.amaac.org.mx
9-11 de octubre PIARC	Seminario Internacional de Firms	Durban (Sudáfrica) www.piarc.org
11 de octubre	Día Internacional de la carretera	
15-18 de octubre ARRA	2018 ARRA Semi-Annual Meeting	Virginia (EEUU) www.arrac.org
17-19 de octubre PIARC	Simposio Nacional de Firms SNF 2018	Madrid (España) www.piarc.org
5-7 de noviembre NAPA	1st Internacional Conferencie on Stone Matrix Asphalt	Georgia(EEUU) www.eapa.org
22 de noviembre ATEB	IV Jornada Nacional de ATEB	Madrid (España) www.atheb.org

AÑO 2019

13-17 de enero TRB	TRB 98 th Annual Meeting	Washington, DC (EEUU) www.trb.org
18-21 de febrero AEMA-ISSA-ARRA	AEMA-ARRA-ISSA Annual Meeting	Cancún (México) www.aema.org
3 de junio EATA	8 th Meeting EAPA	Granada (España) www.eata-group.eu
12-14 de junio ICONFBMP	The 17 th International Conference "Bituminous Mixtures and Pavements"	Tesalónica (Grecia) http://iconfbmp.civil.auth.gr
6 de octubre PIARC	26 ^o Congreso Mundial de la Carretera	Abu Dhabi (Emiratos Árabes) www.piarc.org

AÑO 2020

12-16 de enero PIARC	99 Reunión Anual TRB	Washington, DC (EEUU) www.piarc.org
12-14 de mayo EAPA	The 7 th Eurasphalt & Eurobitume Congress	Madrid (España) www.eapa.org

JUNIO 2018

Mezclas de Asfalto
#9
Las mezclas asfálticas permiten **CONSERVAR LOS FIRMES** de forma **EFICIENTE**

ADVANTAGE 10: The best visibility of road markings is on asphalt roads #AsphaltAdvantages

REFORZANDO el firme, consolidando el FUTURO →

JUNIO 2018

Colaboran: **EVENTOS**
14-15 de junio
#EcoVia2018

L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

JULIO 2018

Mezclas de Asfalto
#18
EL ASFALTO es uno de los **MAYORES RECURSOS RENOVABLES**

ADVANTAGE 13: Asphalt is 100% reusable #AsphaltAdvantages

REFORZANDO el firme, consolidando el FUTURO →

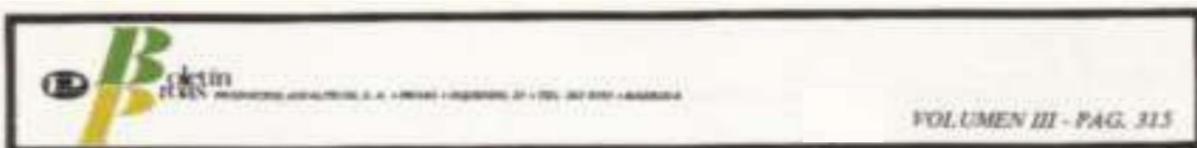
JULIO 2018

Colaboran: **EVENTOS**

L	M	X	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23/30	24/31	25	26	27	28	29

Mirando al pasado

Documento publicado en agosto-febrero de 1983.



COMENTARIO DE ACTUALIDAD

Está iniciándose el año 1983 y, como siempre por estas fechas, resulta un ejercicio interesante especular sobre cuáles son las perspectivas de la actividad de construcción y conservación de las carreteras españolas. En esta ocasión, el cambio de año ha venido acompañado también de un cambio de Gobierno que habría pensar puede traer aparejado también un cambio en la política de carreteras, entre otros.

La verdad es que ya en el año 1982 se empezó a marcar una nueva dirección en nuestra política de carreteras, caracterizada fundamentalmente por un incremento muy bien orientado en las actividades de conservación de pavimentos y de mejoras generales de los trazados principales. Cabe esperar que la nueva Administración socialista adopte como suya esa tendencia, que es muy lógica, puesto que se trata de inversiones que nadie puede realizar más que la Administración pública, de una rentabilidad económica y social que supera de forma sorprendente a la de cualquier otra inversión que se pudiera emprender. Si acaso, debería aumentar el ritmo de crecimiento, que sigue estando, a pesar del incremento presupuestario de 1982 sobre el de 1981, muy por debajo de lo que sería preciso teniendo en cuenta las necesidades del tráfico.

No hay que olvidar que las carreteras soportan más del 80 % del transporte terrestre del país y que los malos pavimentos y los embotellamientos tienen para el país un costo impresionante en pesetas, en petróleo e incluso, en ocasiones, desgraciadamente, en vidas humanas.

Desde hace algún tiempo aparecen en la prensa frecuentes referencias al mal estado de los pavimentos y a la necesidad de mejorar fundamentalmente la conservación de las carreteras. Ciertamente, al empezar a mejorar los presupuestos de carreteras adecuándolos a las necesidades, es la conservación lo primero que hay que atender de manera adecuada, pero de todas formas, no conviene olvidar las necesidades de modernización de la red y la construcción de nuevas vías que satisfagan necesidades insuficientemente valoradas.

Me sugiere esta reflexión un recorrido realizado hace un par de días a las seis de la tarde entre el centro de Madrid - Alcorcón - Leganés - Getafe y retorno a Madrid por la carretera de Toledo. La impresionante congestión de estas vías demuestra claramente a cualquier que piense en el asunto la necesidad de buscar nuevas soluciones que permitan absorber el tráfico de una manera rápida, en lo que, en la vecindad de las grandes poblaciones, ocupan un lugar importante los ferrocarriles suburbanos, y de mejorar las redes de carreteras para que sean capaces de atender de forma suficiente, sin angustias y sin derroches de combustible y de tiempo, al intenso tráfico automóvil que, pese a todo, seguirá utilizando las carreteras.

Las necesidades, pues, existen — ¡vaya si existen! — y la tendencia de la Administración, o mejor dicho, de las Administraciones de carreteras, parece ser atenderlas de forma adecuada, como es razonable. La Generalitat de Cataluña ya tiene su plan de carreteras, y otras regiones autonómicas o preautonómicas están trabajando en el mismo sentido. La opinión pública está cada vez más sensibilizada a los problemas ocasionados por el mal estado o la insuficiencia de las redes de carreteras y esto, en una situación en la que se presta gran atención a la opinión pública, es un importante sumando más que creemos garantiza en los próximos cuatro años, por lo menos, que la actividad en la red de carreteras españolas será suficiente para que ésta mejore, acortando de forma apreciable la gran distancia que desgraciadamente la separa en cuanto a calidad y nivel de servicio de las redes de carreteras de los demás países de Europa.

CAMIÓN DE OBRA



Revista profesional para el transportista de obra, materiales y equipos

Nº 1 Junio 2018

Lecturas recomendadas

Informe “España Circular 2030. Estrategia Española de economía circular”. MAPAMA . 2018. 178 pp

La incorporación de criterios ambientales en las licitaciones públicas está siendo una realidad cada vez más palpable y la reciente publicación de la Ley de Contratos del Sector Público que promueve el uso de criterios de valoración distintos al precio, entre ellos los medioambientales, va a dar un impulso al uso de consideraciones medioambientales.

En el mes de febrero, el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente sometió a información pública el documento “España Circular 2030. Estrategia Española de economía circular” estando en estos momentos en fase de revisión de los comentarios recibidos. La importancia de este documento es que marca la senda por el que diversos sectores industriales van a tener que transitar promoviendo un uso más racional de los recursos naturales e integrando residuos y subproductos en otros procesos productivos.



Informe : “Guidance document for repairing product category rules (PCR) and environmental product declarations (EPD) for asphalt mixtures”. Editado por EAPA. 2017. 24 pp.

La implantación de la contratación pública ecológica va a requerir de nuevas herramientas que permitan cuantificar de una forma objetiva los impactos ambientales de las mezclas bituminosas desde la “cuna a la tumba” o evaluaciones parciales de algunas fases (típicamente fabricación y puesta en obra).

Con el fin de armonizar los criterios de cuantificación ambientales, desde EAPA se ha elaborado una guía que proporciona los elementos fundamentales que permita la emisión de declaraciones ambientales de producto con solvencia documental. El contenido de este documento no es completamente nuevo, ya que algunas organizaciones nacionales como NAPA en EEUU o EPD Norge en Noruega ya había publicado documentos similares. Sin embargo, dada la relevancia de EAPA en el concierto mundial del sector de las mezclas bituminosas, esta nueva versión ayudará a concretar u uniformar los criterios de evaluación.

http://www.eapa.org/userfiles/2/Publications/*GCA-17-N215%20-%20EAPA%20Guidance.pdf

Guías : “Guía de diseño de vías ciclistas ”.

País Vasco (2017)

http://www.ogasun.ejgv.euskadi.eus/r51-catpub/es/k75aWebPublicacionesWar/k75aObtenerPublicacion-DigitalServlet?R01HNoPortal=true&N_LIBR=052087&N_EDIC=0001&C_IDIOM=es&FORMATO=.pdf

Ayuntamiento de Zaragoza

<https://www.zaragoza.es/contenidos/bici/plan/CAPITULO08.pdf>

Ayuntamiento de Barcelona (2016)

<http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/sites/default/files/ManualCarrilBici2016.pdf>

El uso habitual de la bicicleta como medio de transporte en España ha sido bastante más tardío que en otros países de nuestro entorno. Sin embargo, en los últimos años se ha producido un incremento muy destacable que está siendo acompañado de cuantiosas inversiones orientadas a la adaptación de los vias a los usos con bicicletas.

En los enlaces arriba indicados se recogen algunas de las propuestas de normativas más modernas relacionadas con el diseño de carriles bici, correspondientes al Gobierno Vasco y a los ayuntamientos de Zaragoza y Barcelona.



FABRICANTE Y DISTRIBUIDOR DE EQUIPOS PARA INGENIERIA CIVIL

ANALIZADOR AUTOMÁTICO DE ASFALTO

El analizador asfáltico Infracest funciona como un sistema estanco (consumo de disolvente <20 ml por extracción) al contrario de los sistemas no estancos (consumo es > 500 ml por extracción.)!!!

BENEFICIOS

- Sistema estanco único
- Consumo y emisión de disolvente minimizado aprox. 1/10
- Extracción rápida – aprox. 35 min y comprende el secado
- Resultados reproducibles y asegurados
- Ambiente totalmente limpio

Programado para 3 disolventes:

- Tricloroetileno (Tri)
- Diclorometano
- Tetracloroetileno (Per)

Para la extracción

- Mezclas normales de carreteras
- Mezclas modificadas con goma
- Utilización con disolventes no inflamables



PAV - HORNO DE TRATAMIENTO DE ENVEJECIMIENTO

NORMAS EN 14769 • ASTM D652 • AASTHO R28



EQUIPO PARA ENVEJECIMIENTO DE PROBETAS ASFÁLTICAS (SATS)

NORMA A12697-45



RTPOT HORNO DE ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA (ROLLING THIN FILM OVER TEST)

Normas En 12607-1
ASTM D2872 • AASHTO T240



Mecánica Científica S.A. Fabricante de equipos para ensayos de:

- ARIDOS • SUELOS • CEMENTOS • AUSCULTACION DE FIRMES / MAS • ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- ROCAS • HORMIGONES • LIGANTES • MEZCLAS BITUMINOSAS

¡LIDER EN CALIDAD!



I+D+i. Proyectos destacados

AUSTROADS



Austroads es la organización más importante de las agencias de tráfico y transporte por carretera de Australia. Los miembros de Austroads son colectivamente responsables de la administración de más de 900,000 kilómetros de carreteras valuadas en más de \$ 250 mil millones que representan el activo más grande de la comunidad en Australia y Nueva Zelanda.

A pesar de la lejanía, a todos los técnicos que participan en la comunidad científica del mundo de la carretera, y más

particularmente de la pavimentación asfáltica, les son familiares los informes que publican de manera continua sobre temáticas muy amplias: diseño de firmes y pavimentos, puesta en obra, materiales, evaluación de comportamiento de pavimentos etc.

El actual programa de trabajo 2016-2020, que se desarrolla a partir de un plan estratégico y operativo, incluye los siguientes proyectos:

PROYECTOS	
TT1850	Review of Guide to Pavement Technology Parts 4F and 4K
TT1897	Increasing the Use of Low-cost Modified Granular Materials in New and Rehabilitated Pavements
TP1969	Implementation of New Pavement Design System through Publication of an Updated Guide to Pavement Technology (AGPT) Part 2
TT2037	Development of a Sprayed Seal Binder Cracking Test
APT2044	Encouraging Pavement Design Innovations
TT2046	Improving the Cost Effectiveness of Foamed Bitumen Stabilised Pavements
APT2039	Monitoring of Austroads Sprayed Seal Trial Sites
TT2040	Guidelines and Specifications for Bituminous Micro-surfacings
APT1953	National Performance Based Asphalt Specification Framework
APT2063	Key Properties of Cutters for Optimal Sprayed Seal Performance

CONSERVAR LAS CARRETERAS ES PRESERVAR EL MEDIOAMBIENTE

El mantenimiento vial es la acción que más contribuye a reducir las emisiones procedentes del transporte por carretera



#IRMD2018

Conservar, modernizar y adaptar las carreteras a la movilidad del futuro significa progresar como sociedad: unas infraestructuras viarias bien conservadas garantizan el progreso socioeconómico, el desarrollo sostenible y la preservación del medioambiente. Así ha quedado patente en la cumbre mundial de Niza PPRS 2018, que del 26 al 28 de marzo reunió a varias decenas de países procedentes de distintos continentes.

El congreso de conservación de pavimentos puso sobre la mesa la alarmante degradación de las redes de carreteras,

particularmente de su elemento más importante: los firmes, y la urgente necesidad de garantizar la inversión para

- proteger el patrimonio viario,
- evitar la carga de deuda sobre generaciones futuras,
- adaptarse a los retos geográficos,
- responder a las demandas sociales de movilidad,
- mejorar la seguridad vial y
- preservar el medioambiente.

En esta última línea, las políticas de conservación de carreteras se presentan como una eficaz herramienta para combatir el cambio climático y alcanzar los objetivos adquiridos en la Conferencia de París sobre el Clima (COP 21)¹, celebra-



da en diciembre de 2015. Este primer acuerdo vinculante mundial para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y mantener el calentamiento global por debajo de 2°C manifestaba el compromiso de los 195 países firmantes de luchar contra el cambio climático y de impulsar medidas e inversiones para asegurar un futuro bajo en emisiones de carbono, resiliente y sostenible.

En la Unión Europea (UE), que ratifica oficialmente dicho acuerdo el 5 de octubre de 2016, se establece un paquete de medidas con legislación vinculante² para garantizar el cumplimiento de los objetivos climáticos y de energía asumidos por la UE para 2020, entre los que se encuentra la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 20% respecto a los niveles de 1990. Además, su hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica³ señala que

- en 2050 la UE deberá haber reducido sus emisiones de gases de efecto invernadero un 80% en relación con los niveles de 1990
- es necesario que contribuyan todos los sectores.

Específicamente en materia de transporte, las emisiones deberían reducirse más del 60% respecto a los niveles de 1990, debiendo concentrarse los esfuerzos a corto plazo y según recoge la propia hoja de ruta: en la eficiencia en el consumo de combustible.

La realidad es que las emisiones procedentes del transporte representan casi una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero de Europa⁴ y es la principal causa de contaminación del aire en las ciudades, con los consecuentes riesgos para la salud cardiovascular y respiratoria de la población.

El transporte, a diferencia de otros sectores, no ha experimentado un descenso gradual en sus emisiones de gases contaminantes: dichas emisiones solo comenzaron a disminuir en 2007 y continúan siendo más elevadas que en 1990, año de referencia. Dentro del sector, el transporte por carretera es, con mucho, el mayor emisor y representa más del 70% de todas las emisiones de GEI del transporte en 2014.

Entre las medidas propuestas para revertir esta situación no se encuentra, sin embargo, una de las acciones más efectivas para reducir el consumo de combustible del transporte por carretera y sus emisiones derivadas: la adecuada conservación de las carreteras.

Distintos estudios han determinado el aumento de las emisiones de los vehículos



**CADA KG DE CO₂ INVERTIDO
EN PAVIMENTACION/REHABILITACIÓN
DE UNA CARRETERA PUEDE EVITAR
LA EMISIÓN DE 36 kg DE CO₂ PROCEDENTES
DEL TRANSPORTE DE LOS VEHÍCULOS
QUE CIRCULAN POR ESA CARRETERA**

**UN TURISMO CONVENCIONAL PUEDE
LLEGAR A INCREMENTAR UN 10-13% LAS
EMISIONES DE CO₂ CUANDO CIRCULA POR
PAVIMENTOS CON MALA O MUY MALA
REGULARIDAD SUPERFICIAL**

cuando circulan por pavimentos deteriorados: mala regularidad, roderas, grietas y baches no solo inciden negativamente en la seguridad y comodidad de la conducción o en el incremento de los costes del viaje (por tiempo de desplazamiento o averías en los vehículos). Una mala regularidad superficial del pavimento (IRI) incrementa sustancialmente el consumo de combustible de los vehículos que circulan por dicha carretera y, por extensión: en las emisiones de CO₂ derivadas.

En este sentido el NCHRP Report 720 de la Transportation Research Board (TRB)⁴ da un paso más allá y cuantifica dicho impacto. Dicho informe establece que un camión puede incrementar el porcentaje de las emisiones de GEI hasta un 8% cuando circula por pavimentos con mala o muy mala regularidad superficial, mientras que el caso de un turismo este porcentaje puede aumentar hasta un 13%.

Por su parte, el documento de posición⁵ de EAPA, EUPAVE y FEHRL presentado el 18 de noviembre de 2016 en el Parlamento Europeo, también destaca en este sentido que mejorar un tercio de la red viaria europea de máxima capacidad para el 2030 podría suponer un ahorro de 14 millones de toneladas de emisiones de CO₂, es decir: tendría el mismo efecto que reemplazar 3 millones de coches convencionales por vehículos de cero emisiones.

En línea con lo anterior, si se considera el ciclo de vida de la carretera, el mayor impacto sobre las emisiones de

CO₂ se produce cuando los vehículos circulan sobre ella. La energía y emisiones asociadas a la construcción y conservación de las carreteras es solo una fracción de las emitidas por el tráfico que posteriormente soportan. Concretamente en el caso de las actividades de conservación, el plazo de amortización ambiental de la reparación de un metro cuadrado puede estimarse en tan sólo 10 meses⁷.

Las actividades de conservación y mantenimiento en una carretera implican numerosas actuaciones (desde acciones menores con periodicidad regular hasta actuaciones de mayor envergadura más espaciadas en el tiempo) encaminadas a facilitar la vialidad de la misma y su conservación en el mejor estado posible. Si se toma un periodo de 30 años, el coste ambiental de una actuación de conservación/rehabilitación puede valorarse en unos 65 kg de CO₂ por metro cuadrado mientras que el retorno ambiental estimado para ese mismo periodo es de un ahorro de 2.350kg de CO₂⁸.

Es decir: cada metro cuadrado de pavimento bien conservado puede evitar la emisión de hasta 2.350 kg de CO₂ procedentes de los vehículos que por él circulan. O en otras palabras: cada kg de CO₂ invertido en conservación evita la emisión de 36 kg de CO₂ procedentes del transporte por carretera.





CONCLUSIÓN

Mantener los pavimentos en un adecuado estado de conservación con buena regularidad superficial (bajo IRI) y una textura adecuada es la acción que más pueden contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂ procedentes del transporte por carretera y a la lucha contra el cambio climático dentro del sector.

Por ello, es imprescindible considerar la conservación de carreteras y más concretamente las actuaciones de pavimentación para mejora del IRI en el paquete de medidas encaminadas a cumplir con los objetivos climáticos adquiridos en la Conferencia de París y como parte de las estrategias nacionales de medioambiente y desarrollo sostenible.

REFERENCIAS

- ¹ http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php
- ² https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es
- ³ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es
- ⁴ https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_es
- ⁵ National Academies of Sciences, Engineering and Medicine: Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating Costs. Washington, DC: The National Academies Press, 2012. <https://doi.org/10.17226/22808>
- ⁶ EAPA, EUPAVE y FEHRL: Position Paper "Road Pavement industries highlight huge CO₂ savings offered by maintaining and upgrading roads" <http://www.fehrl.org/news/fehrl-eupave-eapa-publication-on-co2-savings-by-maintaining-and-upgrading-roads>
- ⁷ Moral, Alberto: "Evaluación ambiental de varias secciones de firme de categoría de tráfico T00 a T2 conforme a la Norma 6.1-IC" (tesis doctoral defendida el 17 de junio de 2016)
- ⁸ Ídem



Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



REPSOL

Inventemos el futuro

Más información en repsol.com